تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۶ /پاییز ۱۴۰۳/صفحه ۱۲۴ - ۱۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

مکان‌یابی زمین‌های دیم مستعد آبیاری تکمیلی به‌منظور ارتقای بهره‌وری مصرف آب

حسن اوجاقلو[1*]، زهرا امیری آبدوچالی[2]، سپیده ارومی[3]

[1*] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[3] دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۰/۲۱

چکیده

ارتقای بهره‌وری مصرف آب کشاورزی یکی از راهکارهای به‌زراعی مهم برای رسیدن به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در این راستا، مکان‌یابی زمین‌های دیم مناسب به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی از اقداماتی است که برای بهبود بهره‌وری مصرف آب و امنیت غذایی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش، با استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی (AHP) زمین‌های دیم مستعد آبیاری تکمیلی در استان زنجان تعیین شد. برای این منظور، معیارهای دسترسی به منابع آب، کیفیت آب، ویژگی‌های کمی و کیفی خاک، اقلیم، راه دسترسی و توپوگرافی در نظر گرفته شد. مقایسه‌های زوجی بین معیارها و طبقه‌بندی زمین‌ها با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در محیط ArcGIS اجرا و نشان داده شد که بیشترین وزن و اهمیت را معیار دسترسی به منابع آب و کمترین وزن را معیارهای جاده دسترسی و توپوگرافی داراست. بر اساس نقشه‌های مکان‌یابی تهیه شده و انطباق آن با نقشهٔ زمین‌های دیم استان زنجان، کلاس زمین‌های دیم از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی شامل ۱۹ درصد کاملاً مناسب، ۴۰/۶ درصد مناسب، ۲۷/۸ درصد با محدودیت متوسط، ۱۰/۶ درصد نامناسب و ۲ درصد کاملاً نامناسب شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، به‌زراعی، زمین‌های دیم، نقشهٔ پهنه‌بندی

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آبی موجود و بحران کم‌آبی، بهینه‌سازی و بهینه‌یابی عوامل تولید یکی از اصول مهم در فعالیت‌های دنیای امروزه است. بخش کشاورزی نیز مانند دیگر بخش‌ها از این قاعده کلی مستثنی نیست و با توجه به نوع اقلیم کشور و محدودیت‌های منابع آبی از نظر مکانی و زمانی و محدودیت‌های کشت، استفادهٔ درست و اصولی از منابع آب از مولفه‌هایی است که در اولویت قرار دارد (Aria Azar *et al.*, 2019). با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور و ناممکن بودن توسعهٔ منابع آبی جدید در بخش کشاورزی، استفاده از روش‌های علمی و فنی مناسب به‌منظور افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از اولویت‌های مهم بخش کشاورزی است (Gomrokchi & Parvaresh Rizi, 2017; Abdzad Gohari, 2019). افزایش روزافزون جمعیت در جهان، کشورها را به فکر بالا بردن تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح و به‌طور مشخص افزایش بهره‌وری سوق داده است. بهره‌وری بهینه به‌معنای افزایش محصول تولیدی به‌ازای حجم آب مصرفی بهینه و متناسب با نیاز واقعی محصول است (Mamanpoosh & Mosavi, 2006). مطالعهٔ پتانسیل‌های موجود و قابلیت زمین‌ها و تطابق دادن الگوی کشت با توانمندی‌های منطقه در بسیاری از مناطق برای توسعه محصولات می‌تواند هم از لحاظ منابع و هم از لحاظ

نگارنده مسئول: **Email:** ojaghlou@znu.ac.ir

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.367655.1599

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

اقتصادی منجر به بهره‌وری مناسب‌تری گردد (Stigter *et al.*, 2006). افزون بر این، تطبیق نوع مدیریت آبیاری متناسب با شرایط زمین‌های کشاورزی در هر منطقه یکی از راه‌های مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی است. به‌نژادی (اصلاح ژنتیکی ارقام محصولات) و به‌زراعی (مدیریت مصرف نهاده‌ها) دو راهکار مهم به‌منظور افزایش تولید و بهره‌وری شناخته می‌شوند (Koocheki *et al.*, 2019). آبیاری تکمیلی یکی از برنامه‌های به‌زراعی در زمین‌های دیم است که می‌تواند موجب کاهش ریسک و ایجاد ثبات در عملکرد محصولات در زمین‌های دیم گردد (Tavakoli, 2001). در سال‌های اخیر کاربرد این برنامهٔ به‌زراعی در ارتقای بهره‌وری زمین‌های دیم مورد توجه محققان قرار گرفته است. نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد با این برنامهٔ آبیاری، محصول تولیدی و در نهایت بهره‌وری مصرف آب را می‌توان به‌طور چشمگیر افزایش داد (Karimi & Joleini, 2019). نتایج مطالعات مرتبط با آبیاری تکمیلی در کشورهای مراکش، ترکیه، قبرس و پاکستان نشان‌دهنده افزایش عملکرد حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ درصد در آبیاری تکمیلی نسبت به دیم است (Perrier & Salkini., 1991). نتایج گزارش شده از مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک ایکاردا در سوریه نشان دهندهٔ افزایش عملکرد گندم از ۲/۵ به ۵/۹ تن در هکتار تحت‌تأثیر اجرای آبیاری تکمیلی در زمین‌های دیم است (Oweis *et al.*, 1998). کمالی و شهابیان (Kamali & Shahabian, 2020) با بررسی اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم در مازندران نشان دادند که آبیاری تکمیلی روی تعداد سنبله و طول آن تأثیر زیادی ندارد ولی بر مقدار پروتئین اثر مقابل دارد. این محققان اضافه می کنند دو نوبت آبیاری می‌تواند بهترین حالت از نظر محصول‌دهی را به‌دنبال داشته‌باشد. نتایج تحقیقات توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.*, 2010) در دو استان لرستان و کرمانشاه نشان داد که تک آبیاری پاییزه یا بهاره به‌همراه مدیریت‌های زراعی، بهره‌وری کل آب مصرفی را به محدودهٔ ۰/۷۱-۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب ارتقا می‌دهد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2019) با مطالعهٔ اثر خشکی بر ژئوتیپ‌های پیشرفته عدس نشان دادند که با آبیاری تکمیلی، عملکرد دانه تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. طبق تحقیقات انجام یافته در استان زنجان، دو نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله داناب و خوشاب در هر مرحله به‌طور مجزا ۵۰۰ مترمکعب در هکتار، عملکرد گندم دیم رقم سرداری را تا ۴ برابر افزایش می‌دهد (Babazadeh *et al.*, 2011) در جهان حدود ۸۰ درصد زمین‌های کشاورزی به‌صورت دیم کشت می‌شوند که در حدود ۷۰ درصد از کل تولیدات کشاورزی جهان را به‌دست می‌دهند (Tavakoli *et al.*, 2010). در کشور ما نیز در حال حاضر ۷/۸ میلیون هکتار و ۶ میلیون هکتار از زمین‌ها به‌ترتیب به‌صورت آبی و دیم کشت می‌شوند که نشان‌دهندهٔ سهم ۴۳ درصدی زمین‌های دیم از کل زمین‌های زراعی است. حدود ۱۰ درصد از فرآورده‌های خام کشاورزی در کشور از بخش دیم تولید می‌شود (Verdi Nezhad *et al.*, 2010). زمین‌های دیم سهم قابل توجهی از سطح زیر کشت و تولید محصولات زراعی را در کشور و جهان دارند. عملکرد این نوع مزارع به‌شدت وابسته به بارندگی است. با توجه به خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر، از یک سو و لزوم ارتقای بهره‌وری از سوی دیگر، این نوع اراضی موردتوجه ویژه قرار گرفته است. پتانسیل افزایش تولید و بهره‌وری به‌طور چشمگیر در زمین‌های دیم با استفاده از مدیریت‌های به‌زراعی مانند آبیاری تکمیلی وجود دارد. دربارهٔ این مدیریت آبیاری توجه به دو نکته ضروری است یکی قابلیت زمین‌ها از نظر کاربرد آبیاری تکمیلی و دیگری در دسترس بودن منابع آب. بنابراین، بررسی پتانسیل زمین‌های دیم از نظر معیارهای مختلف به‌منظور آبیاری تکمیلی گام نخست برای اجرای این مدیریت آبیاری در زمین‌های دیم است (Saeidi *et al.*, 2021; Salak

(Zamani, 2016). روش‌های متعددی به‌منظور بررسی قابلیت و طبقه‌بندی زمین‌ها از نظر اهداف مختلف وجود دارد. امروزه با توسعهٔ سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی GIS و روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره، این امکان فراهم است تا با تهیه و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی هر یک از عوامل مورد بررسی، طبقه‌بندی زمین‌ها میسر گردد (Malczewski, 1999). یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) است. AHP ابزاری است بسیار کاربردی که به‌صورت گسترده در فرآیند تصمیم‌گیری‌های چند معیاره استفاده می‌شود (Saaty, 1996). این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد (Ghodsipour, 2013). فرآیند AHP روشی است منعطف، قوی و ساده برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای متضاد انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. در چنین شرایطی، روش‌های ارزیابی چند معیاری با توجه به اینکه هر یک از محورها، بعد یا محور جداگانه‌ای هستند به‌کار گرفته می‌شوند (Zebardast, 2001). در سال‌های اخیر، این تکنیک کاربرد وسیعی در مطالعات مرتبط با مکان‌یابی و طبقه‌بندی در حوزه‌های مختلف مانند کشاورزی و محیط زیست داشته است.

