Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Summer 2025: Vol 3, Issue 2, 115-132
https://doi.org/10.82185/tsws.2025.1216169

Research Article

Potential zoning of applicable areas for modern irrigation systems development using AHP and GIS methods in the Zaydoon Poldasht Plain-West Azerbaijan Province

Ahmad Abdullahpur, Sakineh Jabbarpour*, Rostam Aghazadeh

Department of Agricultural Management, Mak.C., Islamic Azad University, Maku, Iran

Corresponding Author email: sakineh.jabarpoor@iau.ac.ir

© The Author (s) 2025

Received: 26 Jun 2025 Revised: 11 Aug 2025 Accepted: 06 Oct 2025 Published: 12 Oct 2025

Extanded Abstract

Introduction

Efficient water resource management is critical in arid and semi-arid regions, particularly for agriculture, which is the largest consumer of freshwater. Iran faces severe water scarcity, necessitating innovative approaches to enhance water productivity and ensure food security. Modern irrigation systems, such as drip and sprinkler irrigation, offer significant potential for water savings and yield improvement. However, their successful implementation requires a comprehensive, spatially explicit assessment of biophysical and socio-economic conditions, as unplanned development can lead to inefficiency and resource degradation.
The Zaydoon Poldasht Plain in West Azerbaijan Province is a vital agricultural hub and hosts the largest horticultural complex in the Middle East. It faces critical challenges related to water availability, soil quality, and socio-economic factors. Sustainable water use for its extensive orchards is therefore essential. This research aimed to identify and zone suitable areas for modern irrigation system development in the Zaydoon Poldasht Plain by integrating Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) with Geographic Information Systems (GIS). The study provides a robust framework for sustainable agricultural planning and optimized water resource utilization.

Materials and Methods

Study Area: The study was conducted in the Zaydoon Poldasht Plain, West Azerbaijan Province, Iran, covering an area of approximately 32.37 km². This semi-arid region depends on irrigation, primarily from the Aras River and groundwater, to support its extensive orchards and field crops.
Data Collection and Criteria Selection: Biophysical and socio-economic data were collected from provincial organizations, including Agricultural Jihad, Regional Water, Natural Resources, and academic institutions. Based on a literature review and expert consultation, five main criteria and 11 sub-criteria were identified for modern irrigation system development:

- Water Characteristics: Quality (Electrical Conductivity - EC, Chloride - Cl^-) and quantity (available water yield).
- Soil and Land Properties: Texture, slope, salinity/sodicity.
- Climatic Conditions: Wind speed.
- Socio-Economic Factors: Land ownership, access to roads and markets, skilled labor.
- Cropping Pattern: Type of cultivated crops.

Methodology – AHP and GIS Integration: A hybrid methodology integrating the Analytical Hierarchy Process (AHP) with GIS was employed.

- AHP for Weighting: The AHP, a multi-criteria decision-making technique developed by Saaty, was used to determine the relative weights of the 11 sub-criteria. A panel of 36 provincial experts in agriculture and water

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Summer 2025: Vol 3, Issue 2, 115-132
https://doi.org/10.82185/tsws.2025.1216169

resources participated through structured pairwise comparison questionnaires. A Consistency Ratio (CR) of less than 0.1 was maintained, confirming the reliability of the expert judgments.

- GIS for Spatial Analysis and Mapping: Geospatial data for each sub-criterion were processed using ArcGIS. Each sub-criterion was converted into a reclassified raster layer based on suitability. The AHP-derived weights were then applied to these layers using a weighted overlay analysis in GIS to generate the final suitability map for modern irrigation system development.

Results and Discussion

AHP Weighting Results: The AHP analysis revealed the relative importance of the criteria and sub-criteria. Among the 11 sub-criteria, soil texture, available water yield, water electrical conductivity (EC), and wind speed were identified as the most critical factors for modern irrigation system development in the Zaydoon Plain. Soil texture affects water infiltration, while water availability and quality directly influence irrigation feasibility. High wind speeds can reduce sprinkler irrigation efficiency due to increased evaporation. All Consistency Ratios (CR) were below 0.1, ensuring the reliability of the expert judgments.

GIS Zoning Results: The integration of weighted information layers in GIS produced a comprehensive suitability map, categorizing the Zaydoon Plain into "suitable" and "unsuitable" areas for modern irrigation systems.

- Suitable Areas: Approximately 60% (19.39 km²) of the plain was identified as suitable or highly suitable. These areas are characterized by light to medium-textured soils, gentle slopes (<2%), good access to water of acceptable quality (EC < 3 dS/m), and favorable socio-economic conditions (e.g., suitable land ownership and market access). These characteristics are ideal for efficient drip irrigation systems.
- Unsuitable Areas: Conversely, about 40% (12.98 km²) was deemed unsuitable, primarily due to constraints such as heavy clay soils, steep slopes, poor water quality (high EC), or challenging socio-economic conditions.

These findings align with global studies that emphasize the interconnected nature of biophysical and socio-economic factors in irrigation planning. The results provide a robust spatial framework for decision-makers, enabling targeted investments and development efforts.

Conclusion

This research successfully demonstrated the effectiveness of integrating AHP and GIS for zoning potential areas for modern irrigation system development in the Zaydoon Poldasht Plain. This systematic approach facilitated a comprehensive evaluation of multiple criteria and sub-criteria, combining scientific principles with expert knowledge. The identification of 60% of the plain as suitable for modern irrigation systems highlights significant potential for enhancing agricultural water productivity and sustainability in this critical region.

Given the plain's valuable orchards and agricultural potential, the final recommendation is to prioritize and promote the establishment and expansion of drip irrigation systems in the identified suitable areas. This strategic implementation will enhance water use efficiency, reduce consumption, and significantly contribute to sustainable agricultural development, ensuring long-term food security and environmental protection. Future research could explore dynamic water availability modeling under climate change scenarios and conduct detailed economic feasibility analyses for various modern irrigation systems.

Keywords: Modern irrigation systems, Multi-criteria decision-making, GIS, AHP, Water resource management, Zaydoon Plain

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Author contributions

Ahmad Abdollahpour, Sakineh Jabbarpour, Rostam Aghazadeh: Design and conceptualization; **Ahmad Abdollahpour, Sakineh Jabbarpour, Rostam Aghazadeh:** Methodology and data analysis; **Sakineh Jabbarpour**: Supervision and final writing.

Citation: Abdullahpur, A., Jabbarpour, S., & Aghazadeh, R. (2025). Potential zoning of applicable areas for modern irrigation systems development using AHP and GIS methods in the Zaydoon Poldasht Plain-West Azerbaijan Province. Technical Strategies in Water Systems, 3(2), 115-132.
https://doi.org/10.82185/tsws.2025.1216169
Publisher: Islamic Azad University, Isfahan Branch

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
تابستان ۱۴۰۴، دوره سه، شماره ۲، ۱۳۲-۱۱۵
https://doi.org/10.82185/tsws.2025.1216169

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین با استفاده از روش‌های AHP و GIS (مطالعه موردی: دشت زیدون پلدشت، استان آذربایجان غربی)

احمد عبدالله پور، دکتر سکینه جبارپور*، رستم آقازاده

گروه مدیریت کشاورزی، واحد ماکو، دانشگاه آزاد اسلامی، ماکو، ایران.
ایمیل نویسنده مسئول: sakineh.jabarpoor@iau.ac.ir
© The Author (s) 2025

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴ چاپ: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

این پژوهش با هدف پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت زیدون پلدشت، استان آذربایجان غربی انجام شد. با توجه به چالش‌های مدیریت آب در کشاورزی و اهمیت این دشت به عنوان قطب کشاورزی و بزرگترین مجتمع باغی خاورمیانه، شناسایی مناطق بهینه برای سیستم‌های آبیاری کارآمد ضروری است. رویکرد تلفیقی از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی پتانسیل و تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی مناسبت مناطق به کار گرفته شد. ۵ معیار اصلی و ۱۱ زیرمعیار شامل ویژگی‌های آب (کیفیت و کمیت)، خصوصیات خاک (بافت، شیب، EC)، شرایط اقلیمی (سرعت باد)، عوامل اجتماعی- اقتصادی (مالکیت، دسترسی به امکانات) و الگوی کشت، پس از جمع‌آوری نظرات ۳۶ کارشناس خبره استانی از طریق پرسشنامه‌های مقایسات زوجی AHP وزن‌دهی شدند. نتایج تحلیل AHP نشان داد که بافت خاک، میزان آبدهی، هدایت الکتریکی (EC) آب و سرعت باد مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تعیین استعداد مناطق برای توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت زیدون هستند. تلفیق این اطلاعات با وزن‌های AHP در محیط GIS، به تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی منجر شد. این نقشه نشان داد که حدود ۶۰ درصد از مساحت دشت زیدون مناسب و بسیار مناسب برای استقرار سامانه‌های آبیاری نوین (به‌ویژه قطره‌ای) بوده، در حالی که ۴۰ درصد نامناسب تشخیص داده شدند. مناطق مستعد عمدتاً دارای خاک‌های با بافت سبک تا متوسط، شیب کم، دسترسی مناسب به آب با کیفیت قابل قبول EC (کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر) و شرایط اجتماعی- اقتصادی مساعد هستند. نتایج این پژوهش بر نقش راهبردی و کارآمد تلفیق AHP و GIS در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و مدیریت پایدار منابع آب و خاک تأکید دارد. در نهایت، به منظور افزایش بهره‌وری آب و توسعه پایدار کشاورزی در این منطقه حیاتی، اولویت‌بخشی و ترویج استقرار سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در مناطق مستعد شناسایی شده پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های آبیاری نوین، تصمیم‌گیری چندمعیاره، GIS، AHP، مدیریت منابع آب، دشت زیدون

