

EXTENDED ABSTRACT

Identification of Possible Groundwater Recharge Areas by Multi-criteria Analysis based on GIS (Case: Dezful – Andimeshk Plain)

B. Zahedi¹, M. H. Purmohammadi^{2*}, H. Eslami³, E. Derikvand⁴ and M. Solimani Babarsad⁵

- 1- Ph. D. Student, Department of Civil Engineering- Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 2- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.(purmohammadimohammadhosin@gmail.com).
- 3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering- Water Resources Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 5- Department of Water Sciences, Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 5 April 2022

Revised: 16 September 2022

Accepted: 19 September 2022

Keywords:

AHP, TOPSIS, artificial groundwater recharge.

TO CITE THIS ARTICLE :

Zahedi, B., Purmohammadi, M. H., Eslami, H., Derikvand, E., Solimani babarsad, M. (2023). 'Identification of Possible Groundwater Recharge Areas by Multi-criteria Analysis based on GIS (Case: Dezful – Andimeshk Plain)', Irrigation Sciences and Engineering, 46(2), pp. 75-90. doi: 10.22055/jise.2022.40328.2021.

Introduction

The over-drilling of deep wells and the excessive exploitation of groundwater sources cause the groundwater level to decrease daily, resulting in more energy to power pumps. Artificial recharging is the injection of water into a permeable formation to recharge the groundwater aquifer and reuse it with a different regime and quality and by creating additional facilities or changes in the region's natural conditions (Fazl Avali, 1998). Placing artificial recharge systems are one of the basic principles of creating these systems. The selection of sites based on scientific and natural points plays a critical role in the success and efficiency of the development of these systems to achieve the relevant goals. This process must be undertaken with considerable care. Identifying artificial recharge areas and substrates can be accomplished using various methods and parameters. No matter the method used, the results from different studies must be analyzed jointly, and then the most appropriate area for the study must be determined. Due to the presence of various characteristics in location, continuous changes of influential factors, and the need to examine the evaluated criteria, the use of GIS due to special features and capabilities, can be beneficial to this endeavor. The multi-criteria analysis method has been mentioned as a valuable model for integrating information layers in artificial recharge. Numerous studies have been conducted to locate recharging sites for artificial recharge.

Ramalingam and Santhakumar (2002), using GIS and remote sensing techniques, investigated suitable artificial feeding areas in a state in India which considered geomorphological, geological, soil, slope, land use, runoff intensity, and groundwater depth. As part of the research conducted by

Hekmatpour et al. (2007), areas of the Varamin plain that can be artificial recharge were identified through classification and layer combining in a GIS environment and using a decision support system to make decisions.

Procedure

The Dezful-Andimeshk plain is a vast, flat area downstream of the Dez reservoir dam, approximately 150 kilometers north of Ahvaz. The plain occupies an area of approximately 2487 square kilometers. In order of age, the outcrop units in this area are The Bangestan Group, The Gurpi Formation, The Pabdeh Formation, The Amiran Formation, The Tele Zang Formation, The Kashkan Formation, The Asmari Formation, The Asmari-Shahbazan Formation, The Gachsaran Formation, The Mishan Formation, The Aghajari Formation, The Lahbari section, The Bakhtiari Formation, and sediments of the recent era. Alluvial sediment is present in the region and throughout the Dezful-Andimeshk plain, and its thickness and extent vary in different places based on the river and erodible altitude.

Influential factors may be considered the most critical factors in achieving the final goal depending on the research type. Thus, considering their importance in the location, various components should be given the highest preference and weighting. The weighting of other factors proportional to reducing its effects on location becomes less (Table 1). Thus, the most influential factor in location will have the most weight.

Table 1- Weighting factors as a pairwise comparison based on preference (Ghodsipour, 2008)

Preferences (oral judgment)	Numerical value
Extremely preferred	9
Very strongly preferred	7
Strongly preferred	5
Moderately preferred	3
Equally preferred	1
Preferences between strong distances	8,6,4,2

Discussion

Six parameters were selected and studied among the different factors that influence the location of areas prone to groundwater recharge in this study, including transferability, alluvial thickness, distance from the river, land use, and road, and lithology. The focus of the research is to provide information layers based on location. The layers' weights were determined based on a hierarchical analysis process and a unique vector technique. Weighting was performed based on the relative importance of each parameter in locating an appropriate location for artificial recharge. Pairwise scaling was performed using the 1-9 hour scale. Table 2 presents the final weights calculated by the software. Afterward, AHP layers were determined according to the weight of each criterion. Following the initial map, the AHP map of each criterion was obtained by multiplying each of the maps by the Raster Calculator tool in ARC GIS 10.5 software. Following the determination of the final weights and the preparation of map representations of each criterion and sub-criteria, integrating these maps with the Raster Calculator tool in ARC GIS 10.5 software resulted in the final AHP map, as illustrated in Figure 1. In this study, the TOPSIS method was used to achieve goal to compare and achieve better results. Weights were determined using the AHP method, and layers were weighed. Then the positive and negative layers were drawn in GIS. Finally, the final 10.5 layers of the best artificial feeding place based on the

TOPSIS method were obtained by subtracting these two layers by the Raster Calculator tool in ARC GIS software. In this method, all criteria except complex formation and distance from the river were considered negative ideals.

Table 2- Final weights of criteria

Factor	Final weight
Transferability	0.375
Alluvial thickness	0.282
alluvium	0.81
Hard Formation	0.009
Distance from the river	0.145
Land use	0.101
Distance from the road	0.024

Conclusion

According to technical criteria, the final maps of AHP and TOPSIS demonstrate the north and center of the area around Andishmak and Dokuheh, especially alluvial thickness and alluvial material, which have the highest score among other factors, was the best place to achieve the desired goal. Furthermore, with every approaching to the south-west, i.e., Shush, and to the south and southeast, i.e., around the Karun and Shahid Beheshti agro-industrial companies, the distance from the place where to attain the goal is reduced. Among the findings, the distance from the river and the alluvial nature of the area have the most significant impact on the location of suitable artificial recharge areas.

Based on the criteria considered for the purpose, TOPSIS provided a more appropriate answer than AHP with a slight difference. This can be attributed to considering both the best and worst outcomes or the distance from the ideal.

Acknowledgements

I am grateful to all the dear ones who helped me in reaching the conclusion of this research. It is noted that the information in this article is from Behzad Zahedi's doctoral dissertation in the summer of 1400 on the subject of using GIS techniques and multivariate decision-making methods for the quantitative and qualitative assessment of groundwater in order to find suitable places for drilling wells and artificial feeding (case study: North Khuzestan) was extracted

References

- 1- Fazl avali, R., 1998. Investigation of the effects of flood spreading on artificial nutrition of groundwater aquifers in the Mosian plain using a three-dimensional model" *Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture*, Tehran.
- 2- Ghodsipour, H., 2008. Analytical Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University of Technology, Tehran.
- 3- Hekmatpour, M., Feyznia, S., Ahmadi, H. and Khalilpour, A., 2007. Zoning of suitable areas for artificial feeding of Varamin plain with the help of GIS and decision making system (DSS) *Journal of Environmental Year*, 33, 42.

