نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص. ۳۰-۱۵

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 2, Autumn and Winter 2021, 15-30

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی پتانسیل توسعه آبیاری تحت‌فشار در دشت قزوین با روش تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان

امید رجا[۱]، فرهاد میرزایی[۲*]، مسعود پورغلام آمیجی[۳]، محمد هوشمند[۴]، محمد صالح[۵] و فرشته بالوی[۶]

چکیده

با توجه به مشکل کم‌آبی، افزایش جمعیت و نیاز به تولید بیشتر، ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار باهدف صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری در دشت حاصلخیز قزوین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و تصمیم‌گیری در دستور کار قرار گیرد. در این تحقیق به ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداخته شد. ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف موردمطالعه، شامل پنج بعد فنی، اقتصادی، اجتماعی-سیاسی، زیست‌محیطی و مدیریتی بود که هرکدام از بعدها دارای چند زیر معیار هستند. تعدادی پرسشنامه توسط کارشناسان خبره تکمیل شد و بعد از تکمیل پرسشنامه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. در ادامه نرخ ناسازگاری برابر ۰/۰۸۴ به دست آمد که از مقدار (۰/۱) کمتر بود. بررسی وزن دهی نهایی هرکدام از زیرمعیارها نشان داد که اولاً بعد فنی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در توسعه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار بوده و ثانیاً زیر معیار تأمین نیاز آبی گیاه با وزن ۰/۱۲۹، امکان تحویل آب با وزن ۰/۰۹۹ و الگوی کشت با وزن ۰/۰۸۸ همگی از بعد فنی از مهم‌ترین عواملی هستند که موردتوجه ویژه کارشناسان و متخصصان بوده است. به عبارتی از شش زیر معیار برتر، پنج مورد از بعد فنی و تنها یک مورد از بعد اقتصادی بود. نتایج آنالیز حساسیت نیز وزن کلی معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی-سیاسی، مدیریتی و زیست‌محیطی را به ترتیب برابر با ۰/۴۳، ۰/۲، ۰/۱۸، ۰/۱۱ و ۰/۰۸ نشان داد که حاکی از تأثیرگذاری بیشتر معیار فنی و اتفاق‌نظر پژوهشگران مختلف است. همچنین تأثیر سناریوهای مختلف تأمین آب شبکه بر الگوی کشت توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO)، نتایج AHP را تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، توسعه، سیستم آبیاری، نیاز آبی گیاه، Expert Choice

مقدمه

کمبود آب یک مشکل جدی برای تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان بوده و تأمین منابع آب جدید در این مناطق بسیار هزینه‌بر است (Donoso, 2021). استفاده بهینه از آب موجود یک راهبرد مهم برای استفاده مفید از آب در بخش کشاورزی است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ Neissi et al., 2020). با اعمال مدیریت صحیح در سیستم آب، خاک و گیاه می‌توان ضمن افزایش محصول، یک کشاورزی پایدار ایجاد کرد (مولوی و همکاران، ۱۳۹۵؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸). توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار با حفظ وضع موجود و باهدف صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری با توجه به مشکل کم‌آبی و همچنین عدم مدیریت و پایین بودن راندمان کاربرد آب، تلفات آب و ضعف

۱، ۳، ۴ و ۶- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران (* نویسنده مسئول: Email: Fmirzaei@ut.ac.ir)
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.2.2.1

زیرساخت‌ها به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در دهه‌های اخیر در دستور کار مدیران و سیاست‌گذاران بوده است (حسنی وهمکاران، ۱۳۹۹؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۷).

در خصوص هرگونه توسعه در هر منطقه عوامل متعددی از قبیل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی، مدیریتی و غیره دخیل است (عابدزاده و همکاران، ۱۳۹۹). در این راستا ارزیابی تأثیرگذاری هرکدام از این عوامل در اجرای طرح یا توسعه به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری و شناخت موانع و محدودیت‌ها حائز اهمیت است. ابزارها و مدل‌های مختلفی از قبیل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP[1])، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP[3]) در خصوص تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن همه معیارها و عوامل تأثیرگذار طراحی و توسعه‌یافته‌اند.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد؛ علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنانهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید قادر به تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم بوده که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. روش AHP که بر پایه تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی قرار دارد، توسط وینـد و ساتی در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شد. در اغلب مطالعات نیز نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را در مقایسه با دیگر روش‌های موجود، به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد در انتخاب بهترین سیستم آبیاری معرفی‌شده است (قدوسی شهر رضایی، ۱۳۸۰؛ مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ نائینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Montazar and Behbahani, 2007; Karami, 2006; Neissi et al., 2020). بنابراین از این روش برای بررسی پذیرش کشاورزان در مورد انواع روش‌های آبیاری و عوامل مؤثر در انتخاب روش مناسب سیستم آبیاری استفاده گسترده‌ای شده است.