مکان‌یابی مناطق مناسب از نظر کیفیت آب زیرزمینی (Das & Pal, 2019; Karakus, 2018; Mallik *et al*., 2020; Nair Nithya, 2019)، طبقه‌بندی زمین‌های مستعد اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار (Moradzadeh *et al*., 2019; Azad Talatapeh *et al*, 2018; Ahmadi *et al*., 2018; Anane *et al*., 2012; Neissi *et al*., 2020)، شناسایی نقاط مناسب برای احداث مخازن و سدهای ذخیره آب (Amani *et al*. 2015; Jozaghi and Shamsai 2017; Amanian *et al*., 2019). با استفاده از روش AHP بررسی شده‌اند. عملکرد قابل قبول این روش تصمیم‌گیری در مطالعات دیگر با اهداف مختلف مانند رتبه‌بندی تولیدات صنعتی کشور (Masoomzadeh & Torabzadeh, 2004)، اولویت‌بندی صنایع بر مبنای قابلیت بازارسازی بین‌المللی و تجارت الکترونیکی (Khodad Hosseini & Fathi, 2002)، صنعت، مکان‌یابی امکانات (Yang & Lee, 1997) را محققان گزارش کرده‌اند. بررسی منابع پیشین نشان می‌دهد مطالعات در زمینهٔ مکان‌یابی زمین‌های مناسب برای آبیاری تکمیلی محدود است. پتانسیل زمین‌های دیم به‌منظور آبیاری تکمیلی در استان قزوین با استفاده از دو معیار شیب و کاربری زمین‌ها مطالعه شده و بر اساس نتایج به‌دست آمده حدود ۹۷/۵ درصد زمین‌های دیم استان قزوین مناسب اجرای آبیاری تکمیلی شناخته شده است که بیشتر این زمین‌ها در دشت قزوین و در مجاورت زمین‌های آبی قرار دارند (Ramezani Etedali *et al*., 2022). سطح زیر کشت زمین‌های دیم در استان زنجان قابل توجه است به‌طوری که با مساحت حدود ۳۳۸ هزارهکتار رتبه هفتم کشور را دارد و از این نظر به‌عنوان یکی از استان‌های با ظرفیت بالای تولید محصولات دیم در سطح کشور شناخته می‌شود. با توجه به پتانسیل بالای تولید در زمین‌های دیم از یک سو و کاهش منابع آب در دسترس مزارع آبی از سوی دیگر، به‌کارگیری تکنیک‌های به‌نژادی و به‌زراعی از راهکارهای مهم در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در این گونه زمین‌های کشاورزی شناخته می‌شود. آبیاری تکمیلی یکی از تکنیک‌های به‌زراعی با قابلیت اجرایی مناسب محسوب می‌گردد و عملکرد آن وابسته به عوامل متعدد است. نتایج رضایت‌بخش از اجرای این تکنیک زمانی قابل حصول خواهد بود که ضمن بررسی عوامل مؤثر، زمین‌های دیم مناسب شناسایی و انتخاب گردد.

هدف از این تحقیق تعیین زمین‌های دیم مناسب به‌منظور آبیاری تکمیلی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد کاربرد روش مذکور در اولویت‌بندی زمین‌ها به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی بررسی نشده‌است. برای این منظور

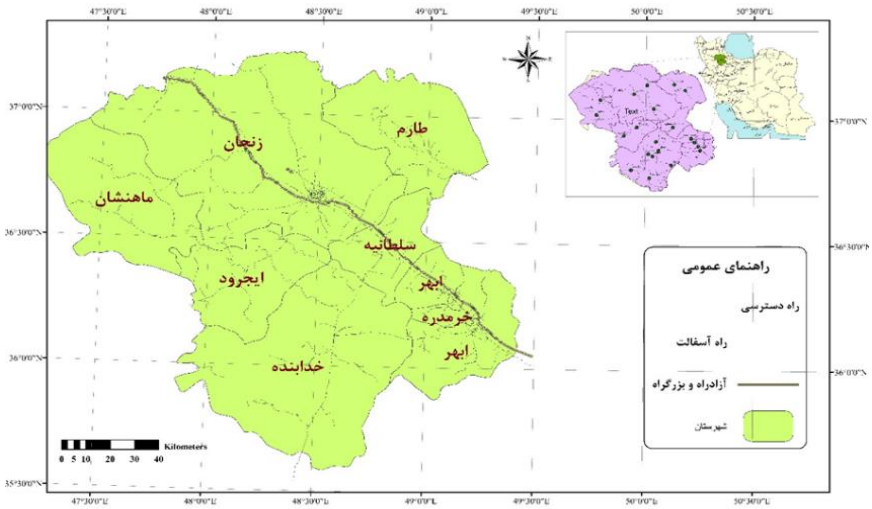
[1]Analytical Hierarchy Process

معیارهای اثرگذار بر عملکرد آبیاری تکمیلی شامل کیفیت آب، توپوگرافی، دسترسی به منابع آب، ویژگی‌های کمی و کیفی خاک، اقلیم و جاده دسترسی در نظر گرفته شد. عوامل دیگری نظیر دسترسی به انرژی بر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی موثر می‌باشد. با توجه به اینکه اجرای آبیاری تکمیلی با روش‌های سطحی و بدون نیاز به انرژی مورد پیشنهاد است، از این رو معیار دسترسی به انرژی بررسی نگردید. معیارهایی مانند ویژگی‌های کمی و کیفی آب، خاک و توپوگرافی به‌طور مستقیم بر قابلیت آبیاری زمین‌ها مؤثر هستند. معیار دسترسی به منابع آب به‌عنوان یک عامل وتویی مطرح است و اگر دسترسی به منابع آبی وجود نداشته باشد، امکان اجرای آبیاری تکمیلی هم فراهم نخواهد بود. راه دسترسی نیز عاملی مهم و تعیین کننده در اجرای آبیاری تکمیلی محسوب‌می‌شود. عامل اقلیم نیز به‌دلیل اثرگذاری بر حجم منابع آب سطحی قابل دسترس در نظر گرفته شد. با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، مقایسه‌های زوجی بین معیارها صورت گرفت و اهمیت هریک در تعیین قابلیت زمین‌ها از نظر اجرای آبیاری تکمیلی مشخص شد. سرانجام نقشه اولویت‌بندی زمین‌های استان زنجان از لحاظ دارا بودن شرایط لازم برای اجرای آبیاری تکمیلی تهیه شد. با تطبیق نقشه زمین‌های دیم بر نقشهٔ اراضی طبقه‌بندی شده، زمین‌های دیم از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی اولویت‌بندی شد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

استان زنجان با وسعت ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع با آب و هوای سرد و نیمه‌خشک در منطقه شمال‌غرب کشور قرار گرفته است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، این استان بین طول جغرافیایی ۴۷/۱۸ تا ۴۹/۴۶ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵/۵۹ تا ۳۷/۲۳ درجه قرار گرفته‌است (شکل ۱). مساحت زمین‌های زراعی دیم استان زنجان در حدود ۳۳۸ هزار هکتار است و به‌طور میانگین حدود ۶۷ درصد سطح زیر کشت استان را دارد (SCI, 2022). اقلیم استان نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای و متوسط بارش سالانه آن ۳۰۳ میلی‌متر است. استان زنجان از نظر نوع و میزان بارندگی، در مقایسه با بیشتر مناطق کشور، وضعیت مناسب‌تری دارد که از این نظر مزیت بالایی برای زمین‌های دیم و پتانسیل بالای تولید محصولات دیم محسوب‌می‌شود. با این وجود در سال‌های اخیر، الگو و توزیع زمانی بارش‌ها تغییر یافته و مقدار آن نیز نسبت به بلندمدت کاهش یافته است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (استان زنجان)

Fig. 1- The geographic location of study area (Zanjan Province)

مهم‌ترین محصولات زراعی در زمین‌های دیم گندم، جو، نخود، عدس است. توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها در مناطق مختلف استان زنجان متفاوت است و از این رو عملکرد و بهره‌وری محصولات دیم نیز متغیر و کاملاً وابسته به میزان ریزش‌های جوی است. با توجه به سطح زمین‌های دیم و تناسب قابل قبول سطح قابل توجهی از این اراضی از نظر قابلیت آبیاری، امکان اجرای آبیاری تکمیلی وجود دارد.