استناد: عبدالله پور، ا.، جبارپور، س.، و آقازاده، ر. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین با استفاده از روش‌های AHP و GIS (مطالعه موردی: دشت زیدون پلدشت، استان آذربایجان غربی). راهبردهای فنی در سامانه های آبی، ۳(۲): ۱۱۵-۱۳۲.
https://doi.org/10.82185/tsws.2025.1216169

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

۱- مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و قرار گرفتن بخش عمده‌ای از ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با میانگین بارندگی بسیار کم، مدیریت منابع آب را به یکی از چالش‌های حیاتی کشور تبدیل کرده است (Zoghi et al., 2017). این وضعیت، همراه با گسترش جوامع و افزایش مصرف منابع آبی، موجب تشدید تغییرات کمی و کیفی آب‌های کشور شده و ضرورت برنامه‌ریزی جامع مبتنی بر پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی را بیش از پیش آشکار می‌سازد (Nasirahmadi et al., 2012; Samarghandi et al., 2013; Al-Jawad et al., 2019). مدیریت بهینه منابع آب، رویکردی جامع و چندوجهی شامل برنامه‌ریزی، نظارت و ارزیابی مستمر را می‌طلبد که هم‌زمان نیازهای کنونی را تأمین کرده و کیفیت و کمیت آب برای نسل‌های آتی را نیز تضمین نماید (Amini et al., 2020; Neissi et al., 2020).

بخش کشاورزی در ایران، به عنوان اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین تجدیدپذیر، سهم قابل توجهی در اقتصاد ملی (۱۱ درصد از تولید ناخالص ملی، ۵۲ درصد از اشتغال و ۵۲ درصد از صادرات غیرنفتی) دارد (Nakhaee et al., 2016). از این رو، افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی از طریق بهینه‌سازی الگوی مصرف، به راهکاری ضروری برای پایداری منابع آبی بدل شده است. در این زمینه، سامانه‌های آبیاری نوین به عنوان راهکارهای کلیدی در بهبود بهره‌وری آب و افزایش تولیدات کشاورزی شناخته می‌شوند. این سامانه‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با کاهش هدررفت آب و افزایش مقاومت محصولات در برابر تنش‌های محیطی، نقش بسزایی ایفا می‌کنند. استفاده از فناوری‌هایی نظیر آبیاری قطره‌ای، بارانی و سامانه‌های هوشمند، امکان کنترل دقیق و بهینه مصرف آب را فراهم آورده و به کشاورزان اجازه می‌دهد تا به تولید پایدار و اقتصادی دست یابند. بنابراین، شناسایی مناطق مستعد برای پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری نوین، از عوامل حیاتی در توسعه پایدار کشاورزی و مدیریت منابع آب محسوب می‌شود (Sengupta et al., 2022; Al-Hanbali et al., 2022). معیارهای اصلی در ارزیابی پتانسیل این مناطق شامل منابع آب (کمیت و کیفیت منابع آب شامل میزان آبدهی در دسترس، کلر، هدایت الکتریکی)، ویژگی‌های خاک و اراضی (شیب، بافت، شوری)، شرایط اقلیمی (به‌ویژه سرعت باد)، شرایط اجتماعی- اقتصادی (وضعیت مالکیت، دسترسی به امکانات انرژی و راه، و سطح پذیرش بهره‌برداران)، و الگوی کشت است که هر یک تأثیر مستقیمی بر کارایی و موفقیت این سامانه‌ها دارند.

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] ابزاری مؤثر برای ارزیابی و انتخاب بهینه‌ترین گزینه‌ها در شرایط پیچیده و چندبعدی است و در شناسایی پتانسیل مناطق مستعد برای توسعه سامانه‌های آبیاری نوین کاربرد فراوانی دارد. در این راستا، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2] به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌هایMCDM ، برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد و عوامل توسعه سامانه‌های آبیاری نوین به کار می‌رود (Saaty, 1980; Talukdar et al., 2022). AHP با ساختار سلسله‌مراتبی و مقایسه‌های زوجی، امکان تحلیل سیستماتیک معیارهای کیفی و کمی را فراهم می‌آورد. همچنین، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی وزن‌دهی شده توسطAHP، نقش بسزایی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ایفا می‌کند (Mashi et al., 2024; Malczewski, 1999; Sathiyamurthi et al., 2024). تلفیق AHP و GIS امکان تجزیه و تحلیل یکپارچه داده‌های مختلف جغرافیایی، اقلیمی، خاکی، و منابع آب را فراهم آورده و به شناسایی الگوهای فضایی و مناطق با پتانسیل بالا برای پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری نوین کمک می‌کند.

پژوهش‌های متعددی در سطح ملی و بین‌المللی از رویکردهای ترکیبی MCDM و GIS برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و کشاورزی استفاده کرده‌اند. برای مثال، در ایران، مطالعاتی نظیر شناسایی مناطق مستعد آبیاری تحت فشار در همدان (Shadmani et al., 2010)، پتانسیل‌یابی در کردستان (Gharahdaghi et al., 2014)، شناسایی مناطق مناسب آبیاری

[1] Multi-Criteria Decision Making
[2] Analytical Hierarchy Process

قطره‌ای در خراسان جنوب (Ramzi et al., 2014)، تدوین الگوی کشت بهینه در گلستان (Kazemi et al., 2016) و اصفهان (Vafaeinejad, 2016)، شناسایی مناطق مستعد آبیاری سطحی و تحت فشار در دشت میاندوآب (Azad et al., 2018) و دشت دز (Poursamsam et al., 2021)، مکان‌یابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار در دشت ایذه (ایران) (Neissi et al., 2020)، ارزیابی موقعیت سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در دشت زنجان (Moradzadeh et al., 2019)، مکان‌یابی آبیاری بارانی در ارومیه (Abdi et al., 2018) و اسفراین (Ahmadi et al., 2018) و تعیین مناطق مستعد برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در شهرستان گرگان (Hojati et al., 2024) صورت گرفته است. در سطح جهانی نیز، Okada (2007) به ارزیابی پروژه‌های آبیاری در ژاپن، Talukdar et al. (2022) از AHP فازی برای ارزیابی اراضی مناسب کشاورزی در هند، Abuzaid & El-Husseiny (2022) به ارزیابی تناسب اراضی برای کشت با آبیاری میکرو، با بهره‌گیری از مدل ترکیبی AHP و GIS در مصر، Temesgen & Terefe (2024) به مکان‌یابی سد و تعیین مناطق آبیاری با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و تجسم سه‌بعدی در اتیوپی و Hassan et al. (2025) از تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS برای شناسایی مکان‌های جمع‌آوری آب باران، استفاده کردند. تمامی این مطالعات بر اثربخشی روش‌های MCDM و ابزارهای مکانی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت بهینه منابع کشاورزی و آب تأکید دارند.