مطالعات مختلفی در خصوص استفاده از این روش‌ها به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری انجام‌شده است. نیک مهر و زیبایی (۱۳۹۵) در پژوهشی برای ارزیابی عملکرد هشت طرح آبیاری و زهکشی در استان خوزستان از روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس[4] استفاده کردند. برای این منظور معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فنی و مدیریتی و ۱۸ زیر معیار برای ارزیابی در نظر گرفته‌شده است. نتایج آن‌ها نشان داده است که معیار اقتصادی با وزن نسبی ۰/۲۹۲ بیشترین تأثیر را در فرآیند ارزیابی داشته و معیارهای مدیریتی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۷۶، ۰/۱۶۳، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۳۰ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. از منظر زیست‌محیطی، شبکه گتوند با امتیاز ۰/۹۳۱ به‌عنوان کارآمدترین و شبکه شهید رجایی با امتیاز ۰/۳۹۰ ناکارآمدترین شبکه شناخته شدند. در مطالعه دیگر قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳) اولویت‌بندی راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی قزوین را بر اساس نظرهای کارشناسان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice موردبررسی قراردادند. آن‌ها موارد مدیریتی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را برای ارزیابی خود مورداستفاده قراردادند. نتایج نشان داد که دیدگاه مدیریتی-بهره‌برداری با وزن ۰/۵۰۹ در بالاترین اولویت قرار دارد. همچنین پس از رتبه‌بندی معیارها در هر دیدگاه مشخص شد که از دیدگاه مدیریتی-بهره‌برداری استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در سطح شبکه، از دیدگاه فنی-سازه‌ای استفاده از سازه‌های آبگیر نیرپیک در تمام کانال‌ها، از دیدگاه اقتصادی دریافت هزینه واقعی آب‌بها، از دیدگاه اجتماعی توسعه و ترویج سامانه‌های مدرن آبیاری به کشاورزان و از دیدگاه زیست‌محیطی جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به داخل کانال‌ها دارای بیشترین اهمیت بودند. در

[1] Analytic Network Process
[2] Analytic Hierarchy Process
[3] Fuzzy Analytic Hierarchy Process
[4] Topsis

همین راستا در مطالعه دیگر نیز زادباقر و همکاران (۱۳۸۷) به‌منظور ارزیابی بهره‌وری آب در ۱۴ شبکه مدرن کشور از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice استفاده نمودند و به حساسیت‌سنجی مقدار بهره‌وری آب پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد شبکه سفیدرود و برخوار با وزن نهایی ۰/۱۳۶ و ۰/۳۲۰ به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری آب را در بین شبکه‌های مطالعه شده، دارا بودند. همچنین وضعیت ساختار فیزیکی (نوع دریچه‌ها و سازه‌ها) و چگونگی توزیع آب در شبکه از درجه تأثیر متوسط و مسائل فرهنگی اجتماعی و تشکل‌های آب‌بران از درجه اهمیت کمتری برخوردار بوده و معیارهای سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات الگوی کشت بیشترین تأثیر و کیفیت و قیمت آب کمترین تأثیر را بر بهره وری آب دارند. خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷) نیز در مطالعه‌ای به بررسی استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی در دامنه شمالی کوه‌های کرکس-نطنز پرداختند و بر قابلیت و توانایی بالای روش AHP تأکید کردند.

نائینی و همکاران (۱۳۹۸) سامانه‌های آبیاری نخلستان‌های بوشهر و تعیین مناسب‌ترین سیستم با استفاده از روش AHP را مورد بررسی قراردادند. نتایج مدل تصمیم‌گیری نشان داد که در استان بوشهر سیستم آبیاری قطره‌ای بابلر و در مناطقی از استان که امکان اجرای آبیاری قطره‌ای بابلر وجود ندارد، اصلاح سیستم آبیاری سنتی غرقابی به سیستم آبیاری جوی و پشته‌ای یک‌درمیان، به‌عنوان سیستم برتر انتخاب شدند. در همین راستا در مطالعه دیگر منتظر و بهبهانی مدلی برای انتخاب سیستم بهینه آبیاری با توجه به عوامل فیزیکی، سیاسی-اقتصادی و زیست‌محیطی مؤثر بر راندمان آبیاری ارائه نمودند. در این مدل، فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل پیشنهادی در تطابق خوبی با نتایج تحقیقات مزرعه‌ای است (Montazar and Behbahani, 2007). همچنین مطالعه قدوسی شهر رضایی (۱۳۸۰) در ارزیابی عملکرد و تعیین اهمیت شاخص‌ها و دیدگاه‌های مدیریتی و فنی هشت شبکه آبیاری در کشور با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی حاکی از کارآمدی روش تحلیل سلسله مراتبی بوده و در مقایسه با مطالعات میدانی این شبکه‌ها، محدودیت بسیار کمی داشته است.