روش AHP

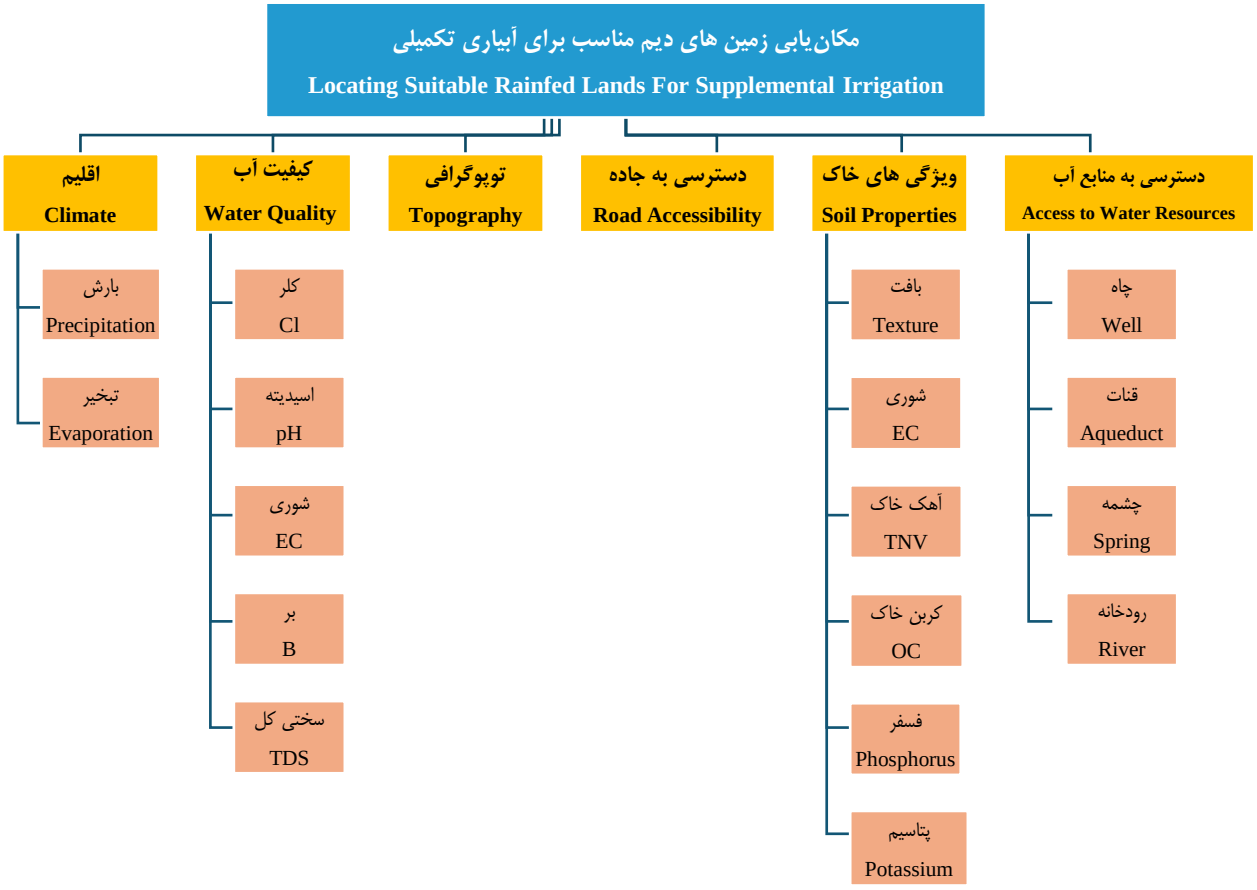
روش AHP بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را فراهم می‌سازد. اولین مرحلهٔ شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شامل هدف‌ها، معیارها و گزینه‌های احتمالی است. فرآیند شناسایی این عناصر و ارتباط بین آن‌ها در نهایت منجر به ایجاد ساختاری سلسله‌مراتبی می‌شود. روش AHP یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در نرم‌افزار ArcGIS است زیرا امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی را به وجود می‌آورد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را امکان‌پذیر می‌سازد. این روش تصمیم‌گیری بر مبنای مقایسه‌های زوجی بنا شده‌است و از این رو به ساده شدن محاسبات و قضاوت‌ها می‌انجامد. در این تکنیک، میزان سازگاری و ناسازگاری سیستم مشخص می‌شود که از مزایای ممتاز این فرآیند در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. در این تحقیق، هدف آن است که زمین‌های دیم مناسب برای آبیاری تکمیلی شناسایی شود. معیارهای اصلی شامل توپوگرافی، ویژگی‌های کیفی منابع آب، اقلیم، راه دسترسی، دسترسی به منابع آب و ویژگی‌های کمی و کیفی خاک است. برخی از معیارهای اصلی شامل زیرمعیارهای مختص به خود است. با توجه به هدف مسئله و معیارهای شناسایی‌شده، درخت تصمیم برای مطالعهٔ حاضر طراحی شد (شکل ۲).

در مرحلهٔ بعد، به هر یک از معیارها و زیرمعیارها از طریق مقایسه‌های زوجی توسط کارشناسان و صاحب‌نظران امتیاز داده شد (جدول ۱). تصمیم‌گیرنده باید مجموعهٔ ماتریس‌هایی را تکمیل کند که به‌طور عددی اهمیت یا برتری نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌کند. این کار با اجرای مقایسه‌های دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسهٔ زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی صورت می‌گیرد که نشان‌دهندهٔ برتری یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است.

اجرای مدل تصمیم‌گیری AHP

به‌منظور اجرای مدل تصمیم‌گیری AHP، ابتدا نقشهٔ پهنه‌بندی برای هر یک از زیرمعیارها با استفاده از روش درون‌یابی IDW (Inverse Distance Weighted) در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و پس از آن امتیازدهی مجدد لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از ابزار Reclassify صورت گرفت. امتیازدهی برای مقادیر مختلف زیرمعیارها مطابق (جدول ۲) دنبال شد. داده‌های مربوط به زیرمعیارهای منابع آب شامل چاه‌ها، چشمه‌ها، قنات‌ها و رودخانه‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان زنجان اخذ شد. اطلاعات مربوط به ۳۰۰ منبع آبی با پراکنش مکانی مناسب در سطح استان زنجان، که دربرگیرنده تمام پارامترهای کیفی مورد نیاز بود، به‌صورت تصادفی انتخاب شد.

به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های رستری مربوط به معیار دسترسی به منابع آبی، با استفاده از ابزار Buffer در نرم‌افزار ArcGIS 10.8، حریم‌های مختلف هر یک از انواع منابع آبی تهیه شد. داده‌های کیفی منابع آب شامل شوری، کلر، اسیدیته، بر و سختی آب بررسی و لایه‌های رستری امتیازدهی شده برای این زیرمعیارها تهیه شد.



