

تصمیم‌گیری در تحلیل‌های کشاورزی است. این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب AHP و ANP ابزاری قدرتمند برای تلفیق پیچیدگی‌های فنی و اقتصادی در مدیریت منابع آب کشاورزی است و توصیه می‌شود سیاست‌گذاران از این مدل‌ها برای تنظیم سیاست‌های حمایتی، به‌ویژه در زمینه یارانه نهادها و تضمین خرید محصولات کم آب‌بر، استفاده نمایند تا پایداری تولید در این دشت تضمین شود.

واژگان کلیدی: تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تحلیل شبکه‌ای (ANP)، تصمیم‌گیری، مدیریت آب کشاورزی، مقایسات زوجی.

مقدمه

کشاورزی به‌عنوان رکن اصلی امنیت غذایی و توسعه اقتصادی، با چالش‌هایی مانند رشد جمعیت، محدودیت منابع و فشارهای زیست‌محیطی مواجه است. با عبور جمعیت جهان از هشت میلیارد نفر، فشار بر اکوسیستم‌ها افزایش یافته و منابع آب شیرین که حدود ۷۰ درصد آن در کشاورزی مصرف می‌شود با بحران جدی روبه‌رو هستند که مدیریت بهینه آن ضرورت دارد. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد [۸] بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد از مصرف آب شیرین جهانی را به خود اختصاص داده است که مدیریت بهینه این مصرف حیاتی است. در ایران خشک و نیمه‌خشک، سهم بالای کشاورزی از مصرف آب وضعیت را بحرانی کرده و فشار بر تولید محصولات، ضرورت بهینه‌سازی الگوی کشت را افزایش داده است. کاهش منابع آب، تغییرات اقلیمی، هزینه‌های رو به رشد و تخریب محیط‌زیست، کشاورزی را به عرصه‌ای پیچیده تبدیل کرده که نیازمند تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. رویکردهای سنتی ناکارآمد بوده و ایجاد تعادل منابع و مصارف با مدیریت تقاضامحور آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی، راهکاری کلیدی محسوب می‌شود. در گذشته، افزایش تولید کشاورزی عمدتاً با توسعه سطح زیر کشت و تبدیل اراضی دیم به آبی از طریق برداشت بیش‌تر آب انجام می‌شد که فشار شدیدی بر منابع، به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، وارد کرد و در بسیاری از دشت‌ها بیلان منفی ایجاد نمود. در استان کرمانشاه نیز کسری شدید آبخوان‌ها و ناکامی سیاست‌های تغییر روش آبیاری و یارانه سیستم‌های نوین طی سه دهه گذشته نشان می‌دهد این اقدامات توانسته‌اند تعادل بین منابع و مصارف را برقرار کنند. بر اساس

رویکرد چند معیاره (AHP و ANP) برای بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت بیلوار، استان کرمانشاه

شهرام گرگانی^۱، مریم حافظ پرست مودت^۲

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

DOI:/ 10.22034/wmji.2025.2070389.1127

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و محدودیت‌های منابع غذایی، ضرورت دستیابی به الگوی کشت بهینه، امری اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، بهینه‌سازی الگوی کشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای ارتقاء بهره‌وری کشاورزی مطرح است. هدف از این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی الگوهای کشت مختلف محصولات در دشت بیلوار استان کرمانشاه با در نظر گرفتن ابعاد چندگانه فنی-مهندسی زراعی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا معیارهای چندگانه، زیر معیارها و گزینه‌های قابل انتخاب شامل الگوی کشت وضع موجود، الگوی کشت اقتصادی (۱)، الگوی کشت اقتصادی (۲)، الگوی کشت کم‌مصرف (۱) و الگوی کشت کم‌مصرف (۲) شناسایی شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Super Decision و به‌کارگیری روش‌های AHP و ANP، معیارها و زیر معیارها مورد وزن‌دهی و گزینه‌ها بر اساس اولویت‌ها رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد در روش AHP، گزینه الگوی کشت اقتصادی (۲) با وزن نهایی ۰/۲۹، الگوی کشت کم‌مصرف (۱) با وزن نهایی ۰/۲۱ و الگوی کشت وضع موجود با وزن نهایی ۰/۱۶ به ترتیب در جایگاه‌های اول، دوم و سوم قرار گرفتند و در روش ANP، الگوی کشت اقتصادی (۲) با وزن نهایی ۰/۳۵، الگوی کشت اقتصادی (۱) با وزن نهایی ۰/۲۵ و الگوی کشت وضع موجود با وزن نهایی ۰/۱۵ بیش‌ترین اولویت را داشتند. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده اهمیت در نظر گرفتن تأثیرات متقابل معیارها، زیر معیارها و پیچیدگی‌های

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب - منابع آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. Email: shahram_gorgani@yahoo.com

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

آخرین آماربرداری شرکت مدیریت منابع آب ایران در استان کرمانشاه، ۸۷ درصد از ۱۸۹۱ میلیون مترمکعب آب مصرفی به بخش کشاورزی اختصاص دارد و بیش از نیمی از محدوده‌های مطالعاتی در وضعیت ممنوعه یا بحرانی هستند؛ کسری تجمعی آبخوان‌ها بیش از یک میلیارد مترمکعب است. در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مانند AHP و ANP که قادرند معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را هم‌زمان تحلیل کنند، به‌عنوان راهبردی علمی برای انتخاب الگوی کشت پایدار و بهینه‌سازی مصرف منابع آب، ضرورت یافته است. بهبود الگوی کشت علاوه بر افزایش بهره‌وری آب و نهاده‌ها، ابزار مؤثری برای مقابله با تغییرات اقلیمی، کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و تأمین امنیت غذایی آینده است. مطالعات نشان داده‌اند که روش‌های تصمیم‌گیری مانند AHP، ANP، TOPSIS و مدل‌های تلفیقی نظیر ANP-DEMATEL در بهینه‌سازی الگوی کشت و مدیریت منابع آب بسیار کارآمد هستند. ایوبی و همکاران [۶] در پژوهشی باهدف کاهش مناقشات آبی در حوضه آبریز سفیدرود، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه توسعه دادند. اهداف این مدل، حداکثر کردن بهره‌وری اقتصادی و برقراری عدالت (با استفاده از ضریب جینی) در تخصیص آب بین ذینفعان، با در نظر گرفتن حداقل نیازهای زیست‌محیطی است. مدل با الگوریتم NSGA-II حل شد و نتایج نشان داد که مقدار آب در دسترس و درصد تلفات آن، تأثیر مستقیمی بر کارایی اقتصادی و عدالت توزیع دارد. فگوایردو و همکاران [۷] در برزیل از روش مدل‌سازی ارتباط متقابل معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده کردند. ارزیابی معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی نشان داد که سیستم‌های کشت مختلط عملکرد اقتصادی بالاتر و اثرات محیطی کم‌تر نسبت به کشت تک‌محصولی دارند. احمد و همکاران [۲] در مصر برای احیای اراضی کم‌آب نیل از روش AHP و ANP استفاده کردند و با توجه به خشک‌سالی حوضه نیل، پنبه، گندم و یونجه به‌عنوان محصولات پایدار انتخاب شدند که هم درآمد را حفظ و هم آب را بهینه مصرف می‌کنند. زرافشانی و همکاران [۲۴] با استفاده از AHP و GIS، دهستان‌های شهرستان کرمانشاه را بر اساس پتانسیل کشاورزی رتبه‌بندی کردند که دهستان میاندریند به دلیل منابع آبی و خاکی مطلوب، مساعدترین منطقه برای توسعه کشاورزی تشخیص داده شد. احمدی و همکاران [۳] با روش AHP و ANP نشان دادند که با وزن‌دهی معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، کشت نخود، کلزا و گندم زمستانه نسبت به ذرت و برنج ارجح شناخته شد. این انتخاب هم مصرف آب را کاهش داد و هم سود پایدارتری ایجاد کرد. تورکمان و همکاران [۲۳] در ترکیه به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر انتخاب محصول با رویکرد هیبریدی پرداختند، نتایج شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم نشان داد جایگزینی بخشی از محصولات با گونه‌های مقاوم به گرما می‌تواند درآمد را پایدار و ریسک افت عملکرد را کم کند. شهبواری و همکاران و همکاران [۲۰] با استفاده از ترکیب روش