اوکادا و همکاران اثرات بهبود مدیریت و سخت‌افزارها را در اجرای پروژه‌های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت کمی در آوردند. بررسی‌ها، توانمندی و تأثیر کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی را در ارزیابی پروژه‌های آبیاری نشان می‌دهند. هم‌چنین، مشخص شد که کیفیت خدمات تحویل آب اثر مهمی بر روی تولید محصولات داشت (Okada et al., 2008). پرامانا و پراجانتی استراتژی‌های حفاظت از مزارع تحت آبیاری را با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی در اندونزی مورد بررسی قراردادند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کاهش اراضی تحت آبیاری در دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۰ بوده است. استراتژی حفاظت از اراضی تحت آبیاری در منطقه مذکور، شامل چندین معیار با اولویت‌بندی از اراضی پایدار و بهره‌برداری از آب (با وزن ۰/۳۲۲) بود. نتایج نشان داد که ترتیب اهمیت این معیارها شامل بهینه‌سازی عملکرد شبکه آبیاری (۰/۲۴۱)، ملاحظات قانونی (۰/۱۸۶)، اقتصادی (۰/۱۶۰) و اجتماعی (۰/۰۹۱) بود (Pramana and Prajanti, 2019).

آریا آذر و مجنونی هریس (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای سامانه‌های آبیاری با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه رودخانه آجی چای را اولویت‌بندی کردند. بر اساس نتایج در بین معیارهای انتخابی معیار کمی و کیفی آب، راندمان آبیاری و خاک به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۲۲، ۰/۲۲۱ و ۰/۱۵۳ بیشترین تأثیر را برای انتخاب بهترین سیستم آبیاری داشتند. نتایج امتیازهای زیرمعیارها هم نشان داد که مجموع امتیاز زیرمعیارهای آب با امتیاز نهایی ۰/۲۶۸، در بین مجموع امتیازات سایر زیرمعیارها بالاترین بود. در مطالعه دیگر اروجلو و همکاران (۱۳۹۶)، تحلیل مخاطرات سیستم اصلی انتقال آب در شبکه‌های آبیاری را با رویکرد سلسله مراتبی فازی انجام دادند. در این مطالعه برای مشخص کردن وزن اجزای شبکه، از اثرات

تهدیدکننده سیستم و معیارهای ارزیابی شدت اثر و آسیب‌پذیری از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) بهره گرفت.

خطرات نشان داد که بخش عمده آن‌ها در دسته خطرات ناشی از بهره‌برداری قرار می‌گیرد که در صورت بهبود بهره‌برداری و کاهش خطرات تهدیدکننده، این بخش می‌تواند اطمینان از عملکرد مناسب سیستم را تا حد قابل‌توجهی افزایش دهد. حسنوی آتشگاه و همکاران (۱۳۹۸) معیارها و شاخصه‌های اثرگذار زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی را در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای را با روش دلفی به هشت معیار اصلی طبقه‌بندی کرده و سپس با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP) اولویت‌بندی نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در هر دو روش، اولویت معیارهای اصلی یکسان بوده و معیار سیاسی و امنیتی، بهداشتی و درمانی و زیست‌محیطی به ترتیب با وزن نرمال ۰/۳۶، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند. در روش AHP، ارجحیت گزینه‌های انتقال با هدف تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعتی و محیط زیستی به ترتیب ۵۶، ۱۷، ۱۶ و ۱۱ درصد است اما در روش ANP گزینه آب شرب با ۵۶ درصد در رتبه نخست بوده و آب صنعتی با ۱۸ درصد، آب کشاورزی با ۱۴ درصد و آب محیط زیستی با ۱۲ درصد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