شکل ۲- درخت تصمیم طراحی شده به‌منظور مکان‌یابی زمین‌های مناسب برای آبیاری تکمیلی

Fig. 2- A decision tree designed to identify suitable land for supplemental irrigation

جدول ۱- مقیاس مقایسه دوتایی معیارها در فرایند AHP

Table 1- the scale of paired comparison of criteria in AHP Process

امتیاز Score	شرح Definition
1	اهمیت مساوی Equally preferred
3	اهمیت اندکی بیشتر Moderately preferred
5	اهمیت بیشتر Strongly preferred
7	اهمیت خیلی بیشتر Very strongly preferred
9	اهمیت مطلق Absolutely preferred
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل فوق Intermediate situation

در این امتیازدهی، راهنمای طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری ارائه شده توسط فائو (FAO, 1985) لحاظ شد. نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به عوامل کمی و کیفی خاک شامل شوری، بافت، درصد آهک، کربن، فسفر و پتاسیم با استفاده از نتایج آزمایش‌های خاک در بیش از ۲۵۰ نقطه با توزیع مکانی مناسب در محدوده مورد مطالعه ایجاد شد. برای تهیهٔ نقشه‌های خاک از تمامی داده‌های موجود استفاده شد. نقشهٔ شیب مناطق مختلف استان با استفاده از نقشهٔ رقومی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استخراج شد. از نظر معیار توپوگرافی، مناسب‌ترین محل زمین‌های مسطح هستند. شیب‌های ملایم کمتر از ۲ درصد کلاس مناسب برای آبیاری تکمیلی شناخته شد و بیشترین امتیاز را در این طبقه‌بندی به‌دست آوردند. در خصوص جادهٔ دسترسی نیز با استفاده از نقشه راه‌های استان، نقشه رستری فاصله‌های مختلف ترسیم و امتیازدهی شد. بیشترین امتیاز مربوط به محدوده‌ای است که فاصله از جاده کم باشد و با افزایش فاصله از جاده از امتیاز نقاط کاسته می‌شود. از دیگر معیارهایی که در این پروژه اهمیت دارد، معیار اقلیم با دو زیر معیار بارش و تبخیر است. با توجه به هدف مدل تصمیم‌گیری، از نظر معیار اقلیم مناطقی مناسب هستند که بیشترین بارش و کمترین تبخیررا دارند. به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های پهنه بندی بارش و تبخیر، از آمار و اطلاعات ۷ ایستگاه سینوپتیک، ۱۸ ایستگاه تبخیر سنجی و ۳۷ ایستگاه باران سنجی واقع در کل استان زنجان استفاده شد. پس از تهیهٔ لایه‌های امتیازدهی شده، وزن هر لایه با تکمیل جدول مقایسه‌های زوجی توسط کارشناسان خبره تعیین می‌گردد. به‌منظور تکمیل جدول مقایسه‌های زوجی، پرسشنامه‌ای بر اساس معیارهای مشخص شده تنظیم شد و در اختیار متخصصان قرار گرفت. جدول‌های مقایسه‌های زوجی با استفاده از افزونهٔ extAhp در نرم‌افزار ArcGIS بر اساس میانگین دیدگاه‌های گردآوری شده تکمیل و مقدار وزن معیارها تعیین شد. مقدار عددی ناسازگاری ماتریس ساخته شده با توجه به وزن‌های محاسبه شده تعیین و کنترل شد. در صورتی که مقدار شاخص اشاره‌شده کمتر از ۰/۱ باشد، وزن‌های به‌دست آمده قابل قبول خواهد بود. با استفاده از افزونهٔ اشاره‌شده، وزن‌های به‌دست آمده در لایه‌های رستری امتیازدهی شده اعمال شد و از تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده نقشهٔ زمین‌های امتیازدهی شده تهیه شد. سرانجام، زمین‌ها بر اساس امتیازهای کسب شده با استفاده از ابزار Symbology طبقه‌بندی شدند.

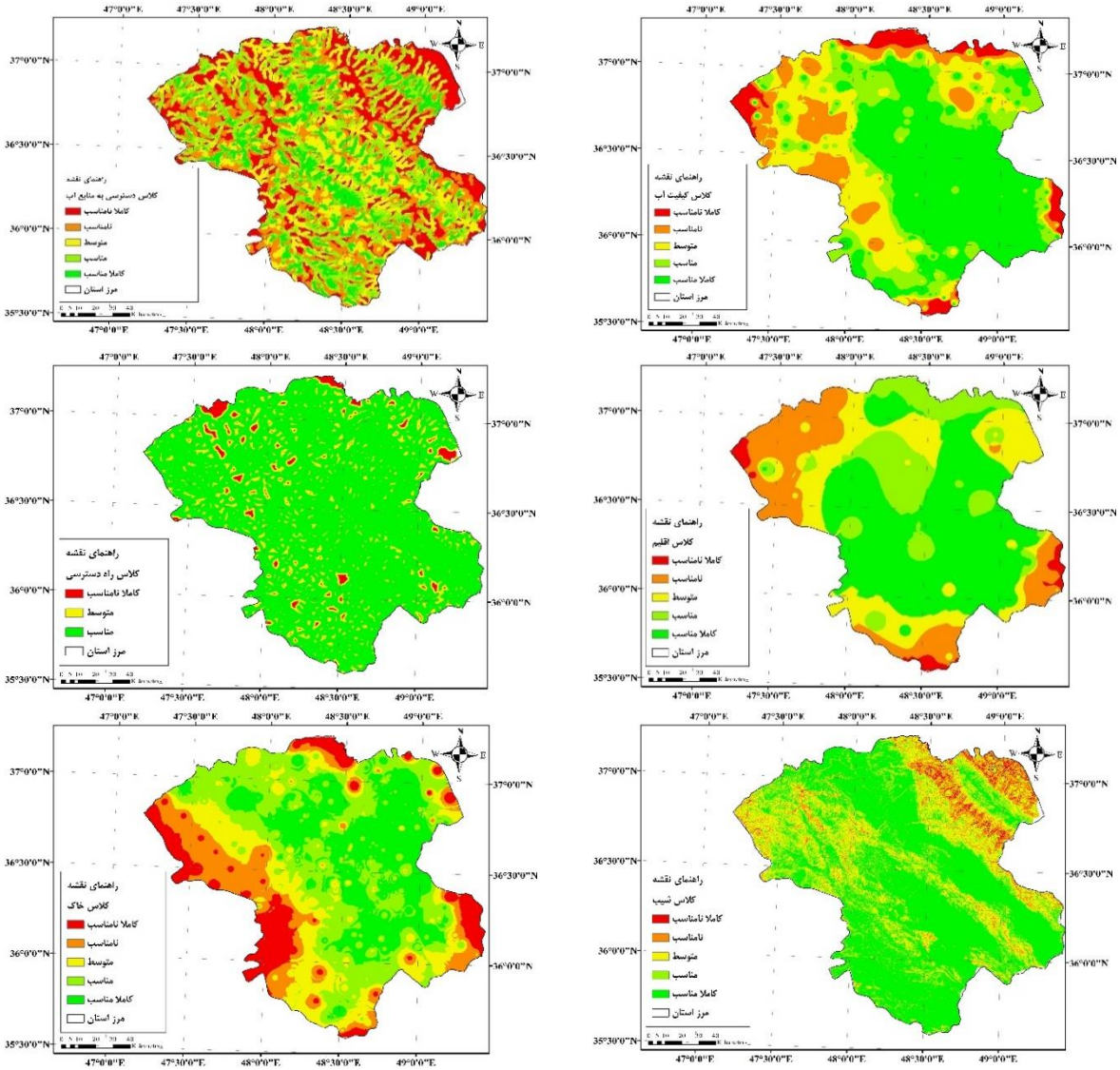
نتایج و بحث

نقشهٔ پهنه‌بندی معیارهای اصلی شامل دسترسی به منابع آب، کیفیت آب، خاک، اقلیم، توپوگرافی و راه دسترسی در (شکل ۳) ارائه شده‌است. نقشهٔ پهنه‌بندی معیار دسترسی به منابع آب از طریق هم‌پوشانی نقشه‌های وزن‌دهی شده زیرمعیارهای مرتبط شامل فاصله از چشمه، فاصله از رودخانه، فاصله از قنات و فاصله از چاه به‌دست آمد. مقدار وزن‌های زیرمعیارها از طریق مقایسه‌های زوجی تعیین شد به‌طوری که بیشترین وزن را فاصله از رودخانه و چشمه به‌دست آورد. با توجه به اینکه تأمین آب برای آبیاری تکمیلی در زمین‌های دیم از منابع سطحی در اولویت است، رودخانه‌ها و چشمه‌ها نسبت به دیگر منابع آبی اهمیت بالاتری دارند.

