Identification and prioritization of sustainable strategies for water and soil resources management in agriculture: A case study of Guilan Province

Abstract

Sustainable water and soil resource management is a strategic cornerstone for ensuring food security and achieving sustainable agricultural development amidst climate change, erratic precipitation, and intensifying pressure on natural resources. Despite its humid climate and fertile soils, Guilan Province faces rising water demand, inefficient resource use, soil degradation, and environmental pollution, necessitating the development of prioritized, practical, and feasible strategies for effective management of basic resources. The present study aimed to employ the analytic hierarchy process (AHP) as a multi-criteria decision-making (MCDM) method to identify and rank effective management strategies for the optimal utilization of water and soil resources in the agricultural sector of Guilan Province. To this end, the study's criteria and sub-criteria were selected through a systematic review of scientific literature and subsequently refined via expert consultation. The required data were collected using pairwise comparison questionnaires and analyzed with Expert Choice software. The findings revealed that the criterion of water productivity held the highest priority with a relative weight of 0.367, followed by environmental sustainability (0.278) and soil resource productivity (0.160). At the sub-criteria level, irrigation efficiency and reduction of water loss, along with reducing agricultural operation pollution and optimal fertilizer use, were accorded greater significance. The prioritization of management strategies identified the implementation of modern pressurized irrigation systems as the most effective option, succeeded by the development of conservation agriculture and farmer education and extension programs. Finally, for a more comprehensive assessment, integrating MCDMs with spatial data and emphasizing stakeholder education and active participation is recommended.

KeyWords: *Agricultural economics, Analytical hierarchy process, Decision making, Environmental sustainability, Social acceptance*

ویرایشاری نشده

شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای پایدار برای مدیریت منابع آب و خاک در کشاورزی: مطالعه موردی استان گیلان

چکیده

مدیریت پایدار منابع آب و خاک به‌عنوان زیربنای ضروری تأمین امنیت غذایی و تحقق اهداف توسعه پایدار کشاورزی، به‌ویژه در بستر تغییرات اقلیمی، الگوهای نامنظم بارش و تشدید فشار بر منابع طبیعی، از جایگاه راهبردی برخوردار است. استان گیلان علی‌رغم اقلیم مرطوب و خاک‌های حاصلخیز، به‌دلیل افزایش تقاضای آب، کاهش راندمان بهره‌برداری و تهدیدهای مرتبط با تخریب خاک و آلودگی‌های محیط‌زیستی، نیازمند تدوین راهکارهای اولویت‌دار و عملی در مدیریت منابع پایه است. هدف مطالعه حاضر، به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای مدیریتی مؤثر در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک در کشاورزی استان گیلان بود. بدین منظور، معیارها و زیرمعیارهای مطالعه از طریق مرور نظام‌مند منابع علمی و سپس پالایش با نظر خبرگان انتخاب شد. داده‌های مورد نیاز با پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی جمع‌آوری و تحلیل‌ها با نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. یافته‌ها نشان داد معیار بهره‌وری آب با وزن ۰/۳۶۷ بالاترین اهمیت را داراست و در رتبه‌های بعدی پایداری محیط‌زیستی (۰/۲۷۸) و بهره‌وری منابع خاک (۰/۱۶۰) قرار گرفتند در سطح زیرمعیارها، بازده آبیاری و کاهش اتلاف منابع آب و کاهش آلایندگی‌های عملیات کشاورزی و مصرف بهینه کود اهمیت بالاتری داشتند. در اولویت‌بندی گزینه‌ها، استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار به‌عنوان مؤثرترین گزینه تعیین شد و پس از آن توسعه کشاورزی حفاظتی و ترویج و آموزش کشاورزان جای گرفتند. در آخر به‌منظور دستیابی به ارزیابی جامع‌تر پیشنهاد شد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با داده‌های مکانی تلفیق شود و نقش محوری آموزش و مشارکت فعال ذی‌نفعان نیز مورد مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: ***اقتصاد کشاورزی، پایداری محیط‌زیستی، پذیرش اجتماعی، تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری***

ویراستاری نشده

مقدمه

افزایش جمعیت و تقاضای رو به رشد برای منابع محدود طبیعی، موجب فشار بر سامانه‌های تولید غذا و بروز چالش‌هایی مانند تغییر اقلیم و بحران آب شده است. تحقق امنیت غذایی پایدار مستلزم توجه هم‌زمان به سه بعد موجود بودن، دسترسی و پایداری غذا همراه با مدیریت اصولی منابع آب و خاک متناسب با توان اکولوژیکی است. در این میان، تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آبی از مهم‌ترین موانع دستیابی به امنیت غذایی در ایران و جهان به شمار می‌روند (اسلامی، ۱۳۹۹). میانگین نرخ فرسایش سالانه در ایران ۲۵ تا ۳۰ تن در هر هکتار و بیش از ۲۰ برابر میانگین جهانی است. این پدیده موجب کاهش حاصل‌خیزی خاک، افزایش رسوب‌گذاری و خسارات اقتصادی گسترده شده است (Khosravi et al., 2023). یکی از چالش‌های اصلی در افزایش تولید محصولات کشاورزی، محدودیت‌های ذاتی زمین است؛ به طوری که بسیاری از اراضی موجود برای کشت محصولات مناسب نیستند. به منظور افزایش عملکرد و تطبیق بهتر محصولات با شرایط محیطی، ارزیابی جامع قابلیت زمین برای شناسایی مناطق مناسب کشت امری ضروری است (Tashayo et al., 2020). در این راستا، استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار مانند کشاورزی دقیق، تناوب زراعی، مدیریت تلفیقی آفات، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی حفاظتی می‌تواند ضمن بهبود سلامت خاک و حفظ منابع آب، مصرف نهاده‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد (Taherzadeh-Shalmaei et al., 2023).

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان است و حدود ۷۰ درصد از کل مصرف را به خود اختصاص می‌دهد. این بخش نقش مهمی در تأمین غذای جهانی دارد و با افزایش شرایط خشکی ناشی از تغییرات اقلیمی، اهمیت مدیریت بهینه آب برای حفظ تولید و پایداری کشاورزی بیش از پیش برجسته شده است. محدودیت منابع آب و ناپایداری بارش، به همراه استفاده ناکارآمد از آب و تنش‌های محیطی، تهدیدی جدی برای عملکرد و تاب‌آوری محصولات محسوب می‌شوند (El-Beltagi et al., 2022). در ایران، کمبود منابع آب و فشار بر تأمین غذا ناشی از خشکسالی‌های مزمن و مدیریت ناپایدار منابع آب است و توجه به راهکارهای پایدار برای مقابله با کمبود آب از ضروریات حیاتی برای حفظ امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود (Bozorg-Haddad et al., 2020; Hadadin et al., 2010). استان گیلان با برخورداری از شرایط اقلیمی مناسب و خاک حاصلخیز، نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی کشور و حفظ اهمیت اقتصادی و محیط‌زیستی منطقه دارد. با این حال، افزایش جمعیت و محدودیت منابع، ضرورت مدیریت پایدار و بهره‌برداری بهینه از منابع را بیش از پیش آشکار می‌سازد (یوسفی، ۱۴۰۴).

وابستگی شدید به شرایط اقلیمی، نوسانات اقتصادی، تغییرات قیمت بازار و فقدان نظارت کافی، فعالیت در این بخش از مخاطره‌آمیزترین فعالیت‌های اقتصادی در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (Khalfaoui et al., 2024; Nugroho et al., 2021). در چنین شرایطی، مدیریت ریسک و اتخاذ راهکارهای کاهش خسارت، از جمله مهم‌ترین اقدامات برای افزایش تاب‌آوری و پایداری کشاورزی است. علاوه‌بر این، فشار بر منابع محدود آب و زمین و ریسک‌های متعدد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی، ضرورت تدوین راهکارهای مدیریت ریسک برای افزایش تاب‌آوری و پایداری کشاورزی را دوچندان کرده است (Khatri et al., 2023). در یک اقتصاد مبتنی بر کشاورزی، برنامه‌ریزی جامع برای بهره‌برداری بهینه از منابع تولیدی، به‌منظور افزایش بهره‌وری و دستیابی به بیشترین بازده اقتصادی، امری ضروری است. رشد سریع جمعیت و محدودیت منابع، نیازمند مدیریت صحیح و تخصیص بهینه منابع طبیعی به‌ویژه آب است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید در کشاورزی ایران شناخته می‌شود. با توجه به پراکندگی مکانی و زمانی بارش‌ها و پایین بودن راندمان آبیاری، توجه به ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی از الزامات اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود (گودرزی، ۱۴۰۱).

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[1]) رویکردی تحلیلی است که به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد از میان گزینه‌ها و جایگزین‌های متعدد، مناسب‌ترین راه‌حل را انتخاب کنند (Hamidah et al., 2022). روش‌های گوناگونی برای حل مسائل پیچیده تصمیم‌گیری در

[1] Multi-criteria Decision-Making

چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره توسعه یافته‌اند، که در این میان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین رویکردها مطرح شده است (Hamidah et al., 2022; Saaty, 1990). این روش که اوایل دهه ۱۹۷۰ توسط توماس ال. ساعتی توسعه یافت، مناسب حل مسائل پیچیده در تصمیم‌گیری است. یکی از مزایای AHP این است که به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد تا به‌طور متمرکز بر روی معیارها و زیرمعیارهای خاص تمرکز کند در حالی که قضاوت‌ها را انجام می‌دهد. این فرآیند همچنین به راحتی مدیریت داده‌های کیفی و کمی را فراهم می‌آورد (Rodrigues de Oliveira & Duarte, 2024). تصمیم‌گیری می‌تواند هم بر اساس دانش و تخصص در یک موضوع و هم بر اساس تحلیل داده‌های عددی، روابط و روندها صورت گیرد (Hutchinson et al., 2010). به عبارت دیگر، AHP ملاحظات غیرملموس را به معیارهای قابل سنجش تبدیل می‌کند و یک مسئله چندبعدی را به مسئله‌ای تک‌بعدی تغییر می‌دهد تا در نهایت به حل آن پرداخته شود (Aguarón et al., 2019). این ویژگی‌ها باعث شده‌اند که AHP به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تبدیل شود.

در راستای رتبه‌بندی روش‌های پایدار به منظور مدیریت منابع حیاتی کشاورزی مطالعات زیادی انجام شده است. در مطالعه‌ای که در استان پنجاب پاکستان با هدف شناسایی و پیش‌بینی مناطق پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی انجام شد، مشخص شد که منابع آب زیرزمینی به دلیل استفاده بیش از حد ناشی از رشد جمعیت و گسترش اراضی کشاورزی به شدت کاهش یافته است. نویسندگان اذعان داشتند که با استفاده از عوامل تأثیرگذار مختلف، از جمله تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، بارش، کاربری و پوشش زمین، نوع خاک، شیب و تراکم خطواره‌ها، می‌توان مناطق پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی را برای یک منطقه خاص تعیین کرد. این تحقیق همچنین نشان داد که AHP ابزار مؤثری برای تفسیر مناطق پتانسیل آب زیرزمینی و مدیریت صحیح این منابع در محیط‌های هیدروژئولوژیکی مختلف است (Naeem et al., 2024). در مطالعه‌ای دیگر تحلیل AHP با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) تلفیق شد تا پهنه‌های مستعد فرسایش خاک در حوزه آبخیز تاسائوت کشور مراکش را شناسایی کند. بارش و زاویه شیب با وزن ۰/۲۴۳ و ۰/۱۸۹ به‌ترتیب دو عامل اصلی تأثیرگذار بر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بودند. ۵۹/۵۷ درصد از منطقه مورد مطالعه، سطوح متوسط تا بسیار بالایی از فرسایش و ۴۰/۴۲ درصد از منطقه مورد مطالعه در معرض خطر خیلی کم و کم فرسایش را نشان داد. مدل حاصل از تلفیق AHP و GIS، با تمرکز ویژه بر معضل فرسایش خاک، ابزاری کارآمد و ارزشمند برای راهبری برنامه‌ریزی‌های آتی در راستای مدیریت پایدار منابع خاک و آب معرفی شد (Ziadi et al., 2025). در کشور بنگلادش برای ارزیابی فرسایش خاک از تحلیل AHP استفاده کردند. هدف این مطالعه شناسایی و اولویت‌بندی عواملی بود که موجب فرسایش خاک در این حوضه می‌شد. نتایج نشان داد که شیب مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در فرسایش خاک با ۲۶ درصد سهم، و پس از آن پوشش گیاهی زمین با ۲۳/۸ درصد، ارتفاع با ۲۰/۳ درصد و قدرت جریان با ۱۳/۹ درصد بودند (Zumara & Nasher, 2024).