- 4- Ramalingam. M. and Santhakumar. A., 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS developmennt.* from <http://geospatialmedia.net>



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



شناسایی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی به روش تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)

بهزاد زاهدی^۱، محمدحسین پورمحمدی^{۲*}، حسین اسلامی^۳، احسان دریگوند^۴ و محسن سلیمانی یابرساد^۵

- ۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
- ۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران (purmohammadimohammadhosin@gmail.com).
- ۳- استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
- ۴- استادیار گروه مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.
- ۵- گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی حیاتی است که از نظر کمی و کیفی متغیر است. افزایش شهرنشینی و جمعیت توسعه کشاورزی، فشار زیادی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی وارد می‌کند. بنابراین احیا و بهره‌برداری بهینه متناسب با توان آبخوان‌ها یکی از روش‌های حل چالش‌های ناشی از کمبود منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در آماده‌سازی لایه‌های موضوعی مختلف برای دستیابی به مناطق بالقوه تغذیه آب زیرزمینی ایفا می‌کند. در این تحقیق برای شناخت پهنه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت دزفول-اندیمشک از دو روش AHP و TOPSIS استفاده گردید. معیارهای مورد نظر در این تحقیق شامل ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی می‌باشد. پس از تهیه نقشه‌های لازم و هم‌پوشانی آن‌ها در نرم‌افزار GIS لایه‌ها بررسی و مکان‌های مناسب تعیین گردید. طبق نتایج به‌دست آمده مناطق شمالی و مرکزی با توجه به معیارها مکان مناسب‌تری برای تغذیه مصنوعی هستند. برای مقایسه این دو روش درصد مساحت‌هایی را که هر کدام از آن‌ها در دسته‌های عالی، خوب، متوسط و ضعیف در برمی‌گیرند محاسبه گردید. برای روش AHP به ترتیب 9/83، 30/53، 30/15 و 29/49 درصد و برای روش TOPSIS به ترتیب 20/31، 28/47، 27/48 و 23/74 درصد به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: AHP, TOPSIS، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی.

مقدمه

آب، مهم‌ترین راهکارهای مدیریت منابع آب به‌شمار می‌روند (Ghahari and Pakparvar, 2007).

به‌منظور جبران کسری مخازن آب زیرزمینی و متعادل نگه‌داشتن تراز آن، نیاز به مدیریت آب زیرزمینی از طریق کاهش مصرف و یا افزایش تغذیه دارد. پروژه‌های تغذیه مصنوعی، به‌عنوان یک مکانیزم، زمینه حفاظت از آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از افت سفره‌ها در اثر استخراج بیش از حد را فراهم می‌کند. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از اوایل قرن ۱۹ در اروپا و در اواخر این قرن در آمریکا آغاز شد. از آن به بعد، اینکار در سطح جهان گسترش پیدا نموده است (Nirmala et al., 2011). از دیدگاه عمومی، تغذیه مصنوعی فعالیتی است بر مبنای وارد کردن آب به داخل یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی، به‌گونه‌ای که استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت، به‌وسیله ایجاد تأسیسات اضافی یا اعمال تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه قابل حصول باشد. تغذیه مصنوعی دشت‌ها به روش‌های مختلف از جمله روش پخش سیلاب، استفاده از

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع بسیار مهم تأمین آب شیرین در جهان به‌شمار می‌رود (Sargaonkar, et al., 2011). تغییرات آب و هوا تأثیر قابل‌توجهی بر سیستم‌های زمین دارد که در دهه‌های اخیر از طریق کمبود شدید آب مشهود است. با توجه به افزایش سریع جمعیت، صنعتی شدن و کشاورزی، تقاضا برای آب افزایش یافت که به شدت بر تنش آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشت. بنابراین مسئله حفظ و نگهداری منابع آب موجود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chezgi et al., 2016; Venkatesan et al., 2019). انتظار می‌رود امنیت آب بزرگترین چالش در قرن ۲۱ باشد (Snyder, 2019). مشکلات ناشی از بروز خشکسالی‌ها از یک‌سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب خصوصاً بهره‌گیری از سیلاب‌ها را ضروری می‌سازد. در این رابطه، جمع‌آوری آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح از

مکان تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است برای مثال در حوزه وایگای در تامیل نادو هند (Abijith et al., 2020) از روش AHP برای شناخت مناطق مناسب تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. مرفولوژی سطح زمین مانند زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی، انواع خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، زهکشی، شکستگی به‌عنوان عوامل مؤثر مستقیم و غیر مستقیم در تغذیه آب زیرزمینی انتخاب شدند. همچنین Deepa et al (2016) مناطق بالقوه تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در زیر حوزه مانیموکها در تامیل نادو هند بررسی نمودند. با استفاده از GIS و سنجش از دور لایه‌های موضوعی و لایه تلفیقی جدید تهیه شد. نقشه نهایی مناطق مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی را نشان داد. در منطقه لاتور در ماهاراشترا در هند Sagar Navane و Nalini Sahoo (2020) برای شناسایی سایت‌های تغذیه آب زیرزمینی از سنجش از دور و ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کردند. لایه‌های موضوعی مختلف با استفاده از ArcGIS تولید شدند و با یک روش چند متغیره به نام تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفتند. لایه‌های موضوعی انتخاب شده با روش ترکیبی خطی وزنی برای محاسبه شاخص پتانسیل آب زیرزمینی (GWPI) و شاخص تغذیه آب زیرزمینی (GWRI) ادغام شدند. بر اساس GWPI محاسبه شده، منطقه مورد مطالعه به پنج پهنه بالقوه آب زیرزمینی به نام‌های «فقیر»، «متوسط»، «خوب»، «بسیار خوب» و «عالی» ترسیم شد که به ترتیب ۱/۶۱ درصد، ۷۱/۹۹ درصد، ۲۲/۷۷ درصد، ۳/۵۴ و ۰/۰۹ درصد را پوشش می‌دهد. همچنین مشاهده شد که منطقه مورد مطالعه دارای مساحت ۵۹۵۷/۸۹ کیلومتر مربع منطقه تغذیه متوسط است. ۳۴ سایت تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دیگر برای مدیریت مؤثر آب زیرزمینی شناسایی شده است. در منطقه‌ای در سریلانکا (Senanayake et al., 2016) برای تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی، با به‌کارگیری GIS و ترکیب لایه‌های مربوط به پارامترهای شیب، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، پوشش زمین، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و پوشش خاک نتیجه‌گیری نمودند که به‌کارگیری این روش، بستری مناسب از لحاظ زمانی و همچنین هزینه و عملیات در زمینه تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی ایجاد می‌کند. همچنین Zarie et al (2019) با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP مناسب‌ترین عرصه‌ها برای اجرای عملیات روش‌های تغذیه مصنوعی در استان یزد، شناسایی کردند. بدین منظور ابتدا داده‌های ۱۱ پارامتر تأثیرگذار شیب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، هدایت الکتریکی، کاربری اراضی، میزان آب قابل دسترس، قابلیت انتقال آبخوان، پوشش گیاهی، هدایت هیدرولیکی و لایه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه در محیط مناطق GIS آماده سازی گردید و سپس با به‌کارگیری مدل AHP وزنی تمامی ۱۱ لایه وزن‌دهی شدند و سپس تلفیق شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که در حدود ۲۶/۴ درصد کل مساحت از لحاظ انجام تغذیه