جدول ۲ - امتیازدهی معیارها با هدف مکان‌یابی زمین‌های مناسب برای آبیاری تکمیلی

Table 2- Scoring the criteria to identify suitable lands for supplemental irrigation

معیار Criteria	زیر معیار Sub-Criteria	مقدار Value	امتیاز Score
دسترسی به منابع آب Access to Water Resources	فاصله از چاه (متر) Distance from the well (m)	<1000	7-9
		>1000	2-6
	فاصله از چشمه (متر) Distance from the spring (m)	<2000	7-9
		>2000	2-6
	فاصله از قنات (متر) Distance from the aqueduct (m)	<2000	7-9
		>2000	2-6
	فاصله از رودخانه (متر) Distance from the river (m)	<2000	7-9
		>2000	2-6
کیفیت آب Water Quality	شوری (ds/m) EC (ds/m)	<2	7-9
		>2	2-6
	کلر (meq/lit) Cl (meq/lit)	<10	7-9
		>10	2-6
	بر (meq/lit) B (meq/lit)	<2	7-9
		>2	2-6
	اسیدیته (meq/lit) pH (meq/lit)	6.5-7.5	7-9
		<6.5 or >7.5	2-6
	سختی آب (mg/lit) TDS (mg/lit)	<200	7-9
		>200	2-6
توپوگرافی Topography	شیب (درصد) Slope (%)	<20	7-9
		>20	2-6
ویژگی‌های خاک Soil Properties	بافت Texture	Loam, Sandy Loam, Clay Loam, Silty Loam	7-9
		Sandy, Clay, Sandy Clay	2-6
	مادهٔ آلی (درصد) Organic Matter (%)	>1	7-9
		<1	2-6
	فسفر (meq/lit) Phosphorus (meq/lit)	>10	7-9
		<10	2-6
	پتاسیم (meq/lit) Potassium (meq/lit)	>100	7-9
		<100	2-6
	آهک (درصد) TNV (%)	<30	7-9
		>30	2-6
	شوری (d/m) EC (ds/m)	<4	7-9
		>4	2-6
راه دسترسی Access Road	فاصله از جاده (متر) Distance from road (m)	<3000	7-9
		>3000	2-6
عوامل اقلیمی Climate Factors	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	>250	7-9
		<250	2-6
	تبخیر (میلی‌متر) Evaporation (mm)	<2000	7-9
		>2000	2-6



شکل ۳ – نقشه‌های طبقه‌بندی شده معیارهای اصلی

Fig. 3- The classified maps of the main criteria

مطابق نقشهٔ معیار دسترسی به منابع آب، مناطق با تراکم بالای رودخانه‌ها در کلاس مناسب قرار گرفته‌اند. در مقابل، ارتفاعات استان به‌طور مشخص در نواحی مرزی در کلاس نامناسب قرار گرفتند. به‌طور کلی از نظر معیار دسترسی به منابع آب، سطح قابل توجهی از زمین‌های استان در کلاس متوسط یا نامناسب قرار گرفته است. نقشهٔ پهنه‌بندی معیار کیفیت آب نیز از طریق هم‌پوشانی نقشه‌های وزن‌دهی شده زیرمعیارهای مرتبط شامل شوری، کلر، بر و اسیدیته و سختی آب به‌دست آمد. در بین زیرمعیارهای اشاره‌شده، زیر معیار شوری بیشترین اهمیت را دارد. مطابق نقشهٔ ارائه شده مشاهده می‌گردد در بیشتر مناطق استان زنجان از نظر کیفیت آب به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی محدودیت جدی وجود ندارد. مناطق مرکزی استان دارای کلاس مناسب و کاملاً مناسب هستند که محدوده‌ای وسیع را در بر گرفته‌اند. در نواحی محدودی واقع در غرب و جنوب غربی استان، کلاس نامناسب کیفی آب مشاهده می‌شود. در بین عوامل کیفی آب، شوری بیشترین عامل محدودکننده محسوب می‌گردد. نقشهٔ نهایی

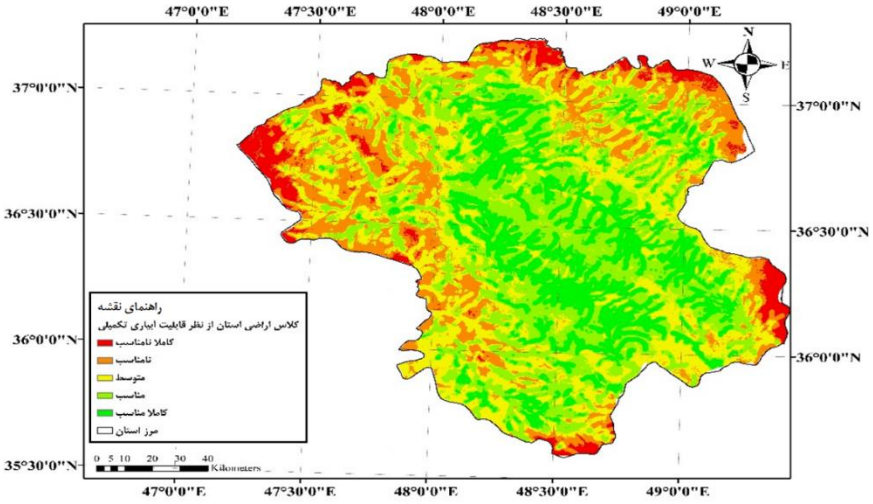
خاک از تلفیق نقشه‌های وزن‌دهی شده شش زیر معیار شوری، بافت، مادهٔ آلی، فسفر، پتاسیم و آهک تهیه شد. در بین عوامل مرتبط با خاک، مادهٔ آلی بیشترین وزن و اهمیت را دارد. در واقع، بر اساس نتایج مقایسه‌های زوجی بین زیرمعیارهای خاک، در تعیین مناطق مناسب به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی، میزان حاصلخیزی اهمیت بالاتری دارد. دیگر عوامل با اختلاف کمتری نسبت به‌هم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. با توجه به نقشهٔ طبقه‌بندی شده معیار خاک، بیشتر مناطق استان و به‌خصوص دشت‌ها در کلاس مناسب یا کاملاً مناسب قرار گرفته‌اند. مناطق واقع در ارتفاعات از نظر عوامل کمی و کیفی مرتبط با خاک امتیاز کمتری دارند. در بین زیرمعیارها نیز از نظر کربن آلی و پتاسیم محدودیت جدی وجود ندارد. با این همه از نظر فسفر، محدودیت جدی و متوسط در بیشتر مناطق استان مشاهده می‌شود. از نظر بافت و آهک خاک محدودیت کم تا متوسط در برخی مناطق وجود دارد. نقشهٔ زمین‌های طبقه‌بندی شده از نظر معیار اقلیم نیز با استفاده از هم‌پوشانی نقشه‌های وزن‌دهی شده بارش و تبخیر به‌دست آمد. بر اساس نتایج جدول‌های مقایسه‌های زوجی، وزن بارش نسبت به تبخیر بیشتر بود. میانگین بارش و تبخیر در استان زنجان به‌ترتیب ۳۰۳ میلی‌متر و ۱۷۳۲ میلی‌متر است. از نظر اقلیم، بیشتر مناطق مرکزی استان در کلاس مناسب قرار گرفته است. بخش‌هایی از استان نیز به‌دلیل میزان بارش کم در کلاس متوسط یا نسبتاً نامناسب قرار گرفته است. مطابق نقشهٔ طبقه‌بندی شدهٔ زمین‌های استان از نظر شیب، محدودیت جدی برای اجرای آبیاری تکمیلی در بیشتر مناطق استان وجود ندارد. بخش‌هایی هم که با محدودیت جدی مواجه هستند در واقع زمین‌های غیرقابل کشت و به‌طور مشخص ارتفاعات هستند. از نظر راه دسترسی نیز بیشتر مناطق استان به‌دلیل دارا بودن جاده‌های دسترسی در کلاس مناسب قرار گرفته‌اند. پس از تهیهٔ نقشه‌های طبقه‌بندی شده معیارهای اصلی، مقایسه‌های زوجی بین آن‌ها ادامه یافت و نقشهٔ نهایی کلاس زمین‌ها از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی تهیه شد. ضریب‌های وزنی به‌دست آمده برای هر یک از معیارهای اصلی در جدول (۳) آورده شده‌است. بر اساس قضاوت‌های کارشناسی، اجرای آبیاری تکمیلی وابسته است به دسترسی به منابع آب و این معیار با وزن ۰/۳۴ بیشتر اهمیت را در بین معیارهای مورد بررسی دارد. در بین زیرمعیارهای دسترسی به منابع آب نیز فاصله از رودخانه بیشترین وزن را دارد و زیرمعیارهای فاصله از چشمه و قنات در رتبه‌های بعدی از نظر وزن و اهمیت قرار گرفتند. برآیند دیدگاه‌های کارشناسی بر این است که به‌منظور تأمین آب مورد نیاز، منابع آب سطحی نسبت به زیرزمینی در اولویت قرار دارند. معیار کیفیت آب با وزن ۰/۲۳ در رتبهٔ دوم از نظر اهمیت و میزان تأثیرگذاری بر هدف مورد نظر قرار گرفت. در بین زیرمعیارهای کیفیت آب نیز پارامتر شوری بیشترین اهمیت را داشته است. بنابراین می‌توان گفت معیارهای دسترسی به منابع آب و کیفیت آب با مجموع وزن ۰/۵۷ مهم‌ترین معیارهای تعیین کننده در طبقه‌بندی زمین‌ها از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی شناخته شدند. در مطالعات پیشین در مکان‌یابی زمین‌های مناسب از نظر اجرای سامانه‌های آبیاری، وزن و اهمیت بالای معیارهای مرتبط با کمیت و کیفیت آب گزارش شده‌است (Moradzadeh *et al.*, 2019). نتایج مقایسه‌های زوجی منطقی ارزیابی می‌گردد و کاملاً قابل‌انتظار است که اجرای عملیات آبیاری در درجهٔ اول به وجود منابع آبی و در درجهٔ دوم به کیفیت آب وابسته باشد. معیارهای اقلیم و خاک نیز در رتبه‌های سوم و چهارم از نظر اهمیت قرار گرفتند. بارش در بین زیرمعیارهای اقلیم و مادهٔ آلی خاک در بین زیرمعیارهای خاک بیشتر وزن را به‌دست آوردند. نقش بارش در حجم منابع آبی قابل دسترس و اثر مادهٔ آلی خاک بر درجهٔ حاصلخیزی و بالا رفتن عملکرد و بهره‌وری از مهم‌ترین عوامل بالا بودن وزن‌های دو عامل یادشده