AHP و برنامه‌ریزی خطی ثابت کردند که ترکیب وزن‌دهی AHP با برنامه‌ریزی خطی باعث کاهش ۲۵ درصد مصرف آب در ایران شد، بدون اینکه درآمد کشاورزان کاهش پیدا کند. قوش و دتا [۱۰] در هند از روش AHP برای ارزیابی سازگاری الگوهای کشت با سناریوهای اقلیمی استفاده کردند. تحلیل سناریوهای اقلیمی حاکی از آن بود که گنجاندن حبوبات در الگوی کشت، آسیب‌پذیری را در برابر خشک‌سالی و نوسان قیمت کاهش می‌دهد. نگیوان و همکاران [۱۶] از مدل‌سازی شبکه‌ای ANP برای ارزیابی معیارهای فنی و بازار ویتنام استفاده کردند. مدل شبکه‌ای نشان داد که تناوب برنج-سبزیجات سود کشاورزان را افزایش داده و کیفیت خاک را به شکل معناداری بهبود بخشیده است. شهریار و همکاران [۲۱] با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای ANP الگوی کشت کم‌آبی ایران را موردبررسی قرار دادند، اثر متقابل معیارهای خاک، آب و بازار نشان داد که محصولات صادراتی کم‌آب مثل پسته و زعفران در شرایط کم‌آبی بیش‌ترین بازده اقتصادی و پایداری را دارند. علی و همکاران [۴] در پاکستان از روش AHP برای وزن‌دهی معیارها و تخصیص آب بر اساس وزن‌دهی معیارها، بهره‌وری آب را ۱۸ درصد افزایش و میزان هدررفت منابع را کاهش دادند. رحمان و همکاران [۱۸] در بنگلادش از مدل شبکه‌ای ANP شامل معیارهای اقتصادی، ریسک اقلیمی و دسترسی به نهاده‌ها برای بهینه‌سازی استفاده کردند و نتایج نشان داد که ترکیب برنج با حبوبات در مناطق کوچک باعث بهبود امنیت غذایی و ثبات درآمدی در برابر نوسانات بارش می‌شود. خالدی و همکاران [۱۵] در برنامه‌ریزی کشاورزی غرب ایران با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای ANP نشان دادند که معیارهای سیاستی و منابعی (اعم از منابع طبیعی، مالی و انسانی) بیش‌ترین اهمیت را در تعیین راهبردهای پایداری کشاورزی دارند. تحلیل SWOT مشخص کرد که نقاط قوت اصلی وجود اراضی مرغوب، تنوع مشاغل کشاورزی و دامداری، مشارکت فعال جامعه محلی و ظرفیت‌های گردشگری روستایی است. هم‌چنین، فرصت‌هایی مانند بازارهای جدید محصولات و توسعه فناوری‌های نوین کشاورزی می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر بهبود وضعیت منطقه داشته باشد. اعظمی و همکاران [۱] الگوی کشت محصولات زراعی بر اساس مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی در شهرستان صحنه، استان کرمانشاه را بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که الگوی کشت بهینه، ضمن کاهش مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی، سود اقتصادی و عملکرد را نیز افزایش می‌دهد که نشان‌دهنده ناکارآمدی الگوی کشت فعلی، به‌ویژه در بعد زیست‌محیطی است. سیلوا و همکاران [۲۲] از روش ANP با تلفیق معیارهای بوم‌شناسی، سودآوری و تغییرات بازار در کشور پرتغال استفاده کردند. نتایج نشان داد که تنوع کشت بر اساس معیارهای بوم‌شناسی و بازار، انعطاف‌پذیری سیستم کشاورزی را در برابر شوک‌های بازار و تغییرات اقلیمی افزایش می‌دهد. با توجه به بحران آب زیرزمینی در استان کرمانشاه، مطالعه حافظ‌پرست و فتحی [۱۱] به اولویت‌بندی راهکارهای افزایش

بهره‌وری آب در کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد اولویت‌بندی راهکارها با دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) متفاوت است. به‌عنوان مثال، «تحویل حجمی آب» در روش اول اولویت داشت، در حالی که «آموزش کشاورزان» در روش دوم در رتبه اول قرار گرفت. کیوانفرو همکاران [۱۴] در پژوهشی، با در نظرگیری سه زیرسیستم منابع آب، اقتصاد و محیط‌زیست تالاب انزلی، هشت شاخص ارزیابی را تعریف کردند. هر شاخص در چهار سطح مختلف (قابل تحمل، ضعیف، بحرانی و فوق بحرانی) دسته‌بندی گردید. سپس با بهره‌گیری از سه روش AHP، آنروپی و CRITIC وزن هر شاخص محاسبه و با استفاده از میانگین هندسی، وزن نهایی شاخص‌ها تعیین شد. در مرحله بعد، داده‌های سالانه شاخص‌ها همراه با وزن‌های تلفیقی، در یک مدل ترکیبی GRA-TOPSIS اعمال و تحلیل نهایی انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که وضعیت تالاب از سال ۱۳۹۲ به بعد در سطح IV (فوق بحرانی) قرار داشته است. هم‌چنین شناسایی عوامل مانع آشکار کرد که کیفیت آب ورودی و درصد تأمین آب موردنیاز، اصلی‌ترین دلایل کاهش ظرفیت برد تالاب هستند. در این پژوهش، دشت بیلوار پایین‌دست سد گاوشان به‌عنوان کانون بررسی انتخاب‌شده است؛ دشتی که به‌واسطه‌ی خاک حاصلخیز، پتانسیل بالای تولید، وابستگی حیاتی به منابع آب زیرزمینی و نقش محوری در تأمین محصولات استراتژیک استان همواره در صدر مناطق مهم کشاورزی کرمانشاه قرار داشته است. باین حال، در سال‌های اخیر تحت تأثیر کاهش بارندگی، افت تراز آبخوان‌ها، نوسانات رهاسازی آب از سد گاوشان و فشار فزاینده بر منابع، این منطقه به یکی از نقاط بحران‌زده در مدیریت آب و تولید پایدار بدل شده است. ویژگی‌های منحصربه‌فرد این دشت، از جمله ترکیب متنوع کشت، اهمیت اقتصادی در زنجیره تأمین و حساسیت بالا به تغییرات اقلیمی، آن را به بستری ایده‌آل برای آزمون راهکارهای نوین بهینه‌سازی الگوی کشت تبدیل کرده است. با وجود حجم بالای مطالعات داخلی و خارجی پیرامون بهینه‌سازی الگوی کشت، تاکنون هیچ پژوهشی به‌صورت جامع و نظام‌مند، رویکرد ترکیبی AHP-ANP را برای دشت بیلوار با در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و نهادی به کار نبرده است. این مطالعه دقیقاً در همین نقطه خلأ علمی وارد شده و با اتکا به چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره، الگویی کارآمد برای افزایش بهره‌وری آب، کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و ارتقای تاب‌آوری تولید کشاورزی در برابر تغییرات اقلیمی ارائه می‌کند؛ الگویی که می‌تواند به‌عنوان راهنمایی عملی برای مدیریت آینده منابع و امنیت غذایی منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

دشت بیلوار در ۷۵ کیلومتری شمال غربی کرمانشاه در محدوده عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی

۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا و با متوسط بارندگی ۳۷۰ میلی‌متر جزو مناطق معتدل کوهستانی زاگرس است که از شمال به کلیایی، از شرق به دینور، از جنوب به پایروند، از جنوب غربی به میاندریند و از غرب و شمال غربی نیز به استان کردستان منتهی می‌شود و ۱۰۹۷۴ هکتار از اراضی کشاورزی آن تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان قرار دارد (مشخصات طرح گاوشان، ۱۳۸۶)، بر اساس گزارش مطالعات مدیریت بهره‌برداری و نگهداری سد انحرافی و شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان (جلد اول، مشخصات طرح و شبکه آبیاری و زهکشی، دستورالعمل برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و توزیع آب در شبکه بهمن‌ماه سال ۱۳۸۶) عمده محصول تولیدی بخش بیلوار گندم، جو و نخود است؛ ولی در سال‌های اخیر با مکانیزه شدن ادوات کشاورزی، محصولاتی همچون سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، ذرت (به‌طوری‌که رکورد ۱۴ تن در هر هکتار نیز گزارش شده است) (گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه) و سایر محصولات کشاورزی نیز تولید می‌شود. در شکل (۱)، موقعیت دهستان بیلوار و میاندریند در استان کرمانشاه، تهیه‌شده توسط گزارشات مطالعات اولیه شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه ملاحظه می‌گردد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد دشت بیلوار شامل نواحی عمرانی B1، B2، B3 و B4 می‌باشد.