چاه‌های تغذیه و حوضچه‌های تغذیه انجام می‌شود. یکی از موارد مهم در موفقیت اجرای عملیات تغذیه مکان‌یابی بهینه و تعیین محل مناسب است. در تعیین دقیق محل‌های مناسب، استفاده از اطلاعات مؤثر در این زمینه، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوطه و در نهایت تجزیه و تحلیل نتایج دارای اهمیت زیادی است. بدین منظور استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بر پایه GIS به دلیل اینکه می‌توان با استفاده از آن‌ها سیستم‌های پیچیده‌ای را با انعطاف بیشتری مدل‌سازی نمود و همچنین امکان استفاده از اطلاعاتی که قطعیت ندارد را نیز به کاربر می‌دهد دارای کاربری بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک است. داده‌های سنجش از دور، هنگامی که با نقشه‌های پیمایشی معمولی استفاده می‌شود، در شناسایی مناطق تغذیه آب‌های زیرزمینی بسیار مفید است (Muralidhar et al., 2000; Harinarayanan et al., 2000). در این میان روش‌های AHP و TOPSIS برای پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توانند برای شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی به‌کار گرفته شوند.

AHP عینیت ریاضی را برای ترجیحات ذهنی فراهم می‌کند که در تصمیم‌گیری از فرد یا گروه اجتناب‌ناپذیر است. در اصل، AHP با توسعه اولویت‌های جایگزین و معیارهایی که برای ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، کار می‌کند (Saaty, 2001). فرایند تحلیل سلسله مراتب (AHP) به‌طور گسترده در تخصیص وزن (w) به لایه‌های مختلف موضوعی کاربرد (Chowdhury et al., 2009; Machiwal et al., 2011;) (Fashae et al., 2014; Kaliraj et al., 2014; Abrams et al., 2018). روش AHP مجموعه داده‌های متعدد را در یک ماتریس مقایسه زوجی تجزیه و تحلیل می‌کند، که برای محاسبه میانگین هندسی و وزن نرمال پارامترها استفاده می‌شود (Chowdhury et al., 2010).

تعیین ارجحیت با استفاده از میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (TOPSIS) محسوب می‌شود. Hwang و Yoon (1981) TOPSIS را برای اولین بار توسعه دادند. این روش به‌طور گسترده‌ای برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. با این حال به دلیل ناتوانی در مدیریت عدم قطعیت ذاتی و کاهش دقت ناشی از اعمال نظر تصمیم‌گیر، به‌صورت اعداد قاطع مورد نقد است (Amiri., 2010). در روش TOPSIS قضاوت‌های شخصی به‌صورت اعداد قاطع ارائه می‌شوند که این باعث می‌شود در بسیاری از موارد عملی نتایج اولویت‌بندی این مدل دقیق نبوده و مطلوب تصمیم‌گیر نباشد (Chan and Kumar, 2017).

در این تحقیق سعی بر آن شده است تا با استفاده از دو روش AHP و TOPSIS که یکی از روش‌های چند شاخصه MADM است و در نظر گرفتن معیارهای متفاوت محل مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت دزفول-اندیمشک تعیین گردد. تحقیقات زیادی در جهان با استفاده از این دو روش برای دست‌یابی به بهترین

مواد و روش‌ها

این بخش منابع داده‌ها، فرمت‌ها و روش‌های پردازش داده‌ها را برای هر پارامتر مورد استفاده در ارزیابی مناطق احتمالی تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد بحث قرار می‌دهد. در این تحقیق از روش اسنادی و بررسی‌های کتابخانه‌ای، بررسی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین‌شناسی، در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی، نقشه همباران تهیه گردید. به کمک تصاویر ماهواره‌ای Google Earth محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و حدود آن مشخص گردید. سپس مدل ارتفاع رقومی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه گردید. بعد از آن تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 به صورت مواردی که در ادامه ذکر می‌شود انجام گرفت. مدل ارتفاع رقومی منطقه به نه کلاس ارتفاعی طبقه‌بندی گردید. طبقات مذکور نمایان‌گر پهنه‌های مطالعاتی در منطقه می‌باشند که محاسبات بعدی در هر کدام از این طبقات انجام گرفت. لایه لیتوژی از روی نقشه زمین‌شناسی محدوده استخراج شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز از طریق نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده ETM⁺ در محیط نرم‌افزار ENVI 4.5 تهیه گردید. نقشه قابلیت انتقال باتوجه به آزمون پمپاژ محدوده در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 به روش IDW درونیابی شد. ضخامت آبرفت از روی اطلاعات سنگ کف و سطح آب محدوده مطالعاتی به دست آمد و نقشه آن نیز با روش IDW در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 درونیابی و ترسیم گردید. نقشه فاصله از جاده و فاصله از رودخانه نیز با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری اراضی ترسیم شدند. تمامی اطلاعات مورد نیاز برای ترسیم این نقشه‌ها از داده‌های دریافتی سازمان‌های مربوطه تا پایان سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ می‌باشد.

مناسب تشخیص داده شد و حدود نه درصد کل استان جهت انجام تغذیه نامناسب می‌باشند.

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت دزفول - اندیمشک در پایین‌دست سد مخزنی دز و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال اهواز واقع شده و دارای مساحتی در حدود ۲۴۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه دز از شمال وارد دشت می‌شود و با پیوستن رودخانه‌های فرعی به آن به سمت جنوب به مسیر خود ادامه می‌دهد و در حوالی حرمله از دشت خارج می‌گردد و عمده زه‌کشی آبخوان توسط آن صورت می‌گیرد. شیب عمومی دشت از شمال به جنوب بوده و برآمدگی‌هایی در حوالی هفت تپه، دشت را از قسمت جنوبی جلگه خوزستان جدا می‌سازد.