هستند. معیارهای جادهٔ دسترسی و توپوگرافی، نسبت به دیگر معیارها، کمترین اهمیت و وزن را دارند و از نظر اثرگذاری بر هدف در یک سطح ارزیابی شدند. میزان ناسازگاری در مقایسه‌های زوجی معیارها و زیرمعیارها کنترل گردید و در تمام جدول‌های مقایسه‌ای، مقدار آن کمتر از ۰/۱ محاسبه شد. نقشهٔ زمین‌های طبقه‌بندی شده از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی با استفاده از روش AHP در (شکل ۴) ارائه شده‌است. پس از تلفیق نقشهٔ زمین‌های دیم با نقشهٔ زمین‌های طبقه‌بندی شده، نقشه زمین‌های دیم نیز طبقه‌بندی و در (شکل۵) ارائه شده‌است.

جدول ۳ - ضریب‌های وزنی معیارها در روش AHP

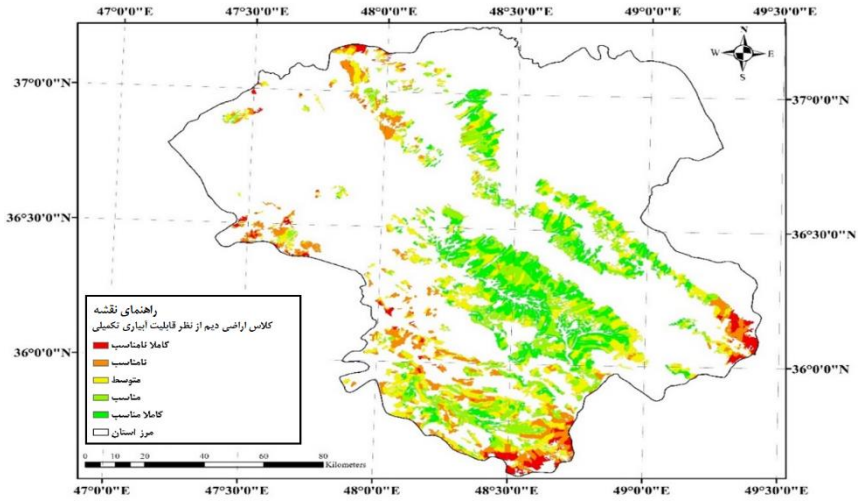
Table 3- The weighting coefficients of the criteria in AHP method

معیار Criteria	راه دسترسی Access Road	توپوگرافی Topography	عوامل اقلیمی Climate Factors	ویژگی‌های خاک Soil Properties	کیفیت آب Water Quality	دسترسی به منابع آب Access to Water Resources
وزن Weight	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۳۴



شکل ٤ – نقشهٔ زمین‌های طبقه‌بندی شده از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی

Fig.4- Classified map of lands in terms of the implementation of supplemental irrigation



شکل ۵ – نقشه زمین‌های دیم طبقه‌بندی شده از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی

Fig.5- Classified map of rainfed lands in terms of the implementation of supplemental irrigation

بر اساس نقشهٔ زمین‌های طبقه‌بندی شده در (شکل ۴)، مناطق مرکزی و شرقی استان زنجان در کلاس مناسب و یا نسبتاً مناسب قرار گرفت. این بخش از زمین‌ها بیشتر از دیگر بخش‌های استان مستعد اجرای آبیاری تکمیلی است. از انطباق نقشهٔ‌های مربوط به معیار دسترسی به منابع آب و نقشهٔ نهایی تهیه شده (شکل ۴) مشاهده می‌شود مناطقی که از نظر این معیار در کلاس مناسب قرار دارند در نقشه نهایی نیز امتیاز بالا را از نظر اجرای آبیاری تکمیلی کسب کرده‌اند. با توجه به (شکل ۵)، مناطق مرکزی زمین‌های دیم امتیاز بالایی از نظر قابلیت آبیاری تکمیلی دارند. توزیع و دسترسی به منابع آب در این مناطق وضعیت خوبی دارد و به همین دلیل آن مناطق در نقشهٔ مکان‌یابی تهیه شده نیز مناسب یا کاملاً مناسب شناخته‌شده‌اند. علاوه بر این، با توجه به اهمیت نسبتاً بالای معیار کیفیت آب، یکی از دلایل کسب امتیاز بالای مناطق در نقشه نهایی بالا بودن امتیاز کیفیت آب در این بخش از زمین‌هاست. در (جدول‌های ۴ و ۵)، مساحت و درصد کلاس‌های مختلف زمین‌های کل و دیم استان تعیین‌شده با روش AHP ارائه شده‌است. برابر نتایج ارائه شده در (جدول ۴) ، در مجموع ۴۴/۲ درصد از زمین‌های استان مناسب یا کاملاً مناسب، ۳۲/۴ درصد در کلاس متوسط و ۲۳/۴ درصد نیز نامناسب از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی است. با توجه به (جدول ۵)، در مجموع ۵۹/۶ درصد از زمین‌های دیم در کلاس مناسب یا کاملاً مناسب، ۲۷/۸ درصد در کلاس متوسط و ۱۲/۶ درصد نیز در کلاس نامناسب از نظر اجرای آبیاری تکمیلی طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ٤ - مساحت (هکتار) و درصد کلاس زمین‌های استان از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی

Table 4- The area (ha) and percentage of land classes in terms of the implementation of supplemental irrigation

اراضی کل استان از نظر قابلیت آبیاری تکمیلی	کلاس				
	کاملاً نامناسب	نامناسب	متوسط	مناسب	کاملاً مناسب
	۱۰۶۱۲/۰۹	۳۹۸۳۸۸/۶	۶۹۹۱۵۳/۳	۷۰۴۹۱۵/۸	۲۴۹۸۴۵/۹
	۴/۹	۱۸/۵	۳۲/۴	۳۲/۷	۱۱/۵

جدول ۵- مساحت (هکتار) و درصد کلاس زمین‌های دیم از نظر قابلیت اجرای آبیاری تکمیلی (هکتار)

Table 5- The area (ha) and percentage of rainfed land classes in terms of the implementation of supplemental irrigation

زمین‌های دیم از نظر قابلیت آبیاری تکمیلی	کلاس				
	کاملاً نامناسب	نامناسب	متوسط	مناسب	کاملاً مناسب
	۹۶۰۳/۹	۵۳۲۷۶/۷	۱۴۱۴۶۳/۰۲	۳۰۶۳۱۰/۰۱	۹۶۸۰۳/۹
	۲	۱۰/۶	۲۷/۸	۴۰/۶	۱۹