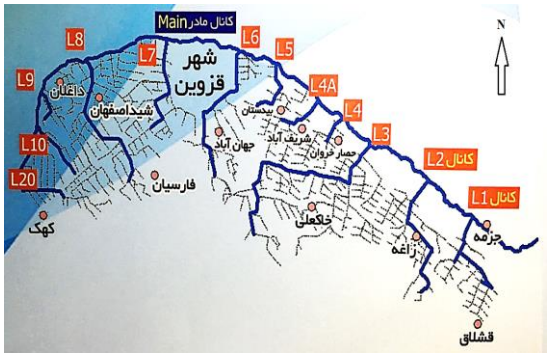
به دلیل عدم مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری دقیق با توجه به میزان نیاز آبی گیاهان در طول دوره کشت، ضعف زیرساخت‌ها و پایین بودن راندمان کاربرد آب، تلفات آب در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین زیاد است. آب مازاد توزیع‌شده در این شبکه در سال ۱۳۹۲، حدود ۵۶ میلیون مترمکعب بوده است که ۲۵درصد از آب موردنیاز محصولات کشت‌شده در سال است (حبیبی کندبن و همکاران، ۱۳۹۶؛ Montazar and Behbahani, 2007). این امر لزوم توسعه ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار باهدف صرفه‌جویی آب و افزایش بهره‌وری یا حفظ وضع موجود در دشت حاصلخیز قزوین به‌عنوان یک ابزار مدیریتی و تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. هدف از انجام این مطالعه "ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین" به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice با لحاظ عوامل متعددی از قبیل فنی، اقتصادی، اجتماعی-سیاسی، سیاسی زیست‌محیطی و مدیریتی است. با توجه به این‌که عوامل زیادی در توسعه سیستم تحت‌فشار در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین نقش دارند، لذا پنج مورد از مهم‌ترین آن‌ها به‌عنوان معیارهای مورد بررسی انتخاب‌شده و برای هرکدام از آن‌ها، یک مجموعه زیرمعیار در نظر گرفته شد. با بررسی تأثیرگذاری هرکدام از این عوامل بر اساس نظرات کارشناسان خبره می‌توان نسبت به موانع و محدودیت‌های موجود در توسعه این سیستم شناخت پیدا کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومترمربع در حوضه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶-۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. تنوع اقلیمی، زمینه مساعدی را برای کشت انواع محصولات گرمسیری و سردسیری در نقاط مختلف استان فراهم کرده است. دشت قزوین با مساحتی بالغ بر ۴۰۰۰ کیلومترمربع، از مستعدترین و حاصلخیزترین زمین‌های کشاورزی در بخش مرکزی استان قزوین است. انواع محصولات گندم، جو، یونجه، زعفران، چغندرقند، عدس، لوبیا، سیب‌زمینی، تره‌بار، هندوانه، زیتون، ذرت، پسته، زیتون، گیلاس، سیب، هلو، زردآلو، گردو، انگور، فندق، زالزالک در سطح وسیعی از مزارع کشاورزی استان قزوین کشت می‌شوند (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۸). نمایی از محدوده تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به گذشت بیش از ۳۰ سال از عمر بهره‌برداری شبکه آبیاری قزوین، این شبکه یکی از شبکه‌های قدیمی ایران به شمار می‌آید. این شبکه با هدف توزیع و انتقال آب از سد انحرافی زیاران به قطب کشاورزی قزوین احداث شد و ۸۰۰ کیلومترمربع از

اراضی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین را تحت پوشش قرار می‌دهد. منابع تأمین‌کننده آب شبکه قزوین و سد انحرافی زیاران، سد مخزنی طالقان و منابع آب زیرزمینی است. شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین با ۱۰۵۰ کیلومتر کانال اصلی و فرعی، از مهم‌ترین و مجهزترین شبکه‌های آبیاری در کشور است. این کانال‌ها سالانه ۲۱۰ میلیون مترمکعب آب از سد طالقان به شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین انتقال می‌دهند.



شکل ۱- شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین

روش ساختن یک سلسله مراتبی

روش ساختن سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی دارد؛ به‌طور مثال اگر تصمیم موردنظر انتخاب یک گزینه باشد می‌توان از گزینه‌ها شروع کرده و در پایین‌ترین سطح هدف سلسله مراتبی که یک عنصر است قرار گیرد. گاهی اوقات خود معیارها نیز باید به‌صورت جزئی‌تر مورد تجزیه‌وتحلیل واقع شوند که در این‌گونه موارد یک سطح دیگر (که شامل زیرمعیارها می‌شود) به سلسله مراتبی اضافه می‌شود، البته لزومی ندارد که تمامی معیارها دارای زیرمعیار باشند.

پرسشنامه‌ای برای بررسی "ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین" طراحی شد. تهیه پرسشنامه و تبیین مسئله و طراحی ساختار اولیه معیارها متناسب با اهداف مطالعه علاوه بر بررسی مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، از نظرات اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران، کارشناسان شرکت‌های مشاور و مدیران دستگاه‌های اجرایی استفاده‌شده است. اطلاعات موردنیاز با تکمیل پرسشنامه‌ها با دقت زیادی حاصل‌شده است. ۱۸ پرسشنامه توسط کارشناسان خبره و باتجربه معاونت آب‌وخاک وزارت جهاد کشاورزی، کارشناسان و مدیران شبکه آبیاری و زهکشی قزوین، اساتید دانشگاه تهران و قزوین و تعدادی از دانشجویان تحصیلات تکمیلی مشرف بر منطقه موردمطالعه تکمیل شد. در خصوص تعداد پرسشنامه‌ها باید گفت؛ با توجه به این‌که تصمیم‌گیری در خصوص کارهای مدیریتی و توسعه‌ای معمولاً توسط مدیران صورت می‌گیرد لذا انتخاب و بررسی تعداد زیاد پرسشنامه مبنی بر دقت بالای کار نیست. بلکه انتخاب افراد متخصص درجه اهمیت بالایی دارد. حتی در مطالعات مشابه صورت گرفته نیز تعداد مشابهی در نظر گرفته‌شده که می‌توان به مطالعات حسنوی آتشگاه و همکاران (۱۳۹۸) به تعداد ۲۰ پرسشنامه و نائینی و همکاران (۱۳۹۸) به تعداد ۲۵ پرسشنامه اشاره کرد. ساختار سلسله مراتبی با توجه به هدف موردمطالعه، شامل پنج بعد فنی[1]، اقتصادی[2]، اجتماعی-سیاسی[3]، زیست‌محیطی[4] و مدیریتی[5] تعریف گردید که هرکدام از بعدها دارای چند زیرمعیار هستند که در شکل (۲) نشان داده‌شده است.