واحدهای رخنمون یافته در منطقه به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از: گروه بنگستان، سازند گورپی، سازند پابده، سازند امیران، سازند تله زنگ، سازند کشکان، سازند آسماری، سازند آسماری-شهبازان، سازند گچساران، سازند میشان، سازند آغاچاری، بخش لهربری، سازند بختیاری و رسوبات عهد حاضر. رسوبات آبرفتی در منطقه و سرتاسر دشت دزفول - اندیمشک وجود دارد و بسته به وجود رودخانه و ارتفاعات قابل فرسایش مقدار ضخامت و گسترش آن‌ها نیز در نقاط مختلف با یکدیگر متفاوت است. متوسط سالیانه ریزش‌های جوی در محدوده مطالعاتی ۴۶۴/۸۵ میلی‌متر است و متوسط درجه حرارت دشت برابر ۲۵/۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین باتوجه به اقلیم نمای دومارتن می‌توان گفت اقلیم منطقه در محدوده نیمه خشک قرار گرفته است آبخوان آبرفتی دزفول - اندیمشک جزئی از دشت دزفول - اندیمشک می‌باشد. دشت دزفول - اندیمشک به‌عنوان وسیع‌ترین دشت در حوزه آبریز دز و وسیع‌ترین دشت استان خوزستان است که مناطق کوهستانی شمالی تا مناطق کم ارتفاع مرکز استان را در برمی‌گیرد. شکل (۱) تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



Fig. 1- Aerial image of the study area
شکل ۱- تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه

اهمیت نسبی هر پارامتر در مکان‌یابی محل مناسب تغذیه مصنوعی انجام گرفت. برای انجام مقیاس‌های جفتی از مقیاس ۱-۹ ساعتی استفاده شده است. بررسی پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط نه نفر از کارشناسان خبره در زمینه آب‌های زیرزمینی از جمله کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان (دو نفر دکترای آب زیرزمینی، سه نفر کارشناسی ارشد آب زیرزمینی، دو نفر دکترای هیدرولوژی و دو کارشناس ارشد منابع آب) و وارد کردن اطلاعات آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice منجر به دست‌یابی به وزن‌های نهایی مطابق شکل (۳) برای معیارهای مدنظر شد. نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ نیز برای این قسمت به دست آمد که عدد بسیار مطلوبی است. مطابق خروجی‌های نرم‌افزار Expert Choice معیارهای فنی تأثیر بیشتری در مکان‌یابی دارند. جدول (۲) وزن‌های نهایی به دست آمده از نرم‌افزار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در این جدول آبرفت و قابلیت انتقال بیشترین وزن و سازند سخت کمترین امتیاز را دارند. سپس با توجه به وزن هر معیار لایه‌های AHP آن‌ها را ترسیم گردید. بدین صورت که پس از ترسیم نقشه ابتدایی آن‌ها با ضرب کردن هر کدام از نقشه‌ها توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 نقشه AHP هر کدام از معیارها به دست آمد.

بدیهی است با توجه به نوع پژوهش، پارامترهای تأثیرگذار می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شوند. بنابراین برای مولفه‌های مختلف با توجه به اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی، باید بالاترین ارجحیت و وزن‌دهی را در نظر گرفت. وزن‌دهی به سایر عوامل به نسبت کاهش تأثیراتشان در مکان‌یابی کمتر می‌شود (جدول ۱). به عبارت دیگر مؤثرترین عامل در مکان‌یابی از بیشترین وزن‌دهی برخوردار خواهد بود.

نتایج و بحث

روش AHP

در این تحقیق شش پارامتر قابلیت انتقال، ضخامت آبرفت، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده و لیتولوژی از میان عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد برای تغذیه آب‌های زیرزمینی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. تهیه لایه‌های اطلاعاتی در امر مکان‌یابی، اصلی‌ترین قسمت تحقیق است. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۲) آورده شده است.

وزن‌دهی به معیارها

برای تعیین وزن لایه‌ها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک بردار ویژه استفاده شده است. این وزن‌دهی بر اساس

جدول ۱- وزن‌دهی به عوامل به صورت مقایسه زوجی بر اساس ارجحیت (Ghodsipour, 2008)

Table 1- Weighting factors as a pairwise comparison based on preference (Ghodsipour, 2008)

numerical value	Preferences (oral judgment)
9	Extremely preferred
7	Very strongly preferred
5	Strongly preferred
3	Moderately preferred
1	Equally preferred
8,6,4,2	Preferences between strong distances

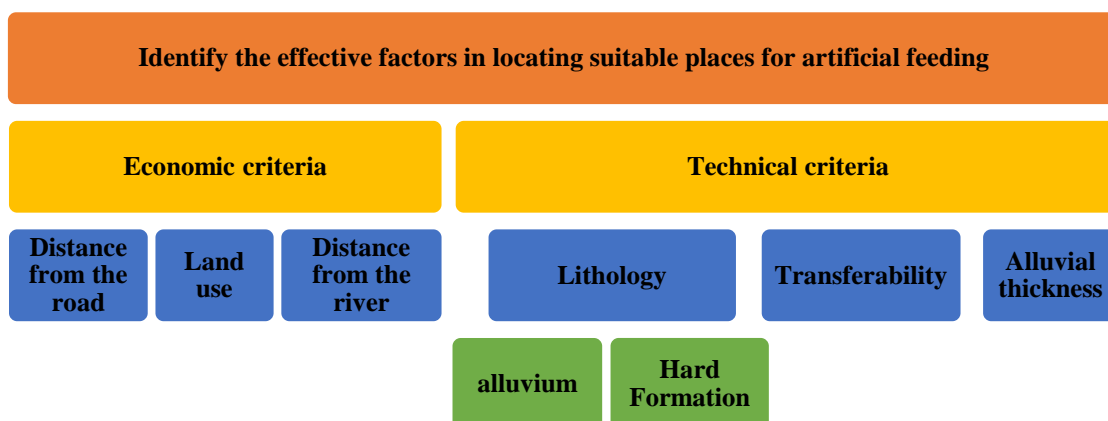


Fig. 2- Hierarchical diagram of recognizing the effective factors in locating suitable places for artificial feeding

شکل ۲- نمودار سلسله مراتبی شناخت عوامل مؤثر در مکان‌یابی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی

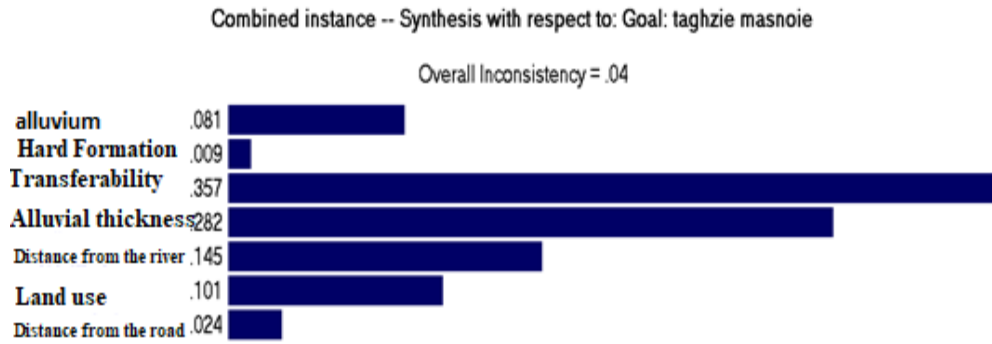


Fig. 3- Expert Choice software output
 شکل ۳- خروجی نرم افزار Expert Choice

جدول ۲- وزن های نهایی معیارها

Table 2- Final weights of criteria

Factor	Final weight
Transferability	0.375
Alluvial thickness	0.282
alluvium	0.81
Hard Formation	0.009
Distance from the river	0.145
Land use	0.101
Distance from the road	0.024