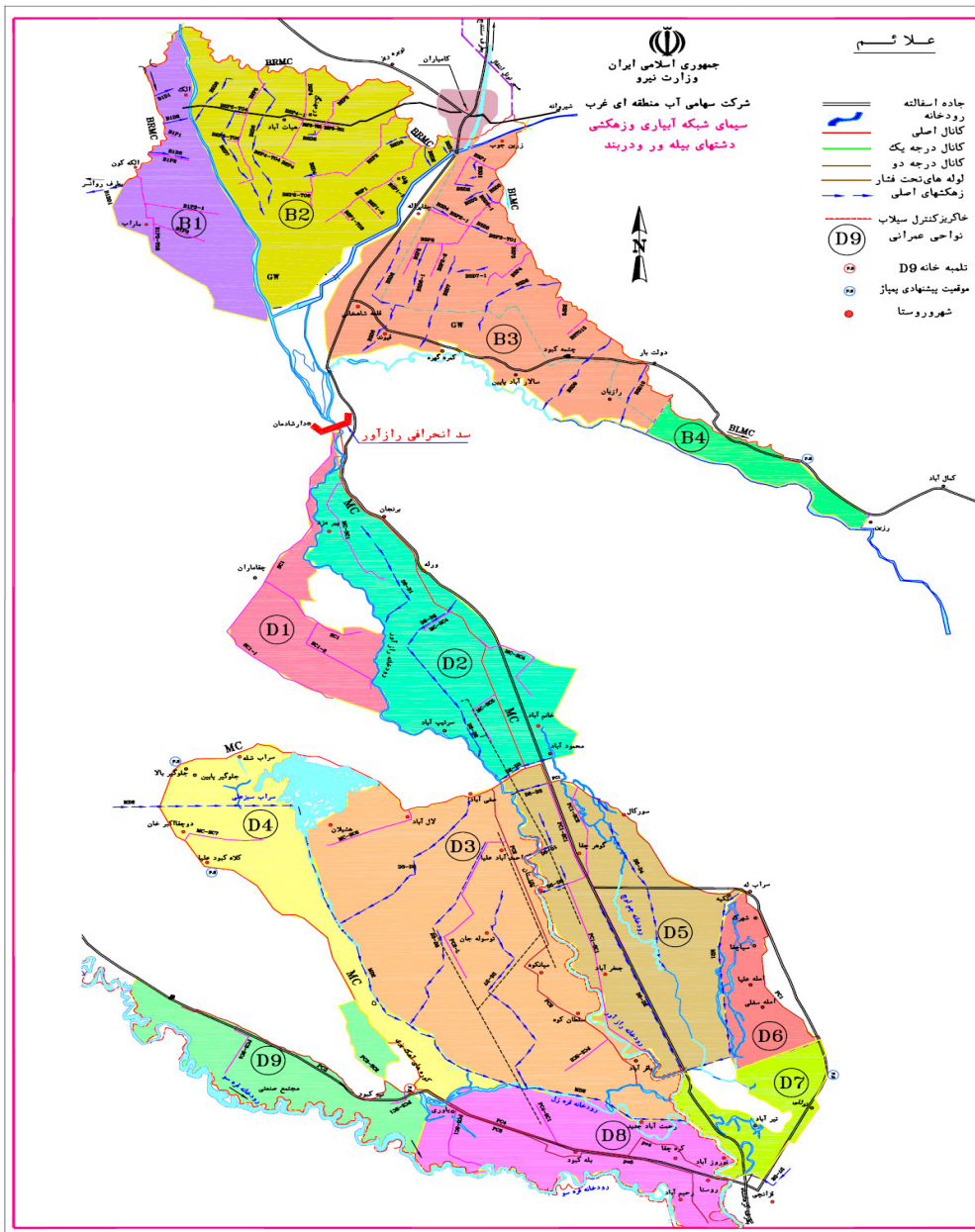
تعیین معیارهای اصلی در بهینه‌سازی الگوی کشت

در این تحقیق، با عنایت به نظر کارشناسان محترم مدیریت آب و خاک و معاونت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، چهار معیار اصلی جهت ارزیابی و بهینه‌سازی الگوهای کشت در دشت بیلوار استان کرمانشاه انتخاب شدند که هرکدام شامل چند زیرمعیار تخصصی هستند تا ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی موضوع به‌خوبی پوشش داده شود.

معیار فنی مهندسی زراعی

این معیار به بررسی ابعاد فنی مرتبط با کشت و بهره‌برداری کشاورزی می‌پردازد. زیرمعیارهای آن شامل:

- نیاز آبی محصولات: میزان آب موردنیاز در طول دوره رشد که تأثیر مستقیم بر مصرف منابع آبی منطقه دارد.
 - دوره رشد محصول: طول دوره زمانی لازم برای رسیدن محصول به مرحله برداشت که بر برنامه‌ریزی کشت و تناوب زراعی اثرگذار است.
 - عملکرد محصول: میزان تولید محصول در واحد سطح که شاخص مهمی برای بازدهی و بهره‌وری زمین و منابع آب است.
- معیار اقتصادی
- در این بخش، عوامل مالی و اقتصادی مرتبط با کشت در نظر گرفته شدند، شامل:
- هزینه کاشت: مجموع هزینه‌های مربوط به آماده‌سازی



شکل ۱: موقعیت دشت بیلوار در استان کرمانشاه

- تولید آلودگی: میزان آلودگی‌های ناشی از مصرف مواد شیمیایی، کودها و سیستم‌های آبیاری که می‌تواند اکوسیستم منطقه را تحت تأثیر قرار دهد.
- برداشت بی‌رویه از آب: مصرف بیش‌ازحد منابع آبی که به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و نابودی منابع طبیعی منجر می‌شود. معیار اجتماعی
- این معیار به جنبه‌های انسانی، فرهنگی و نهادی توجه دارد، با زیرمعیارهایی مانند:
 - حمایت ارگان‌ها: میزان پشتیبانی و تسهیلات ارائه‌شده توسط نهادهای دولتی یا غیردولتی برای تشویق کشت محصولات خاص
 - عوامل تشویقی برای یک محصول خاص: وجود زمین، بذر، کود، سم، نیروی کار و سایر نهادهای موردنیاز
- هزینه آب: هزینه‌های مربوط به تأمین و استفاده از منابع آب برای آبیاری محصولات
- درآمد حاصل از فروش محصولات: ارزش اقتصادی محصولات برداشت‌شده که تعیین‌کننده سودآوری نهایی طرح کشت است.
- معیار زیست‌محیطی
- این معیار شامل ارزیابی اثرات کشت بر محیط‌زیست است و زیرمعیارهای آن عبارت‌اند از:
 - محدودیت کاشت: محدودیت‌های طبیعی یا محیطی که ممکن است بر امکان‌پذیری یا شدت کشت تأثیر بگذارد، مانند محدودیت‌های آب، خاک و قوانین حفاظتی

مشوق‌های مالی، فنی و بازاریابی که سبب ترغیب کشاورزان به کشت یک محصول معین می‌شود.

• پس از تعریف و تشریح هدف، معیارها و زیرمعیارها داده‌های موردنیاز شامل اطلاعات الگوی کشت، میزان عملکرد، نیاز آبی، دوره رشد و ... از طریق اداره کل جهاد کشاورزی استان کرمانشاه تهیه شد و پس از تحقیق و پرسش از کارشناسان مربوطه و داده‌های منطقه پنج گزینه مختلف الگوی کشت به صورت ترکیبی به منظور بررسی انتخاب گردید. در شکل (۲) فلوچارت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها مشاهده می‌شود.

الگوی کشت وضع موجود (الگوی مرسوم منطقه) - شامل: ذرت دانه ای - ذرت علوفه ای - گندم آبی

این گزینه به شیوه فعلی کشت محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه اشاره دارد و معمولاً بر اساس تجربیات، شرایط اقلیمی، منابع آب موجود و سلیقه کشاورزان انتخاب شده‌اند. ترکیب محصولات و زمان‌بندی کشت بدون توجه سیستماتیک به بهره‌وری اقتصادی یا مصرف آب است. این الگو توجه چندانی به مفاهیمی مانند پایداری، بهره‌وری یا صرفه‌جویی منابع آب ندارد و در نتیجه، ممکن است در بلندمدت موجب تشدید بحران منابع آب شود. هدف از ارائه این الگو، نمایش وضعیت موجود به عنوان مبنایی برای

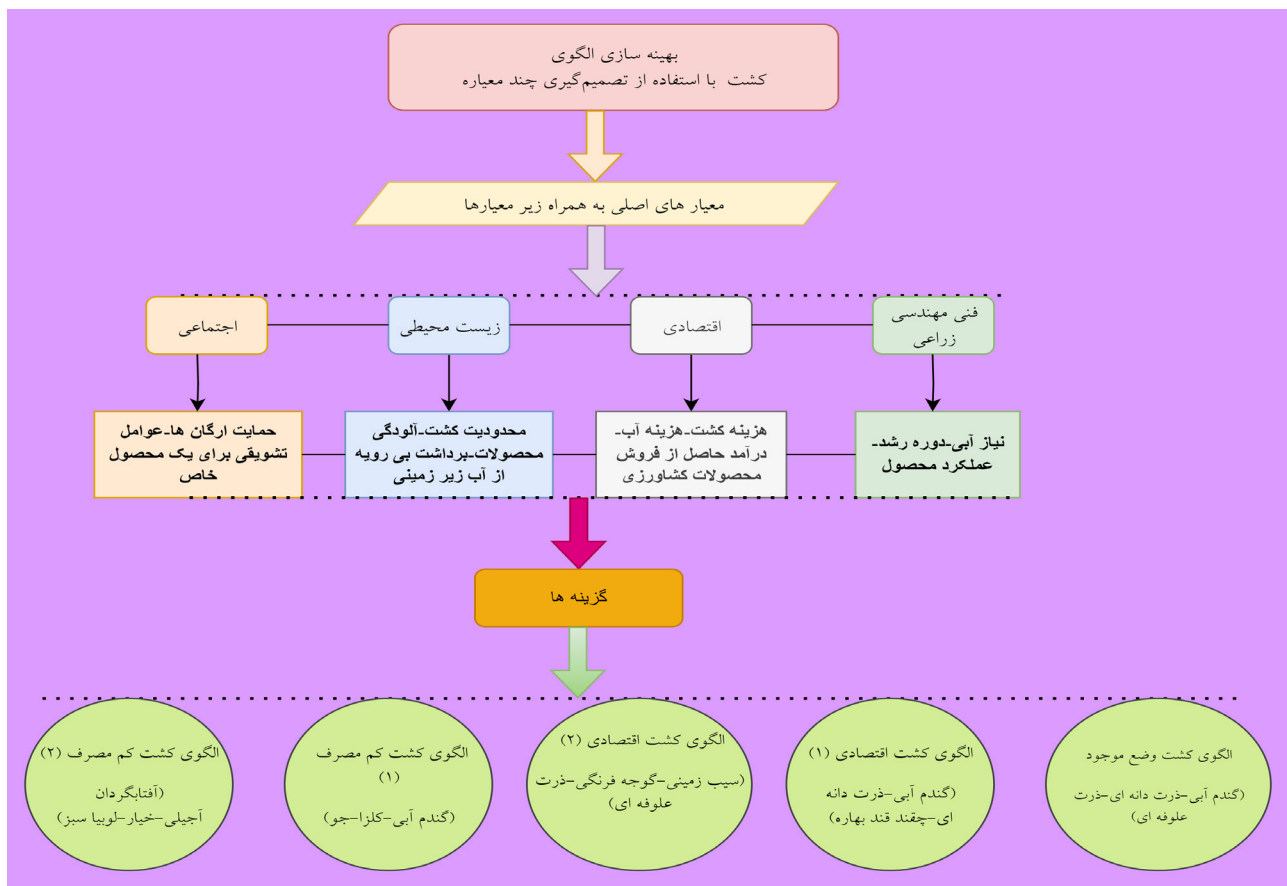
مقایسه با سناریوهای بهبود است.