با وجود اهمیت مطالعات مذکور، تاکنون پژوهش جامعی با رویکرد پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین با استفاده از تلفیق مدل AHP و GIS در دشت زیدون پلدشت، استان آذربایجان غربی، صورت نگرفته است. این منطقه به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی، اقلیمی و خاکی، پتانسیل بالایی برای پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری نوین دارد. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد برای اجرای سامانه‌های آبیاری نوین با استفاده از مدل AHP و GIS در دشت زیدون پلدشت است. این تحقیق با تحلیل معیارهای مختلف (منابع آب، ویژگی‌های خاک، شرایط اقلیمی، زیرساخت‌ها، شرایط اجتماعی–اقتصادی و الگوی کشت)، به بررسی روابط بین آن‌ها و توسعه یک چارچوب تحلیلی برای تصمیم‌گیری بهینه در مدیریت منابع آب و توسعه کشاورزی پایدار در این منطقه می‌پردازد. یافته‌های این پژوهش به ارائه راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی، کاهش هدررفت آب و ارتقاء آگاهی و توانمندی‌های کشاورزان و مسئولان در جهت افزایش تولیدات کشاورزی پایدار کمک خواهد کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش با هدف پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت زیدون پلدشت، استان آذربایجان غربی انجام شد. این منطقه در شمال غرب ایران واقع شده و از غرب به کشور ترکیه و از شرق به رود ارس محدود می‌شود. از نظر توپوگرافی، این ناحیه شامل بخش‌های جلگه‌ای و شنزار و همچنین مناطق کوهستانی و پست پوشیده از بازالت است. شیب در مناطق بازالتی کم است که منجر به بالا بودن فوق‌العاده سطح آب زیرزمینی می‌شود. دشت پلدشت با مساحت تقریبی ۱۶۰ کیلومتر مربع، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، جزء مناطق سرد و خشک محسوب می‌شود. متوسط بارندگی سالانه آن ۳۰۰ میلی‌متر بوده و میانگین تبخیر ماهانه از تشتک برای یک دوره ۱۰ ساله (۷۵ تا ۱۳۸۵) در ایستگاه پلدشت ۱۷۱۷ میلی‌متر به دست آمده است. رودخانه‌های فصلی که از ارتفاعات سرچشمه می‌گیرند، همراه با رودخانه‌های دائمی و سدهای احداث شده (نظیر سد کرم آباد)، نقش عمده‌ای در تامین نیازهای آبی اراضی کشاورزی ایفا می‌کنند. فرآورده‌ها و محصولات کشاورزی دشت پلدشت شامل گندم، جو، دانه‌های روغنی، گیاهان علوفه‌ای، هندوانه و خربزه است (Abdollahzadeh Kahrizi et al., 2023). دشت زیدون که با مشارکت بخش خصوصی طی سه سال اخیر تحت عملیات

خاک‌ورزی و تسطیح به باغ تبدیل شده، حدود ۳۲/۳۷ کیلومتر مربع وسعت دارد (شکل ۱). در این محدوده، باغ‌های گردو و پسته به همراه گونه‌های درختی غیرمثمر نظیر صنوبر ایجاد و کشت شده‌اند. مجتمع کشت و صنعت دشت زیدون با هدف ایجاد بزرگترین باغ گردو و پسته خاورمیانه در پلدشت، برنامه‌ریزی برای کاشت ۲۲۰ هزار اصله درخت مثمر و افزایش آن به یک میلیون اصله نهال تا پنج سال آینده را دنبال می‌کند.

شکل ۱- موقعیت دشت زیدون پلدشت در استان آذربایجان غربی، ایران

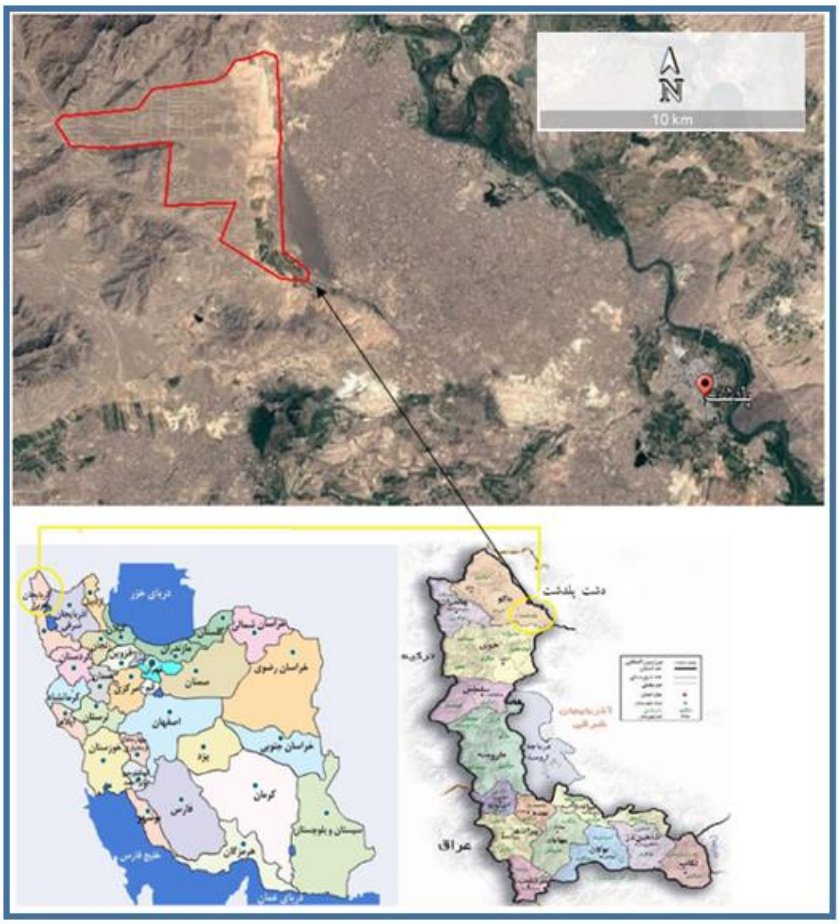

Fig 1. Location of Zaydoon Plain, Poldasht in West Azerbaijan Province, Iran

۲-۲- روش‌شناسی تحقیق و شناسایی معیارها

روش تحقیق شامل سه مرحله اصلی بود:

۱. شناسایی معیارهای مؤثر: معیارهای کلیدی بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و نظر کارشناسان خبره تعیین شدند.

۲. وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها: با استفاده از مدل AHP و نظرسنجی از کارشناسان، وزن‌های نسبی برای معیارها تعیین گردید.

۳. تهیه نقشه پتانسیل: لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS تهیه، وزن‌دهی و با همپوشانی ترکیب شدند تا نقشه نهایی پتانسیل منطقه حاصل شود.

۲-۳- توجیه معیارهای مؤثر بر توسعه سامانه‌های آبیاری نوین

معیارهای اصلی و زیرمعیارهای انتخاب شده (جدول ۱) با هدف ارزیابی جامع پتانسیل توسعه سامانه‌های آبیاری نوین، بر اساس الزامات فنی، زیست‌محیطی و مدیریتی این سامانه‌ها انتخاب شدند:

معیار آب:

– هدایت الکتریکی (EC) و کلر(Cl): این زیرمعیارها کیفیت شیمیایی آب را نشان می‌دهند. EC بالا ریسک شوری خاک و کاهش عملکرد محصولات را افزایش می‌دهد، به‌ویژه در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای که آب به‌طور موضعی غلیظ می‌شود.

– میزان آبدهی در دسترس: این زیرمعیار جنبه کمی منابع آب را نشان می‌دهد. پایداری و کفایت دبی آب برای تأمین نیازهای شبکه آبیاری، عامل حیاتی در سرمایه‌گذاری و دوام بلندمدت طرح‌های آبیاری نوین است.

معیار خاک:

– بافت: بافت خاک بر نفوذپذیری، نگهداری آب و احتمال گرفتگی قطره‌چکان‌ها تأثیر مستقیم دارد. خاک‌های سبک تا متوسط برای سامانه‌های قطره‌ای ارجح هستند، در حالی که خاک‌های رسی سنگین محدودیت جدی ایجاد می‌کنند.

– شیب: شیب زمین بر یکنواختی توزیع آب، هزینه‌های استقرار سیستم‌های تحت فشار و خطر فرسایش خاک اثرگذار است. شیب کم‌تر، مطلوبیت مکانی را افزایش می‌دهد.

– EC خاک: نشان‌دهنده شوری اولیه خاک است. این عامل در ترکیب با EC آب، محدودیت‌های کشت و نیاز به زهکشی را تعیین می‌کند.

معیار اقلیم:

– سرعت باد: این عامل محدودکننده اصلی برای سامانه‌های آبیاری بارانی است. سرعت باد بالا باعث رانش قطرات، توزیع نامتوازن و افزایش تبخیر در حین پاشش می‌شود و به طور ضمنی، ارجحیت سامانه‌های قطره‌ای را در مناطق بادخیز مشخص می‌کند.

معیار اجتماعی–اقتصادی:

– وضعیت مالکیت اراضی و آب: مالکیت شفاف و یکپارچه، شرط لازم برای اعطای تسهیلات و اجرای موفق طرح‌های زیرساختی در مقیاس بزرگ است.

– دسترسی به امکانات (انرژی، برق و راه): وجود زیرساخت‌های انرژی برای پمپاژ آب و دسترسی به راه برای حمل و نقل و نگهداری، برای عملکرد مستمر و اقتصادی سامانه‌های تحت فشار حیاتی است.

– سطح پذیرش بهره‌برداران: نگرش مثبت کشاورزان نسبت به فناوری‌های جدید، عامل تسهیل‌کننده برای تضمین نگهداری، بهره‌برداری صحیح و موفقیت اجتماعی طرح است.

معیار الگوی کشت:

– الگوی کشت (نوع محصول): نوع محصول کشت شده (مانند درختان دائم، سبزیجات یا غلات) بر نوع سیستم آبیاری ارجح و همچنین توجیه اقتصادی طرح تأثیر می‌گذارد. محصولات با ارزش اقتصادی بالا توجیه بیشتری برای استفاده از سامانه‌های گران‌قیمت‌تر مانند آبیاری قطره‌ای دارند.