شکل ۲- معرفی زیرمعیارهای مربوط به هر بعد

[1] Technical
[2] Economic
[3] Social-Political
[4] Environmental
[5] Management

چگونگی انتخاب زیرمعیارها، بر اساس نظر کارشناسان و مدیران خبره شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین، مطالعات انجام‌شده قبلی در سطح کشور (مرید نژاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ اروجلو و همکاران، ۱۳۹۶؛ قدوسی شهر رضایی، ۱۳۸۰) و برخی معیارهایی که در نقاط مختلف جهان از آن استفاده کردند، کمک گرفته شد؛ بنابراین تلفیق عوامل گفته‌شده بدون همپوشانی زیرمعیارها بسیار حائز اهمیت بوده که در این مطالعه سعی شده از تکرار و هم‌پوشانی زیرمعیارها جلوگیری به عمل آید. ابتدا زیرمعیارهای هر بعد با یکدیگر مقایسه شده و درنهایت هر بعد به‌طور مجزا موردبررسی قرار گرفت. هرکدام از گزینه‌ها که مهم‌تر از گزینه روبرویی آن است در قسمت مرتبط به همان سؤال، امتیاز ۲ تا ۹ داده می‌شود. هرچه عدد به ۹ نزدیک‌تر باشد، بیانگر ارجحیت بیشتر گزینه در مقایسه با گزینه مقابل خواهد بود. چنانچه گزینه‌ها به یک اندازه مهم است، گزینه برابر (امتیاز یک) انتخاب می‌شود (Wind and Saaty, 1980). تفاوت در نظر کارشناسان و امتیازدهی آن‌ها به زیرمعیارها امری طبیعی و بدیهی بوده که این تفاوت، تأثیر خود را در نتایج خروجی مدل نشان خواهد داد. جمع‌بندی نتایج و خروجی نرم افزار، این تفاوت یا تشابه نظر کارشناسان را نشان داده و گزینه برتر بر اساس نظرات غالب کارشناسان استخراج می‌شود.

جدول (۱)، نحوه امتیازدهی در الگوی سلسله مراتبی را نشان می‌دهد. امتیاز ۱، میزان برابری آیتم‌ها و امتیازهای ۲ تا ۹ میزان ارجحیت هر پارامتر را نشان می‌دهد. امتیازهای زوج نیز حدفاصل بین امتیازهای فرد می‌باشد.

جدول ۱- جدول وزن دهی به معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل قوی	۲،۴،۶،۸

محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، در دو قسمت جداگانه موردبحث قرار می‌گیرد: وزن نسبی و وزن نهایی. وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی به دست می‌آید درحالی‌که وزن مطلق رتبه نهایی هر گزینه می‌باشد که از تلفیق وزن‌های نسبی محاسبه می‌گردد. به‌طورکلی، یک ماتریس مقایسه زوجی به‌صورت زیر نشان داده می‌شود که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام به عنصر j ام است که با توجه به مقدار a_{ij} ها وزن عناصر یعنی w_i ها به دست می‌آید.

$$A=\begin{bmatrix} a۱۱ & a۱۲ & .... & a۱n \\ a۲۱ & a۲۲ & .... & a۲n \\ .... & & & \\ & & & \\ an۱ & an۲ & & ann \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

در حالتی که ماتریس زوجی سازگار باشد، محاسبه وزن (w_i) ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می‌آید؛ اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد محاسبه وزن ساده نبوده و برای به دست آوردن آن چهار روش عمده مطرح‌شده که عبارت‌اند از روش حداقل مربعات[۱]، روش حداقل مربعات لگاریتمی[۲]، روش بردار ویژه[۳] و روش‌های تقریبی[۴] که در این پژوهش از روش بردار ویژه در قالب نرم‌افزار Expert Choice استفاده‌شده است.