الگوی کشت اقتصادی (۱) - شامل: گندم آبی - چغندر قند بهاره - ذرت دانه‌ای

این الگو با اولویت‌بخشی به شاخص‌های اقتصادی انتخاب شده است و محصولات بر پایه سودآوری، درآمد ناخالص یا خالص و حداکثرسازی بازده اقتصادی انتخاب می‌شوند. همچنین توجه ویژه به بازاریابی، میزان تقاضا و حداقل هزینه‌های تولید دارد و مناسب مناطقی است که افزایش سطح درآمد کشاورزان اولویت دارد و شاخص‌های کلیدی آن شامل سودآوری به ازای هر هکتار، هزینه‌های تولید، قیمت فروش محصول و نرخ بازگشت سرمایه می‌باشد.

الگوی کشت اقتصادی (۲) - شامل: سیب‌زمینی - ذرت علوفه ای - جو این گزینه یک سناریوی اقتصادی جایگزین است که بر اساس محاسبات جدید اقتصادی، با تغییراتی در نوع یا نسبت محصولات همراه است.

و ترکیب محصولات به گونه‌ای انتخاب می‌شود که ضمن حفظ سودآوری، ریسک مالی کشاورز با تنوع تولید کاهش یابد. همچنین محصولات جدیدتر یا کم ریسک تر به نسبت گزینه اقتصادی (۱) لحاظ شده است. شاخص‌هایی مانند تنوع درآمدی و کاهش وابستگی به یک محصول خاص در این سناریو دیده می‌شود.



شکل ۲: فلوچارت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها

الگوی کشت کم مصرف (۱) - شامل: کلزا-جو-گندم آبی

در این الگوی کشت، تمرکز اصلی بر محصولات با مصرف آب پایین بوده و ترکیب محصولات بر اساس کمترین مصرف کل آب آبیاری در کل الگو، یا بر اساس سهم بالاتر گیاهان کم آب بر است. ویژگی‌هایی مثل چرخه زراعی کوتاه‌تر، کاهش تبخیر و تعریق، یا استفاده از روش‌های نوین آبیاری ملاک عمل قرار گرفته می‌گیرد. در این الگو نگاه پایداری و حفاظت منابع آب در سطحی بالاتر دیده می‌شود؛ و هدف از آن صرفه‌جویی در منابع آب، سازگاری با خشک‌سالی و شرایط اقلیمی جدید می‌باشد.

الگوی کشت کم مصرف (۲) - شامل: آفتابگردان آجیلی-خیار-لوبیا سبز در این الگوی کشت، تمرکز اصلی بر محصولات با مصرف آب پایین است. محصولات عمدتاً از گیاهان با نیاز آبی کم تر انتخاب شده‌اند و شاخص کلیدی شامل میزان مصرف آب هر محصول یا مقدار آب مصرفی به ازای واحد تولید می‌باشد، هم‌چنین مناسب مناطق با بحران کم‌آبی یا با اولویت مدیریت تقاضای منابع آب است.

برای تحلیل این داده‌ها و تعیین وزن هر معیار و زیرمعیار، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید. این روش‌ها به دلیل قابلیت تحلیل تعاملات و وابستگی‌های متقابل میان معیارها و زیر معیارها امکان رتبه‌بندی دقیق گزینه‌های مختلف الگوی کشت را فراهم ساختند.

روش AHP یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی

یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری است که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی ارائه شد. این روش برای تسهیل در درک یک مسئله آن را به اجزایی با ساختاری سلسله‌مراتبی تجزیه و رتبه‌بندی می‌کند و سپس با مقایسات زوجی و روش میانگین هندسی وزن‌دهی کرده و نتایج اولویت‌بندی را ارائه می‌کند [۱۱].

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی در اندازه $(n \times n)$ برای مسئله و نحوه نمره دهی به آن در جدول (۱) ارائه شده است. برای پر کردن مقایسات زوجی، مقیاس ۱ تا ۹ استفاده می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عنصر دیگر، در رابطه با آن ویژگی، مشخص شود.

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسات زوجی

مقادیر عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

جهت بهبود مجموعه ماتریس‌های مقایسات زوجی به $n(n-1)$ قضاوت احتیاج است که متقابلاً به صورت خودکار در هر یک از مقایسات زوجی حاصل می‌گردد. برای n معیار ماتریس A به شکل معادله (۱) و به صورت ماتریس زیر می‌باشد:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \\ a_{1n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

که a_{ij} ترجیح معیار i نسبت به j است (مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی).

محاسبه وزن‌ها و سنجش سازگاری با استفاده از یکی از روش‌های میانگین هندسی یا حسابی، وزن نسبی برای هر کدام از پارامترها محاسبه می‌گردد. در این تحقیق از روش میانگین هندسی استفاده شده است. سپس باید سازگاری ماتریس را تعیین نمود. اگر ماتریس سازگار نبود باید مقایسات زوجی را مجدداً انجام داد تا زمانی که ماتریس سازگار شود. اگر ردیف i از ماتریس مقایسه زوجی $A=[a_{ij}]$ [را داشته باشیم، وزن w_i به صورت میانگین هندسی محاسبه می‌شود:

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

که در آن w_i بردار وزن ماتریس، Y_{max} ماکزیمم بردار ویژه ماتریس و n تعداد سطرهای ماتریس می‌باشد؛ بنابراین مقدار شاخص ناسازگاری با استفاده از معادلات زیر به دست می‌آید. برای به دست آوردن شاخص سازگاری نیز مطابق معادلات ۳ تا ۵ به صورت زیر عمل می‌شود:

$$Y_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}}{n} \quad (3)$$

$$I.I = \frac{Y_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R} \quad (5)$$

که $I.R$ نرخ ناسازگاری و $I.I.R$ ضریبی است که از جدول استاندارد با توجه به عدد n (تعداد سطرهای ماتریس) به دست می‌آید. در نهایت ماتریس سازگار است به شرطی که $I.R.R < 0.1$

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مورد استفاده برای تحلیل به دو بخش کمی و کیفی تقسیم می‌شوند. در بخش کمی، اطلاعات مربوط به الگوی کشت منطقه، نیاز آبی محصولات، دوره رشد و عملکرد (عملکرد در واحد سطح)، اطلاعات خاکشناسی و اقلیمی از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه گردآوری شد. در بخش کیفی، به منظور کسب ارزیابی‌های خبره محور، از نظرات ۱۲ نفر از کارشناسان متخصص در مدیریت آب‌وخاک و معاونت بهبود تولیدات گیاهی استان کرمانشاه استفاده شد

که ترکیب آن‌ها شامل چهار کارشناس جهاد کشاورزی، سه کارشناس منابع آب و آبیاری و پنج کشاورز باتجربه منطقه دشت بیلوار بود.

مبنای انتخاب معیارها و گزینه‌ها

انتخاب معیارها و زیرمعیارها بر اساس مطالعات پیشین مرتبط با بهینه‌سازی الگوی کشت [۱۱] و مشورت با کارشناسان جهاد کشاورزی و متخصصان مدیریت آب و خاک استان کرمانشاه صورت گرفت. گزینه‌های موردبررسی نیز با استناد به داده‌های واقعی عملکرد، نیاز آبی، سود خالص و قابلیت سازگاری محصولات در دشت بیلوار پایین‌دست سد گاوشان انتخاب شدند.

روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای (ANP)

ویرایش سطح بالاتری از روش AHP است که توسط توماس ساعتی [۱۱] ارائه شده است. در سال‌های بعد تغییراتی در این روش اعمال شد و سرانجام در سال ۲۰۰۵ برای در نظر گرفتن اولویت‌های منفی مورد تجدیدنظر قرار گرفت. هدف روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای ANP ساختارمند کردن فرآیند تصمیم‌گیری با توجه به یک سناریو متأثر از فاکتورهای چندگانه مستقل از هم است. در روش تحلیل شبکه‌ای در صورت وجود ارتباط داخلی بین عناصر تشکیل‌دهنده ساختار شبکه، این روش پاسخی به مراتب بهتر و دقیق‌تر از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره عرضه می‌کند. روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای دارای ویژگی‌های مثبتی از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت را دارا است. مهم‌ترین ویژگی مثبت این روش در ارزیابی و اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر، در نظر گرفتن ارتباطات پیچیده وابستگی‌های متقابل معیارهای اصلی و زیرمعیارها است [۱۱]. گام‌های انجام روش ANP شامل ۱- معیارهای اصلی را بر اساس هدف باهم مقایسه زوجی کنید. ۲- زیرمعیارهای هر معیار را در خوشه خود مقایسه زوجی کنید. ۳- وزن معیارهای اصلی را بر اساس روابط درونی آن‌ها تعیین کنید. ۴- سوپرماتریس اولیه را نرمال کنید تا سوپرماتریس موزون به دست آید. ۵- سوپرماتریس اولیه را تشکیل دهید ۶- سوپرماتریس حد را محاسبه کنید. در این پژوهش از نرم‌افزار Super Decision برای بهینه‌سازی الگوی کشت دشت بیلوار استان کرمانشاه استفاده شد.