تحقیقی در شهرستان ممسنی در استان فارس با هدف بررسی و اولویت‌بندی اثرات تغییرات اقلیمی و کمبود آب بر پایداری جوامع روستایی در مناطق نیمه‌خشک با استفاده از AHP انجام شد. این تحقیق نشان داد که کمبود آب به‌عنوان اصلی‌ترین پیامد خشکسالی‌های ناشی از تغییرات اقلیمی در این مناطق، می‌تواند اثرات اجتماعی و اقتصادی عمیقی ایجاد کند. نتایج مدل AHP نشان داد که ابعاد اقتصادی بیش‌ترین اولویت را در میان ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی برای پایداری منطقه دارند. همچنین، نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی و سیاست‌های اقتصادی جهانی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پایداری اقتصادی و اجتماعی جوامع روستایی هستند. این تحقیق به‌ویژه بر اهمیت برنامه‌ریزی بلندمدت و سیاست‌گذاری مناسب در حوزه منابع آب و کشاورزی تأکید داشت تا بتواند به‌طور مؤثری با بحران کمبود آب مقابله کرده و پایداری جوامع روستایی را در شرایط تغییرات اقلیمی تضمین کند (Karimi et al., 2024). علاوه‌بر این، نتایج مطالعه‌های روان‌شناختی محیط‌زیستی در بخش شرقی دریاچه ارومیه در ایران نشان داد که سه متغیر وابستگی به مکان، نگرش‌های محیط‌زیستی و باورهای محیط‌زیستی بیش‌ترین نقش را در شکل‌گیری رفتار تاب‌آورانه کشاورزان در برابر کمبود آب

[1] Analytical Hierarchy Process
[2] Geographic Information System

ایفا کردند (Rahmati et al., 2021; Shojaei-Miandoragh et al., 2020). در تحقیقی با استفاده از AHP، مناطق پتانسیل آب زیرزمینی را با شناسایی ۱۲ عامل کلیدی که تأثیر قابل توجهی بر پتانسیل آب زیرزمینی در استان هیلونگ‌جیانگ کشور چین را داشتند، تعیین کرد. عواملی مانند فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل‌ها، کاربری و پوشش زمین، شیب و نوع خاک نقش حیاتی در شکل‌دهی توزیع مکانی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی ایفا می‌کردند. است. نویسندگان اذعان داشتند که برای بهره‌برداری پایدار از آب‌های زیرزمینی، اجرای راهبردهای حفاظتی شامل ترویج آبیاری کارآمد، تقویت مقررات برداشت و مدیریت یکپارچه منابع آب ضروری است. همچنین توجه به متغیرهای کیفیتی و آلودگی منابع آب و ادغام آن‌ها با یکدیگر، کامل‌کننده این رویکرد عنوان شد (Song et al., 2025).

این مطالعات بر اهمیت کشاورزی پایدار در دستیابی به اهداف توسعه پایدار دلالت دارند و نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری MCDM به ویژه تکنیک AHP، می‌تواند به شناسایی موانع اصلی در مسیر توسعه کشاورزی پایدار کمک کند. در حالت کلی مرور تحقیقات جدید نشان می‌دهند که موانع اقتصادی، به ویژه تغییرات اقلیمی و کمبود مشوق‌های مالی، از بزرگ‌ترین چالش‌ها هستند. در این راستا، تقویت حمایت‌های نهادی، افزایش آگاهی عمومی و سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های نوین برای ترویج کشاورزی پایدار و دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری است. علاوه‌بر این، ارزیابی و اصلاح سیاست‌های کشاورزی با توجه به معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی برای ترویج رشد پایدار کشاورزی و امنیت غذایی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Cao & Solangi, 2023; Li et al., 2022; Wang et al., 2021). در حالی که مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی به بررسی موانع و راهبردهای پایداری در بخش کشاورزی پرداخته‌اند، مرور جامع منابع نشان می‌دهد که مدیریت اصولی منابع آب و خاک در شرایط تغییر اقلیم و محدودیت منابع، همچنان یکی از چالش‌های اساسی پیش روی نظام‌های تولید غذایی است. با وجود اهمیت محیط‌زیستی و اقتصادی استان گیلان در تأمین امنیت غذایی، شکاف پژوهشی قابل‌توجهی در خصوص شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای پایدار مدیریت منابع آب و خاک با در نظر گرفتن شاخص‌های چندبعدی اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در این منطقه به چشم می‌خورد. از این رو، هدف مطالعه حاضر، به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP برای تحلیل و رتبه‌بندی راهکارهای مدیریتی مؤثر در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک در گیلان است تا از طریق تلفیق قضاوت خبرگان و تحلیل کمی و کیفی معیارها، زمینه‌ای علمی برای سیاست‌گذاری پایدار و افزایش تاب‌آوری سامانه‌های کشاورزی منطقه فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در استان گیلان به عنوان یکی از مناطق مهم تولید محصولات کشاورزی در ایران انجام گرفت. این استان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸ تا ۵۰ درجه شرقی قراردارد (شکل ۱). موقعیت استراتژیک گیلان بین دریای خزر و رشته‌کوه‌های البرز، تنوع اقلیمی قابل‌توجهی را برای این استان به ارمغان آورده و آن را به یکی از استان‌های پربارش کشور تبدیل کرده است. متوسط بارش سالانه در گیلان حدود ۱۵۰۶ میلی‌متر است که به‌طور چشمگیری بالاتر از میانگین کشوری معادل ۳۴۱ میلی‌متر در سال می‌باشد. اقلیم مرطوب و نیمه‌گرمسیری گیلان، شرایط مناسبی برای کشاورزی متنوع فراهم می‌کند و این استان به‌عنوان یکی از مراکز اصلی تولید برنج، چای و مرکبات، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی و اقتصاد کشور ایفا می‌کند (Molavi-Arabshahi & Eskandari, 2025). با وجود این مزیت‌ها، استان گیلان در برابر بلایای طبیعی و پیامدهای احتمالی تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیری قابل توجهی نشان می‌دهد. متغیرهایی چون بارش و نوسان دما می‌توانند بر شالیزارها اثر نهاده و به‌عنوان مانعی اساسی در مسیر توسعه کشاورزی پایدار عمل کنند (Fazeli et al., 2023). از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های استان گیلان عمدتاً رسی تا لوم بوده و دارای ماده آلی بالا، ظرفیت نگهداری آب مناسب و تراکم متوسط هستند که شرایط رشد بهینه محصولات کشاورزی را فراهم می‌کند. ماده آلی بالا ناشی از بقایای گیاهی و پوشش جنگلی گسترده در این منطقه است و تراکم متوسط خاک ویژگی‌های فیزیکی مناسبی

ایجاد می‌کند. با این حال، مدیریت نامناسب خاک می‌تواند منجر به کاهش کیفیت آن شود (Hemmati et al., 2022; Rezaee et al., 2020).

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان گیلان

داده‌های موردنیاز این مطالعه ابتدا از طریق جست‌وجوی گسترده و سیستماتیک در پایگاه‌های داده معتبر علمی مانند اسکوپوس و گوگل اسکالر و سایر منابع علمی به‌روز در حوزه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جمع‌آوری شد. برای این منظور، کلیدواژه‌های مرتبط با مدیریت منابع خاک و آب، پایداری محیط‌زیستی و اقتصادی، اجتماعی ظرفیت اجرایی و کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در کشاورزی استفاده شد تا مجموعه‌ای جامع از مطالعات و داده‌های معتبر فراهم آید (جدول ۱). پس از گردآوری داده‌های ثانویه، برای افزایش دقت و اعتبار علمی، این داده‌ها با نظر خبرگان حوزه کشاورزی و مدیریت منابع آب و خاک که به‌صورت عملی در اجرای فعالیت‌های مرتبط با هدف این مطالعه مشارکت داشتند، بررسی و پالایش شدند. به‌منظور انتخاب افراد مطلع و متخصص، از روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی (Snowball Sampling) که از انواع نمونه‌گیری‌های غیراحتمالی است، استفاده شد (Veisi et al., 2022). بدین‌ترتیب، ابتدا تعدادی از خبرگان حوزه کشاورزی و مدیریت منابع آب و خاک شناسایی شدند و سپس هر یک از آن‌ها سایر افراد متخصص واجد شرایط را برای شرکت در مطالعه معرفی کردند (جدول ۲). در این مرحله، داده‌ها از نظر کاربردپذیری، صحت علمی و تطابق با شرایط محلی مورد ارزیابی قرار گرفتند و هرگونه داده ناکامل یا نامعتبر حذف شد.

در ادامه، برای تکمیل فرآیند تصمیم‌گیری، پرسش‌نامه‌ای طراحی شد که بر مبنای شاخص‌ها و معیارهای نهایی‌شده در مراحل پیشین تدوین گردید. این پرسش‌نامه شامل بخش‌هایی برای ارزیابی اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها در چارچوب مدل AHP بود که در آن، از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا مقایسه‌های زوجی[1] میان معیارها و زیرمعیارها را انجام دهند و میزان ترجیح خود را بر اساس مقیاس ۹ کمیتی توماس ال. ساعتی بیان کنند. طبق جدول ۳ این مقیاس از مقدار ۱ (اهمیت برابر) تا ۹ (اهمیت بسیار بیش‌تر یک معیار نسبت به دیگری) متغیر بود (Saaty, 2008). شماتیک مدل AHP مطالعه شامل هدف، معیارهای اصلی، زیرمعیارها و گزینه‌های پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این مدل، مسئله مدیریت پایدار منابع آب و خاک به یک ساختار سلسله مراتبی چهارسطحی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و راهکارهای عملیاتی تبدیل شد. علاوه‌بر این، خبرگان در زمینه وزن‌دهی شاخص‌ها، اولویت‌بندی معیارها و تعیین اهمیت نسبی پارامترهای مؤثر مشارکت داشتند تا نتایج نهایی مطالعه با واقعیت‌های علمی و عملی هم‌خوانی داشته باشد. در روش AHP، عناصر هر سطح به‌صورت مقایسه زوجی نسبت به عنصر متناظر خود در سطح بالاتر ارزیابی شده و وزن

[1] Pairwise Comparison

آن‌ها تعیین می‌شود. این وزن‌ها را وزن‌های نسبی می‌نامند. سپس با ترکیب وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه به دست می‌آید که از آن با عنوان وزن مطلق یاد می‌شود (Veisi et al., 2016).

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای مطالعه، مستخرج‌شده از مطالعات روز حوزه کشاورزی

معیارها	زیرمعیارها	منبع
بهره‌وری آب	بازده آبیاری	(Caldera et al., 2021)
	اتلاف منابع سطحی و زیرزمینی	(Abd-Elaty et al., 2023)
	استفاده از فن‌آوری آبیاری نوین	(Abd-Elaty et al., 2023)
	کیفیت منابع آبی کشاورزی	(Ostad-Ali-Askari & Shayannejad, 2021)
بهره‌وری منابع خاک	حفظ ساختار خاک	(Hartmann & Six, 2022)
	کاهش فرسایش	(Hartmann & Six, 2022)
	مصرف بهینه کود	(Jiang et al., 2022)
	اصلاح خاک و تناوب زراعی	(Jiang et al., 2022)
پایداری محیط‌زیستی	کاهش نشت نیترات و آلودگی آب‌های زیرزمینی	(Jia et al., 2023)
	کاهش گازهای گلخانه‌ای از عملیات کشاورزی	(Abbas et al., 2022)
	حفظ زیست‌بوم‌های محلی	(Levis et al., 2024)
صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی	کاهش هزینه‌های تولید	(Caicedo Solano et al., 2022)
	سودآوری خالص	(Schöning et al., 2023)
	بازگشت سرمایه	(Zeng et al., 2022)
	بازاریذیری محصولات	(Mbukanma et al., 2025)
مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی	پذیرش کشاورزان	(Sapbamrer & Thammachai, 2021)
	سطح آموزش و آگاهی	(Mohammadrezaei et al., 2023)
	حمایت نهادهای محلی	(Wadumestrige Dona et al., 2021)
	فرهنگ‌سازی برای حفظ منابع طبیعی	(Bousalah, 2025)
قابلیت اجرا و نهادی	زیرساخت فنی موجود	(Dibbern et al., 2024)
	تطابق با سیاست‌های کلان کشاورزی	(Erjavec et al., 2021)
	هزینه اجرای پروژه‌ها	(Oruma et al., 2021)
	دسترسی به تسهیلات و حمایت مالی	(Khan et al., 2024)

جدول ۲. مشخصات خبرگان کشاورزی استفاده شده در مطالعه

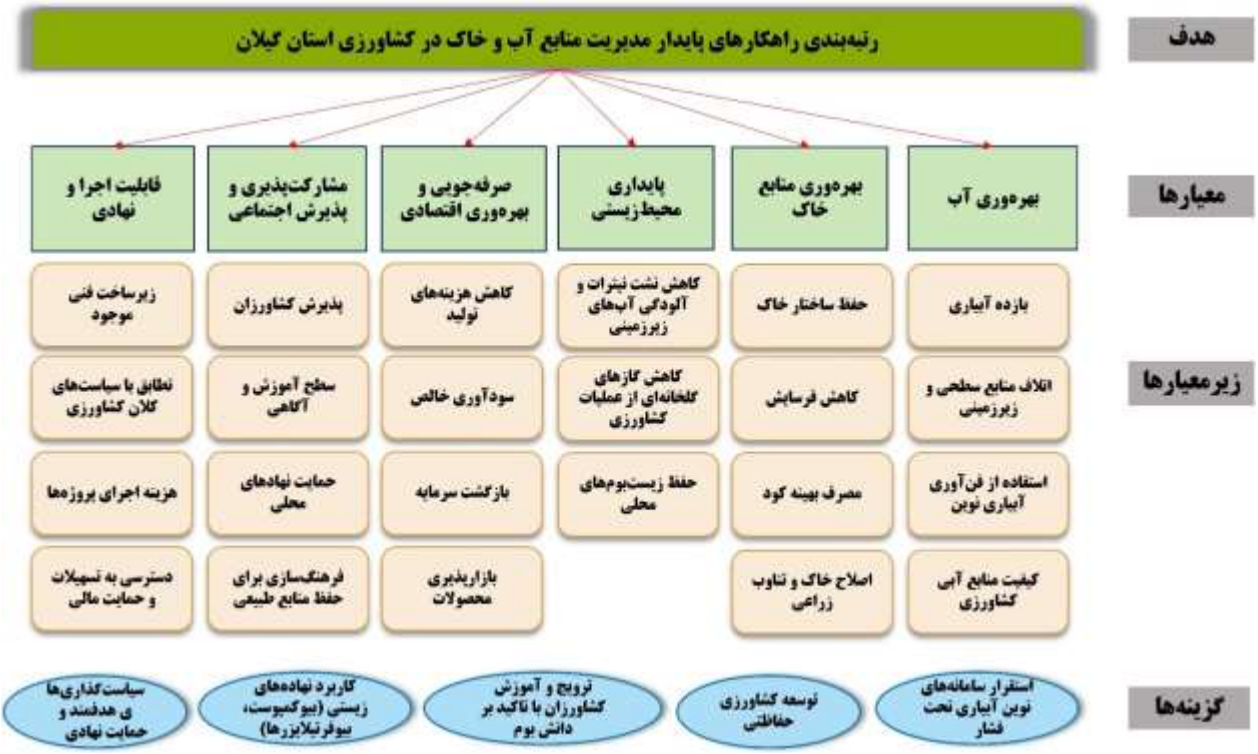
عنوان	فراوانی	حوزه تخصصی
اساتید دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران	۵	آبیاری، کیفیت خاک، محیط‌زیست، ترویج و اقتصاد کشاورزی
اساتید دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان	۵	علوم و مهندسی آب، خاک‌شناسی، علوم و مهندسی محیط زیست، ژنتیک گیاهی و اقتصاد کشاورزی
دانشجویان دکتری رشته‌های مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران	۳	مهندسی آب، مهندسی خاک و محیط‌زیست
دانشجویان دکتری رشته‌های مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گیلان	۳	مهندسی آب، مهندسی خاک و مهندسی طبیعت