روش بردار ویژه

روش بردار ویژه دارای روابط حجیم و کمی پیچیده بوده که دستگاه معادلات خلاصه‌شده را می‌توان به‌صورت رابطه (۲) نوشت.

$$A.w=\lambda.w \qquad (۲)$$

[1] Least Squares Method
[2] Logarithmic Least Squares Method
[3] Eigenvector Method
[4] Approximation Methods

که A همان ماتریس مقایسه زوجی {یعنی $A = [a_{ij}]$} و w بردار وزن و λ یک کمیت اسکالر (عدد) است. طبق تعریف چنانچه این رابطه بین یک ماتریس (A) و بردار (w) و عدد (λ) برقرار باشد؛ گفته می‌شود که w بردار ویژه و λ مقدار ویژه برای ماتریس A می‌باشند. در نهایت وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید.

محاسبه نرخ ناسازگاری

یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل‌قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد اما Wind and Saaty., 1980) ساتی عدد ۰/۱ را به‌عنوان حد قابل‌قبول ارائه می‌نمایند و معتقد هستند چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، باید در نحوه امتیازدهی به زیرمعیارها تجدیدنظر صورت گیرد). در جدول (۲)، اعداد شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی نشان داده‌شده است.

جدول ۲- اعداد شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۷	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.[1]) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R.[2]) هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که آن را نرخ ناسازگاری (I.R.[3]) می‌نامند. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل‌قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود. مقدار شاخص ناسازگاری (I.I.) از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$I.I. = \lambda max - n/n - 1 \qquad (۳)$$

که در این رابطه n تعداد معیار و λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس می‌باشند. نرخ ناسازگاری (I.R.) از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$I.R. = I.I./I.I.R. \qquad (۴)$$

حاصل تقسیم I.I / I.I.R، نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

ورود داده‌ها به نرم‌افزار

نرم‌افزار Expert Choice که یک ابزار حمایت از تصمیم چندهدفه بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، در سال ۱۹۸۰ توسط موسسه انتخاب برتر[4] در دانشگاه جرج واشینگتن، ایالت ویرجینیا آمریکا توسعه یافت. از این نرم‌افزار در بیشتر دشت‌های آمریکا، مخصوصاً دشت ساحلی آتلانتیک[5] و دشت‌های بزرگ[6] استفاده‌شده است. این نرم‌افزار در موارد مختلف از جمله تخصیص منابع، انتخاب گزینه‌ها، برنامه‌ریزی تحلیلی، آنالیز سود و هزینه، مدیریت عملکرد و غیره استفاده می‌شود که توانمندی‌های زیادی داشته و قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مسئله را نیز دارا است (قدسی پور، ۱۳۹۵).

بعد از تعریف پروژه و تعیین هدف در نرم‌افزار Expert Choice، معیارهای اصلی یا همان بعدها به مدل وارد شد. سپس برای هرکدام از بعدها، زیرشاخه‌ها تشکیل و داده‌های مربوط به پرسشنامه‌ها وارد آن شد. سپس وزن مربوط به هرکدام از زیرشاخه و بعدهای اصلی برآورد شد. بعد از واردکردن داده‌ها، نرم‌افزار نرخ ناسازگاری را محاسبه کرد و درصورتی‌که بیشتر از ۰/۱ باشد، خطا وجود داشته و لذا از روش بردار ویژه برای سازگار کردن ماتریس استفاده می‌شود تا وزن‌ها به‌درستی محاسبه شوند.

[1] Inconsistency Index
[2] Inconsistency Index of Random Matrix
[3] Inconsistency Ratio

[4] Top Choice Institute
[5] Atlantic coastal plain
[6] Great Plains

نتایج نرخ ناسازگاری

الگوریتم محاسبه نرخ ناسازگاری یک ماتریس در پنج مرحله انجام‌شده و نتایج این بخش در جدول (۳) نشان داده‌شده است؛ بنابراین نرخ ناسازگاری برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها محاسبه شد. چنانچه ملاحظه می‌شود، در این مطالعه نرخ ناسازگاری ۰/۰۸۴ به دست آمد و چون کمتر از ۰/۱ می‌باشد، بنابراین سازگاری ماتریس مقایسه زوجی موردقبول می‌باشد. به عبارتی مقدار ناسازگاری در حد معقول خود بوده و ماهیت داده‌ها و پرسشنامه‌ها، دچار مشکل نیست.

جدول ۳- محاسبه نرخ ناسازگاری

λ_{max}	n	I.I.R	I.I.	I.R.
۵/۳۸۱۶۸	۵	۱/۱۲	۰/۰۹۵	۰/۰۸۴

الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO[1])