بین المان‌های وابسته ساخته می‌شود. سپس همه این ماتریس‌ها در سوپرماتریس چیده می‌شوند. (معادله ۶) که W_{ij} ماتریس وزن نسبی المان‌های خوشه i تأثیر گرفته از خوشه j است. برای اینکه هر ستون مجموعش یک شود، وزن هر خوشه (از مقایسه زوجی خوشه‌ها) به بلوک‌های متناظر ضرب می‌شود. سوپرماتریس وزنی را به توان بزرگ k می‌رسانیم (معادله ۷):

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & \dots & W_{mm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k = W^\infty \quad (7)$$

وقتی که ماتریس همگرا شود، هر ستون وزن نهایی اولویت کل سیستم را می‌دهد. سوپرمتریکس نهایی پس از نرمال‌سازی و بالا بردن به توان‌های بزرگ، به بردار حد تبدیل می‌شود. وزن نهایی هر گزینه از این بردار استخراج می‌گردد. این بخش باعث می‌شود که اثرات بازخوردی و تعاملات غیرخطی میان معیارها و زیر معیارها وارد نتایج نهایی شوند، برخلاف AHP که فقط مدل سلسله مراتبی خطی دارد.

نرم‌افزار Super Decision

SuperDecisions تنها نرم‌افزار آموزشی رایگانی است که AHP و ANP را پیاده‌سازی می‌کند و توسط تیم سازنده این روش، توماس ساعتی، توسعه یافته است. توسعه و نگهداری آن توسط بنیاد تصمیمات خلاق حمایت می‌شود. تصمیم‌گیری گروهی در مورد مسائل اجتماعی، حل تعارض و بهینه‌سازی تخصیص منابع برای سازمان‌های خصوصی و دولتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این نرم‌افزار کمک شایانی برای مدیران و کارشناسان بخش‌های مختلف ارائه می‌کند. از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های مربوط به نرم‌افزار Super Decisions، می‌توان به پیاده‌سازی مدل‌های AHP و ANP، تشکیل ارتباطات سلسله مراتبی و شبکه‌ای، محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی و اصلاح نرخ‌ها، ایجاد خروجی گزارش مقایسات زوجی در نرم‌افزار اکسل، محاسبه سوپرماتریس‌های اولیه، موزون و حدی، اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارهای مسئله، رتبه‌بندی گزینه‌های مسئله و اجرای تحلیل حساسیت بر روی مدل اشاره نمود.

نتایج و بحث

تصمیم‌گیری به روش AHP

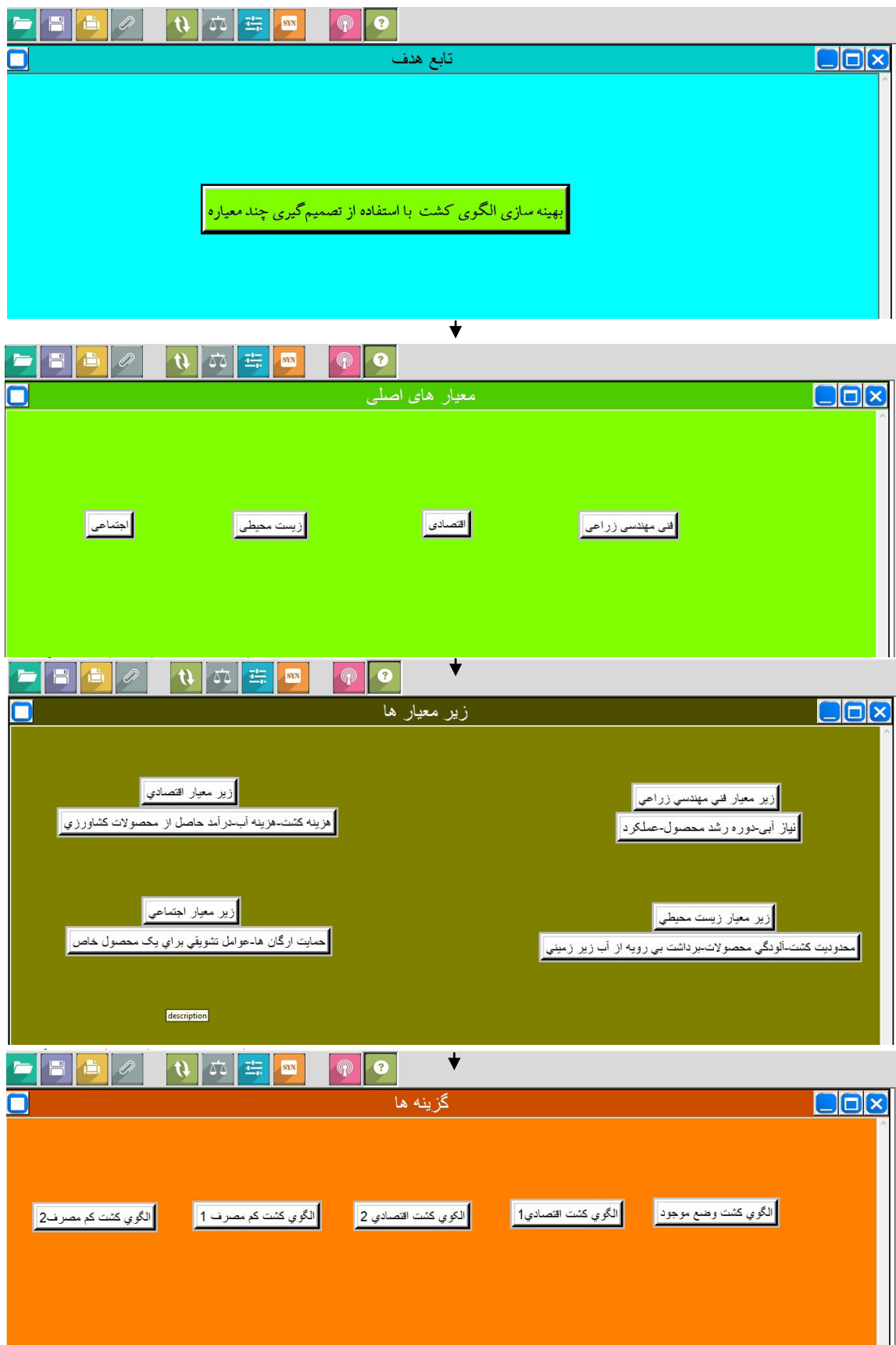
ساختار سلسله مراتبی هدف-معیار-زیر معیار-گزینه بر اساس روش AHP به ترتیبی که در شکل شماره (۳) مشاهده می‌شود. پس از وزن‌دهی به معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها و انجام مقایسات زوجی، نتایج خروجی شامل وزن نهایی گزینه‌ها مطابق شکل شماره (۴) به دست آمد.

سوپرمتریکس^۱

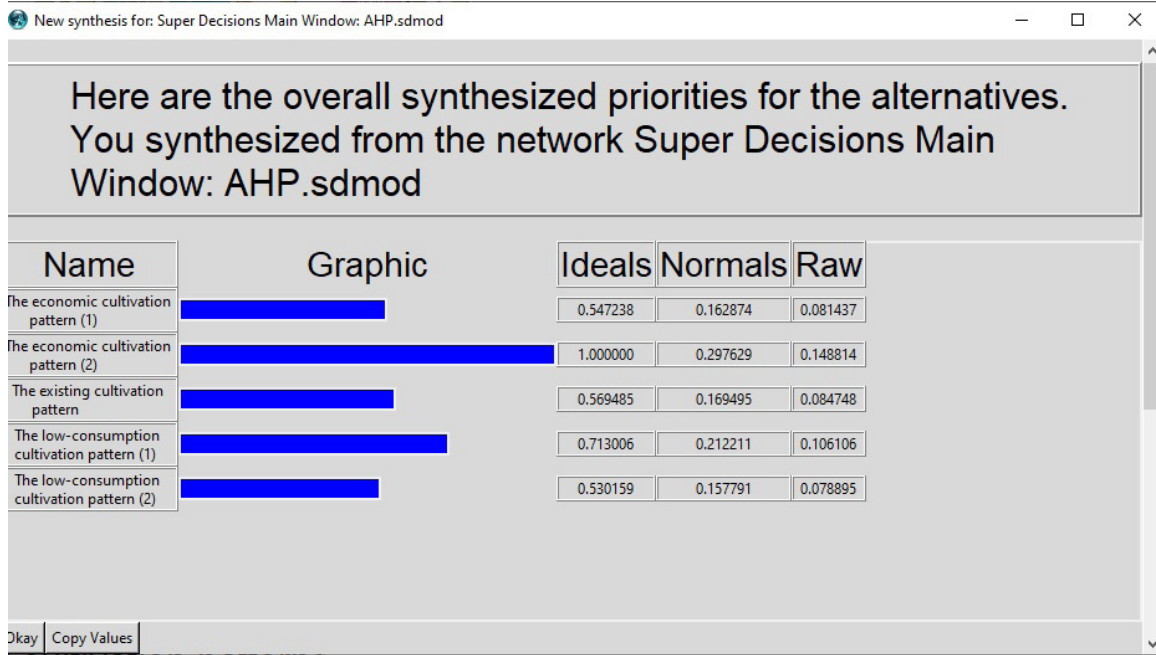
در ANP، تمام وزن‌های به‌دست‌آمده از مقایسات زوجی در «سوپرمتریکس» قرار می‌گیرند. این ماتریس بزرگ شامل اطلاعاتی است که نشان می‌دهد هر خوشه (معیار، زیر معیار/گزینه) چقدر بر روی بقیه خوشه‌ها مؤثر است. فرض شود چند خوشه^۲ و چند المان^۳ در نرم‌افزار وجود دارد. برای هر جفت خوشه، ماتریس مقایسه زوجی