روش اولویت‌بندی AHP در مطالعات مختلف بررسی شده است و نتایج رضایت بخش آن را محققان (Moradzadeh *et al.*, 2019; Neissi *et al.*, 2020; Amani *et al.*, 2016) گزارش کرده‌اند. با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، مناطق مختلف بین یک تا ۱۰ امتیازدهی شده‌اند. با توجه به نقشه زمین‌های طبقه‌بندی شده، می‌توان زمین‌های مد نظر را به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی از مناطق با کلاس مناسب انتخاب کرد. در این تحقیق، تا حد امکان داده‌ها و اطلاعات متنوع موجود در استان زنجان گردآوری و از آن‌ها استفاده شد. بدیهی است تمامی عوامل بررسی نگردید و در صورت وجود اطلاعات این معیارها مانند عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دقت تصمیم‌گیری و حصول اطمینان بیشتر خواهد شد. از سوی دیگر، روش مورد مطالعه و قضاوت‌های

کارشناسی بر دقت نتایج به‌دست آمده مؤثرند و از این رو پیشنهاد می‌شود تا در تحقیقات بعدی روش‌های دیگر مانند روش تحلیل شبکه‌ای، منطق فازی و بولین مورد مطالعه قرار گیرد. نقشه‌های به‌دست آمده از مطالعات اولویت‌بندی می‌توانند در مرحله شناخت یا مطالعات فاز اول پروژه‌ها به‌عنوان راهنمایی کاربردی استفاده شوند. نتایج حاصل از بازدیدهای فنی و کارشناسی مکمل نقشه‌های به‌دست آمده و در تصمیم‌گیری مناسب خواهند بود.

نتیجه‌گیری

بهبود عملکرد و بهره‌وری مصرف آب از طریق آبیاری تکمیلی در زمین‌های دیم به‌عنوان راهکار به‌زراعی مهم شناخته می‌شود. استان زنجان با دارا بودن سطح قابل توجه زمین دیم، میزان بارندگی و کیفیت خاک نسبتاً مناسب در بیشتر مناطق، از پتانسیل تولید و بهره‌وری بالایی در زمین‌های زراعی برخوردار است. با این همه، تغییر الگو، توزیع و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر سبب شده تا اهمیت راهکارهای به‌زراعی از جمله آبیاری تکمیلی به‌منظور جلوگیری از وارد شدن تنش شدید کم آبی و نیز برای بهبود بهره‌وری در محصولات زمین‌های دیم بیش از پیش نمایان گردد. در این پژوهش زمین‌های دیم مناسب در استان زنجان به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی با در نظر گرفتن معیارهای اثرگذار و استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) شناسایی شد. نتایج تحقیق نشان داد اجرای آبیاری تکمیلی به میزان ۵۷ درصد وابسته به معیارهای مرتبط با آب و به‌طور مشخص دسترسی به منابع آبی است. در مجموع حدود ۵۹/۶ درصد از زمین‌های دیم استان شامل دشت‌های مرکزی و شرقی مناسب یا کاملاً مناسب برای اجرای آبیاری تکمیلی شناخته شده است و بقیهٔ زمین‌های دیم نیز با محدودیت کم تا جدی مواجه‌اند. با توجه به اینکه در حال حاضر برداشت از منابع آبی بیش از حد مجاز است و ما با بحران کم آبی شدید مواجه هستیم، تأمین منابع آب مورد نیاز اجرای آبیاری تکمیلی صرفاً از تخصیص‌های مجاز فعلی و بدون بارگذاری جدید بر منابع آبی مورد تأکید است. می‌توان عملکرد روش AHP را قابل قبول دانست و استفاده از آن را در مرحلهٔ شناخت پروژه‌های آبیاری تکمیلی در مناطق مختلف توصیه کرد. انتخاب نهایی مکان‌های مناسب به‌منظور اجرای آبیاری تکمیلی از طریق تلفیق نتایج حاصل شده از AHP با نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های میدانی و شرایط منطقه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

Abdzad Gohari, A. (2019). Improving the performance and efficiency of water consumption in peanut cultivation through irrigation management. Water Management in Agriculture. 6(2), 57-64. (in Persian).

Ahmadi, A., Amini Dehghi, M., Fotokian, M., & Sedghi, M. (2019). The impact of drought stress on the enzymatic activity of antioxidant and chlorophyll content in advanced lentil genotypes. Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences. 12(4), 1105-1116. (in Persian).

Ahmadi, A., Hezarjaribi, A., Ghorbani, K.H., & Hesam, M. (2018). Location identification of regions suitable for implementing modern irrigation systems (localized, rainfed, low pressure) using Analytic Hierarchy Process (AHP) in GIS (case study: Esfarayen County, North Khorasan). Journal of Water and Soil Conservation Research. 25(5), 69-87. (in Persian)

Amani, M., Najafinejad, A., Dehghani, A.A., & Maramaei, M. Gh. (2015). Site selection for earth small dam using criterion elimination and AHP (Kal Aji Watershed, Golestan Province). Journal of Water and Soil Conservation. 22, 231-249. (in Persian).

Amani, M., Zanjirchy, M., & Azizi, F. (2016). Prioritizing automated parking systems by combining Taguchi experimental design methods and fuzzy hierarchical analysis. Geography and Environmental Planning. 62(2), 131-146. (in Persian)

Amanian, N., Iliati, A. & Mokhtari, M.H. (2019). Underground dam location using remote sensing and geographic information system (case study: Kashan plain). Journal of Arid Biome. 9, 21-37. (in Persian).

Anane, M., Bouziri, L., Limam, A., & Jellali, S. (2012). Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP multicriteria decision analysis. Resources Conservation and Recycling. 65, 36-46.

Aria Azar, N., Majnooni Haris, A., & Dalir Hasannia, R. (2019). Classification of irrigation system implementation in the lands of Aji Chay River Basin. Journal of Water and Soil. 33(2), 217-228. (in Persian)

Azad Talatapeh, N., Rezaei Abajlo, A., & Behmaneh, J. (2018). Identification of suitable areas for implementing surface and pressurized irrigation systems using the fuzzy hierarchical analysis process in the Miandoab plain. Journal of Irrigation Science and Engineering. 41(4), 69-87. (in Persian).

Babazadeh, H., Shahrokhi, F., Manshoori, M., & Davoodi, F. (2011). Studying the effects of supplementary irrigation on the yield and yield components of rainfed wheat in the Abhar region, Zanjan Province. Water Resources Engineering. 4(10), 75-84. (in Persian).

Das, B., & Pal, S.C. (2019). Combination of GIS and fuzzy-AHP for delineating grounwater recharge potential zones in the critical Goghat-II block of west Bengal. India. Hydro research. 2, 21-30.

FAO. (1985). Water Quality for Agriculture. R.S. and D.W. Westcot. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Rome. 174 pp.

Gomrokchi, A., & Parvaresh Rizi, A. (2017). An Overview of Automatic Operation Methods in Pressurized Irrigation Systems. Water management in agriculture. 4(1), 9-20. (in Persian).

Ghodsipour, H. (2013). Hierarchical analysis process (AHP). Amirkabir University of Technology Publications. (in Persian).

Jozaghi, A., & Shamsai, A. (2017). Application of geospatial information system and technique for order preference by similarity to ideal solution for sitting water reservoirs (Case study: south of Sistan&Balouchestan Province). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data. 25, 5-15. (in Persian).

Kamali, M.A., & Shahabian, M. (2020). Study on the impact of supplementary irrigation and Nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of wheat in Mazandaran. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 14(6), 2217-2233. (in Persian).

Karakus, C.B. (2018). Evaluation of groundwater quality in Sivas Province (Turkey) using water quality index and GIS-based analytic hierarchy process. International Journal of Environmental Health Research. 29(5), 500-519.

Karimi, M., & Joleini, M. (2019). Supplemental irrigation in cultivation of rainfed wheat. Journal of Water and Sustainable Development. 6(1), 29-34. (in Persian).

Khodad Hosseini, S., & Fathi, S. (2002). Presenting a method for prioritizing Iran's industries based on international marketability and e-commerce. Journal of Business Research. 25, 147-168. (in Persian).

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amin Ghafoori, A., & Mahlouji Rad, M. (2019). Contribution of Genetic and Agronomic Measures to Yield Gain of Wheat in Iran. Journal Of Agroecology, 11(1), 137-153.