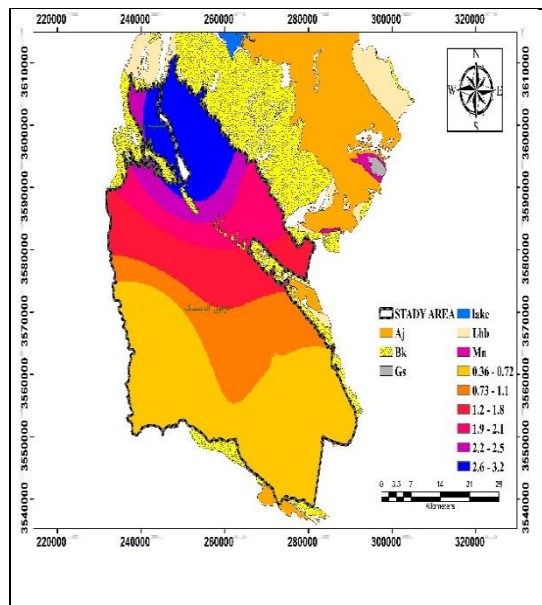


Fig. 4- AHP lithology map
 شکل ۵- نقشه AHP قابلیت انتقال

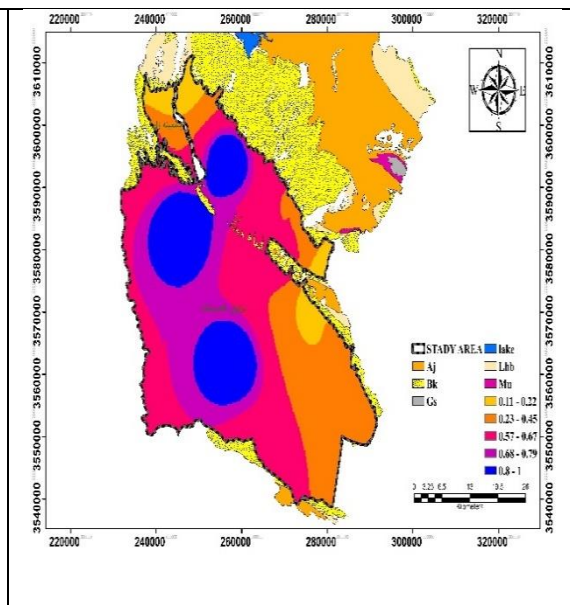


Fig. 5- AHP map transferability
 شکل ۴- نقشه AHP لیتولوژی

آبرفت های دانه درشت بهتر ایجاد می شود. در قسمت های شمالی و مرکزی محدوده این معیار از ارزش خوبی برخوردار است (شکل ۴).

لیتولوژی

در این بررسی معیار لیتولوژی به دو زیر معیار آبرفت و سازند سخت تقسیم شد. تشکیل آبخوان در بخش های آبرفتی به ویژه

طبق نقشه هرچه فاصله از بستر رودخانه کم‌تر باشد مکان بهتری برای ایجاد تغذیه مصنوعی است (شکل ۷).

کاربری اراضی

در محدوده آبخوان بخش عمده اراضی به زمین‌های کشاورزی اختصاص پیدا کرده است. آبیاری زمین‌های کشاورزی خود عامل تقویت تغذیه آبخوان به‌شمار می‌رود. بعد از زمین‌های کشاورزی، نواحی شهری و مسکونی مساحت قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. تملک زمین‌ها در نواحی شهری امکان‌پذیر نیست. تملک باغ‌های منطقه نیز از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نبوده و بیشترین امتیاز ابتدا به مراتع و زمین‌های بی استفاده و بایر و در رتبه بعدی به مناطق نزدیک مسیل‌ها و رودخانه‌ها و بعد زمین‌های کشاورزی اختصاص پیدا کرده است (شکل ۸).

فاصله از جاده

در حاشیه و حریم جاده‌ها شریان‌های حیاتی مانند خطوط انتقال گاز، برق، سوخت و فیبر نوری وجود دارد. همچنین در محل تلاقی جاده‌ها با رودخانه پل‌ها وجود دارد. به‌منظور جلوگیری از آسیب به شریان‌های حیاتی در اثر بالا آمدن تراز آب زیرزمینی در نواحی تغذیه‌علی‌الخصوص جلوگیری از مستغرق شدن پایه‌های پل‌ها، از این منظر محل تغذیه مصنوعی هر چه قدر فاصله بیشتری با جاده داشته باشد مناسب خواهد بود (شکل ۹).

قابلیت انتقال

قابلیت انتقال آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی معیار مهمی در انتخاب محل مناسب تغذیه مصنوعی و مطالعه‌های آب زیرزمینی است. هر چه قدر میزان این پارامتر در محلی از آبخوان بیشتر باشد، آن محل برای تغذیه آب زیرزمینی مناسب خواهد بود. قابلیت انتقال محدوده مورد مطالعه بین حدود ۲۳۸ تا ۸۵۰ متر مربع در شبانه روز متغیر است. بهترین مقدار این معیار در بخش شمالی محدوده است (شکل ۵).

ضخامت آبرفت

اگر ضخامت غیر اشباع آبرفت بیشتر باشد فرصت تصفیه آب تغذیه شده تا رسیدن به ناحیه اشباع آبخوان بیشتر خواهد بود. ضخامت بیشتر آبرفت، قابلیت بالایی برای ذخیره آب تغذیه شده خواهد داشت. ضخامت زیاد نواحی تاثیر مثبتی بر کاندید شدن آن نواحی در انتخاب محل مناسب جهت تغذیه مصنوعی دارد. در قسمت‌های شمالی و غربی محدوده این معیار از ارزش خوبی برخوردار است (شکل ۶).

فاصله از رودخانه

بستر رودخانه در دشت، محل مناسبی برای ایجاد بند تاخیری است تا از طریق آبرفت‌های بستر آب سطحی وارد آبخوان شود.