1. Supermatrix
2. Clusters
3. Nodes

4. Limit Supermatrix



شکل ۳: ساختار هدف- معیار- زیر معیار- گزینه به روش AHP در محیط نرم افزار Super Decision



شکل ۴: نتایج وزن نهایی گزینه‌ها به روش AHP

ANP توسعه‌ای از روش AHP است که به‌جای ساختار سلسله‌مراتبی ساده، از شبکه‌ای پیچیده‌تر استفاده می‌کند؛ جایی که معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها می‌توانند به‌صورت غیرخطی، وابسته به هم باشند. این روش می‌تواند روابط بازخوردی و تعاملات بین معیارها و زیر معیارها را مدل کند که در سیستم‌های واقعی پیچیده مفید است. در این روش نیز بازم الگوی کشت اقتصادی (۲) با مقدار ایده‌آل برابر با ۱ و مقدار نرمال ۰/۳۵ بهترین گزینه محسوب می‌شود. الگوی کشت اقتصادی (۱) با مقدار ایده‌آل ۰/۷۳ و مقدار نرمال ۰/۲۵ در رتبه دوم و الگوی کشت وضع موجود با مقدار ایده‌آل ۰/۴۳ و مقدار نرمال ۰/۱۵ در رتبه سوم قرار دارد.

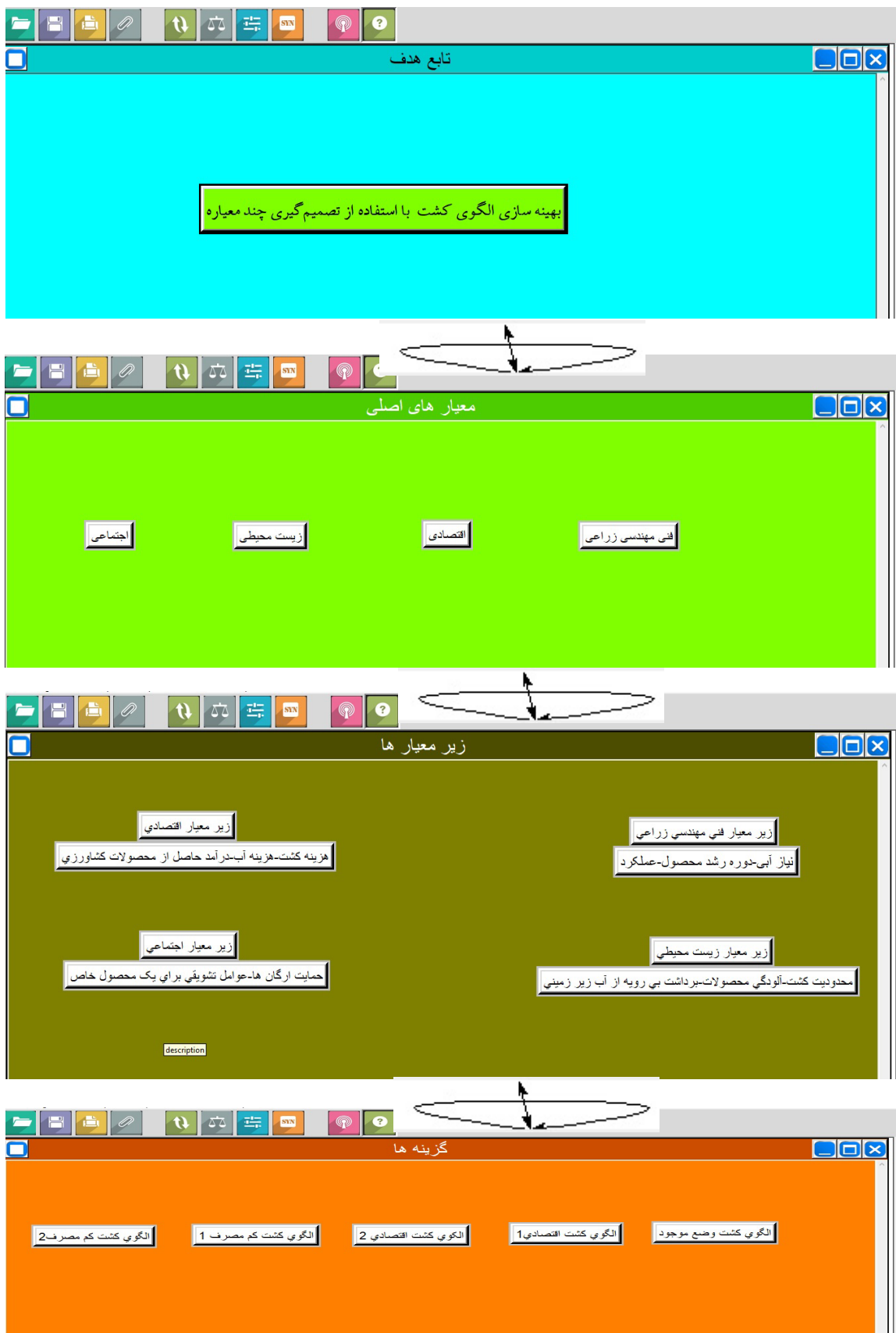
تحلیل کلی و مقایسه‌ای AHP و ANP

در ANP الگوی کشت اقتصادی (۱) نسبت به AHP افزایش اولویت دارد. (از ۰/۱۶ در AHP به ۰/۲۵ در ANP) که نشان‌دهنده آن است، در شبکه (با در نظر گرفتن تعامل‌ها) این الگو اثر یا اهمیت بیشتری پیدا کرده است. هم‌چنین نسبت الگوی کشت موجود و الگوهای کم‌مصرف کاهش یافته است. این تغییرات ممکن است به دلیل در نظر گرفتن وابستگی‌ها و بازخوردها میان معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها باشد که در ANP لحاظ می‌شود اما در AHP فقط به‌صورت سلسله‌مراتبی است. ANP، به علت مدل‌سازی پیچیده‌تر وابستگی‌ها، واقع‌گرایانه‌تر اهمیت گزینه‌ها را تعیین می‌کند. در نتیجه وزن‌ها معمولاً دقیق‌تر و متفاوت‌تر از AHP هستند. در این داده‌ها مشاهده می‌شود که وزن گزینه اول، الگوی کشت اقتصادی (۲) تثبیت شده و حتی نسبت به سایر گزینه‌ها افزایش یافته است و نسبت به گزینه‌های دیگر تغییراتی را نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل تعامل معیارها و زیر معیارها باهم باشد. در روش ANP، همانند AHP، ابتدا برای هر معیار و زیرمعیار و هم‌چنین گزینه‌ها نسبت به هر زیرمعیار، ماتریس‌های

نتایج وزندهی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد الگوی کشت اقتصادی (۲) بهترین گزینه است و دارای مقدار ایده‌آل ۱ و مقدار نرمال ۰/۲۹ می‌باشد. الگوی کشت کم‌مصرف (۱) با مقدار ایده‌آل ۰/۷۱ و نرمال ۰/۲۱ بعد از الگوی کشت اقتصادی (۲) بیش‌ترین اولویت را دارد که نشان‌دهنده بهره‌وری یا مزیت مهم نسبت به دیگر الگوهاست. الگوهای کشت موجود و اقتصادی (۱) تقریباً در رتبه‌های میانی قرار دارند. الگوی کشت کم‌مصرف (۲) کم‌ترین اولویت را داشته و گزینه‌ای با بازده یا کارایی پایین‌تر محسوب می‌شود. الگوی کشت اقتصادی (۲)، متشکل از سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای و جو، ضمن ایجاد بیش‌ترین سود اقتصادی، توانسته است بهینه‌ترین استفاده از منابع تولیدی را با توجه به شرایط منطقه داشته باشد. قرار گرفتن الگوی کم‌مصرف (۱) در رتبه دوم نیز حاکی از اهمیت توجه به معیارهای زیست‌محیطی همچون کاهش مصرف آب در کنار شاخص‌های اقتصادی است. این یافته‌ها تأیید می‌کند که ادغام اهداف اقتصادی با معیارهای پایداری، می‌تواند به انتخاب الگوهای کشت متوازن و کارآمد منجر شود.

تصمیم‌گیری به روش ANP

در قدم بعدی خوشه‌بندی و وزندهی به روش ANP انجام شد. در روش ANP دو خوشه اصلی شامل معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها ترسیم و مطابق شکل شماره (۵) ساختار شبکه‌ای مدل ایجاد گردید. تفاوت این روش با روش سلسله‌مراتبی در این است که اثرگذاری و اثرپذیری بین سطوح نیز اعمال می‌شود و سطوح پایین (گزینه‌ها) بر سطوح بالاتر یعنی زیر معیارها و معیارها در تعامل و تأثیر متقابل هستند. پس از مقایسات زوجی بین معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها به روش ANP نتایج خروجی مدل در شکل (۵) مشاهده می‌شود.