۲-٤- جامعه آماری و نمونه‌گیری

جامعه آماری پژوهش شامل داده‌های مکانی (از سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای، اداره کل منابع طبیعی و دانشگاه‌ها) و کارشناسان خبره (از سازمان‌های مشابه) بود. برای بخش کیفی، نظرات ۳٦ نفر از کارشناسان خبره جمع‌آوری شد که از نظر آماری برای اعمال مدل AHP و اطمینان از اعتبار نتایج کافی بود.

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای موثر بر پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین

Table 1. Criteria and sub-criteria effective on zoning the potential of areas suitable for modern irrigation system development

معیار	زیرمعیار
آب	EC
	کلر
	میزان آبدهی در دسترس
خاک	شیب
	بافت
اقلیم	EC
	سرعت باد
شرایط اجتماعی- اقتصادی	وضعیت مالکیت اراضی و آب
	دسترسی به امکانات انرژی، برق و راه
	سطح پذیرش بهره برداران
الگوی کشت (نوع محصول)	الگوی کشت

۲-٤-۱- مشخصه‌های جامعه آماری

در این بخش، مشخصات افراد نمونه شامل سن، شغل، تحصیلات و سابقه کار ارائه شده است:

- سن: ۷۸ درصد از پرسش‌شوندگان در بازه سنی ۳۰ تا ٤٥ سال قرار داشتند.
- شغل: ۸۹ درصد از پرسش‌شوندگان را کارشناسان کشاورزی تشکیل می‌دادند.
- تحصیلات: ۷۸ درصد از پرسش‌شوندگان دارای مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد بودند.
- سابقه کار: ۷۸ درصد از پرسش‌شوندگان بیش از ۱۰ سال سابقه کار داشتند.

۲-۵- مدل‌سازی AHP وGIS

۲-۵-۱- مدل‌سازیAHP

پس از شناسایی معیارها، از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها استفاده شد.AHP بر اساس مقایسه‌های زوجی (با مقیاس ۱ تا ۹) استوار است که توسط کارشناسان تکمیل گردید. داده‌ها ابتدا در نرم‌افزار EXCEL وارد شده و پس از تحلیل اولیه، برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی نهایی به نرم‌افزار EXPERT CHOICE منتقل شدند. یکی از مزایایAHP، امکان بررسی سازگاری قضاوت‌ها و اطمینان از اعتبار نتایج است (نرخ سازگاری باید کمتر از ۱۰ درصد باشد).

۲-۵-۲- مدل‌سازی GIS

در این مرحله، لایه‌های زیرمعیارها (شامل آب، خاک، اقلیم، شرایط اجتماعی-اقتصادی و الگوی کشت) در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه و به صورت کلاس‌بندی شده (روش فواصل مساوی) و با فرمت رستری (پیکسل ۱۰۰ در ۱۰۰ متر) آماده شدند. این لایه‌ها پس از اعمال وزن‌های حاصل از مدلAHP، تحت عملیات همپوشانی قرار گرفتند. در نهایت، نقشه تلفیقی با استفاده از رابطه استانداردسازی (نرمال‌سازی بین ۰ و ۱) استاندارد شد و سپس بر اساس میانگین و انحراف معیار کلاس‌بندی گردید تا نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت زیدون پلدشت تهیه شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای موثر بر پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری

مطابق با روش پژوهش، برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای موثر بر پهنه‌بندی پتانسیل مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین، پرسشنامه زوجی AHP تهیه و توسط ۳۶ نفر کارشناس خبره تکمیل شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، بانک داده پژوهش در نرم‌افزار Excel تهیه و سپس داده‌ها برای تجزیه و تحلیل و تعیین وزن نهایی وارد نرم‌افزارExpert Choice شدند. تحلیل وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر نشان داد که تمامی مقایسات زوجی انجام شده دارای نرخ ناسازگاری قابل قبولی (کمتر از ۰/۱) هستند که این امر اعتبار و قابلیت اطمینان بالای نتایج حاصل از تحلیل را تأیید می‌کند.

۳-۱-۱- اولویت‌بندی زیرمعیارها و معیارهای اصلی

بر اساس مقایسات زوجی انجام شده در مدلAHP، وزن زیرمعیارها در سطح هر معیار اصلی و همچنین وزن معیارهای اصلی به شرح زیر تعیین شد:

- معیار آب: مطابق جدول (۲)، زیرمعیارهای میزان آبدهی در دسترس (۰/٤٤٨) و هدایت الکتریکی (EC) (۰/٤٤١) به ترتیب بیشترین اهمیت را نسبت به کلر (۰/۱۱۱) داشته‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که علاوه بر کیفیت آب، دسترسی کمی به منبع آبی ثابت و پایدار یکی از عوامل تعیین‌کننده و دارای اهمیت بالا در توسعه سامانه‌های آبیاری نوین است (نرخ ناسازگاری: ۰/۰۰۰۲).

- معیار خاک و اراضی: بر اساس جدول (۳)، زیرمعیار بافت خاک با وزن ۰/٦٤٩ بیشترین وزن را به خود اختصاص داد که اهمیت بافت خاک در تأمین شرایط مناسب برای استقرار سامانه‌های آبیاری نوین، به ویژه در سیستم‌های قطره‌ای که به توزیع یکنواخت آب نیاز دارند، را برجسته می‌کند (نرخ ناسازگاری: ۰/۰۰).

- معیار اجتماعی-اقتصادی: همانطور که در جدول (٤) آمده است، وضعیت مالکیت اراضی و آب با وزن ۰/٤٥۳، مهمترین زیرمعیار این گروه بود. این امر نشان می‌دهد که وجود مالکیت مشخص و اطمینان از دسترسی بلندمدت به منابع آبی، از عوامل کلیدی موفقیت طرح‌های توسعه آبیاری نوین است (نرخ ناسازگاری: ۰/۰۰۸).

- معیار اقلیم: سرعت باد به عنوان معیار غالب در این گروه معرفی شد. سرعت باد به دلیل تأثیر مستقیم بر توزیع آب در سامانه‌های بارانی و افزایش تبخیر، نقش مهمی در عملکرد بهینه این سامانه‌ها دارد و لزوم انتخاب سامانه‌هایی با راندمان بالا را نشان می‌دهد.

- معیار الگوی کشت: نوع الگو بر مبنای سابقه کشت در منطقه به عنوان یکی از عوامل مؤثر در پذیرش فناوری‌های جدید و تجربه کشاورزان شناسایی شد.

- معیارهای اصلی: بر اساس جدول (۵)، معیار خاک و اراضی با وزن ۰/۳۵۹ بیشترین تأثیر را در مقایسه با سایر معیارهای اصلی (آب: ۰/۲۹۸، اقلیم: ۰/۱۹۳، الگوی کشت: ۰/۱۰۵ و اجتماعی-اقتصادی: ۰/۰٤٥) داشت (نرخ ناسازگاری: ۰/۰۰۸).

جدول ۲- محاسبه وزن زیرمعیارهای آب

Table 2. Calculation of water sub-criteria weights

وزن زیرمعیارها	زیرمعیارها
۰/٤٤۱	هدایت الکتریکی (EC)
۰/۱۱۱	کلر (Cl)
۰/٤٤٨	میزان آبدهی در دسترس

جدول ۳- محاسبه وزن زیرمعیارهای خاک و اراضی

Table 3. Calculation of soil and land sub-criteria weights

وزن زیرمعیارها	زیرمعیارها
۰/۲۱٦	هدایت الکتریکی خاک (ECS)
۰/٦٤۹	بافت (Texture)
۰/۱۳۵	شیب (Slope)

جدول ٤- محاسبه وزن زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی

Table 4. Calculation of socio-economic sub-criteria weights

وزن زیرمعیارها	زیرمعیارها
۰/٤۵۳	وضعیت مالکیت اراضی و آب
۰/۳۷٦	دسترسی به امکانات انرژی، برق و راه
۰/۱۷۱	سطح پذیرش بهره برداران

جدول ۵- محاسبه وزن معیارهای اصلی

Table 5. Calculation of main criteria weights

وزن زیرمعیارها	زیرمعیارها
۰/۲۹۸	آب (Water)
۰/۳۵۹	خاک و اراضی (Soil)
۰/۱۹۳	اقلیم (Climate)
۰/۰٤۵	اجتماعی- اقتصادی (Socio)
۰/۱۰۵	الگوی کشت (Pattern)

۳-۱-۲- اولویت‌بندی کلی زیرمعیارها

با ترکیب وزن زیرمعیارها در سطح معیارهای اصلی، وزن نهایی همه زیرمعیارها به صورت تلفیقی در جدول (٦) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که زیرمعیارهای بافت خاک (۰/۲۲۲)، میزان آبدهی در دسترس (۰/۱۸٤)، هدایت الکتریکی آب (۰/۱۸۱) و سرعت باد (۰/۱۲۰) به ترتیب بیشترین تأثیر را در انتخاب مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری نوین دارند. نرخ ناسازگاری محاسبه شده برای ماتریس مقایسه زوجی کلی ۰/۰٦ بود که نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول قضاوت‌ها و اعتبار رتبه‌بندی نهایی به دست آمده از روش AHP است. در مقابل، زیرمعیارهای مربوط به معیار اجتماعی-اقتصادی (سطح پذیرش بهره‌برداران، دسترسی به امکانات و وضعیت مالکیت آب و خاک) کمترین درصد اهمیت نهایی را به خود اختصاص داده‌اند.