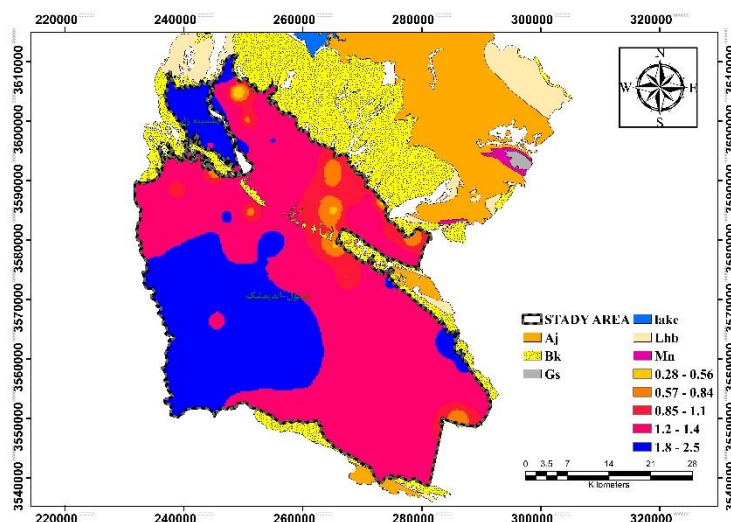


Fig. 6- AHP map alluvial thickness

شکل ۶- نقشه AHP ضخامت آبرفت

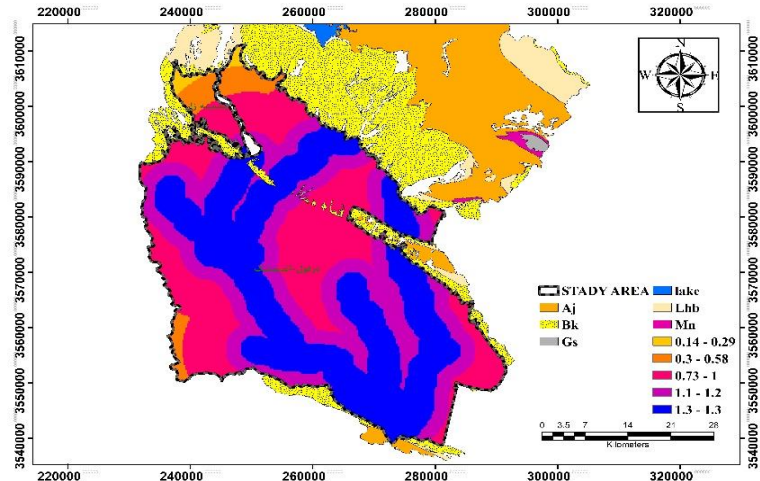


Fig. 7- AHP map distance from the river
 شکل ۷- نقشه AHP فاصله از رودخانه

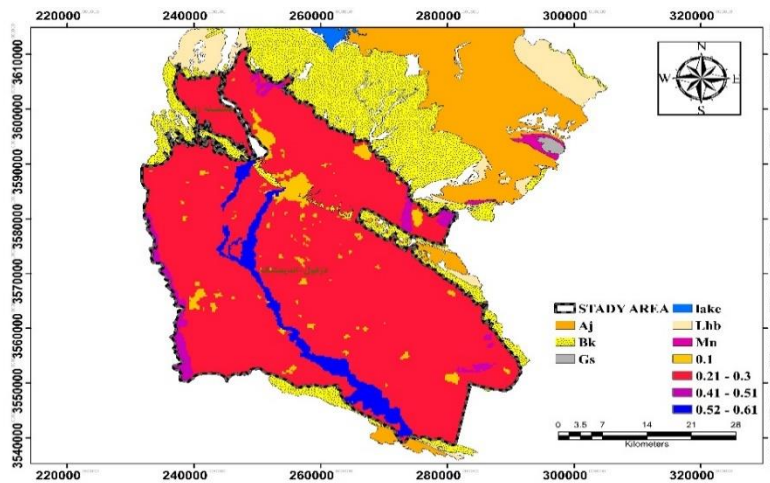


Fig. 8- AHP Land Use Map
 شکل ۸- نقشه AHP کاربری اراضی

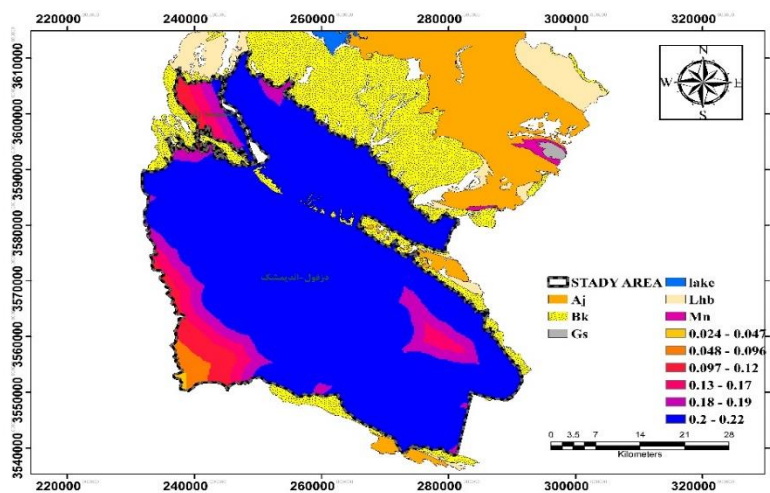


Fig. 9- AHP Land Use Map
 شکل ۹- نقشه AHP فاصله از جاده

پرسشنامه‌های ارائه شده به خبرگان جدول ماتریس تصمیم تشکیل شد و پس از محاسبات جدول ماتریس میانگین و سپس نرمال تشکیل شد. پس از آن با استفاده از روش AHP وزن‌ها مشخص شد و لایه‌ها وزن‌دهی شدند (جدول ۳). سپس لایه‌های مثبت و منفی در GIS ترسیم گردید و در نهایت با تفریق این ۲ لایه توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 لایه نهایی بهترین مکان تغذیه مصنوعی بر اساس روش TOPSIS نیز به‌دست آمد.

پس از مشخص شدن اوزان نهایی و تهیه نقشه مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارها با ادغام این نقشه‌ها توسط ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS 10.5 نقشه نهایی AHP مطابق شکل (۱۰) حاصل شد.

روش TOPSIS

در این تحقیق به منظور مقایسه و دستیابی به نتایج بهتر از روش TOPSIS نیز برای نیل به هدف استفاده گردید. بر اساس

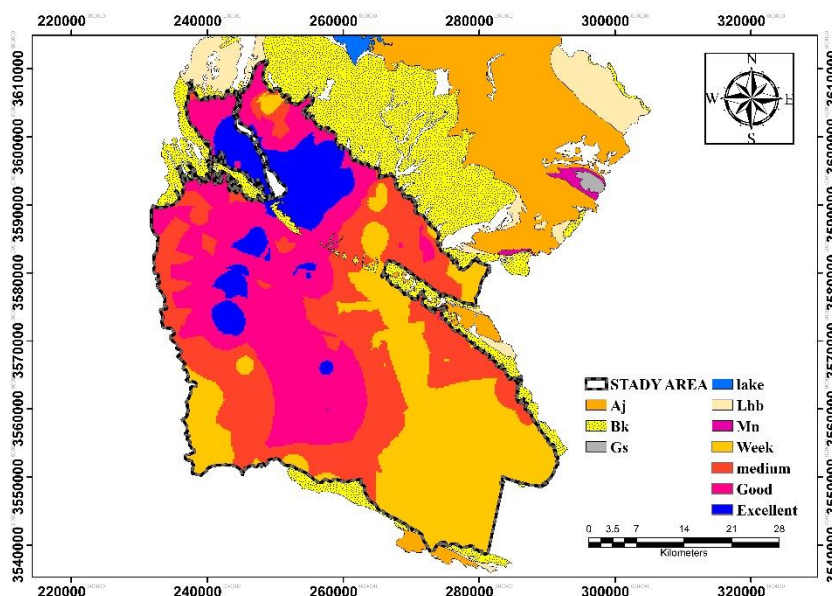


Fig. 10- The final AHP map

شکل ۱۰- نقشه نهایی AHP

جدول ۳- ماتریس وزن‌ها

Table 3- Weight matrix

Distance from road	Land use	Distance from the river	Hard Formation	alluvium	alluvial thickness	Ability to transfer	Weight matrix
0.0194	0.0184	0.0117	0.0016	0.5693	0.1982	0.2509	Excellent
0.0111	0.0369	0.0067	0.0033	0.4428	0.1541	0.1951	Good
0.0038	0.0553	0.005	0.0049	0.3163	0.1101	0.1394	medium
0.0028	0.0738	0.0017	0.2299	0.1898	0.0661	0.0836	Weak