شکل ۵: نمودار معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها به روش ANP در محیط نرم‌افزار Super Decision

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives.
You synthesized from the network Super Decisions Main
Window: ANP2.sdmod

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
The economic cultivation pattern (1)		0.733466	0.258085	0.129043
The economic cultivation pattern (2)		1.000000	0.351871	0.175935
The existing cultivation pattern		0.438844	0.154416	0.077208
The low-consumption cultivation pattern (1)		0.362450	0.127536	0.063768
The low-consumption cultivation pattern (2)		0.307192	0.108092	0.054046

شکل ۶: نتایج وزن نهایی گزینه‌ها به روش ANP

مقایسه نتایج با سایر پژوهش‌ها

از منظر فنی، مشاهده شد که معیارهای اقتصادی و فنی-مهندسی بیش‌ترین وزن را در تصمیم‌گیری‌ها داشتند، درحالی‌که معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این امر اگرچه بیانگر نیاز فوری کشاورزان به بهبود درآمد است، اما هشدار می‌دهد که در صورت بی‌توجهی به معیارهای زیست‌محیطی، مشکلاتی نظیر افت سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش کیفیت خاک در بلندمدت تشدید خواهد شد.

نادری و همکاران [۱۷] در مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت در دشت نیشابور با روش AHP، ترکیبی از گندم، جو و چغندرقد را به‌عنوان الگوی مطلوب معرفی کردند که شباهت زیادی به الگوهای اقتصادی این پژوهش دارد؛ هر دو تأکید بر محصولاتی با بازار تضمینی و عملکرد اقتصادی بالا دارند. از سوی دیگر، احمدی و همکاران [۳] با استفاده از ترکیب AHP و ANP، الگوی نخود، کلزا و گندم زمستانه را به دلیل کاهش مصرف آب و سود پایدار انتخاب کردند؛ این رویکرد تا حدی مشابه نتایج مربوط به الگوی کم‌مصرف (۱) در این پژوهش است که در AHP جایگاه دوم را کسب کرد.

در مقایسه بین دو روش، یافته‌های این پژوهش نیز تأییدکننده مشاهدات حسنی آتشیگانه و همکاران [۱۲] است که بیان کردند ANP در شرایط وجود تعاملات پیچیده تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی متفاوت و واقع‌بینانه‌تری نسبت به AHP ایجاد می‌کند. همین امر سبب شد الگوی اقتصادی (۱) در رتبه دوم ANP قرار گیرد، چراکه وابستگی متقابل بین شاخص‌های اقتصادی و فنی (عملکرد، هزینه و درآمد) در این مدل تأثیرگذارتر ارزیابی شد. در سطح بین‌المللی، مطالعاتی مانند قوش‌ودتا [۱۰] در هند و رحمان و همکاران [۱۸] در بنگلادش، نیز نشان داده‌اند که مدل‌سازی چند معیاره در انتخاب الگوهای کشت، اغلب سناریوهای اقتصادی متنوع و پایدار را در رتبه

مقیاسات زوجی ساخته می‌شود. تفاوت اساسی اینجاست که در ANP، علاوه بر مقایسات بین گزینه‌ها نسبت به هر معیار و زیر معیار، وابستگی‌ها و روابط داخلی بین معیارها و زیر معیارها نیز مدل می‌شود. در هر ماتریس مقایسات زوجی، تصمیم‌گیرنده مشخص می‌کند که مثلاً «الگوی کشت اقتصادی (۲) نسبت به الگوهای دیگر چقدر ارجحیت دارد؟» این ارجحیت‌ها معمولاً با مقیاس ساعتی (۱-۹) نمایش داده می‌شود. سپس عناصر ماتریس نرمال می‌شوند. بردار ویژه (Eigenvector) یا میانگین هندسی هر گزینه برای به دست آوردن وزن نهایی محاسبه می‌شود. تحلیل نتایج ANP نشان داد که با در نظر گرفتن روابط متقابل بین معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، اولویت الگوی اقتصادی (۱) افزایش یافته و به جایگاه دوم صعود کرده است. این تغییر جایگاه، بیانگر آن است که در شرایط واقعی، اثرات متقابل میان معیارهای اقتصادی و فنی می‌تواند تصمیم‌گیری‌ها را تغییر دهد. از سوی دیگر، کاهش امتیاز الگوهای کم‌مصرف در ANP در مقایسه با AHP ممکن است به محدودیت‌های عملکرد یا بازده اقتصادی پایین‌تر این الگوها مرتبط باشد که در ساختار شبکه‌ای مدل بهتر نمایان شده است. مقایسه این یافته با مطالعات مشابه در مناطق خشک ایران [۳ و ۱۷] نشان می‌دهد که اولویت‌دهی به سناریوهای اقتصادی با عملکرد بالا، حتی در شرایط کم‌آبی، رویکردی رایج اما نیازمند ملاحظات زیست‌محیطی است. هم‌چنین، از دیدگاه مدیریتی، نتایج این تحقیق اهمیت استفاده هم‌زمان از دو روش AHP و ANP را برجسته می‌کند. درحالی‌که AHP به رتبه‌بندی ساده و شفاف کمک می‌کند، ANP قادر است تعاملات پیچیده میان معیارها و زیرمعیارها را در نتیجه لحاظ کرده و دیدگاه پویاتری به تصمیم‌گیرنده ارائه دهد. این تمایز به‌ویژه در کشاورزی مناطق نیمه‌خشک که انتخاب هر الگوی کشت می‌تواند بر منابع آب و درآمد جامعه روستایی تأثیر عمده بگذارد، بسیار مهم است.

اول قرار می‌دهد، اما با افزودن شاخص‌های اقلیمی و زیست‌محیطی، تعادل به سمت الگوهای کم‌مصرف یا مقاوم به تنش تغییر می‌کند. این روند مشابه یافته‌های حاضر است که نشان می‌دهد تلفیق اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی می‌تواند گزینه‌های متعادل‌تری پیشنهاد دهد.

نکته قابل توجه دیگر این است که جایگاه پایین‌تر الگوی کم‌مصرف (۲) در هر دو روش، مشابه نتایج جوزی [۱۳] در مطالعه بهره‌وری آب استان کرمانشاه است که گزارش کرد برخی محصولات کم‌آب (مانند آفتابگردان آجیلی و لوبیا سبز) هرچند در مدیریت منابع آبی عملکرد خوبی دارند، اما از نظر بازده اقتصادی و نیاز بازار، به اندازه کافی جذاب نیستند و در رتبه‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند. این موضوع اهمیت برقراری توازن میان «پایداری منابع» و «پایداری درآمد» را روشن می‌کند.

در نهایت، این یافته‌ها حاکی از آن است که استفاده هم‌زمان از دو روش AHP و ANP، ضمن آشکارسازی اولویت‌ها در سناریوهای مختلف، فاصله بین رویکردهای صرفاً اقتصادی و صرفاً زیست‌محیطی را کاهش داده و به سیاست‌گذار کمک می‌کند بر اساس شرایط خاص منطقه، ترکیب بهینه‌ای از محصولات را انتخاب نماید.

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات برای آینده

این پژوهش با بهره‌گیری از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP، به بهینه‌سازی الگوی کشت دشت بیلوار استان کرمانشاه در پایین‌دست سد گاوشان پرداخته است. نتایج نشان داد که الگوی اقتصادی (۲) بیش‌ترین توازن را میان اهداف اقتصادی، فنی و منابع آب برقرار می‌سازد و از بیش‌ترین امتیاز نهایی برخوردار است. به‌کارگیری هم‌زمان دو روش تصمیم‌گیری نشان داد که در نظر گرفتن روابط درونی میان معیارها (در مدل ANP) می‌تواند دقت اولویت‌بندی‌ها را افزایش دهد و تصویر واقع‌بینانه‌تری از پیچیدگی نظام کشت منطقه ارائه کند.

تفاوت رتبه‌بندی‌ها بین دو روش، بیانگر آن است که بی‌توجهی به وابستگی‌های متقابل معیارها می‌تواند موجب خطا در تصمیم‌گیری راهبردی شود؛ بنابراین لحاظ این روابط در سیاست‌گذاری‌های کشاورزی، به‌ویژه در مناطق با محدودیت منابع آبی، ضرورت دارد. در سطح کاربردی، نتایج نشان می‌دهد که تدوین برنامه‌های حمایتی هدفمند نظیر

۱. یارانه برای نهاده‌های کم‌آب‌بر (بذر، کود، آبیاری نوین)
۲. اعطای تسهیلات برای تغییر الگوی کشت به محصولات اقتصادی‌تر و مقاوم‌تر به خشکی
۳. خرید تضمینی محصولات منتخب در الگوی اقتصادی (۲) می‌تواند انگیزه کشاورزان را در پذیرش این الگو افزایش دهد و هم‌زمان به پایداری منابع آب و خاک و ارتقای بهره‌وری منطقه‌ای کمک نماید.

محدودیت‌های پژوهش

- با وجود جامعیت روش، محدودیت‌هایی نیز وجود داشت؛ از جمله:
۱. محدود بودن حجم داده‌های میدانی عملکرد و قیمت محصولات در برخی سال‌ها؛
 ۲. تمرکز بر معیارهای فنی و اقتصادی و عدم گنجاندن همه شاخص‌های زیست‌محیطی نوین (مانند ردپای کربن) به علت کمبود داده؛
 ۳. محدود بودن مشارکت خبرگان به ۱۲ نفر که می‌تواند موجب تنوع کم‌تر دیدگاه‌ها شود.
- برطرف کردن این محدودیت‌ها می‌تواند دقت تحلیل‌ها را در پژوهش‌های آتی افزایش دهد.