ویراستاری شناور

جدول ۳. مقیاس‌گذاری پرسش‌نامه برای مقایسه‌های زوجی در روش AHP

شرح	تعریف	ارزش یا درجه اهمیت
دو عنصر اهمیت یکسانی داشته باشند	اهمیت یکسان	۱
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، نسبتاً ترجیح داده می‌شود	نسبتاً مرجع (مهم)	۳
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، زیاد ترجیح داده می‌شود	ترجیح زیاد (مهم‌تر)	۵
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، بسیار زیاد ترجیح داده می‌شود	ترجیح بسیار زیاد (خیلی مهم‌تر)	۷
یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، ترجیح فوق‌العاده زیادی دارد	ارجح مطلق (بی‌نهایت مهم)	۹
مقادیر میانی به‌منظور انعکاس قضاوت‌های میانی خبرگان بین دو درجه متوالی از مقیاس ساعتی	مقادیر بینابینی	۲، ۴، ۶ و ۸

*هنگامی که عنصر i با عنصر j مقایسه می‌شود، یکی از اعداد بالا اختصاص می‌یابد. در مقایسه عنصر i با j، معکوس آن عدد اختصاص می‌یابد.



شکل ۲. مدل AHP مطالعه

روش AHP از یک چارچوب مقایسه‌ای مبتنی بر احتمالات بهره می‌گیرد تا میان گزینه‌های مختلف تمایز ایجاد کرده و مناسب‌ترین گزینه را با توجه به مجموعه‌ای از معیارهای تعریف‌شده تعیین کند. این روش یکی از ابزارهای کارآمد در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است که به‌ویژه در مسائل پیچیده و قضاوت‌های ذهنی کاربرد فراوان دارد. AHP با برخورداری از مکانیزم ارزیابی سازگاری، امکان سنجش منطقی تصمیم‌ها را فراهم می‌سازد و با برآورد وزن‌های نسبی معیارها، در حوزه‌هایی چون انتخاب پروژه، تعیین اولویت منابع، ارزیابی میزان تناسب گزینه‌ها و تخصیص احتمالات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Horňáková et al., 2021; Senapati & Das, 2024). این روش بر پایه‌ی مقایسات زوجی بنا شده است که در آن، معیارها یا گزینه‌ها در یک ساختار سلسله مراتبی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. این مقایسه‌ها مبنای ایجاد مقیاس سلسله مراتبی اولویت‌ها هستند و در نهایت به اولویت‌بندی گزینه‌های منتخب کمک می‌کنند. بدین منظور از ماتریس مقایسه زوجی استفاده می‌شود و مقایسه زوجی عناصر بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی که در جدول ۳ ارائه شده است، انجام می‌پذیرد. ساختار ماتریس مقایسه‌های زوجی طبق رابطه (۱) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$C=\begin{pmatrix} 1 & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ \frac{1}{c_{12}} & 1 & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{1}{c_{1n}} & \frac{1}{c_{2n}} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$ رابطه ۱)

که در این رابطه c_{ij} بیانگر اهمیت نسبی گزینه i (در سطر) به گزینه j (در ستون) است. عدد ۱ بیانگر اهمیت برابر دو گزینه است. عناصر قطری ماتریس همگی برابر با یک می‌باشند که گویای برابری کامل هر گزینه با خودش است . پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، نرمال‌سازی ماتریس برای استانداردسازی مقادیر طبق روابط (۲) و (۳) انجام شد (Amiri et al., 2024):

$$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$ رابطه ۲)

$$a_{ij}=\frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} c_{ij}}, i=1,2,\dots,n;\ j=1,2,\dots,n$$ رابطه ۳)

که در این رابطه A بیانگر ماتریس نرمال‌شده و a_{ij} مقادیر نرمال‌شده ماتریس مقایسه‌های زوجی گزینه iام در سطر نسبت به گزینه jام در ستون است. در نهایت، وزن‌ها و اهمیت نسبی هر گزینه از طریق میانگین هندسی[1] طبق رابطه (۴) با جمع و میانگین‌گیری مقادیر هر سطر از ماتریس نرمال‌شده تعیین می‌شوند (Coffey & Claudio, 2021).

$$r_i=\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \forall j=1,2,\dots,n$$ رابطه ۴)

که در رابطه فوق، r_i وزن گزینه iام است. مقایسات زوجی از طریق نسبت سازگاری (CR)[2] طبق روابط (۵) و (۶) ارزیابی می‌شوند تا سازگاری قضاوت‌ها مشخص شود. زمانی که مقدار CR کمتر از ۰/۱۰ باشد، وزن‌های حاصل قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند؛ در غیر این صورت، وزن‌های مربوطه بازبینی می‌شوند تا از وجود ناسازگاری جلوگیری شود (Agarwal & Garg, 2016; Bera et al., 2019). در این مطالعه نسبت سازگاری با استفاده نرم افزار Expert Choice 11 محاسبه گردید.

ویراستاری نشده

[1] Geometric Mean
[2] Consistency Ratio

$$CR = \frac{Consistency\ Index\ (CI)}{Random\ Consistency\ Index\ (RCI)}$$ رابطه ۵)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$ رابطه ۶)

که در این روابط CI شاخص سازگاری که معیاری از میزان سازگاری میان ارزیابی‌ها در یک مقیاس رتبه‌بندی است. این شاخص با نسبت میانگین اختلاف رتبه‌ها به انحراف معیار رتبه‌ها محاسبه می‌شود؛ λ_{max} مقدار ویژه حداکثر یا امتیازهایی که به یک سطح خاص از سازگاری دست یافته‌اند؛ n تعداد عیارهای مطالعه؛ RCI شاخص سازگاری تصادفی که برای اندازه‌گیری میزان سازگاری یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی در AHP به‌کار می‌رود. مقدار RCI بر اساس نمونه‌ای از ماتریس‌های ساعتی طبق جدول ۴ تعیین می‌شود و CR نسبت سازگاری است (Bagheri et al., 2021; Senapati & Das, 2024).

جدول ۴. مقادیر شاخص RCI ارائه‌شده توسط توماس ال. ساعتی

تعداد معیار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
RCI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹	۱/۵۹۴۳

در گام آخر پس از تعیین وزن‌های نسبی معیارها، مرحله‌ی تجمیع[1] برای دستیابی به وزن نهایی گزینه‌ها انجام شد. در این گام، وزن‌های محلی مؤلفه‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Expert Choice 11 محاسبه‌شده و از طریق تجمیع افزایشی در سطوح مختلف سلسله مراتب با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا اولویت‌های کلی به‌دست آید. وزن نهایی هر گزینه بر اساس رابطه (۷) تعیین شد:

$$Z_i = \sum_j w_j \times S_{ij}$$ رابطه ۷)

که در این رابطه S_{ij} وزن معیار گزینه j؛ W_j اولویت نسبی گزینه j و Z_i بیانگر اولویت کلی گزینه i می‌باشد (Bagheri et al., 2021).

از آن‌جا که ارزیابی گزینه‌ها در فرآیند AHP مبتنی بر مقادیر عددی است، این گزینه‌ها عموماً از قابلیت تفکیک‌پذیری برخوردارند. حتی در صورت به‌کارگیری روش‌های رتبه‌بندی، تمایز میان گزینه‌ها همچنان حفظ می‌شود. این ویژگی به‌ویژه هنگام مقایسه گزینه‌های همسان که در عمل بسیار رخ می‌دهد، حائز اهمیت می‌گردد. در عمل برای تمایز این مسئله و تثبیت دقت نتایج، تحلیل حساسیت به‌عنوان مرحله نهایی فرآیند تصمیم‌گیری با اعمال تغییرات جزئی در داده‌های ورودی، پایداری نتایج را مورد سنجش قرار داد. در صورتی که رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در این شرایط بدون تغییر باقی بماند، نتایج از پایداری مطلوب برخوردار خواهند بود. به‌کارگیری رابط‌های گرافیکی تعاملی نظیر آنچه در نرم‌افزار Expert Choice پیاده‌سازی شده است، به‌خوبی امکان اجرای انواع تحلیل حساسیت را با بازنمایی‌های بصری متنوع فراهم آورد. بازتعریف مدل از طریق تغییر در میزان اهمیت معیارها امکان‌پذیر است. در Expert Choice، تحلیل حساسیت به‌صورتی طراحی شده که رابطه میان وزن معیارها و خروجی‌های ارزیابی به‌صورت دیداری ترسیم می‌گردد. اصلاح وزن‌ها به شیوه‌ای تعاملی انجام می‌شود و بازخورد لحظه‌ای تغییرات قابل مشاهده است. دو نمای بصری تحلیل حساسیت پویا و

[1] Aggregation

ویراستاری نشده

عملکردی نرم‌افزار برای این منظور لحاظ گردید که نتایج آن در اشکال (۶) و (۷) نمایش داده شده است (Ishizaka & Labib, 2009; Špendl et al., 2003).

یافته‌های پژوهش و بحث

معیارهای اصلی مدل تحلیل سلسله مراتبی

به‌منظور تبیین قضاوت‌های خبرگان و تشریح ساختار ترجیحات آنان نسبت به معیارهای اصلی مدیریت پایدار منابع آب و خاک، نتایج مقایسه‌های زوجی معیارها در چارچوب روش فرآیند AHP ارائه شد. جدول ۵ میانگین مقادیر مقایسه‌های زوجی بین معیارهای اصلی مطالعه را که بر اساس نظرات خبرگان منتخب محاسبه شده‌اند، نشان می‌دهد. این مقایسه‌ها بیانگر اهمیت نسبی هر معیار در مقایسه با سایر معیارها بوده و مبنای محاسبه وزن‌های نهایی و اولویت‌بندی معیارها در مراحل بعدی تحلیل قرار گرفته‌اند. مقادیر میانگین مقایسه‌های زوجی بین معیارهای اصلی یک ماتریس ۶ در ۶ را تشکیل می‌دهد (جدول ۵) که قطر اصلی آن همگی دارای عدد یک می‌باشد (نشان‌دهنده برابری کامل هر معیار با خودش) و مقادیر مثلث پایین در زیر قطر اصلی ماتریس همگی عکس اعداد بالای مثلث بالای قطر اصلی ماتریس می‌باشند. این موارد در نرم‌افزار Expert Choice 11 وارد گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بخش کشاورزی به‌عنوان رکن اساسی تأمین معیشت جوامع و استحکام اقتصادی، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه جایگاهی بی‌بدیل دارد. با این وجود اتکای چشمگیر این بخش به بارش‌های جوی، آسیب‌پذیری آن را در مقابل تغییرات اقلیمی غیرقابل‌پیش‌بینی به‌مراتب افزایش داده است. در این میان، توسعه آبیاری به‌عنوان راهکاری راهبردی برای غلبه بر این محدودیت و افزایش بازده تولیدات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. چالش اساسی در شیوه‌های کنونی کشاورزی کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کاربرد نامناسب آبیاری بدون ارزیابی تناسب اراضی است که به کاهش عملکرد محصول، فرسایش خاک و هدررفت منابع آب منجر می‌گردد (Terefe et al., 2025). از این رو در راستای مطالعه حاضر مطابق جدول ۵، نتایج حاصل از مدل فرآیند AHP نشان داد در چارچوب مدیریت پایدار منابع آب و خاک استان گیلان، معیار بهره‌وری آب در اغلب مقایسه‌های زوجی نسبت به سایر معیارها از ارجحیت بالاتری برخوردار بوده و بالاترین وزن و اولویت را با ۰/۳۶۷ در میان معیارهای اصلی به خود اختصاص داده است (شکل ۳). این یافته بیانگر نقش کلیدی آب به‌عنوان عامل محدودکننده اصلی تولید کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است. کسب بالاترین وزن توسط معیار بهره‌وری آب را می‌توان در ارتباط مستقیم با شرایط اقلیمی، ناپایداری بارش‌ها و فشار فزاینده بر منابع آبی استان گیلان تفسیر کرد. اگرچه این استان از نظر میزان بارندگی در مقایسه با میانگین کشوری وضعیت مناسبی دارد، اما افزایش تقاضای آب در بخش کشاورزی، تغییر الگوهای بارش و کاهش راندمان سامانه‌های آبیاری، بهره‌برداری بهینه از آب را به یک ضرورت راهبردی تبدیل کرده است. پس از بهره‌وری آب، معیارهای پایداری محیطزیستی و بهره‌وری منابع خاک به‌ترتیب با وزن ۰/۲۷۸ و ۰/۱۶۰ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند که نشان می‌دهد تصمیم‌گیرندگان، علاوه‌بر تأمین کوتاه‌مدت تولید، به پیامدهای بلندمدت محیطزیستی و حفظ کیفیت خاک نیز توجه ویژه‌ای داشته‌اند. این اولویت‌بندی، گذار از پارادایم صرفاً تولیدمحور به پارادایم تولید پایدار مبتنی بر حفظ زیست‌بوم را مطرح می‌کند. به‌صورت کلی، کشاورزی پایدار و نوآورانه مستلزم آن است که سامانه‌های تولیدی کشاورزی به‌صورت بنیادین بر رویکرد مدیریت جامع منابع با استفاده کارآمد از منابع زمین و آب استوار باشد، به‌گونه‌ای که ضمن تأمین نیازهای تولید، از تخریب این منابع جلوگیری شود (Ghaznavi et al., 2025; Motamed et al., 2025).