$$A^- = \{(\min V_{ij}|i \in j), (\max V_{ij}|i \in j) | i=1, 2, \dots, m\} =$$

$$\{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

$$A^+ = \{(\max V_{ij}|i \in j), (\min V_{ij}|i \in j) | i=1, 2, \dots, m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\} \quad (1)$$

$$\text{گزینه ایده‌آل مثبت} = V_n^+$$

محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

راه‌حل ایده‌آل مثبت راه‌حل یا گزینه‌ای است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه و از لحاظ معیارهای هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه‌حل ایده‌آل منفی راه‌حلی است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است. فاصله از ایده‌آل منفی و مثبت از روابط زیر به‌دست می‌آید (رابطه ۱). در این روش تمامی معیارها به جز سازند سخت و فاصله از رودخانه به‌عنوان ایده‌آل منفی در نظر گرفته شدند.

جدول (۴) فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی را نشان می‌دهد. شکل (۱۱) نیز نشان دهنده نقشه فاصله از این ایده‌آل‌هاست. همان‌گونه که از نقشه‌ها نیز مشخص است در قسمت‌های شمالی

زیر شاخص نزدیکی به ایده‌آل را نشان می‌دهد (رابطه ۲) که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. شکل (۱۲) نقشه نهایی به روش TOPSIS را نشان می‌دهد (از آن جا که نرخ تبادل بین معیارها معمولاً مقداری غیر از واحد است بی مقیاس‌سازی انجام می‌شود).

$$CL_i = d_i^+ / d_i^+ + d_i^- \quad i=1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

$$0 \leq CL_i \leq 1$$

و مرکزی دشت بیشترین نزدیکی به ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی را داریم.

محاسبه شاخص نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل

گزینه برتر گزینه‌ای است که کم‌ترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگتری داشته باشد به‌عنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود. رابطه

جدول ۴- فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

Table 4- Distance from positive and negative ideals

distance size	Positive	negative
Excellent	0	0.4392
Good	0.1466	0.2927
medium	0.2928	0.1466
Weak	0.4392	0

جدول ۵- شاخص نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل

Table 5 - Index of proximity to the ideal solution

Name	Weak	medium	Good	Excellent
Result	0	0.3333	0.6663	1

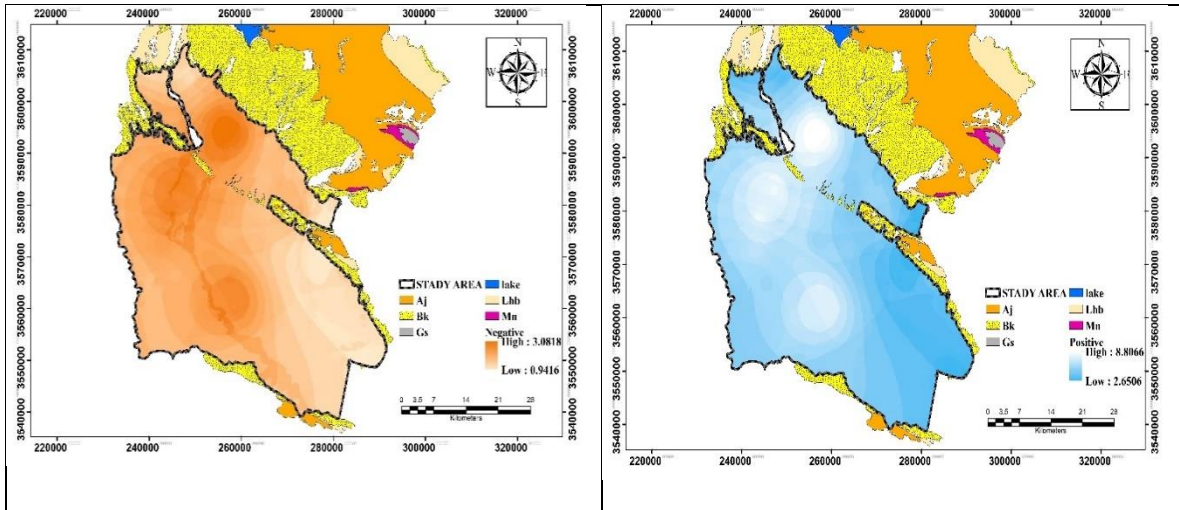


Fig. 11- A- Proximity to the negative ideal, B- Proximity to the positive ideal

شکل ۱۱- الف- نزدیکی به ایده‌آل منفی، ب- نزدیکی به ایده‌آل مثبت

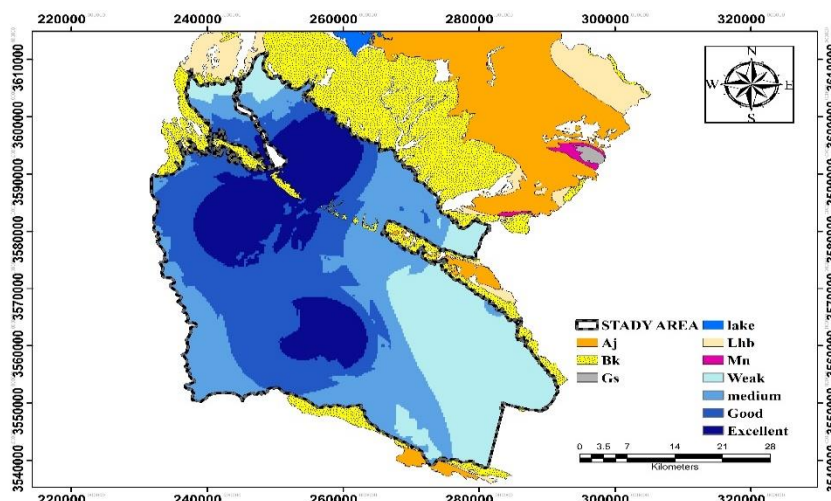


Fig 12- The final map by TOPSIS method
شکل ۱۲- نقشه نهایی به روش TOPSIS

جدول ۶- مقایسه دو روش

Table 6- Comparison of two methods

Criterion	AHP method		Criterion	TOPSIS method	
	Area (KM2)	Percentage of area		Area (KM2)	Percentage of area
Excellent	227.78	9.83	Excellent	470.67	20.31
Good	707.84	30.53	Good	459.63	28.47
medium	698.89	30.15	medium	639.90	27.48
Weak	683.71	29.49	Weak	550.26	23.74

درباره عالی تا خوب قرار گرفته است. در نهایت می‌توان ابراز داشت که استفاده از روش‌های چند معیاره AHP و TOPSIS می‌تواند پاسخ مناسبی برای بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی ارائه نماید. در این میان معیارهای در نظر گرفته شده می‌تواند عامل ایجاد تفاوت در نتایج نهایی برای مناطق مختلف باشد. این تحقیق با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده و پاسخگویی بسیار دقیق آن کارایی بالایی برای استفاده از آن در انجام سایر مطالعه‌های آب زیرزمینی (علل خصوص سازمان آب و برق خوزستان) در محدوده دشت دزفول-اندیشک دارد.