۳-۲- نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه سامانه‌های آبیاری

پس از محاسبه وزن‌ها، لایه‌های مکانی مربوط به ۱۱ زیرمعیار از ۵ معیار اصلی در محیط GIS تهیه و پردازش شدند. در ادامه، وضعیت هر معیار در دشت زیدون و نقشه‌های مربوط به آن‌ها توضیح داده شده است:

- معیار آب: لایه‌های مربوط بهEC ، کلر و میزان آبدهی از دفتر مطالعات شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. با توجه به اینکه منبع تامین آب دشت زیدون پمپاژ از رودخانه ارس است، کیفیت و کمیت آب این رودخانه مبنای سنجش قرار گرفت. جدول (۷) وضعیت کیفی و کمی آب رودخانه ارس را نشان می‌دهد. بررسی‌ها و داده‌های مکانی نشان داد که پهنه کلاس EC آب و کلر در کل دشت زیدون در کلاس متوسط (امتیاز ۳) قرار دارد. همچنین، میزان آبدهی در دسترس در کل محدوده در کلاس خوب (امتیاز ٤) قرار گرفته است. این یکسانی مکانی در ویژگی‌های آب بدان معناست که در این مقطع، زیرمعیارهای کیفی و کمی آب از نظر موقعیت جغرافیایی، تفاوتی در پتانسیل‌سنجی مناطق مختلف دشت ایجاد نمی‌کنند. با این حال، بر

اساس نتایج مدلAHP، زیرمعیارهایEC آب (وزن ۰/۱۸۱) و میزان آبدهی در دسترس (وزن ۰/۱۸٤)، در کنار بافت خاک، بالاترین وزن‌ها را کسب کردند. این امر بر اثرگذاری ذاتی و ریسک بالای این عوامل در بلندمدت برای موفقیت سامانه‌های آبیاری نوین تأکید دارد. یعنی اگرچه کیفیت و کمیت آب در تمام نقاط دشت یکسان است، اما پایداری و کیفیت قابل قبول آن یک عامل حیاتی و تعیین‌کننده برای بقا و دوام سیستم آبیاری نوین محسوب می‌شود، به‌ویژه با توجه به پتانسیل شوری و تغییرات دبی رودخانه ارس در آینده.

– معیار خاک و اراضی: لایه‌های EC خاک، شیب و بافت خاک از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی تهیه شد. جدول (۸) وضعیت خاک و اراضی را برای استفاده کشاورزی در دشت زیدون نشان می‌دهد. نقشه‌های پهنه‌بندی معیار خاک و اراضی (شکل‌های ۲ تا ٤) بیانگر وجود رده‌های آنتی‌سول و آریدی‌سول برای EC خاک، شیب کمتر از ۵ درصد در بیشتر اراضی و بافت شنی– سیلتی یا شنی (عمدتاً کلاس متوسط تا بد) در دشت زیدون است.

– معیار اقلیم: لایه معیار اقلیم مربوط به سرعت باد است. با توجه به وسعت کم منطقه، سرعت باد تأثیر یکسانی در کل محدوده دارد. آمار سازمان هواشناسی کشور نشان می‌دهد متوسط حداکثر سرعت باد در این منطقه بین ۷ تا ١٦ متر بر ثانیه است که آن را در طبقه متوسط قرار می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی این معیار در شکل (۵) ارائه شده است. شرایط اقلیمی منطقه، به‌ویژه سرعت باد و افزایش تبخیر، ضرورت استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را دوچندان می‌کند؛ زیرا سامانه‌های بارانی در اثر وزش باد شدید با پراکندگی آب و کاهش راندمان مواجه می‌شوند.

– معیار اجتماعی–اقتصادی: لایه‌های وضعیت مالکیت اراضی و آب، دسترسی به امکانات و سطح پذیرش بهره‌برداران بر اساس پرسش‌های محلی، بازدید میدانی و نظرات کارشناسان تهیه شد. جدول (۹) وضعیت اجتماعی– اقتصادی منطقه را برای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری نشان می‌دهد. بر اساس این داده‌ها، سطح پذیرش بهره‌برداران در کل دشت زیدون در کلاس خیلی خوب (امتیاز ۵) قرار دارد و وضعیت مالکیت (شکل ٦) و دسترسی به امکانات (شکل ۷) در کلاس‌های متوسط تا خوب طبقه‌بندی شدند که نشان‌دهنده یکسانی نسبی پتانسیل در سطح منطقه است.

– معیار الگوی کشت: این لایه مربوط به سابقه کشت در منطقه است که بر اساس پیمایش‌های منطقه‌ای تهیه شد. جدول (۱۰) و نقشه پهنه‌بندی این معیار (شکل ۸) نشان می‌دهد که بخش‌های شرقی محدوده دارای سابقه کشاورزی و باغ (خیلی خوب) هستند، در حالی که سایر مناطق دشت فاقد سابقه کشاورزی (متوسط) بوده‌اند.

شکل ۲– پهنه کلاس هدایت الکتریکی خاک دشت زیدون

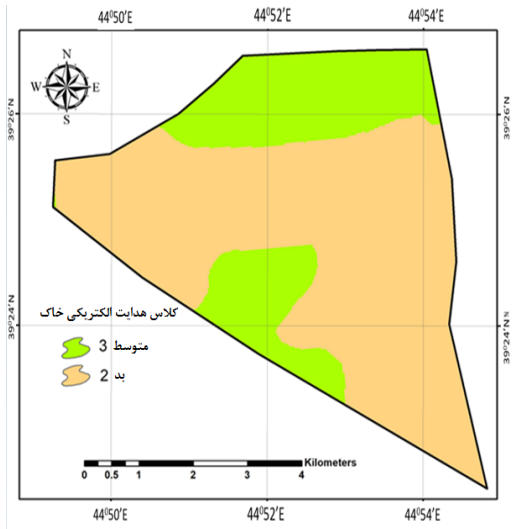

Fig 2. Zoning map of soil electrical conductivity class in the Zaydoon Poldasht plain

شکل ۳– پهنه کلاس شیب زمین دشت زیدون

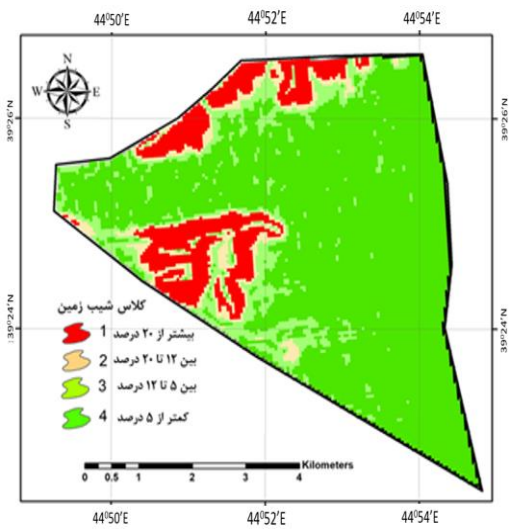

Fig 3. Zoning map of land slope class in the Zaydoon Poldasht plain

جدول٦- وزن محاسبه شده زیرمعیارها در حالت تلفیقی

Table 6. Calculated weights of sub-criteria in integrated mode

زیرمعیارها	وزن نهایی زیرمعیارها	درصد اهمیت نهایی
هدایت الکتریکی آب (EC)	۰/۱۸۱	٪۱۸/۱
کلر (Cl)	۰/۰٤٦	٪٤/٦
میزان آبدهی در دسترس	۰/۱۸٤	٪۱۸/٤
هدایت الکتریکی خاک (ECS)	۰/۰۷٤	٪۷/٤
بافت (Texture)	۰/۲۲۲	٪۲۲/۲
شیب (Slope)	۰/۰٤٦	٪٤/٦
سرعت باد	۰/۱۲۰	٪۱۲
وضعیت مالکیت اراضی و آب	۰/۰۲۸	٪۲/۸
دسترسی به امکانات انرژی، برق و راه	۰/۰۲۳	٪۲/۳
سطح پذیرش بهره برداران	۰/۰۱۱	٪۱/۱
الگوی کشت	۰/۰٦٥	٪٦/٥

جدول ۷- وضعیت کمی و کیفی آب دشت زیدون (رودخانه ارس)

Table 7. Quantitative and qualitative status of Zaydoon plain water (Aras River)