معیارهای صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی، مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی و قابلیت اجرا و نهادی طبق شکل ۳ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند که این امر حاکی از تقدم ملاحظات محیطزیستی بر عوامل اقتصادی و اجتماعی در چارچوب پایداری است. نتایج تحقیقی در حوزه اقتصاد مقاومتی بخش کشاورزی با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد که عواملی نظیر انعطاف‌پذیری اقتصادی،

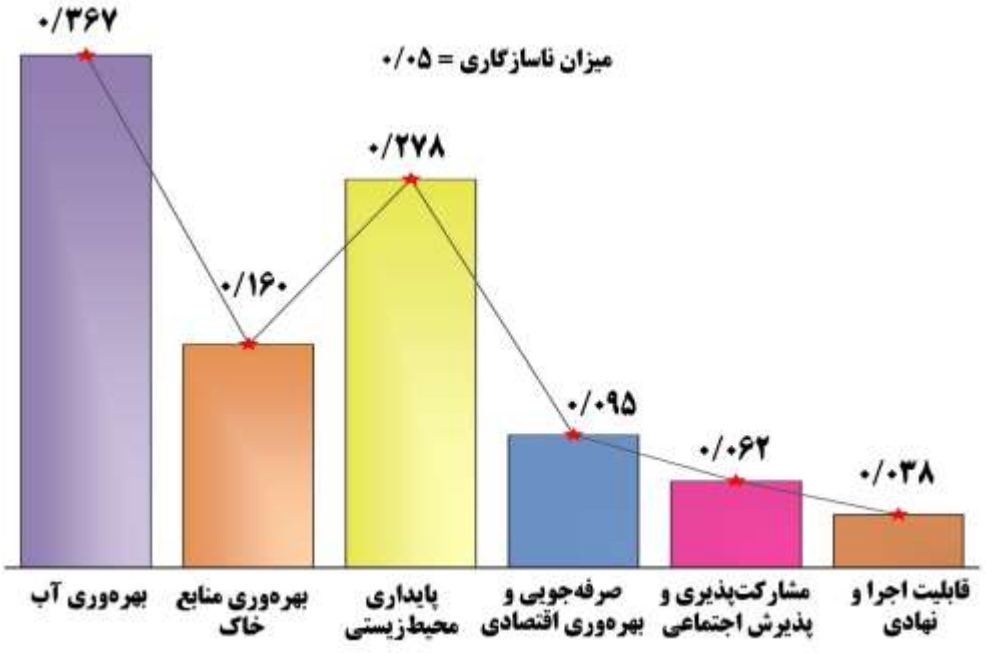
ارتقای بهره‌وری منابع و ایجاد بستر مناسب نهادی و سرمایه‌گذاری نقش تعیین‌کننده‌ای در تاب‌آوری و پویایی سامانه‌های کشاورزی ایفا می‌کنند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که ضعف بهره‌وری نیروی انسانی و سرمایه، نبود نظام کارآمد بازاریابی و نااطمینانی محیط اقتصادی، از مهم‌ترین چالش‌های ساختاری توسعه پایدار کشاورزی محسوب می‌شوند (Adabi & Noorivandi, 2022). از این منظر، موفقیت پروژه‌های کشاورزی در کشورهای در حال توسعه صرفاً در افزایش تولید و رشد کشاورزی خلاصه نمی‌شود، بلکه این پروژه‌ها باید به‌طور هم‌زمان در ارتقای پایداری محیط‌زیست و تقویت ساختارهای اجتماعی و اقتصادی نیز نقش‌آفرینی کنند (Khan et al., 2022). الگوی اولویت‌بندی مدل تحقیق حاضر را می‌توان مانند مطالعه (Niles et al., 2015) در چارچوب فرضیه عامل محدودکننده تبیین کرد که ریشه در قانون حداقل لیبیگ[1] دارد و بیان می‌کند عملکرد یک سامانه تولیدی بیش از هر چیز تحت تأثیر محدودکننده‌ترین منبع آن قرار دارد. بر اساس این دیدگاه، سامانه‌های کشاورزی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی، بیش‌ترین واکنش مدیریتی و تصمیم‌گیری را نسبت به عاملی نشان می‌دهند که به‌صورت مستقیم رشد، بهره‌وری و پایداری آن‌ها را محدود می‌کند. در راستای این چارچوب، مطالعه حاضر یک استراتژی مدیریتی اولویت‌بندی شده بر مبنای ریسک (افزایش بهره‌وری مصرف آب از طریق استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار بارانی یا قطره‌ای) را در کشاورزی استان گیلان پیشنهاد می‌کند که در آن تخصیص منابع و توجه مدیریتی ابتدا معطوف به رفع یا کاهش فشار بر عامل محدودکننده اصلی (آب) می‌شود.

نتایج به‌دست‌آمده با مطالعه انجام‌شده در مناطق دارای محدودیت‌های اقلیمی و منابعی مطابقت دارد؛ به‌گونه‌ای که در این مطالعه عنوان شد که محدودیت‌های ناشی از شرایط اقلیمی، منابع آب، ویژگی‌های خاک و عوامل توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی به‌شمار می‌روند و مدیریت پایدار منابع زمین مستلزم تلفیق هم‌زمان ملاحظات محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی است (Nwer et al., 2021). کشاورزی پایدار و نوآورانه مستلزم آن است که طراحی سامانه‌های تولید، به‌صورت بنیادین بر رویکرد مدیریت منابع استوار باشد (Ghaznavi et al., 2025). یافته‌های پژوهشی با هدف بررسی مزایا و صرفه‌جویی‌های اقتصادی ناشی از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار که توسط (Rahmani et al., 2017) در استان اردبیل انجام گرفت، نشان داد سامانه‌های آبیاری تحت فشار می‌توانند با کاهش مصرف آب و افزایش کارایی نهاده‌ها، به بهبود تولید کمک کنند. این امر می‌تواند ناشی از آن باشد که ذی‌نفعان کمبود آب را عمدتاً به‌عنوان مسئله‌ای فیزیکی و فن‌آورانه و متأثر از عوامل برون‌زای بوم‌شناختی و اقلیمی درک می‌کنند که در نتیجه، فن‌آوری‌های نوین آبیاری به‌عنوان ابزاری برای تضمین کمیت و کیفیت منابع آب آینده تلقی می‌شوند (Madani, 2014). این امر موجب شده است سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی ایران نیز به‌طور گسترده از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار به‌منظور مدیریت مصرف آب و افزایش بهره‌وری آبیاری حمایت کند (Veisi et al., 2022).

جدول ۵. میانگین مقادیر مقایسه‌های زوجی بین معیارهای اصلی مطالعه توسط خبرگان

مقایسه‌های زوجی	بهره‌وری آب	بهره‌وری منابع خاک	پایداری محیط‌زیستی	صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی	مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی	قابلیت اجرا و نهادی
بهره‌وری آب	۱	۳	۲	۳	۶	۷
بهره‌وری منابع خاک	۱/۳	۱	۴	۳	۳	۵
پایداری محیط‌زیستی	۱/۲	۱/۴	۱	۳	۳	۵
صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱	۲	۳
مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی	۱/۶	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲
قابلیت اجرا و نهادی	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱

[1] Liebig's Law of the Minimum



شکل ۳. وزن معیارهای اصلی با توجه به هدف مدل مطالعه

زیرمعیارهای مدل تحلیل سلسله مراتبی

بررسی وزن زیرمعیارهای مرتبط با معیار بهره‌وری آب (شکل ۴ الف) نشان داد که بازده آبیاری (۰/۵۶۵) و اتلاف منابع سطحی و زیرزمینی (۰/۲۶۲) بیش‌ترین اهمیت را در این گروه به خود اختصاص داده‌اند. این امر بیانگر آن است که تصمیم‌گیرندگان، بهبود کارایی سامانه‌های آبیاری و کاهش تلفات منابع آب در مراحل انتقال و مصرف را مؤثرترین راهکار برای مدیریت پایدار آب می‌دانند. در مقابل، زیرمعیار فن‌آوری آبیاری نوین (۰/۱۱۸) و کیفیت منابع آبی کشاورزی (۰/۰۵۵) اگرچه دارای وزن کم‌تری بودند، اما همچنان به‌عنوان عوامل مکمل در بهبود عملکرد کلی سامانه آبیاری مطرح شدند. این نتایج نشان می‌دهد که رویکرد غالب، تمرکز بر افزایش راندمان مصرف آب به‌جای صرفاً افزایش عرضه آن است. این نتیجه با توجه به اینکه بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است و کارایی مصرف آب کشاورزی در سال‌های اخیر تحت تأثیر توسعه مقیاس تولید و ترویج فن‌آوری‌های آبیاری کم‌مصرف روندی افزایشی داشته، بیانگر تمرکز تصمیم‌گیرندگان بر ارتقای مدیریت مصرف آب است. در این چارچوب، در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های AHP و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[1])، عنوان شد که ارزیابی بهره‌وری آب به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری، نقش کلیدی در هدایت استفاده بهینه از منابع آبی و کاهش تعارض میان عرضه و تقاضای آب ایفا می‌کند (Zhang et al., 2023). نتایج مربوط به بهره‌وری منابع خاک طبق شکل (۴ ب) حاکی از آن است که مصرف بهینه کود و استفاده از تناوب زراعی به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارها شناسایی شدند. با توجه به اثر عوامل فوق در نرخ بالای فرسایش خاک، این یافته نشان‌دهنده پیامدهای مخرب تخریب خاک بر پایداری تولید کشاورزی است. فرسایش خاک از دیرباز به‌عنوان یکی از عوامل اصلی و نامطلوب مؤثر بر تخریب سرزمین شناخته می‌شود که پیامدهای گسترده‌ای بر کیفیت منابع آب، تولیدات کشاورزی و پایداری محیط‌زیست دارد. در همین راستا، روش‌ها و راهکارهای متعددی برای ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی فرسایش خاک و برآورد میزان اتلاف خاک مانند احیا و تقویت پوشش گیاهی، اجرای اقدامات حفاظتی متناسب با

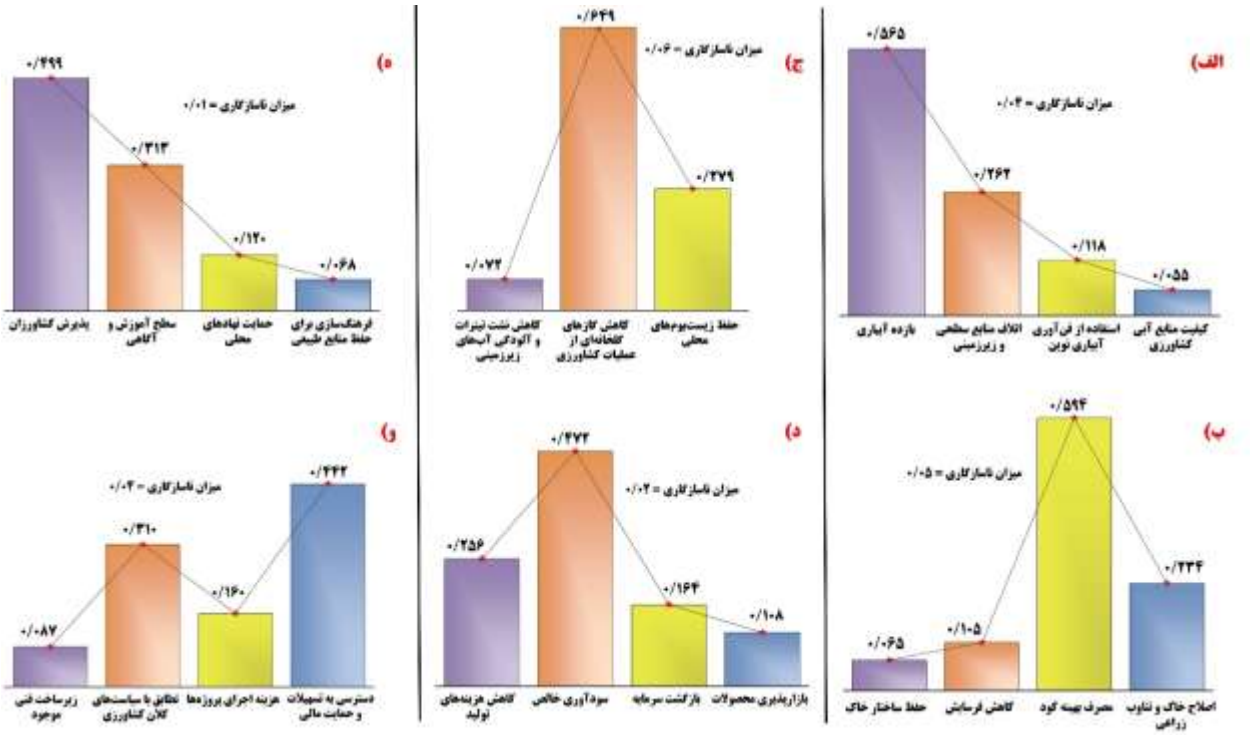
[1] Data Envelopment Analysis

شیب و شدت بارش، پایش مستمر فرسایش و هدایت و مدیریت رواناب سطحی از طریق شبکه‌های زهکشی است (Naqvi et al., 2013; Pradeep et al., 2015; Rozos et al., 2013). این رویکردها می‌تواند مبنایی علمی برای طراحی و اجرای راهبردهای مدیریتی متناسب با ویژگی‌ها و شرایط محلی منطقه فراهم آورد و از این طریق، در کنترل فرآیندهای تخریب خاک و کاهش پیامدهای فرسایش در نظام‌های کشاورزی نقش مؤثری ایفا کند.