پیشنهادات برای تحقیقات آینده

برای توسعه و تکمیل نتایج این پژوهش، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

الف) روش‌شناختی:

ترکیب مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP، ANP) با مدل‌های کمی مانند برنامه‌ریزی خطی فازی یا تحلیل حساسیت، جهت افزایش دقت و پایداری نتایج

استفاده از روش‌های هیبریدی (مانند ANP-DEMATEL یا TOPSIS فازی) برای تحلیل عمیق‌تر روابط متقابل معیارها

ب) اقلیمی و زیست‌محیطی

بررسی پایداری الگوهای کشت تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و بارندگی به‌ویژه با رویکرد تغییر اقلیم در حوضه گاوشان افزودن شاخص‌های زیست‌محیطی نوین مانند ردپای آب و ردپای کربن به منظور ارزیابی کامل‌تر پایداری

ج) اقتصادی-اجتماعی

انجام تحلیل‌های بلندمدت درآمدی و رفاهی کشاورزان پس از اجرای الگوهای پیشنهادی برای سنجش تأثیر واقعی سیاست‌ها بررسی سازوکارهای حمایتی و مشوق‌های مؤثر برای تغییر رفتار زارعان، از جمله خرید تضمینی، بیمه محصولات و تسهیلات مالی سبز

د) فناوریانه:

۱. به‌کارگیری فناوری‌های سنجش‌ازدور، GIS و RS برای پایش الگوی کشت و صحت‌سنجی داده‌های عملکرد
۲. توسعه سامانه‌های هوشمند تصمیم‌یار برای یکپارچه‌سازی داده‌های هواشناسی، خاک و اقتصادی در زمان واقعی به‌طورکلی، تلفیق تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره با داده‌های اقلیمی و اقتصادی محلی می‌تواند راه‌حلی علمی و اجرایی برای ارتقای بهره‌وری آب و پایداری کشاورزی در دشت بیلوار و مناطق مشابه فراهم آورد.

approach. *Agricultural Economics*, 53(2), 223-237.

11. Hafezparast Mavaddat, M., and Fathi, S. 2025. Prioritizing strategies to improve agricultural water productivity using multi-criteria decision-making using the analysis hierarchy method (AHP) and network analysis (ANP) in Kermanshah province (Iran). *Extension and Development of Watershed Management*, 13(50), 40-50.

12. Hasanavi Atashgah, M., Yassi, M., and Amiri Takldani, A. 2019. Decision-making pattern in identifying and prioritizing effective criteria in inter-basin water transfer projects. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 48(3), 491-502.

13. Jouzi, M. 2022. Determination of water requirements and water productivity of major crops (wheat, canola, sugar beet, and potato) in different climates of Kermanshah province. *Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Kermanshah Province* (In Persian).

14. Keyvanfar, M., Janatrostami, S., and Ashrafzadeh, A. 2025. A Comprehensive Assessment of Water Resources Carrying Capacity in Anzali Wetland using AHP-Entropy-CRITIC Combined Weighting Method and TOPSIS-GRA Model, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56(1), 105-126.

15. Khaledi, H., Rahimi, M., Javanshiri, S., and Nourbakhsh, A. 2023. Policy, water, and market-oriented crop optimization using ANP in Western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(5), 987-1000 (In Persian).

16. Nguyen, T., M., Tran, Q. H., Le, T. N., Pham, T. T., and Vu, H. D. 2022. Improving farmer income and soil quality through rice-vegetable rotation using ANP. *Sustainability*, 14(5), 2829.

17. Naderi, M., Ahmadi, Z., and Taheri, A. A. 2019. Optimization of crop pattern in Neyshabur plain using AHP. *Iranian Journal of Agricultural Economics*, 11(3), 45-60 (In Persian).

18. Rahman, M., Akter, S., Hasan, M. M., Hossain, M. A., and Karim, M. R. 2023. Enhancing food security under rainfall variability through rice-legume cropping using ANP. *Agricultural Water Management*, 276, 108058.

1. Azami, A., Mirzadeh, A. A., and Azari, A. 2024. Optimization of cropping pattern for agricultural products in Sahneh County based on resource constraints. *Environmental Science Quarterly*, 25(1), 43-60 (In Persian).

2. Ahmad, M., El-Shafie, A., Elbeltagi, I., and El-Haggag, S. M. 2020. Multi-criteria evaluation of crop choices under drought in Egypt. *Agricultural Water Management*, 237, 106191 (In Persian).

3. Ahmadi, H., Shabanpour, G., and Gholami, M. 2021. Multi-criteria crop selection using AHP and ANP in Kermanshah Province. *Agricultural Water Management*, 248, 106748 (In Persian).

4. Ali, A., Rehman, N., Khan, S., and Ahmad, R. 2023. Water allocation optimization using AHP to improve water productivity in Pakistan. *Water Policy*, 25(1), 45-60 (In Persian).

5. Amani, A., Moradi, M., and Arabi, A. 2024. Optimization of cropping pattern of agricultural products in Sahneh, Kermanshah. based on resource constraints. *Geography and Environmental Planning*, 35(3), 87-114. (In Persian).

6. Ayoubikia, R., Janatrostami, S., Ashrafzadeh, A., and Shafiei-Sabet, B. 2019. Optimization of regional water resources allocation in sefidroud river basin by social equity approach, *Iran-Water Resources Research (IWRR)*, 14 (5), 205-218.

7. Figueiredo, R., Lira, W. S., Gomes, E. G., and da Silva Júnior, C. A. 2020. ANP-based sustainability assessment of mixed cropping systems in Brazil. *Ecological Indicators*, 119, 106875.

8. FAO. 2021. The state of the world's land and water food resources for and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

9. Ghosh, A., Singh, R., and Mahapatra, A. 2019. Integrating wheat and lentils for sustainable income and water savings: An AHP-based approach. *Agricultural Systems*, 173, 128-139.

10. Ghosh, A., and Dutta, B. 2022. Enhancing drought resilience through legume integration: An AHP

22. Silva, L., Pereira, J., Rodrigues, M., and Fernandes, T. 2024. Ecological and market criteria in crop diversification using ANP in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 412, 137012.
23. Torkaman, F., Sadeghi, S. H. R., Khaledi Darvishan, A., and Vafakhah, M. 2021. Climate resilient crop pattern planning using hybrid AHP-ANP. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 44588–44601.
24. Zarafshani, K., Shojaei, Sh., Rostami, A., and Ahmadi, A. 2021. Evaluation and ranking of rural districts suitable for agricultural development: A case study of Kermanshah County. *Geography and Environmental Planning*, 31(2), 122. (In Persian).
19. Razavi, S., Moradi, F., Kiani, M.R., and Rostamian, S. 2020. Application of ANP for drought-resilient crop pattern planning. *Water Resources Management*, 34(7), 2305-2319 (In Persian).
20. Shahsavari, A., Ghasemi, M., Hosseini, A., and Noori Far, S. 2021. Reducing water use through AHP-linear programming integration. *Irrigation and Drainage*, 70(4), 678-689 (In Persian).
21. Shahriyari, M., Khosravi, H., Ebrahimi, M., and Hakimi, A. 2022. Sustainable export-oriented crop prioritization using ANP under water shortage scenarios. *Journal of Water and Soil*, 36(2), 317-329 (In Persian).



Abstract

A Multi Criteria Approach (AHP & ANP) for Cropping Pattern Optimization in the Bilavar Plain, Kermanshah Province:

Sh.Gorgani¹ and M. HafezparastMavaddat²

Received: 2025/08/19 Accepted: 2025/12/10

Given population growth and limited food resources, achieving an optimal cropping pattern has become inevitable. In this regard, cropping pattern optimization is one of the most effective strategies for improving agricultural productivity. This study aims to identify and rank different cropping pattern alternatives in the Bilavar Plain, Kermanshah Province, by considering technical–agronomic, economic, social, and environmental dimensions using multi criteria decision making methods—Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP). In the first step, multiple criteria, sub criteria, and potential options—including the existing cropping pattern, Economic Pattern (1), Economic Pattern (2), Low Water Use Pattern (1), and Low Water Use Pattern (2)—were determined. Subsequently, the criteria and sub criteria were weighted, and the alternatives were prioritized using the Super Decisions software based on AHP and ANP methodologies. Results indicated that under the AHP method, Economic Pattern (2), Low Water Use Pattern (1), and the existing pattern ranked first, second, and third with final weights of 0.29, 0.21, and 0.16, respectively. Under ANP, Economic Pattern (2) achieved the highest priority (0.35), followed by Economic Pattern (1) (0.25) and the existing pattern (0.15). These differences highlight the importance of considering interdependencies among criteria and sub criteria as well as the complexity of decision making in agricultural analyses. The findings demonstrate that the integration of AHP and ANP provides a powerful tool to combine technical and economic complexities in agricultural water resource management. It is recommended that policymakers employ these models in designing supportive policies—particularly regarding input subsidies and guaranteed purchase of water efficient crops—to ensure the sustainability of agricultural production in the Bilavar Plain.

Keywords: Agricultural water management, Analytic hierarchy process (AHP), Analytic network process (ANP), Decision Making, Pairwise comparisons.

1. Ph.D. Candidate in Water Science and Engineering – Water Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: shahram_gorgani@yahoo.com

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.