امتیاز (۱ تا ٥)	کلاس	مقدار متوسط	زیرمعیارها
۳	متوسط	۱۲۰۰ میکروزیمس بر سانتیمتر	هدایت الکتریکی (EC)
۳	متوسط	۱/۱٦ میلی گرم بر لیتر	کلر (Cl)
٤	خوب	٤ مترمکعب بر ثانیه	میزان آبدهی رودخانه

جدول ۸- وضعیت خاک و اراضی دشت زیدون

Table 8. Status of soil and land in the Zaydoon plain

امتیاز (۱ تا ٥)	کلاس	نوع/ مقدار متوسط	زیرمعیارها
۳	متوسط	آنتی سول	EC خاک
۲	بد	آریدی سول	
٤	خوب	کمتر از ٥ درصد	شیب
۳	متوسط	شنی، سیلتی، سیلتی-رسی	بافت خاک
۲	بد	شنی-سیلتی یا شنی	

جدول ۹- وضعیت کمی و کیفی معیار اجتماعی اقتصادی دشت زیدون

Table 9. Quantitative and qualitative status of socio-economic criteria in the Zaydoon plain

امتیاز (۱ تا ٥)	کلاس	وضعیت	زیرمعیارها
۳	متوسط	خصوصی مشارکتی	وضعیت مالکیت اراضی و آب
٤	خوب	وجود دارد	دسترسی به امکانات
٥	خیلی خوب	بالا	سطح پذیرش بهره برداران

شکل ٤- پهنه کلاس بافت خاک دشت زیدون

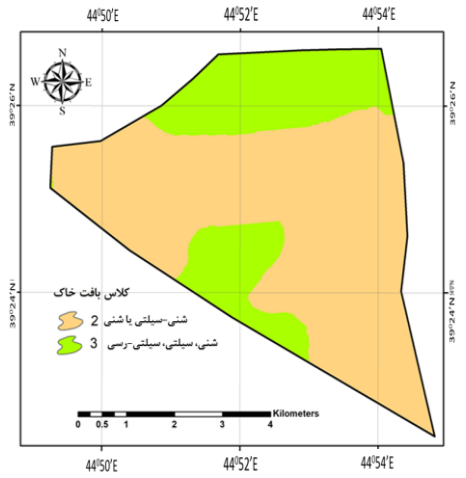

Fig 4. Zoning map of soil texture class in the Zaydoon Poldasht plain

شکل ٥- پهنه کلاس سرعت باد دشت زیدون

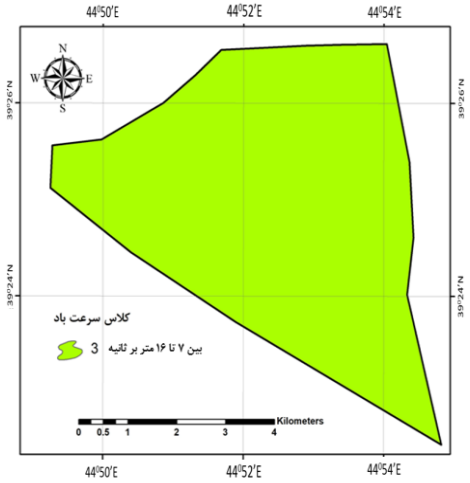

Fig 5. Zoning map of wind speed class in the Zaydoon Poldasht plain

شکل ٦- پهنه کلاس وضعیت مالکیت اراضی و آب دشت زیدون

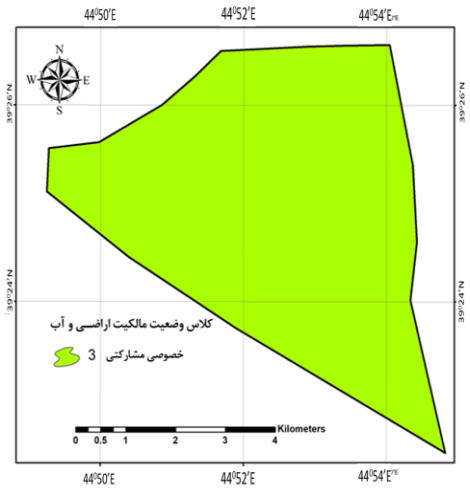

Fig 6. Zoning map of land and water ownership status class in the Zaydoon plain

شکل ۷- پهنه کلاس دسترسی به امکانات دشت زیدون

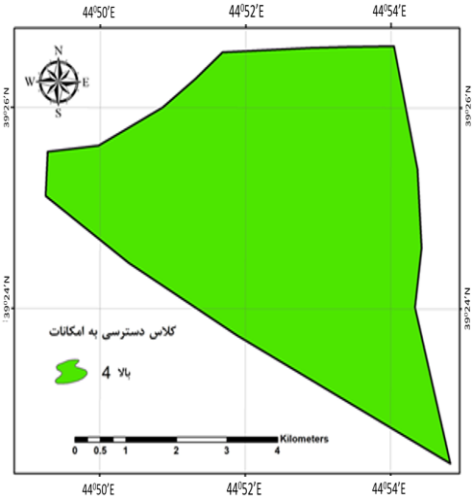

Fig 7. Zoning map of facilities accessibility in the Zaydoon Plain

شکل ۸- پهنه کلاس الگوی کشت دشت زیدون

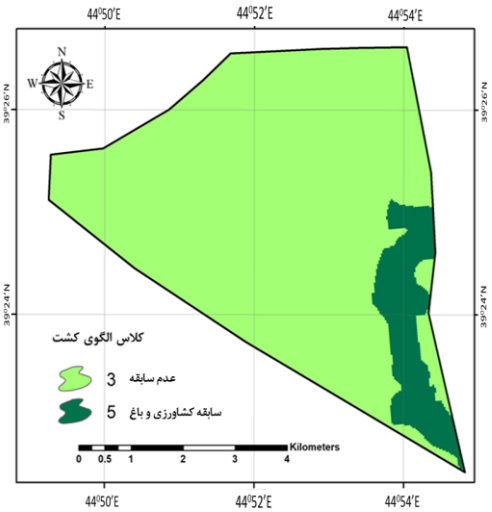

Fig 8. Zoning map of cultivation pattern in the Zaydoon plain

جدول ۱۰- وضعیت سابقه و الگوی کشت دشت زیدون

Table 10. Status of cultivation history and pattern in the Zaydoon plain

زیرمعیارها	وضعیت	کلاس	امتیاز (۱ تا ۵)
الگوی کشت	سابقه کشاورزی و باغ	خیلی خوب	۵
	عدم سابقه	متوسط	۳

۳-۳- تحلیل وزن‌دهی AHP و اولویت‌های فنی برای توسعه سامانه‌های آبیاری

تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نه تنها وزن نسبی زیرمعیارها را مشخص کرد (جدول ٦)، بلکه منعکس‌کننده اولویت‌های فنی و ریسک‌های تخصصی مورد نظر کارشناسان منطقه برای توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت زیدون است. بر اساس وزن‌های نهایی، چهار زیرمعیار بافت خاک (۲۲/۲٪)، میزان آبدهی در دسترس(۱۸/٤٪)، هدایت الکتریکی آب (۱۸/۱٪) و سرعت باد (۱۲٪) به‌عنوان بحرانی‌ترین عوامل شناخته شدند.

اهمیت بافت خاک و کیفیت زمین: بافت خاک با کسب بالاترین وزن، نشان داد که در ارزیابی کارشناسی، کیفیت فیزیکی اراضی (به‌ویژه برای باغات) بر کمیت آب اولویت دارد. این نتیجه منطقی است؛ زیرا در بافت‌های سنگین‌تر (رسی)، سامانه‌های آبیاری موضعی (مانند قطره‌ای) با چالش‌هایی همچون نفوذپذیری کم، ماندابی سطحی و کاهش تهویه ریشه مواجه می‌شوند. از این‌رو، اراضی با بافت سبک تا متوسط برای تضمین راندمان سیستم‌های قطره‌ای و رشد بهینه درختان ضروری هستند.

ریسک کمی و کیفی منابع آب: میزان آبدهی و EC آب در مجموع حدود ۳٦/۵٪ از وزن کل را به خود اختصاص دادند. این اهمیت بالا نشان‌دهنده نگرانی متخصصان در مورد پایداری بلندمدت منبع آبی (رودخانه ارس) است؛ هم از نظر تأمین کافی برای مجتمع بزرگ باغی و هم از نظر کیفیت آب. با وجود اینکه EC کنونی آب رودخانه در محدوده قابل قبول قرار دارد، این وزن بالا تأکید می‌کند که شوری (EC) یک ریسک بالقوه محسوب می‌شود که با افزایش برداشت یا شرایط خشک‌سالی می‌تواند به سرعت تشدید شود.