Masoomzadeh, S., & Torabzadeh, A. (2004). Ranking of Industrial Products in the Country. Journal of Business Research. 30, 67-81. (in Persian).

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. Journal of the Operational Research Society. 51(2), 247.

Mallik, S., & Shivam, Mishra, U. (2020). Assessment of spatial vatiations in groundwater quality of Agartala, Tripura for drinking employing GIS and MCDA techniques. Applications of Geomatics in Civil Engineering. 33, 273-288.

Mamanpoosh, A.R., & Moosavi, F. (2006). *Water productivity in Zayandehrood irrigation networks (Nekooabad and Abshar). First National Conference on Irrigation and Drainage Management.* May 2. University of Chamran, Ahvaz. (in Persian).

Moradzadeh, P., Ojaghlou, H., & Ghabaei Sough, M. (2019). Assessment of Sprinkler Irrigation Systems Situation Using Analytical Hierarchy Process Method (Case Study: Zanjan Plain). Journal of Water and Soil. 33(4), 565-578. (in Persian).

Nair Nithya, C., Srinivas, Y., Magesh, N.S., & Kaliraj, S. (2019). Assessment of groundwater potential zones in Chittar basin, Southern India using GIS based AHO technique. Remote Sensing Applications: Society and Environments. 15, 1-8.

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.

Oweis, T., Pala, M., & Ryan, J. (1998). Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental Irrigation and nitrogen in the Mediterranean Climate. Agronomy Journal. 90(5), 672-681.

Perrier, E.R., & Salkini, A.B. (1991). Supplemental Irrigation in the Near East and North Africa. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands, 611.

Ramezani Etedali, H., Gorgin Parveh, F., & Tavakoli, A.R. (2022). Identifying Potential Rainfed Fields for Supplementary Irrigation in Qazvin Province. Journal of Water Management in Agriculture. 9(1), 89-100. (in Persian).

Saaty, T.L. (1996). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill. New York.

Saeidi, R., Sotodeh Nia, A., & Babaei, S. GH. (2021). The impact of single irrigation with different salinity levels on rainfed wheat performance in Qazvin. Water Management in Agriculture. 8(2), 89-100. (in Persian)

Salak Zamani, A. (2016). Analyzing the efficiency of rainwater utilization in rainfed wheat production. Water Management in Agriculture. 3(2), 79-84. (in Persian)

SCI (2022). Iran Statistical Yearbook, 2022. Statistical Center of Iran, Tehran.

Stigter, T., Ribeiro, L., & Dill, A. (2006). Elevation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nirate contamination levels in two agriculture regions in the south of Portugal. Journal of Hudrogeology. 14, 79-99.

Tavakoli, A.R. (2001). Optimal management of single irrigation on draland wheat farming. Journal of Agricultural Engineering Research. 2(7), 41-50. (in Persian)

Tavakoli, A.R., Liaghat, A., Alizadeh, A., & Oweis, T. (2010). Improving water efficiency through integrated water management and superior agronomic practices in rainfed cereal farming. (Ph.D. Thesis). University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian).

Verdi Nezhad, V., Sohrabi, T., Araghi Nezhad, S.H., & Heidari, N. (2010). Optimizing cropping patterns and allocating water consumption in saline conditions and water scarcity in irrigation networks. (Ph.D. Thesis). University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian).

Yang, J., & Lee, H. (1997). An AHP Decision Model for Facility Location Selection. Facilities. 15(9/10), 241-254.

Zebardast, E. (2001). Application of the "Analytic Hierarchy Process" in urban and regional planning. The Publishing System of Tehran University Scientific Journals. 10(2), 13-21. (in Persian).

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.96 Autumn /2024/P: 107-124

Original Research

Locating Suitable Rainfed Land for Supplemental Irrigation to Improve Water Productivity

H. Ojaghlou*, Z. Amiri Abdobochali, S. Oroumi

***Corresponding Author**: Assist. Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Received: 12 November 2024, **Accepted:** 10 January 2025
Email: ojaghlou@znu.ac.ir
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.367655.1599

Extended Abstract

Introduction

Population pressures continue to undermine effective land and water management in many developing countries. Improving water productivity in agricultural lands is essential for enhancing production and adapting to the water scarcity crisis. Rainfed lands play a crucial role in food production. Breeding and crop improvement are two important strategies for increasing water productivity. Supplemental irrigation is considered one of the crop improvement managements in rainfed lands. This management approach involves providing one or two irrigations during critical growth periods, which can significantly improve yield and water productivity on rainfed lands. However, the effectiveness of supplemental irrigation depends on accessibility to water resources, water quality, soil fertility, and other important factors. Therefore, locating suitable rainfed areas for implementing supplemental irrigation will be the first step. The area under cultivation of rainfed lands in Zanjan Province is substantial, covering 338,000 ha. It is recognized as one of the provinces with a high capacity for producing rainfed crops in the country. This paper presents a comparative analysis of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the context of decision-making for supplemental irrigation site selection using Geographic Information Systems (GIS) in Zanjan Province. For this purpose, several criteria were employed in the selection process, based on the literature concerning factors that influence supplementary irrigation performance.

Methodology

In this research, Zanjan Province was selected as the study area. The criteria examined in this research encompass the accessibility of water resources, water quality, soil properties, climatic factors, topography, and road accessibility, including its sub-criteria. The AHP method was employed to prioritize rainfed lands for supplemental irrigation. The AHP process consists of three key components: identifying a hierarchy of objectives, criteria and alternatives; conducting pairwise comparisons of the criteria; and integrating the results from these comparisons to determine the relative importance across all levels of the hierarchy. The factors influencing site selection exhibit various characteristics; some are descriptive and can vary in quantity, while others possess numerical values. Consequently, it is essential to standardize the values and weights of each factor. Zoning maps for each sub-criterion were prepared as information layers using ArcGIS software, and subsequently, all prepared maps were re-scored through a reclassification process. The pairwise comparison tables for the AHP method were generated using the extAHP plugin in ArcGIS software, establishing the weight coefficients for the criteria. The land classification map was created by overlaying the zoning maps corresponding to each criterion while considering the assigned weights. Finally, by integrating

the obtained map with the rainfed land map of Zanjan Province, suitable rainfed fields for supplementary irrigation were determined.

Results and Discussion

There are generally no significant restrictions in most areas of Zanjan Province regarding the water quality, soil properties, climatic factors, road accessibility, and topography for implementing supplemental irrigation. However, in certain regions, limited accessibility to water resources has caused restrictions. The access to water resources received the highest weight and importance in the AHP prioritization method, while the water quality criterion ranked second in significance and influence on decision-making. Based on classified land maps of Zanjan Province, the central and eastern regions received higher scores for implementing supplemental irrigation. Additionally, the central areas of rain-fed lands were identified as having a high potential for supplemental irrigation capability. The area and percentage of various land classes were calculated. Approximately 44.2% of the province's land is classified as either completely suitable or suitable for supplemental irrigation, while about 32.4% falls within the moderate range, and 23.4% is deemed unsuitable. Furthermore, around 59.6% of rainfed land is classified as suitable or completely suitable, about 27.8% falls within the moderate range, and 12.6% is considered unsuitable.

Conclusions

Improving yield and water productivity through supplemental irrigation in rainfed areas is a crucial crop improvement strategy. Zanjan Province, with its significant area of rainfed land, relatively favorable rainfall, and good soil quality in most regions, possesses significant production and productivity potential in these agricultural areas. In this research, suitable rainfed areas in Zanjan Province were identified for supplemental irrigation by considering relevant criteria and utilizing the AHP method. Approximately 59.6.2% of the areas in the Zanjan Province, particularly in the central and eastern regions of Zanjan, were identified as suitable or fully suitable for supplemental irrigation, while the remaining lands faced low to severe limitations. Ultimately, the effectiveness of the AHP method can be assessed in feasibility studies for the implementation of viable water projects, and its use is recommended during the initial project identification phase. The final selection of suitable locations for implementing supplemental irrigation is suggested by integrating the results obtained from AHP with findings from field surveys and regional conditions. It is indicated that the water resources required for implementing supplemental irrigation can be harvested from the current permitted allocations, without any new extraction of water resources.

Acknowledgment

This research was conducted with the scientific support of the Regional Water Company and the Agricultural Research Center of Zanjan Province.

Keywords: Supplemental irrigation, Crop improvement, Rainfed land, Zoning map

نگارنده مسئول: **Email:** ojaghlou@znu.ac.ir
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.367655.1599

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).