الگوریتم‌های فرا ابتکاری، اگرچه هرگز تضمینی برای بهینگی جواب خود ارائه نمی‌دهند اما همواره به‌صورت راهی برای به دست آوردن جواب‌های نسبتاً خوب در مدت‌زمانی معقول مطرح هستند (Babazadeh et al., 2011). تاکنون الگوریتم‌های فرا ابتکاری زیادی در مسائل بهینه‌سازی مورداستفاده قرار گرفته است. الگوریتم فرا ابتکاری ACO به‌طور موفقیت‌آمیزی در مسئله‌های بهینه‌سازی از جمله تخصیص، الگوی کشت، مسیریابی وسایل نقلیه و مسئله کوله‌پشتی اعمال‌شده است (کاکویی و عمادی، ۱۳۹۲؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸). الگوریتم کلونی مورچگان و اجتماع ذرات (ACO) الهام از اثری است که مورچه هنگام حرکت برجای می‌گذارند. بسیاری از گونه‌های مورچه در مسیر حرکت خود، ماده‌ای به نام فرومون[2] روی زمین به‌جای می‌گذارند و بدین طریق یک اثر ایجاد می‌کنند که از آن برای علامت‌گذاری مسیر طی شده استفاده می‌شود. این اثر، ابزار ارتباطی آن‌ها به‌حساب ها می‌آید و در حقیقت با حس کردن اثرات فرومون، مورچه‌های دیگر که در جستجوی غذا هستند می‌توانند مسیر را به سمت منبع غذاهایی که دیگران کشف کرده‌اند، پیدا کنند (Dorigo and Blum, 2005).

مسائل بهینه‌سازی در الگوریتم ACO در قالب یک گراف متشکل از رئوس و یال‌ها سازمان‌دهی می‌شوند. وضعیت‌های مسئله، مجموعه‌ای از تمامی تورهای ممکن برای پیمایش مورچه‌ها در این گراف است. هر راه‌حل ممکن در الگوریتم ACO، به‌صورت یک گراف متشکل از مجموعه‌ای از یال‌ها و گره‌ها نمایش داده می‌شود. انتخاب یک گره توسط مورچه‌ها بر اساس میزان فرومون منتسب به آن گره انجام می‌شود و میزان فرومون موجود بر روی هر گره متناسب با میزان شایستگی آن گره و درنتیجه تعداد دفعات انتخاب آن توسط مورچه‌ها تعیین می‌گردد. همچنین تبخیر فرومون نیز متناسب با فرومون موجود بر روی هر گره، از کلیه گره‌ها صورت می‌پذیرد (مراد زاده و همکاران، ۱۳۹۸). مطابق رابطه (۵)، در الگوریتم ACO هر مورچه برای عبور از یک مسیر تصادفی در هر تکرار، از تابع احتمالی استفاده می‌کند که احتمال آنکه مورچه n اُم در لحظه t ،مقصد (i,j) را انتخاب کند را مشخص می‌کند. این احتمال تابعی از فرومون ریخته شده در مسیر به‌وسیله مورچه‌ی منتخب (τ_{ij}) و اطلاعات اکتشافی یا بیرونی (η_{ij}) که توسط کاربر تعیین می‌شود، است. N(S) مجموعه‌ای است که تابه‌حال توسط مورچه‌ها انتخاب‌نشده‌اند و (i,l) مسیرهایی هستند که هنوز بازدید نشده‌اند (Dorigo and Blum, 2005). α و β دو فرا سنجه‌ای (پارامتری) هستند که اهمیت نسبی عامل فرومون و عامل اکتشافی یا بیرونی را تعیین می‌کنند. عامل اکتشافی، اطلاعات بیرونی مسئله است که در واقع میدان دید مورچه در فضای مسئله می‌باشد و توسط کاربر تعیین می‌شود (کاکویی و عمادی، ۱۳۹۲؛ شکیبا و همکاران، ۱۳۹۴).

$$P_{ij}^{n}=\begin{cases}\dfrac{\tau ij^{\alpha}\,\eta ij^{\beta}}{\sum_{cil\in N(S)}\tau il^{\alpha}\,\eta il^{\beta}} & \text{if } cij\in N(S)\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۵)$$

اطلاعات اکتشافی یا بیرونی توسط رابطه (۶) محاسبه می‌شود که نسبت عکس فاصله هر مسیر را برای هر مقدار

[1] Ant Colony Optimization Algorithm
[2] Pheromone

ثابت فرومون محاسبه می‌کند. هر چه طول مسیر کوتاه‌تر باشد، تأثیر این رابطه بیشتر خواهد بود.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (۶)$$

به‌روزرسانی فرومون‌ها توسط تابع‌هایی انجام می‌شود که به تبخیر فرومون در مسیر نادرست و افزایش مقدار فرومون در مسیر مناسب، می‌پردازد؛ بنابراین ردپای فرومون مطابق رابطه (۷) (مرحله تبخیر فرومون) و رابطه (۸) (مرحله افزایش فرومون)، به‌روزرسانی می‌شود.

$$\tau_{ij}(t)\ (1-\rho).\leftarrow \tau_i(t) \quad (۷)$$

$$\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}(t) \leftarrow \tau_{ij}(t+1) \quad (۸)$$

در رابطه (۷)، ρ عامل تبخیر است و به‌صورت $0<\rho<1$ تعریف می‌شود. همچنین $\Delta\tau ij(t)$ در رابطه (۸)، یک مقدار به‌روزرسانی شده است؛ این مقدار درصورتی‌که مسیر مربوطه توسط مورچه طی نشده باشد، برابر صفر خواهد بود؛ بنابراین تبخیر فرومون و یا تقویت آن در یک مسیر، در این مرحله رخ می‌دهد (Dorigo et al., 1996).