محدودیت اقلیمی (سرعت باد): وزن قابل توجه سرعت باد (۱۲٪)، یک محدودیت کلیدی اقلیمی را آشکار می‌سازد. سرعت باد بالا، کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی را به‌شدت کاهش داده و اتلاف آب از طریق تبخیر و رانش باد را افزایش می‌دهد. این عامل به طور ضمنی، انتخاب سیستم‌های آبیاری موضعی (دریپ/قطره‌ای) را به‌عنوان راهکار بهینه در دشت زیدون تقویت می‌کند؛ زیرا این سیستم‌ها کمترین تأثیرپذیری را از باد دارند.

کاهش اهمیت عوامل اجتماعی-اقتصادی: در مقابل، زیرمعیارهای اجتماعی-اقتصادی (مالکیت، پذیرش و امکانات) کمترین وزن نهایی را داشتند. این کم‌اهمیتی، می‌تواند ناشی از ماهیت طرح دشت زیدون باشد که توسط بخش خصوصی و با سرمایه‌گذاری متمرکز اجرا شده و زیرساخت‌ها و مالکیت (در سطح مجتمع) پیشاپیش حل شده‌اند. بنابراین، در قضاوت تخصصی، عوامل زیست‌فیزیکی و فنی بر مسائل مدیریتی و اجتماعی-اقتصادی ارجحیت داده شده‌اند.

۳-٤- پهنه‌بندی GIS و توسعه هدفمند سامانه‌های آبیاری

تلفیق وزن‌های AHP با لایه‌های مکانیGIS، نقشه پهنه‌بندی نهایی را ایجاد کرد (شکل ۹) که چارچوبی مکانیزه برای تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد. این نقشه حدود ٦۰ درصد (۱۹/۳۹ کیلومترمربع) از اراضی دشت زیدون را به‌عنوان مناطق مناسب/بسیار مناسب برای توسعه سامانه‌های آبیاری نوین شناسایی کرد. این مناطق مستعد، عمدتاً مناطقی هستند که هم‌زمان از ویژگی‌های مطلوب مورد تأکیدAHP (بافت سبک، شیب کم، و دسترسی به آب با EC پایین) برخوردارند. این یافته با مطالعات مشابه (Temesgen &Terefe, 2024) که بر لزوم ارزیابی یکپارچه معیارهای فنی و اقلیمی در مناطق نیمه‌خشک

تأکید دارند، مطابقت دارد. شناسایی ٦٠ درصدی مناطق مستعد، پتانسیل بالای دشت برای گذر موفق به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را تأیید می‌کند و ابزار لازم برای سرمایه‌گذاری هدفمند را در اختیار مسئولین قرار می‌دهد.

در مقابل، حدود ٤٠ درصد (۱۲/۹۸ کیلومتر مربع) از مساحت دشت به‌عنوان مناطق نامناسب تعیین شدند. این بخش‌ها به احتمال زیاد تحت تأثیر محدودیت‌های فنی و زیست‌فیزیکی با وزن بالا قرار گرفته‌اند؛ نظیر بافت‌های سنگین‌تر خاک یا احتمالاً دسترسی به منابع آبی فرعی با کیفیت پایین‌تر. پهنه‌بندی دقیق این مناطق، امکان تدوین برنامه‌های اصلاحی (مانند پروژه‌های زهکشی یا اصلاح خاک) را پیش از هرگونه توسعه پرهزینه فراهم می‌سازد. از این رو، مدل AHP-GIS به‌عنوان یک ابزار کاهش ریسک و تضمین‌کننده بهره‌وری در برنامه‌ریزی کشاورزی پایدار در دشت زیدون عمل کرده است.

شکل ۹- پهنه مناطق مستعد اجرای سامانه‌های نوین آبیاری دشت زیدون

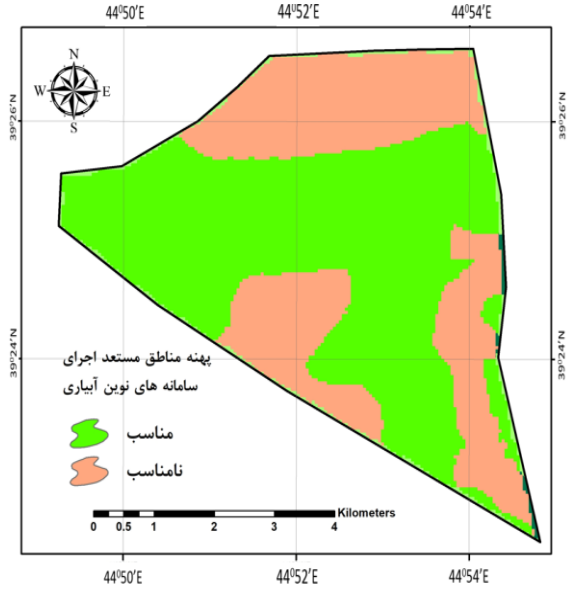

Fig 9. Zoning map of areas suitable for implementing modern irrigation systems in the Zaydoon plain

۳-۵- مقایسه با مطالعات مشابه و چارچوب تحلیلی

نتایج این پژوهش در دشت زیدون پلدشت، با مطالعات مشابه در سایر مناطق ایران و جهان همخوانی داشته و اهمیت معیارهای کلیدی مورد استفاده در رویکردهای تلفیقی را تأیید می‌کند. نسبت ٦٠ درصدی اراضی مناسب برای آبیاری نوین در دشت زیدون، در مقایسه با مطالعاتی نظیر Moradzadeh et al. (2019) در دشت زنجان (۲۳/۱۹٪ کاملاً مناسب)، بالا و با مطالعاتی نظیر Poursamsam et al. (2021) در دشت دز (٦۲/۷۷٪ مناسب) از نظر پتانسیل کلی، مشابه است. بالا بودن این نسبت در دشت زیدون (علی‌رغم محدودیت‌های آب) عمدتاً به دلیل بافت خاک مناسب و شیب مطلوب است که با اهمیت بالای زیرمعیار بافت خاک در تحلیل AHP هم‌خوانی دارد.

در سطح معیارها و اولویت‌بندی، یافته‌های این تحقیق با ادبیات علمی مطابقت دارد:

اولویت‌بندی کیفی/کمی: تأکید AHP ما بر اهمیت بالای کیفیت آب و خاک (بافت خاک، EC آب) با نتایج Abuzaid & El-Husseiny (2022) در مصر و Temesgen & Terefe (2024) در اتیوپی هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عوامل زیست‌فیزیکی (موانع طبیعی) همیشه بر مسائل مدیریتی اولویت دارند.

انتخاب نوع سامانه: نتیجه‌گیری ضمنی این پژوهش مبنی بر لزوم استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (به دلیل اهمیت بالای سرعت باد) با نتیجه‌گیری Neissi et al. (2020) در دشت ایذه مطابقت دارد و بر انطباق سامانه‌های موضعی با اقلیم‌های وزش باد و تبخیر بالا صحه می‌گذارد.

چارچوب تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک رویکرد علمی و مؤثر، کارایی خود را در این پژوهش نیز اثبات کرد. AHP به ما امکان داد تا قضاوت‌های تخصصی (نظیر اهمیت بافت خاک و ریسک EC آب) را کمی‌سازی کرده و در یک ساختار سلسله‌مراتبی قرار دهیم، در حالی که GIS لایه‌های اطلاعاتی را تلفیق کرده و نقشه‌ی پهنه‌بندی را تهیه نمود که نقشه راه اجرایی برای توسعه ٦٠ درصدی مناطق مستعد را فراهم می‌کند. این تلفیق، یک ابزار ضروری برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه کشاورزی پایدار در ایران است.

٤- نتیجه‌گیری

این پژوهش با موفقیت، کارایی تلفیق مدل AHP و GIS را برای تعیین پتانسیل مکانی توسعه سامانه‌های آبیاری نوین در دشت حیاتی زیدون پلدشت به اثبات رساند. نتایج نشان داد که در ارزیابی کارشناسان، عواملی نظیر بافت خاک، پایداری کمی-کیفی آب و محدودیت‌های اقلیمی (سرعت باد) مهم‌ترین نقش را در موفقیت پروژه‌های آبیاری ایفا می‌کنند. پهنه‌بندی نهایی، پتانسیل بالای ٦٠ درصدی اراضی دشت را برای استقرار سامانه‌های آبیاری نوین تأیید کرد و یک نقشه راه مکانیزه و مبتنی بر شواهد علمی برای تصمیم‌گیران ارائه داد. این رویکرد، برای تضمین افزایش بهره‌وری آب و پایداری بلندمدت بزرگترین مجتمع باغی منطقه حیاتی است.

بر اساس تحلیل‌های فنی و مکانی انجام شده، پیشنهادات زیر برای نهادهای تصمیم‌گیرنده و پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود:

١. اولویت‌بخشی به توسعه قطره‌ای و تمرکز سرمایه: به سازمان‌های متولی پیشنهاد می‌شود که تخصیص یارانه‌ها و تسهیلات فنی را منحصراً بر روی مناطق ٦٠ درصدی مناسب متمرکز سازند تا راندمان سرمایه‌گذاری به حداکثر رسیده و ریسک طرح‌های توسعه کاهش یابد.