سپاسگزاری

از تمامی عزیزانی که در به نتیجه رسیدن این تحقیق بنده را یاری نمودند سپاسگزارم. خاطر نشان می‌گردد اطلاعات این مقاله از رساله دکتری اینجانب بهزاد زاهدی در تابستان ۱۴۰۰ با موضوع به‌کارگیری روش‌های GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره برای ارزیابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به‌منظور یافتن مکان‌های مناسب حفر چاه و تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: شمال خوزستان) استخراج گردید.

نتیجه‌گیری

به‌منظور مقایسه این دو روش مساحت‌هایی را که هر کدام از آن‌ها در دسته‌های عالی، خوب، متوسط و ضعیف در برمی‌گیرند محاسبه گردید و در جدول (۶) قرار داده شد. همان‌طور که در نقشه‌های نهایی AHP و TOPSIS مشاهده می‌شود شمال و مرکز محدوده در حوالی اندیشمک و دوکوهه طبق معارهای فنی به خصوص ضخامت آبرفت و جنس آبرفت که بیشترین امتیاز را در بین سایر عوامل دارند بهترین محل برای دسترسی به هدف مورد نظر بوده و هر چه به سمت جنوب‌غرب یعنی شوش و جنوب و جنوب‌شرق یعنی اطراف شرکت‌های کشت و صنعت کارون و شهید بهشتی برویم از مکان مناسب برای دستیابی به هدف فاصله گرفته می‌شود. باتوجه به نتایج بدست آمده فاصله از رودخانه و آبرفتی بودن منطقه بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی دارند.

به‌طور کلی باتوجه به معیارهای در نظر گرفته شده برای هدف مورد نظر روش TOPSIS با اختلاف ناچیزی پاسخ مناسب‌تری در مقایسه با روش AHP داد و این می‌تواند به در نظر گرفتن هر دو حالت بهترین و بدترین پاسخ یا فاصله از ایده‌آل مربوط باشد. بر اساس روش AHP ۹۳۵/۶۲ کیلومترمربع یعنی چیزی حدود ۴۰/۳۶ درصد مساحت محدوده در دسته عالی تا خوب و بر اساس روش TOPSIS ۱۱۳۰/۵ یعنی ۴۸/۷۸ درصد مساحت

References

- 1- Abijith, D., Saravanan, S., Singh, L., Jacinth, J., Saranya, T., K.S.S. and Parthasarathy, B., 2020. GIS-based multi-criteria analysis for identification of potential groundwater recharge zones - a case study from Ponnaniyar watershed, Tamil Nadu, India, *Hydro Research*, 3(4), 1-14
- 2- Abrams, William, Eman Ghoneim, Roger Shew, Todd LaMaskin, Khalid Al-Bloushi, Saber Hussein, Mostafa AbuBakr, Esam Al-Mulla, Meshgan Al-Awar, and Farouk El-Baz. "Delineation of groundwater potential (GWP) in the northern United Arab Emirates and Oman using geospatial technologies in conjunction with Simple Additive Weight (SAW), Analytical Hierarchy Process (AHP), and Probabilistic Frequency Ratio (PFR) techniques." *Journal of Arid Environments* 157 (2018): 77-96. from <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.005>.
- 3- Amiri, M.P., 2010. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37, 6218-6224.
- 4- Chan, F.T.S. and Kumar, N., 2017. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417-431.
- 5- Chezgi, J., Pourghasemi, H.R., Naghibi, S.A., Moradi, H.R. and Kheirkhah Zarkesh, M., 2016. Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto International* 31 (6), 628-646. (In Persian)
- 6- Chowdhury, A., Jha, M.K., Chowdary, V.M. and Mal, B.C., 2009. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), pp.231-250., from <https://doi.org/10.1007/s10708-019-09981>.
- 7- Chowdhury, A., Jha, M.K. and Chowdary, V.M., 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*, 59, pp.1209-1222., from <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0110-9>.
- 8- Deepa, S., Venkateswaran, S., Ayyandurai, R., Kannan, R. and Vijay Prabhu, M., 2016. Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, pp.1-13.
- 9- Fashae, O.A., Tijani, M.N., Talabi, A.O. and Adedeji, O.I., 2014. Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach. *Applied Water Science*, 4, pp.19-38., from <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0127-9>.
- 10- Ghahari, GH. and Pakparvar, M., 2007. Effect of floodwater spreading and consumption on groundwater resources in Gareh Bygone plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14 (3), 368-390. (In Persian)
- 11- Harinarayanan, P., Gopalakrishna, G. and Balasubramanian, A., 2000. Remote sensing data for groundwater development and management in Kerala Pura watersheds of Cauvery Basin, Karnataka, India. *Indian Mineral*, 34, 11-17.
- 11- Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 12- Kaliraj, S., Chandrasekar, N. and Magesh, N., 2014. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (4), 1385-1401.
- 13- Machiwal, D., Jha, M.K. and Mal, B.C., 2011. Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *Water resources management*, 25, pp.1359-1386., from <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9749-y>.

- 14-Muralidhar, M., Raju, K., Raju, K. and Prasad, J., 2000. Remote sensing applications for the evaluation of water resources in rainfed area, Warangal district, Andhra Pradesh, *Indian Mineral*, 34, 33–40
- 15-Nirmala, R., Shankara, M. and Nagaraju, D., 2011. Artificial Groundwater Recharge Studies in Sathyamangalam and Melur Villages of Kulathur Taluk, Pudukottai District, Chennai, Using GIS Techniques. *Desalination*, 1(7), 1592- 1608.
- 16-Saaty, T. L. and Vargas, L. G., 2001. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 333.
- 17-Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- 18-Navane, V.S. and Sahoo, S.N., 2021. Identification of groundwater recharge sites in Latur district of Maharashtra in India based on remote sensing, GIS and multi-criteria decision tools. *Water and Environment Journal*, 35(2), pp.544-559..
- 19-Sargaonkar, A., Rathi. B. and Baile. A., 2011. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. *Environmental Earth Sciences*, 62, 1099–1108
- 20-Senanayake.,I.P., Dissanayake, D.M.D.O.K., Mayadunna, B.B. and Weerasekera, W.L., 2016. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *Geoscience Frontiers*, 7(1):115-124.
- 21-Snyder, Sh., 2019. *Water In Crisis - Spotlight India*, from <https://thewaterproject.org/water-crisis/water-in-crisis-india>
- 22-Venkatesan, G., Pitchaikani, S. and Saravanan, S., 2019. Assessment of groundwater vulnerability using GIS and DRASTIC for upper Palar River basin, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 94, pp.387-394.
- 23- Zarie, A., Zarie, S., Nekoie esfahani, A., Kakapur, V. and Kaneani, B. 2019. Locating suitable lands for artificial feeding of underground water tables using regional data and satellite images in Yazd province. *Environmental Science Studies*, 4th period, 1st issue, 1130-1141. (In Persian).