در گروه پایداری محیط‌زیستی نیز (شکل ۴ ج)، زیرمعیار کاهش آلایندگی‌های عملیات کشاورزی و حفظ زیست‌بوم‌های محلی بیش ترین وزن (۰/۶۴۹ و ۰/۲۷۹) را کسب کرد که بیانگر نگرانی جدی نسبت به نقش کشاورزی در گرمایش جهانی و اثرات آن بر سلامت زیست‌بوم‌ها و امنیت غذایی است. تحقیقی با هدف به‌کارگیری چندین تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین مناسب‌ترین راهبرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع چند منطقه در کشور هند انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که تغییر در مدیریت آب و کود می‌تواند انتشار یکی از آلاینده‌ها را کاهش داده و در عین حال از افزایش آلاینده دیگر جلوگیری کند. این رویکرد نشان‌دهنده توجه به کنترل جامع آلایندگی‌ها در فرآیند تولید کشاورزی است. همچنین به‌کارگیری مدیریت آبیاری تناوبی به‌عنوان راهکاری کارآمد می‌تواند با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه متان و اکسید نیتروژن، ضمن بهبود سلامت خاک، زمینه تحقق کشاورزی پایدار را فراهم سازد (Rajbonshi et al., 2026). طبق اهداف توسعه پایدار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO[1])، حفاظت از تنوع زیستی و بهبود سلامت خاک از ارکان اساسی دستیابی به کشاورزی پایدار و تقویت امنیت غذایی به‌شمار می‌روند (Shin et al., 2024).

نتایج نشان داد که در بعد صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی، شاخص‌های سودآوری خالص و کاهش هزینه‌های تولید به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۴۷۲ و ۰/۲۵۶ بیش‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴ د) که بیانگر نقش تعیین‌کننده توجیه اقتصادی در پذیرش و تداوم راهکارهای مدیریتی است؛ به‌گونه‌ای که از دیدگاه خبرگان، راهکارهایی که بتوانند هم‌زمان هزینه‌های تولید را کاهش داده و سودآوری را افزایش دهند، شانس بیش‌تری برای اجرا در نظام‌های کشاورزی دارند. همچنین، نتایج مربوط به معیار مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی در شکل (۴ ه) نشان داد که پذیرش کشاورزان و سطح آموزش و آگاهی بیش‌ترین اهمیت را در این گروه دارند، که این امر تأکید می‌کند که موفقیت راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب و خاک، علاوه‌بر توجیه اقتصادی، به پذیرش عملی آن‌ها توسط بهره‌برداران وابسته است. در مطالعه‌ای با هدف بررسی سه معیار محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی با روش AHP برای ارزیابی پایداری سامانه‌های کشاورزی در یونان، گزارش شد این سه عامل به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۵۴۰ و ۰/۲۹۷ و ۰/۱۶۳ به‌ترتیب اولویت داشتند (Bartzas & Komnitsas, 2020). در دانمارک نیز ارزیابی پایداری مزارع بر پایه ابعاد محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی انجام شد و نتایج نشان داد که پذیرش عملی ابزارهای ارزیابی بیش از هر چیز به انطباق با شرایط محلی و قابلیت استفاده در تصمیم‌گیری مدیریتی وابسته است (De Olde et al., 2016). در معیار قابلیت اجرا و نهادی (شکل ۴ و)، دسترسی به تسهیلات و حمایت مالی به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناسایی شد که نشان می‌دهد محدودیت‌های مالی و نهادی همچنان یکی از موانع اصلی اجرای سیاست‌های پایدار در بخش کشاورزی استان گیلان است. توسعه پایدار برای ایجاد تعادل میان رشد اقتصادی، رفاه اجتماعی و حفاظت از محیط‌زیست امری حیاتی است و در این راستا در مطالعه‌ای مشخص شده است که پایداری اقتصادی، سیاست‌گذاری و حکمرانی و پیامدهای محیط‌زیستی از مهم‌ترین معیارهای اثرگذار بر تحقق توسعه پایدار در چین به شمار می‌روند (Yang & Solangi, 2024). در مطالعه‌ای دیگر با هدف ارزیابی موانع پذیرش کشاورزی ارگانیک توسط کشاورزان هندی از یک روش نظام‌مند تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد. طبق نتایج این مطالعه، دانش و اطلاعات، ظرفیت مالی محدود کشاورزان و حمایت نهادی ناکافی به‌عنوان موانع اصلی و مستقل بر کشاورزی ارگانیک هند بودند (Dixit et al., 2024).

[1] Food and Agriculture Organization



شکل ۴. وزن زیرمعیارهای مدیریت پایدار منابع آب و خاک با توجه به معیارهای اصلی شامل: الف) بهره‌وری آب، ب) بهره‌وری منابع خاک، ج) پایداری محیطزیستی، د) صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی، ه) مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی و و) مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی

اولویت‌بندی گزینه‌ها

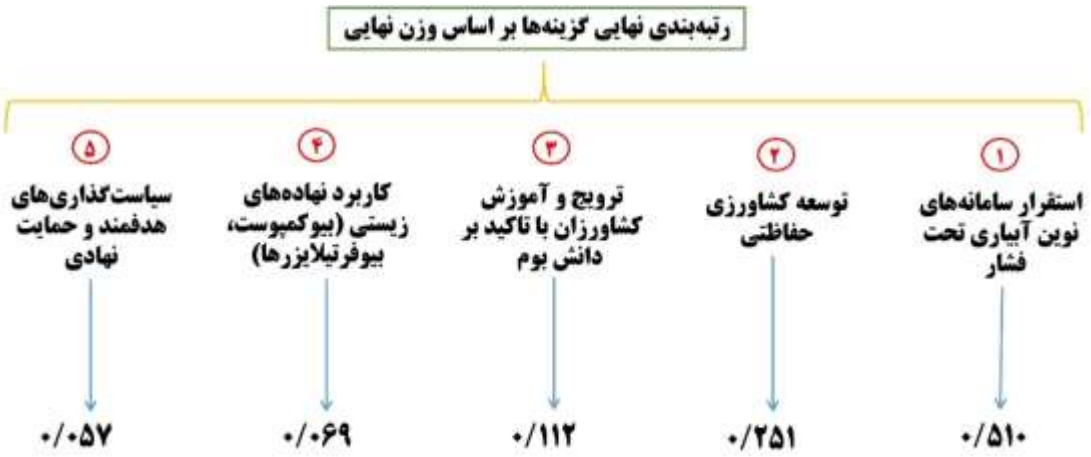
بر اساس نتایج جدول ۶ و شکل ۵ در ادامه اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های مدیریتی، استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار در تمامی معیارهای اصلی از جمله بهره‌وری آب، بهره‌وری منابع خاک، پایداری محیطزیستی، صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی، مشارکت‌پذیری اجتماعی و قابلیت اجرا و نهادی، بالاترین وزن را به خود اختصاص داده است که بیانگر نقش محوری این گزینه در تحقق مدیریت پایدار منابع آب و خاک کشاورزی استان گیلان است. این یافته نشان می‌دهد که این گزینه یک راه‌حل یکپارچه‌ساز است که به‌طور همزمان گره‌گشای اکثر دغدغه‌های پایداری دخیل در منطقه مورد مطالعه از بهره‌وری منابع و محیطزیست تا اقتصاد و پذیرش اجتماعی می‌باشد. دلیل این برتری، اثر زنجیره‌ای و هم‌افزای این راهکار است که از صرفه‌جویی آب آغاز شده و به کاهش آلودگی، صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش مقبولیت اجتماعی منتهی می‌شود. در سطح کلان جهانی، ارتقاء و بهینه‌سازی سامانه‌های آبیاری با هدف افزایش کارایی، سودآوری و عملکرد محصول در کنار کاهش میزان آب مصرفی، امروزه نه تنها به الگویی فراگیر در سطح بین‌المللی تبدیل شده است، بلکه به الزامی راهبردی بدل گردیده است. فن‌آوری‌های نوین آبیاری از پتانسیل قابل‌توجهی برای بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، برخوردار می‌باشند (Hasily et al., 2020; Veisi et al., 2022). توسعه کشاورزی حفاظتی به‌عنوان گزینه دوم، در ابعاد محیطزیستی و بهره‌وری منابع، جایگاه مهمی در کاهش فرسایش خاک و حفظ کیفیت منابع پایه دارد. گزینه ترویج و آموزش کشاورزان با تأکید بر دانش بومی اگرچه از نظر فنی وزن کم‌تری دارد، اما به‌عنوان عامل مکمل، نقش مؤثری در افزایش پذیرش اجتماعی و پایداری بلندمدت راهکارها ایفا کرد. کاربرد نهاده‌های زیستی و سیاست‌گذاری‌های هدفمند و حمایت نهادی نیز با وجود وزن‌های پایین‌تر، به‌عنوان گزینه‌های پشتیبان، به‌ویژه در بهبود پایداری محیطزیستی و تقویت بستر نهادی، اهمیت دارند.

در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب راهکارهای فن‌آورانه، مدیریتی و نهادی می‌تواند به‌طور هم‌زمان بهره‌وری منابع، حفاظت محیط‌زیست و امکان‌پذیری اجرایی را در نظام‌های کشاورزی تقویت کند. نتایج اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های مدیریتی طبق شکل (۵) نشان داد که گزینه‌هایی که بر بهبود بهره‌وری مصرف آب (۰/۵۱۰)، کاهش فرسایش خاک (۰/۲۵۱) و ترویج و آموزش اصولی کشاورزی به کشاورزان (۰/۱۱۲) تمرکز دارند، بالاترین اولویت را در مدل به خود اختصاص داده‌اند. این نتیجه بیانگر آن است که رویکردهای یکپارچه و چندبعدی که هم‌زمان ابعاد فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی را در نظر می‌گیرند، نسبت به راهکارهای تک‌بعدی، کارآمدتر ارزیابی شده‌اند و مدیریت پایدار منابع آب و خاک نیازمند نگاهی جامع و سیستمی است. در یک مطالعه جامع که با مشارکت ذی‌نفعان بخش آب و کشاورزی در استان اردبیل انجام شد، همه گروه‌های مختلف ذی‌نفعان کشاورزی، سامانه‌های آبیاری تحت فشار را به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه از دید پایداری کشاورزی انتخاب کردند، به‌طوری که ۶۹ درصد از شرکت‌کنندگان این نوع سامانه را برتر دانستند. در این مطالعه، اشتغال و درآمد، بهره‌وری، ارتقای کیفیت زندگی و توسعه کشاورزی به‌ترتیب مهم‌ترین معیارهایی برای تصمیم‌گیری در مورد سامانه‌های آبیاری بودند که نشان‌دهنده اهمیت چندبعدی این فن‌آوری در بهبود بهره‌وری مصرف آب، افزایش عملکرد و پایداری اجتماعی و اقتصادی در کشاورزی بود (Veisi et al., 2022). در تحقیقی، ارزیابی آسیب‌پذیری کشاورزی در برابر خشکسالی (شاخص‌های حساسیت و ظرفیت سازگاری) بر پایه مجموعه‌ای از داده‌های چندمنبعی شامل مؤلفه‌های هواشناسی، کشاورزی، خاک و شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی و با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP) انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که چارچوب یکپارچه توسعه‌یافته برای ارزیابی آسیب‌پذیری کشاورزی از ظرفیت قابل‌توجهی در پشتیبانی از سیاست‌گذاری‌های منطقه‌محور، هدایت هدفمند مدیریت منابع و تقویت مسیرهای توسعه پایدار بخش کشاورزی برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در فرآیندهای برنامه‌ریزی و تصمیم‌سازی آینده مورد استفاده قرار گیرد (Bera & Dutta, 2024). یافته‌های پژوهشی عنوان داشت که بهبود شیوه‌های مدیریتی تحت کشاورزی حفاظتی و گسترش و ترویج این روش‌ها برای کشت گندم و برنج در میان کشاورزان می‌تواند اثربخشی مطلوبی در کشاورزی پایدار داشته باشد (Biswas et al., 2024). این نتایج نشان می‌دهد که غلبه سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار در اولویت‌بندی نهایی ناشی از توان بالای این گزینه در پاسخ‌گویی هم‌زمان به الزامات فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی است، به‌ویژه در شرایطی که محدودیت منابع آب، فشار بر خاک و ضرورت پذیرش اجتماعی راهکارها به‌طور هم‌زمان مطرح است. از این منظر، هم‌راستایی یافته‌های این مطالعه با پژوهش‌های مشابه بیانگر آن است که کارآمدی راهکارهای فن‌آورانه زمانی بیشینه می‌شود که با اقدامات مدیریتی و ترویجی همراه بوده و در یک رویکرد چندبعدی مورد ارزیابی قرار گیرند.