٢. تدوین طرح‌های اصلاحی مناطق نامناسب: برای ٤٠ درصد مناطق نامناسب، انجام مطالعات دقیق‌تر و اجرای پروژه‌های بهبود بافت خاک و زهکشی در نواحی دارای شوری/رس بالا، پیش از صدور هرگونه مجوز توسعه یا تخصیص آب، ضروری است.

٣. مدل‌سازی پویای منابع آب: با توجه به اهمیت بالای آبدهی و EC آب رودخانه ارس، مطالعات آتی باید به سمت مدل‌سازی دینامیک این پارامترها در سناریوهای تغییر اقلیم حرکت کنند تا مدل پهنه‌بندی به‌صورت دوره‌ای و بر اساس نوسانات کمی-کیفی منابع آب، به‌روزرسانی شود.

٤. ارزیابی اقتصادی: انجام مطالعات تحلیل منفعت-هزینه بر مبنای نقشه‌های پهنه‌بندی شده برای مقایسه اقتصادی سامانه‌های مختلف آبیاری، برای افزایش توجیه و اطمینان در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی، توصیه می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

احمد عبدالله‌پور، سکینه جبارپور، رستم آقازاده: طراحی و مفهوم‌سازی مطالعه. **احمد عبدالله‌پور، سکینه جبارپور، رستم آقازاده**: روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها. **سکینه جبارپور**: سرپرستی و نگارش نهایی.

منابع

Abdi, B., Bahmanesh, J., Hesari, B., & Azad, N. (2018). Locating areas susceptible to implementing sprinkler irrigation systems using the fuzzy analytic hierarchy process method in Urmia city. *9th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources*, Tehran. https://civilica.com/doc/858560

Abdollahzadeh Kahrizi, R., Kokabinezhad Moghaddam, A. H., & Merufinia, E. (2023). Investigating virtual water and agricultural water productivity index in crops of Poldasht plain. *Water and Soil Management and Modelling*, *3*(1), 54–68. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11090.1100

Ahmadi, A., Hezarjaribi, A., Ghorbani, K., & Hesam, M. (2018). Locating susceptible regions implementation of new irrigation systems (Localized irrigation, Sprinkler irrigation, Low pressure irrigation) by using Analytical Hierarchy Process (AHP) in GIS (Case Study: North Khorasan Province, Esfarayen). *Journal of Water and Soil Conservation*, *25*(5), 69–87. https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.13335.2798. (In Persian).

Al-Hanbali, A., Shibuta, K., Alsaaideh, B., & Tawara, Y. (2022). Analysis of the land suitability for paddy fields in Tanzania using a GIS-based analytical hierarchy process. *Geo-Spatial Information Science*, *25*(2), 212–228. https://doi.org/10.1080/10095020.2021.2004079

Al-Jawad, J. Y., Alsaffar, H. M., Bertram, D., & Kalin, R. M. (2019). A comprehensive optimum integrated water resources management approach for multidisciplinary water resources management problems. *Journal of Environmental Management*, *239*, 211–224. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.045

Amini, S., Rohani, A., Aghkhani, M. H., Abbaspour-Fard, M. H., & Asgharipour, M. R. (2020). Assessment of land suitability and agricultural production sustainability using a combined approach (Fuzzy-AHP-GIS): A case study of Mazandaran Province, Iran. *Information Processing in Agriculture*, *7*(4), 384–402. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.10.001

Azad, N., Rezaei Abajelu, E., & Behmanesh, J. (2018). Locating the potential areas for executing surface and pressurized irrigation systems using fuzzy analytical hierarchy process method in Myandoab plain. *Irrigation Sciences and Engineering*, *41*(4), 119–132. https://doi.org/10.22055/jise.2017.17257.1253. (In Persian).

Gharahdaghi, M., Maroufpoor, E., Babaei, K., & Mansouri, F. (2014). Potentiality of susceptible regions for pressurized irrigation systems implementation using GIS (Case study: Babakhan irrigation and drainage network). *Water and Soil*, *27*(6), 1111–1122. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.33118. (In Persian).

Hassan, W. H., Mahdi, K., & Kadhim, Z. K. (2025). GIS-based multi-criteria decision making for identifying rainwater harvesting sites. *Applied Water Science*, 15. https://doi.org/10.1007/s13201-025-02378-5

Hojati, S. F. , Zakerinia, M. & Kazemi, H. (2024). Determining areas prone to implementing of pressurized irrigation systems using hierarchical analysis (case study: Gorgan city). *Iranian Water Researches Journal*, *18*(3), https://doi.org/10.22034/iwrj.2024.14803.2609. (In Persian).

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S., & Sadeghi, S. (2016). Determination of suitable cropping pattern for Golestan province by geographical information system (GIS). *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, *29*(110), 88–106. https://sid.ir/paper/200690/en. (In Persian)

Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, Inc.

Mashi, S. A., Muye, A. A., Idris, K., & Sani, S. (2024). Crop pest and diseases risks mapping using geographic information system (GIS) and analytical hierarchy process (AHP) techniques. Authorea Preprints. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4932236

Moradzadeh, P., Ojaghlou, H., & Ghabaei Sough, M. (2019). Assessment of sprinkler irrigation systems situation using analytical hierarchy process method (Case study: Zanjan plain). *Water and Soil*, *33*(4), 565–578. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.81485

Nakhaee, M., Hashemi, R., Khashee Sivaki, A., & Ahmadi, M. (2016). Optimization of crop pattern using analytical hierarchy process and linear programming (Case study: Plain Birjand). *Irrigation Sciences and Engineering*, *39*(2), 115–124. https://doi.org/10.22055/jise.2016.12116. (In Persian)

Nasirahmadi, K., Yousefi, Z., & Tarassoli, A. (2012). Zoning of water quality on Haraz river bases on national sanitation foundation water quality index. *J Mazandaran Univ Med Sci*, *22*(92), 64–71. (In Persian).

Neissi, L., Albaji, M., & Nasab, S. B. (2020). Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*, *231*, 106004. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106004

Okada, H. (2007). Application of the analytic hierarchy process to irrigation project improvement Doctoral dissertation, University of California, Davis.

Poursamsam, H., Akbari, E., Akhond Ali, A. M., & Boroomand Nasab, S. (2021). Locating suitable areas for surface and pressurized irrigation systems using hierarchical analysis in Dez plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(1), 47–59. https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123656. (In Persian).

Ramzi, R., Khashaei Siouki, A., & Shahidi, A. (2014). Determining areas susceptible to drip irrigation using the analytic hierarchy process in South Khorasan province. *Soil and Water Sciences*, *18*(69), 227–236. http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2876-fa.html

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, *41*(11), 1073–1076. https://www.iasj.net/iasj/download/9c50d6dda6342d0f

Samarghandi, M., Weysi, K., Aboee Mehrizi, E., Kaseb, P., & Danai, E. (2013). Evaluation of water quality in Ekbatan reservoir of Hamadan by NSFWQI index. *North Khorasan University of Medical Sciences*, *5*(1), 63–69. http://journal.nkums.ac.ir/article-1-35-fa.html. (In Persian).

Sathiyamurthi, S., Saravanan, S., Sankriti, R., Aluru, M., Sivaranjani, S., & Srivel, R. (2024). Integrated GIS and AHP techniques for land suitability assessment of cotton crop in Perambalur District, South India. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, *15*(1), 267–278. https://doi.org/10.1007/s13198-022-01705-2

Sengupta, S., Mohinuddin, S., Arif, M., Sengupta, B., & Zhang, W. (2022). Assessment of agricultural land suitability using GIS and fuzzy analytical hierarchy process approach in Ranchi District, India. *Geocarto International*, *37*(26), 13337–13368. https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2076925

Shadmani, M., Faramarzi Movahed, A., & Marouf, P. (2010). Locating suitable areas in Hamedan province for implementing pressurized irrigation systems using GIS. In *3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference*. Ahvaz. https://civilica.com/doc/111716. (In Persian).

Talukdar, S., Naikoo, M. W., Mallick, J., Praveen, B., Sharma, P., Islam, A. R. M. T., Pal, S., & Rahman, A. (2022). Coupling geographic information system integrated fuzzy logic-analytical hierarchy process with global and machine learning based sensitivity analysis for agricultural suitability mapping. *Agricultural Systems*, *196*, 103343. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103343

Temesgen, F., & Terefe, B. (2024). Utilizing multi-criteria decision-making analysis and 3D visualization techniques for dam site selection and irrigation area identification in Gedeb River, Ethiopia. Heliyon, 10(15), e35604. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35604

Vafaeinejad, A. (2016). Cropping pattern optimization by using of TOPSIS and genetic algorithm based on the capabilities of GIS. *Journal of Ecohydrology*, *3*(1), 69–82. https://doi.org/10.22059/ije.2016.59191. (In Persian).

Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *68*, 986–996. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014