جدول ۶. وزن‌های گزینه‌های مدیریتی در چارچوب معیارهای اصلی مدل مطالعه

معیارهای اصلی / گزینه‌ها	بهره‌وری آب	بهره‌وری منابع خاک	پایداری محیط‌زیستی	صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی	مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی	قابلیت اجرا و نهادی
استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار	۰/۵۰۱	۰/۵۴۸	۰/۴۸۲	۰/۵۴۶	۰/۵۴۱	۰/۵۱۱
توسعه کشاورزی حفاظتی	۰/۲۵۳	۰/۲۳۰	۰/۲۷۳	۰/۲۴۰	۰/۲۴۰	۰/۲۰۴
ترویج و آموزش کشاورزان با تاکید بر دانش بوم	۰/۱۱۰	۰/۱۱۰	۰/۱۲۱	۰/۱۱۲	۰/۱۰۹	۰/۰۸۵
کاربرد نهاده‌های زیستی (بیوکمپوست، بیوفرتیلایزرها)	۰/۰۶۰	۰/۰۶۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶۳	۰/۰۶۷	۰/۱۴۶
سیاست‌گذاری‌های هدفمند و حمایت نهادی	۰/۰۷۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۹	۰/۰۴۰	۰/۰۴۲	۰/۰۵۳

ویرایشی نشده

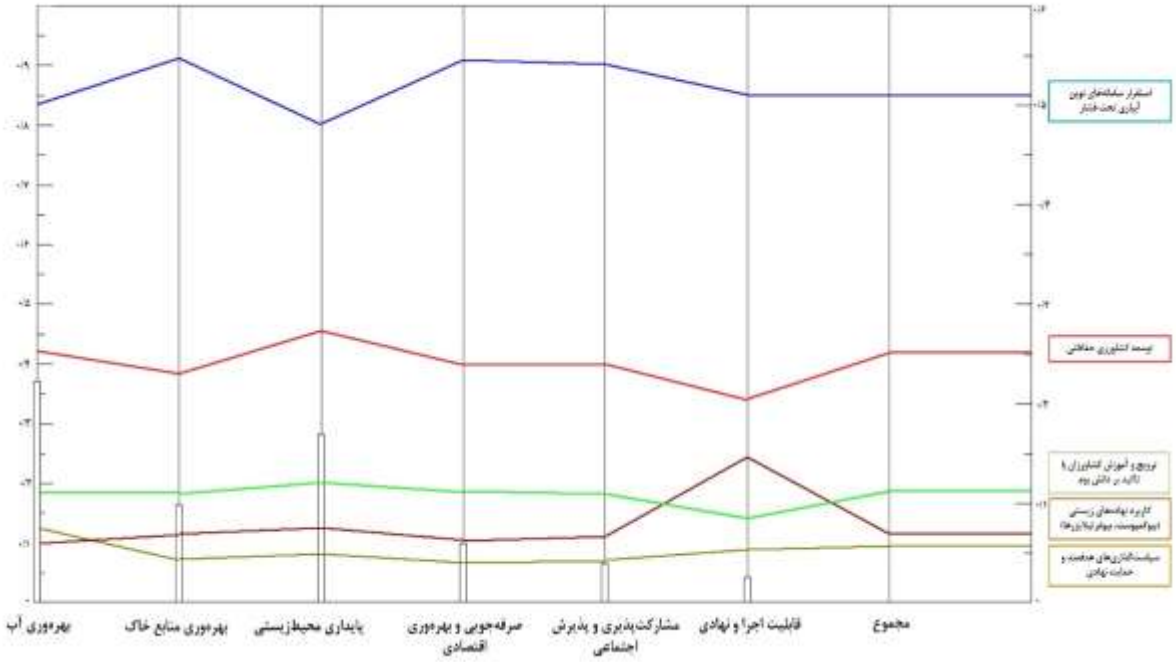


شکل ۵. اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های مدل مطالعه

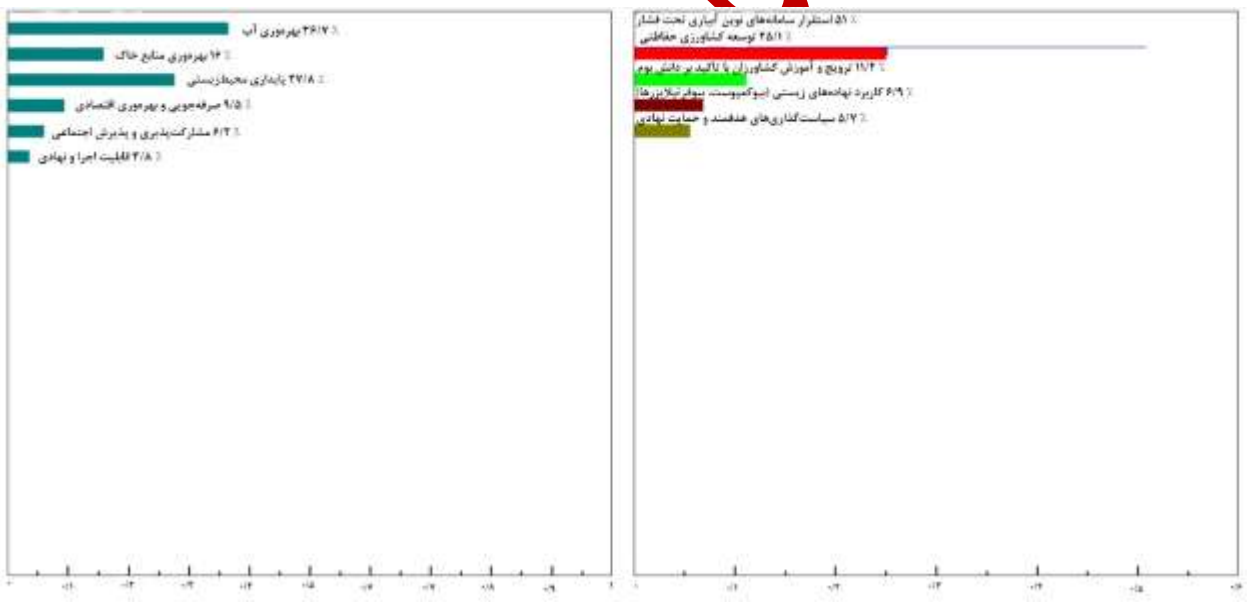
تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به عنوان روشی نظام‌مند برای ارزیابی عدم قطعیت در خروجی مدل‌های تصمیم‌گیری ریاضی در پاسخ به تغییرات و ریسک‌های وارده بر ورودی‌ها تعریف می‌شود. این فرآیند با تحلیلی کمی، میزان حساسیت تصمیم نهایی را نسبت به نوسانات جزئی در وزن‌های اختصاص‌یافته مورد سنجش قرار می‌دهد. چنانچه رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در برابر این تغییرات پایدار باقی بماند، اتخاذ تصمیم مبتنی بر نتایج حاصله منطقی و قابل اعتماد تلقی می‌گردد (Joy et al., 2023). نتایج تحلیل حساسیت بر اساس شکل‌های (۶) و (۷) نشان می‌دهد که با تغییر وزن معیارهای اصلی، رفتار گزینه‌ها و معیارها الگوهای متفاوتی از واکنش را بروز می‌دهند. در شکل (۶)، محورهای عمودی سمت راست و چپ به‌ترتیب وزن گزینه‌ها (راهکارهای مدیریتی برای آب و خاک) و وزن معیارها را نشان می‌دهد. روند تغییرات خطوط در این شکل بیانگر آن است که گزینه استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار در تمامی بازه‌های تغییر وزن معیارها، دارای بیش‌ترین مقدار امتیاز بوده و نوسانات آن غیر از معیار پایداری محیط‌زیستی نسبتاً محدود و یکنواخت است؛ این امر نشان‌دهنده ثبات بالای این گزینه در برابر تغییر ترجیحات تصمیم‌گیرندگان است. در مقابل، گزینه‌های توسعه کشاورزی حفاظتی و ترویج و آموزش کشاورزان با تأکید بر دانش بومی دارای نوسانات بیش‌تری هستند و در برخی معیارها تغییرات محسوسی را دارند، به‌ویژه در معیار قابلیت اجرا و نهادی که جابه‌جایی نسبی در مقادیر ترویج و آموزش کشاورزان با کاربرد نهاده‌های زیستی مشاهده می‌شود. همچنین بر اساس شکل (۷)، معیار بهره‌وری آب بیش‌ترین سهم را در نتایج نهایی به خود اختصاص داده و تغییرات آن تأثیر قابل‌توجه‌تری بر خروجی مدل نسبت به سایر معیارها دارد، در حالی که قابلیت اجرا و نهادی کم‌ترین دامنه تغییر را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، نتایج تحلیل حساسیت مدل شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای پایدار برای مدیریت منابع آب و خاک در کشاورزی گیلان نشان می‌دهد که با وجود تفاوت در میزان اثرگذاری معیارها و نوسانات مشاهده‌شده در مقادیر برخی گزینه‌ها، ساختار کلی مدل از پایداری و انسجام مناسبی برخوردار است، به‌گونه‌ای که تغییر وزن معیارهای اصلی منجر به جابه‌جایی اساسی در ترتیب گزینه‌های برتر نشده و اولویت‌های نهایی تا حد زیادی حفظ شده‌اند. این امر بیانگر آن است که نتایج حاصل، نسبت به تغییر در ترجیحات تصمیم‌گیرندگان حساسیت بیش از حد نداشته و می‌تواند تصویری قابل اتکا از عملکرد نسبی گزینه‌های مدیریتی در شرایط مختلف تصمیم‌گیری ارائه دهد.

در دست ویرایش



شکل ۶. تحلیل حساسیت عملکردی گزینه‌ها نسبت به معیارهای اصلی مدل مطالعه



شکل ۷. تحلیل حساسیت پویای گزینه‌ها نسبت به معیارهای اصلی مدل مطالعه (درجه اهمیت و وزن)

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و اتکا بر قضاوت خبرگان، به شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای پایدار مدیریت منابع آب و خاک در کشاورزی استان گیلان پرداخت و تلاش شد تصویری کمی و رتبه‌بندی‌شده از ترجیحات

تصمیم‌گیرندگان ارائه دهد. نتایج نشان داد که در میان معیارهای اصلی، بهره‌وری آب با وزن ۰/۳۶۷ در رتبه نخست قرار گرفت که بیانگر نقش محوری آب به‌عنوان عامل محدودکننده اصلی تولید کشاورزی در منطقه بود. این اولویت بالا را می‌توان ناشی از فشار فزاینده بر منابع آبی، نوسانات بارش و پایین بودن راندمان سامانه‌های آبیاری دانست، به‌گونه‌ای که حتی در استانی پربارش مانند گیلان، مدیریت تقاضا و افزایش کارایی مصرف آب به یک ضرورت راهبردی تبدیل شده است. پس از آن، پایداری محیط‌زیستی با وزن ۰/۲۷۸ در رتبه دوم و بهره‌وری منابع خاک با وزن ۰/۱۶۰ در رتبه سوم قرار گرفتند. این رتبه‌بندی نشان داد که خبرگان، علاوه‌بر تأمین تولید و بهره‌وری کوتاه‌مدت، به پیامدهای بلندمدت تخریب خاک، آلودگی منابع و آسیب به زیست‌بوم‌های محلی توجه ویژه‌ای داشته‌اند. در مقابل، معیارهای صرفه‌جویی و بهره‌وری اقتصادی، مشارکت‌پذیری و پذیرش اجتماعی و قابلیت اجرا و نهادی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند که حاکی از تقدم ملاحظات محیط‌زیستی و منابع پایه بر عوامل اقتصادی و نهادی در چارچوب پایداری است.

در سطح زیرمعیارها، نتایج نشان داد که در گروه بهره‌وری آب، بازده آبیاری با وزن ۰/۵۶۵ و کاهش اتلاف منابع سطحی و زیرزمینی با وزن ۰/۲۶۲ بیش‌ترین اهمیت را دارند. در معیار بهره‌وری منابع خاک نیز مصرف بهینه کود و تناوب زراعی در رتبه‌های نخست قرار گرفتند که اهمیت کنترل فرسایش و حفظ حاصل‌خیزی خاک را برجسته می‌سازد. همچنین در بعد پایداری محیط‌زیستی، کاهش آلایندگی‌های عملیات کشاورزی با وزن ۰/۶۳۹ و حفظ زیست‌بوم‌های محلی با وزن ۰/۲۷۹ بالاترین اولویت را به خود اختصاص دادند. اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های مدیریتی نشان داد که استقرار سامانه‌های نوین آبیاری تحت فشار با وزن نهایی ۰/۵۱۰ در رتبه نخست قرار دارد و در تمامی معیارهای اصلی نیز بالاترین امتیاز را کسب کرده است. پس از آن، توسعه کشاورزی حفاظتی با وزن ۰/۲۵۱ در رتبه دوم و ترویج و آموزش کشاورزان با تأکید بر دانش بومی در رتبه سوم قرار گرفتند. تحلیل حساسیت نیز نشان داد که گزینه آبیاری تحت فشار در برابر تغییر وزن معیارها از ثبات بالایی برخوردار بوده و جابه‌جایی اساسی در رتبه‌بندی نهایی رخ نداده است و به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه در استان گیلان مطرح شد.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به‌عنوان راهبرد اول، همراه با حمایت‌های مالی و نهادی هدفمند اجرا شود و در کنار آن، کشاورزی حفاظتی و برنامه‌های ترویجی به‌عنوان راهکارهای مکمل دنبال شوند. اتخاذ این رویکرد یکپارچه می‌تواند ضمن افزایش بهره‌وری آب و خاک، پایداری محیط‌زیستی و تاب‌آوری کشاورزی استان گیلان را به‌طور معناداری تقویت کند. همچنین، اجرای گزینه‌های اولویت‌دار در قالب رویکردی مشارکتی و چندذی‌نفعی دنبال شود تا با مشارکت فعال ذی‌نفعان در فرآیند تصمیم‌گیری علاوه‌بر ارتقای اعتماد نهادی، زمینه انتقال دانش بومی، کاهش تعارضات اجرایی و تقویت تاب‌آوری سامانه‌های کشاورزی فراهم شود. توجه به یافته‌های این مطالعه، اگر در پژوهش‌های آینده، از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر TOPSIS و روش‌های فازی (Fuzzy-MCDM) در کنار AHP استفاده شود، عدم قطعیت قضاوت‌ها و پیچیدگی‌های محیطی با دقت بیش‌تری لحاظ می‌گردد. همچنین، تلفیق داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های منطقه‌ای و اندازه‌گیری‌های زمینی می‌تواند به بهبود دقت ارزیابی‌ها، پایش مکانی و زمانی منابع و افزایش قابلیت تعمیم نتایج کمک کند. چنین رویکردی می‌تواند ضمن ارتقای پشتوانه علمی تصمیم‌گیری، زمینه‌ساز سیاست‌گذاری کارآمدتر و افزایش تاب‌آوری کشاورزی استان گیلان در برابر تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع خواهد بود.

ویرایش شده

منابع

اسلامی، علیرضا. (۱۳۹۹). اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات بخش کشاورزی و امنیت غذایی. *فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۷*(۴)، ۸۳-۸۷.

گودرزی، مصطفی. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی کاشت محصولات کشاورزی با استفاده از معیارهای چندگانه و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: استان مرکزی- دشت فراهان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶*(۳)، ۴۸۵-۴۹۸.

یوسفی، روح اله. (۱۴۰۴). گیاهان مناسب به‌عنوان کشت دوم پس از برنج در شالیزارهای استان گیلان. *مطالعات علوم محیط زیست، ۱۰*(۳)، ۱۰۶۳۱-۱۰۶۴۳.

REFERNCES

Abbas, A., Waseem, M., Ahmad, R., khan, K. A., Zhao, C., & Zhu, J. (2022). Sensitivity analysis of greenhouse gas emissions at farm level: case study of grain and cash crops. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(54), 82559–82573. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21560-9

Abd-Elaty, I., Fathy, I., Kuriqi, A., John, A. P., Straface, S., & Ramadan, E. M. (2023). Impact of Modern Irrigation Methods on Groundwater Storage and Land Subsidence in High-water Stress Regions. *Water Resources Management*, *37*(4), 1827–1840. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03457-5

Adabi, S., & Noorivandi, A. N. (2022). Application of Fuzzy AHP to Identify and Prioritize the Challenges of Resistive Economics in Iran's Agricultural Sector. *International Journal of Agricultural Management and Development, 12(1), 63-78.* https://doi.org/10.22004/AG.ECON.335185

Agarwal, R., & Garg, P. K. (2016). Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique. *Water Resources Management*, *30*(1), 243–260. https://doi.org/10.1007/s11269-015-1159-8

Aguarón, J., Escobar, M. T., Moreno-Jiménez, J. M., & Turón, A. (2019). AHP-Group Decision Making Based on Consistency. *Mathematics*, *7*(3), 242. https://doi.org/10.3390/math7030242

Amiri, A. A., Wahid, M. N., Al-Buraiki, A. S., & Al-Sharafi, A. (2024). A strategic multi-criteria decision-making framework for renewable energy source selection in Saudi Arabia using AHP-TOPSIS. *Renewable Energy*, *236*, 121523. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121523

Bagheri, M., Zaiton Ibrahim, Z., Mansor, S., Abd Manaf, L., Akhir, M. F., Talaat, W. I. A. W., & Beiranvand Pour, A. (2021). Application of Multi-Criteria Decision-Making Model and Expert Choice Software for Coastal City Vulnerability Evaluation. *Urban Science*, *5*(4), 84. https://doi.org/10.3390/urbansci5040084

Bartzas, G., & Komnitsas, K. (2020). An integrated multi-criteria analysis for assessing sustainability of agricultural production at regional level. *Information Processing in Agriculture*, *7*(2), 223–232. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.005

Bera, A., Mukhopadhyay, B. P., & Das, D. (2019). Landslide hazard zonation mapping using multi-criteria analysis with the help of GIS techniques: a case study from Eastern Himalayas, Namchi, South Sikkim. *Natural Hazards*, *96*(2), 935–959. https://doi.org/10.1007/s11069-019-03580-w

Bera, D., & Dutta, D. (2024). A Comprehensive Evaluation of Agricultural Drought Vulnerability Using Fuzzy-AHP-Based Composite Index Integrating Sensitivity and Adaptive Capacity. *Hydrological Processes*, *38*(11). https://doi.org/10.1002/hyp.15331

Biswas, T., Majumder, A., Dey, S., Mandal, A., Ray, S., Kapoor, P., Emam, W., Kanthal, S., ISHIZAKA, A., & Matuka, A. (2024). Evaluation of management practices in rice–wheat cropping system using multicriteria decision-making methods in conservation agriculture. *Scientific Reports*, *14*(1), 8600. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58022-w

Bousalah, H. (2025). Strengthening environmental communication for sustainable rural development: A Case Study of Maala Municipality, Algeria. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, *83*, 89–102.

Bozorg-Haddad, O., Zolghadr-Asli, B., Sarzaeim, P., Aboutalebi, M., Chu, X., & Loáiciga, H. A. (2020). Evaluation of water shortage crisis in the Middle East and possible remedies. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, *69*(1), 85–98. https://doi.org/10.2166/aqua.2019.049

Caicedo Solano, N. E., García Llinás, G. A., & Montoya-Torres, J. R. (2022). Operational model for minimizing costs in agricultural production systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, *197*, 106932. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106932

Caldera, U., Sadiq, A., Gulagi, A., & Breyer, C. (2021). Irrigation efficiency and renewable energy powered desalination as key components of Pakistan's water management strategy. *Smart Energy*, *4*, 100052. https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100052

Cao, J., & Solangi, Y. A. (2023). Analyzing and Prioritizing the Barriers and Solutions of Sustainable Agriculture for Promoting Sustainable Development Goals in China. *Sustainability*, *15*(10), 8317. https://doi.org/10.3390/su15108317

Coffey, L., & Claudio, D. (2021). In defense of group fuzzy AHP: A comparison of group fuzzy AHP and group AHP with confidence intervals. *Expert Systems with Applications*, *178*, 114970. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114970

De Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Sørensen, C. A. G., Bokkers, E. A. M., & de Boer, I. J. M. (2016). Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*, *66*, 391–404. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047

Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, *8*, 100459. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459

Dixit, A., Suvadarshini, P., & Pagare, D. V. (2024). Analysis of barriers to organic farming adoption in developing countries: a grey-DEMATEL and ISM approach. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, *14*(3), 470–495. https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2022-0111

El-Beltagi, H. S., Basit, A., Mohamed, H. I., Ali, I., Ullah, S., Kamel, E. A. R., Shalaby, T. A., Ramadan, K. M. A., Alkhateeb, A. A., & Ghazzawy, H. S. (2022). Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review. *Agronomy*, *12*(8), 1881. https://doi.org/10.3390/agronomy12081881

Eslami, A. (2021). Impacts of climate change on agricultural production and food security. *Journal of Water and Sustainable Development*, *7*(4), 83-87.(In Persian).

Erjavec, E., Volk, T., Rednak, M., Ciaian, P., & Lazdinis, M. (2021). Agricultural policies and European Union accession processes in the Western Balkans: aspirations versus reality. *Eurasian Geography and Economics*, *62*(1), 46–75. https://doi.org/10.1080/15387216.2020.1756886

Fazeli, H., Allahyari, M. S., Firouzi, S., Ben Hassen, T., Surujlal, J., Nejadrezaei, N., & Sadeghzadeh, M. (2023). Knowledge, Attitude, and Perception of Students Regarding Renewable Energies in Agriculture in Guilan, Iran. *Agriculture*, *13*(8), 1624. https://doi.org/10.3390/agriculture13081624

Ghaznavi, S., Yazdani, S., Rafiee, H., Saleh, I., Jalilian, A., Kaab, A., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2025). Sustainable synergies of rice–fish–duck symbiosis: A life cycle assessment in Guilan Province of Iran. *Results in Engineering*, *28*, 107226. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107226

Goodarzi, M. (2022). Prioritization of Arable Crops Using Multiple Criteria and Analytical Hierarchy Process (AHP) Method, Case Study: Markazi Province - Farahan Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(3), 485-498. (In Persian).

Hadadin, N., Qaqish, M., Akawwi, E., & Bdour, A. (2010). Water shortage in Jordan — Sustainable solutions. *Desalination*, *250*(1), 197–202. https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.01.026

Hamidah, M., Mohd Hasmadi, I., Chua, L. S. L., Yong, W. S. Y., Lau, K. H., Faridah-Hanum, I., & Pakhriazad, H. Z. (2022). Development of a protocol for Malaysian Important Plant Areas criterion weights using Multi-criteria Decision Making - Analytical Hierarchy Process (MCDM-AHP). *Global Ecology and Conservation*, *34*, e02033. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02033

Hartmann, M., & Six, J. (2022). Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, *4*(1), 4–18. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00366-w

Hasily, M. A., Golabi, M., & Nasab, S. B. (2020). Study and evaluation of irrigation and drainage networks using analytic hierarchy process in Khuzestan Province: A virtual water approach. *Agricultural Water Management*, *241*, 106305. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106305

Hemmati, S., Yaghmaeian, N., Farhangi, M. B., & Sabouri, A. (2022). Soil quality assessment of paddy fields (in Northern Iran) with different productivities: establishing the critical limits of minimum data set indicators. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(4), 10286–10296. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22846-8

Horňáková, N., Juríк, L., Hrablik Chovanová, H., Cagáňová, D., & Babčanová, D. (2021). AHP method application in selection of appropriate material handling equipment in selected industrial enterprise. *Wireless Networks*, *27*(3), 1683–1691. https://doi.org/10.1007/s11276-019-02050-2

Hutchinson, J. W., Alba, J. W., & Eisenstein, E. M. (2010). Heuristics and Biases in Data-Based Decision Making: Effects of Experience, Training, and Graphical Data Displays. *Journal of Marketing Research*, *47*(4), 627–642. https://doi.org/10.1509/jmkr.47.4.627

Ishizaka, A., & Labib, A. (2009). Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. *OR Insight*, *22*(4), 201–220.

Jia, L., Xin, J., Wu, H., Gong, S., Wu, H., & Zhang, Z. (2023). Enhancing nitrate attenuation in groundwater via selectively applying surface agricultural practices: A novel and sustainable strategy for non-point source pollution mitigation. *Water Research*, *239*, 120052. https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120052

Jiang, Y., Zhang, J., Manuel, D.-B., Op de Beeck, M., Shahbaz, M., Chen, Y., Deng, X., Xu, Z., Li, J., & Liu, Z. (2022). Rotation cropping and organic fertilizer jointly promote soil health and crop production. *Journal of Environmental Management*, *315*, 115190. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115190

Joy, T. M., Aneesh, K. S., & Sreekumar, V. (2023). Analysis of a decision support system for supplier selection in glove industry. *Materials Today: Proceedings*, *72*, 3186–3192. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.344

Karimi, M., Tabiee, M., Karami, S., Karimi, V., & Karamidehkordi, E. (2024). Climate change and water scarcity impacts on sustainability in semi-arid areas: Lessons from the South of Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, *24*, 101075. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101075

Khalfaoui, R., Goodell, J. W., Mefteh-Wali, S., Chishti, M. Z., & Gozgor, G. (2024). Impact of climate risk shocks on global food and agricultural markets: A multiscale and tail connectedness analysis. *International Review of Financial Analysis*, *93*, 103206. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103206

Khan, F. U., Nouman, M., Negrut, L., Abban, J., Cismas, L. M., & Siddiqi, M. F. (2024). Constraints to agricultural finance in underdeveloped and developing countries: a systematic literature review. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *22*(1). https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2329388

Khan, Md. R., Alam, M. J., Tabassum, N., & Khan, N. A. (2022). A Systematic Review of the Delphi–AHP Method in Analyzing Challenges to Public-Sector Project Procurement and the Supply Chain: A Developing Country's Perspective. *Sustainability*, *14*(21), 14215. https://doi.org/10.3390/su142114215

Khatri, P., Kumar, P., Shakya, K. S., Kirlas, M. C., & Tiwari, K. K. (2023). Understanding the intertwined nature of rising multiple risks in modern agriculture and food system. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(9), 24107–24150. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03638-7

Khosravi, K., Rezaie, F., Cooper, J. R., Kalantari, Z., Abolfathi, S., & Hatamiafkoueieh, J. (2023). Soil water erosion susceptibility assessment using deep learning algorithms. *Journal of Hydrology*, *618*, 129229. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129229

Levis, C., Flores, B. M., Campos-Silva, J. V., Peroni, N., Staal, A., Padgurschi, M. C. G., Dorshow, W., Moraes, B., Schmidt, M., Kuikuro, T. W., Kuikuro, H., Wauja, K., Kuikuro, K., Kuikuro, A., Fausto, C., Franchetto, B., Watling, J., Lima, H., Heckenberger, M., & Clement, C. R. (2024). Contributions of human cultures to biodiversity and ecosystem conservation. *Nature Ecology & Evolution*, *8*(5), 866–879. https://doi.org/10.1038/s41559-024-02356-1

Li, C., Sha, Z., Sun, X., & Jiao, Y. (2022). The Effectiveness Assessment of Agricultural Subsidy Policies on Food Security: Evidence from China's Poverty-Stricken Villages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(21), 13797. https://doi.org/10.3390/ijerph192113797

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, *4*(4), 315–328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

Mbukanma, I., Sithole, V. L., & Hosu, Y. S. (2025). Exploring the Factors Enhancing Marketability of Coastal Agricultural Products in Rural South Africa. *Economies*, *13*(5), 141. https://doi.org/10.3390/economies13050141

Mohammadrezaei, M., Meredith, D., McNamara, J., Kinsella, J., & Flannery, S. (2023). Do social influences, awareness, or experience matter? Toward a better understanding of Farm-related Injury Risk Perception among agricultural science college students in Ireland. *Frontiers in Public Health*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1076332

Molavi-Arabshahi, M., & Eskandari, S. (2025). Analyzing the cyclical impact of sunspot activity and ENSO on precipitation patterns in Gilan province: a wavelet-based approach. *Scientific Reports*, *15*(1), 22184. https://doi.org/10.1038/s41598-025-05797-1

Motamed, M. K., Javadi Baghi, S., Ghorbani Piralidehi, F., & Esfanjari Kenari, R. (2025). Identification and prioritization of strategies for achieving sustainable agriculture in rice production (Case study: Guilan Province, northwest Iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *23*(3), 757–769. https://doi.org/10.22124/cjes.2025.8954

Naeem, M., Farid, H. U., Madni, M. A., Albano, R., Inam, M. A., Shoaib, M., Shoaib, M., Rashid, T., Dilshad, A., & Ahmad, A. (2024). GIS-Based Analytical Hierarchy Process for Identifying Groundwater Potential Zones in Punjab, Pakistan. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *13*(9), 317. https://doi.org/10.3390/ijgi13090317

Naqvi, H. R., Mallick, J., Devi, L. M., & Siddiqui, M. A. (2013). Multi-temporal annual soil loss risk mapping employing Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model in Nun Nadi Watershed, Uttrakhand (India). *Arabian Journal of Geosciences*, *6*(10), 4045–4056. https://doi.org/10.1007/s12517-012-0661-z

Niles, M. T., Lubell, M., & Brown, M. (2015). How limiting factors drive agricultural adaptation to climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *200*, 178–185. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.010

Nugroho, A. D., Bhagat, P. R., Magda, R., & Lakner, Z. (2021). The impacts of economic globalization on agricultural value added in developing countries. *PLOS ONE*, *16*(11), e0260043. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260043

Nwer, B. A., Ben Mahmoud, K. R., Zurqani, H. A., & Elaalem, M. M. (2021). Major limiting factors affecting agricultural use and production. In *The Soils of Libya* (pp. 65-75). https://doi.org/10.1007/978-3-030-66368-1_5

Oruma, S. O., Misra, S., & Fernandez-Sanz, L. (2021). Agriculture 4.0: An Implementation Framework for Food Security Attainment in Nigeria's Post-Covid-19 Era. *IEEE Access*, *9*, 83592–83627. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3086453

Ostad-Ali-Askari, K., & Shayannejad, M. (2021). Quantity and quality modelling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar Aquifer. *Environment, Development and Sustainability*, *23*(11), 15943–15959. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01323-1

Pradeep, G. S., Krishnan, M. V. N., & Vijith, H. (2015). Identification of critical soil erosion prone areas and annual average soil loss in an upland agricultural watershed of Western Ghats, using analytical hierarchy process (AHP) and RUSLE techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, *8*(6), 3697–3711. https://doi.org/10.1007/s12517-014-1460-5

Rahmani, S., Yazdani, S., Mahmoudi, A., Shokat Fadaei, M., & Souri, A. (2017). An Investigation into the Economic Benefits and Savings Resulting From the Pressurized Irrigation System Development in Ardabil Province. *Journal of Hydrosciences and Environment*, *1*(2), 1–11. https://doi.org/10.22111/jhe.2017.3353

Rahmati, K., Ashofteh, P.-S., & Loáiciga, H. A. (2021). Application of the Grasshopper Optimization Algorithm (GOA) to the Optimal Operation of Hydropower Reservoir Systems Under Climate Change. *Water Resources Management*, *35*(13), 4325–4348. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02950-z

Rajbonshi, M. P., Gupta, D., & Mitra, S. (2026). Seasonal comparison of the impacts of climate-smart agrotechnologies on greenhouse gas mitigation in flooded rice fields: Application of multi-criteria decision making (MCDM) technique. *Agricultural Systems*, *231*, 104550. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104550

Rezaee, L., Moosavi, A. A., Davatgar, N., & Sepaskhah, A. R. (2020). Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters. *Ecological Indicators*, *117*, 106566. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106566

Rodrigues de Oliveira, B., & Duarte, M. A. Q. (2024). Automatic and Semi-automatic Analytic Hierarchy Process (AHP). *Trends in Agricultural and Environmental Sciences*, e240009. https://doi.org/10.46420/TAES.e240009

Rozos, D., Skilodimou, H. D., Loupasakis, C., & Bathrellos, G. D. (2013). Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece. *Environmental Earth Sciences*, *70*(7), 3255–3266. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2390-3

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, *1*(1), 83-98. https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, *48*(1), 9–26. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I

Sapbamrer, R., & Thammachai, A. (2021). A Systematic Review of Factors Influencing Farmers' Adoption of Organic Farming. *Sustainability*, *13*(7), 3842. https://doi.org/10.3390/su13073842

Schöning, J., Wachter, P., & Trautz, D. (2023). Crop rotation and management tools for every farmer? *Smart Agricultural Technology*, *3*, 100086. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100086

Senapati, U., & Das, T. K. (2024). Delineation of potential alternative agriculture region using RS and AHP-based GIS techniques in the drought prone upper Dwarakeswer river basin, West Bengal, India. *Ecological Modelling*, *490*, 110650. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110650

Shin, E., Shin, Y., Lee, S.-W., & An, K. (2024). Evaluating the Environmental Factors of Organic Farming Areas Using the Analytic Hierarchy Process. *Sustainability*, *16*(6), 2395. https://doi.org/10.3390/su16062395

Shojaei-Miandoragh, M., Bijani, M., & Abbasi, E. (2020). Farmers' resilience behaviour in the face of water scarcity in the eastern part of Lake Urmia, Iran: an environmental psychological analysis. *Water and Environment Journal*, *34*(4), 611–622. https://doi.org/10.1111/wej.12489

Song, Q., Ma, M., Liu, Y., Wang, Z., Wu, W., Xu, Z., & Xue, J. (2025). Identifying groundwater potential zones in a typical irrigation district using the geospatial technique and analytic hierarchy process. *Geocarto International*, *40*(1). https://doi.org/10.1080/10106049.2025.2453025

Špendl, R., Bohanec, M., & Rajkovič, V. (2003). Comparative analysis of AHP and DEX decision making methods. *Program and Abstracts of the International Conference on Methodology and Statistics; Mrvar, A., Ferligoj, A., Eds*, 65–66.

Taherzadeh-Shalmaei, N., Rafiee, M., Kaab, A., Khanali, M., Vaziri Rad, M. A., & Kasaeian, A. (2023). Energy audit and management of environmental GHG emissions based on multi-objective genetic algorithm and data envelopment analysis: An agriculture case. *Energy Reports*, *10*, 1507–1520. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.08.020

Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, *66*(3), 364–376. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8

Terefe, T. T., Legese, B. B., Abebaw, S., Bojer, A. K., & Nadarajah, S. (2025). Evaluating irrigation suitability for wheat in East Shewa, Ethiopia using remote sensing and AHP. *Agricultural Water Management*, *319*, 109777. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109777

Veisi, H., Deihimfard, R., Shahmohammadi, A., & Hydarzadeh, Y. (2022). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems. *Agricultural Water Management*, *267*, 107619. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107619

Veisi, H., Liaghati, H., & Alipour, A. (2016). Developing an ethics-based approach to indicators of sustainable agriculture using analytic hierarchy process (AHP). *Ecological Indicators*, *60*, 644–654. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.012

Wadumestrige Dona, C. G., Mohan, G., & Fukushi, K. (2021). Promoting Urban Agriculture and Its Opportunities and Challenges—A Global Review. *Sustainability*, *13*(17), 9609. https://doi.org/10.3390/su13179609

Wang, Z., Wang, J., Zhang, G., & Wang, Z. (2021). Evaluation of Agricultural Extension Service for Sustainable Agricultural Development Using a Hybrid Entropy and TOPSIS Method. *Sustainability*, *13*(1), 347. https://doi.org/10.3390/su13010347

Yang, Z., & Solangi, Y. A. (2024). Analyzing the relationship between natural resource management, environmental protection, and agricultural economics for sustainable development in China. *Journal of Cleaner Production*, *450*, 141862. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141862

Yousefi, R. (2025). Suitable plants as a second crop after Rice in the Paddy Fields of Guilan Province. *Journal of Environmental Science Studies*, *10*(3), 10631-10643. doi: 10.22034/jess.2025.540405.2393. (In Persian).

Zeng, J., Li, H., Tang, Y., & Qing, P. (2022). Does Adoption of Biofortification Increase Return on Investment? Evidence from Wheat Farmers in China. *Agronomy*, *12*(9), 2019. https://doi.org/10.3390/agronomy12092019

Ziadi, K., Barakat, A., Elaloui, A., Ouayah, M., & Namous, M. (2025). Prioritization of the Tassaoute Watershed (Morocco) for soil erosion using analytical hierarchy process (AHP) and geospatial techniques. *Geosystems and Geoenvironment*, *4*(2), 100389. https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2025.100389

Zhang, S., Liu, J., Li, C., Yu, F., Jing, L., & Chen, W. (2023). Evaluation of Water Resources Utilization Efficiency Based on DEA and AHP under Climate Change. *Water*, *15*(4), 718. https://doi.org/10.3390/w15040718

Zumara, R., & Nasher, N. M. R. (2024). Soil erodibility mapping of hilly watershed using analytical hierarchy process and geographical information system: A case of Chittagong hill tract, Bangladesh. *Heliyon*, *10*(5), e26728. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26728

ویرایش شده

Identification and prioritization of sustainable strategies for water and soil resources management in agriculture: A case study of Guilan Province

Extended Abstract

Introduction

Water and soil resources are vital for agricultural production, food security, and sustainable development. Population growth and pressure on limited resources have intensified challenges such as climate change, water scarcity, and soil degradation. In Iran, water shortages, inefficient irrigation, and severe soil erosion threaten agricultural productivity. Thus, sustainable practices and effective risk management are essential. Previous studies show that agriculture is the largest consumer of water and that inefficient use and rainfall variability increase production risks. Multi-criteria decision-making (MCDM) approaches, especially the Analytic Hierarchy Process (AHP), are effective for evaluating management options. This study applies AHP to prioritize sustainable water and soil management strategies in Guilan Province to enhance resilience and support sustainable decision-making.

Material and Methods

This study was conducted in Guilan Province, located between 36–38° N latitude and 48–50° E longitude, a region characterized by a humid climate, high annual rainfall (about 1506 mm), and fertile clay–loam soils. Required data were first collected through a systematic review of recent scientific literature from databases such as Scopus and Google Scholar to identify relevant criteria and sub-criteria for sustainable water and soil management. The extracted indicators were refined through expert judgment. Experts were selected using snowball sampling and included university faculty members and PhD students specializing in water, soil, environmental sciences, and agricultural economics. A pairwise comparison questionnaire based on the AHP was designed using Saaty's 9-point scale. Pairwise comparisons were analyzed in Expert Choice 11 software to calculate relative weights and priorities. Consistency ratios were evaluated to ensure reliability of expert judgments.

Results and Discussion

The results of the AHP analysis revealed priorities among criteria, sub-criteria, and management alternatives for sustainable water and soil management in Guilan Province. Among the main criteria, water productivity ranked first with a weight of 0.367, indicating that water is perceived as the primary limiting factor for agricultural production. This priority reflects increasing irrigation demand, rainfall variability, and declining irrigation efficiency. Environmental sustainability (0.278) and soil resource productivity (0.160) followed, highlighting expert concern for long-term ecological impacts and soil quality preservation alongside short-term production goals. Economic efficiency, social acceptance, and institutional feasibility received lower weights, suggesting that environmental considerations dominate sustainability-oriented decision making. At the sub-criteria level, irrigation efficiency and reduction of surface and groundwater losses were the most influential factors within water productivity, emphasizing demand-side management rather than water supply expansion. For soil productivity, optimal fertilizer application and crop rotation were prioritized, confirming the critical role of soil conservation in reducing erosion and maintaining fertility. Within environmental sustainability, reducing agricultural pollution and protecting local

ecosystems received the highest weights, consistent with concerns regarding greenhouse gas emissions and biodiversity loss. Economic analysis showed that net profitability and cost reduction strongly affect adoption potential, while farmer acceptance and education were decisive social drivers. Regarding management alternatives, implementation of modern pressurized irrigation systems ranked first across all criteria, followed by conservation agriculture and farmer education programs. Sensitivity analysis demonstrated that these rankings remained stable under weight changes, confirming model robustness. These results support integrated and sustainability-oriented agricultural policy decisions.

Conclusions

This study applied the AHP method based on expert judgment to identify and prioritize sustainable water and soil management strategies in Guilan Province agriculture. Results showed that water productivity ranked first with a weight of 0.367, confirming water as the main limiting factor under increasing demand, rainfall variability, and low irrigation efficiency. Environmental sustainability (0.278) and soil resource productivity (0.160) followed, indicating strong concern for long-term ecosystem protection and soil conservation beyond short-term productivity. At the sub-criteria level, irrigation efficiency, reduction of water losses, optimal fertilizer use, crop rotation, and mitigation of agricultural pollution were prioritized. Among management alternatives, modern pressurized irrigation systems ranked first (0.510), followed by conservation agriculture and farmer education programs. This study recommends prioritizing modern irrigation systems with institutional support, conservation agriculture, and participatory extension programs to enhance agricultural resilience.

ویرایش اولیه شده