نتایج و بحث

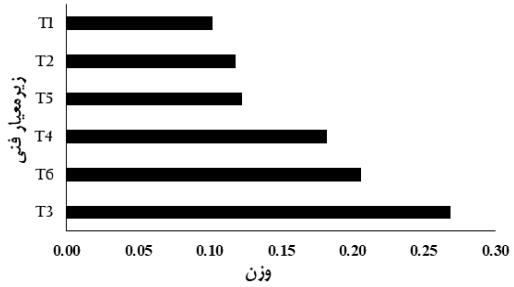
خروجی‌های نرم‌افزار Expert Choice

بعد از اجرای نرم‌افزار، نتایج معیارهای اصلی و زیرمعیارهای آن به دست آمد که خروجی‌های آن در شکل‌های (۳) تا (۸) ارائه‌شده است. نتایج رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد فنی (T) نشان می‌دهد که برترین زیرمعیار در این معیار به ترتیب T3، T6 و T4 می‌باشند (شکل ۳).

زیرمعیار T3 بیانگر "تأمین نیاز آبی گیاه" بوده و ازآنجایی که دغدغه و ابهام اصلی کشاورزان در اجرای سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار تأمین نیاز آبی گیاه می‌باشد، لذا این عامل موردتوجه کارشناسان قرارگرفته و وزن قابل‌توجهی را به خود اختصاص داده است. گزینه دوم T6 یا "امکان تحویل آب" بوده که به‌نوعی از جنس گزینه اول می‌باشد.

با توجه به این‌که نوسانات تحویل آب در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین تقریباً بالا می‌باشد، لذا متخصصینی که پرسشنامه‌ها را تحلیل کردند، این زیرمعیار را بسیار مهم دانسته و نمره قابل‌توجهی را برای آن لحاظ کردند. گزینه T4 "الگوی کشت" منطقه بوده و این‌که سیستم آبیاری تحت‌فشار بتواند آب مصرفی گیاهان و الگوی کشت مختلف در دشت و اراضی تحت پوشش را تأمین کند، ارزش بالایی داشته است. T1 (انرژی)، T2 (عمر مفید سیستم) و T5 (نوع خاک و توپوگرافی) نیز دیگر زیرمعیارهای بعد فنی بودند.

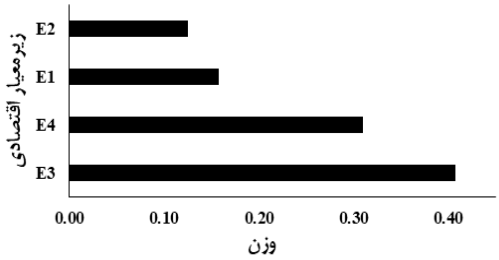
مطالعات نائینی و همکاران (۱۳۹۸) و مراد زاده و همکاران (۱۳۹۸) نیز تأکید بر لزوم در نظر گرفتن مسائل فنی در انتخاب نوع سیستم آبیاری تحت‌فشار داشته‌اند.



شکل ۳- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد فنی

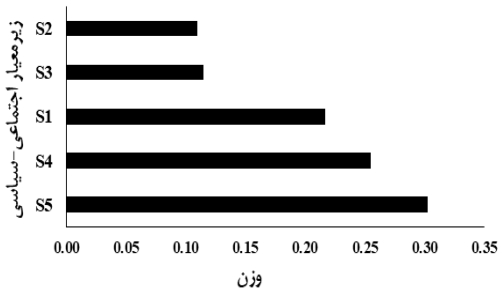
شکل (۴) رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اقتصادی (E) را نشان می‌دهد که به ترتیب E3، E4، E1 و E2 بودند. از بین چهار زیرمعیار موردبررسی، E3 "نسبت درآمد به هزینه" برترین گزینه ازنظر کارشناسان بوده است. میزان دریافتی و سود حاصل از فروش محصول بعد از اجرای سیستم و اطلاع از نسبت میزان درآمد به هزینه‌های آن، برای زارع بسیار مهم است. E4 "توان مالی کشاورز برای ایجاد سیستم" بوده و این گزینه در تأکید و تأیید گزینه برتر است. این‌که کارشناسان و افراد تکمیل‌کننده پرسشنامه بحث توان مالی کشاورز را در همه موارد ارجح دانسته‌اند، بسیار قابل‌تأمل بوده و اهمیت بالایی در تصمیم-گیری‌ها داشت. E1 "هزینه بهره‌برداری و نگهداری" یکی دیگر از گزینه‌های مهم ازنظر کارشناسان بوده است. این‌که کشاورز بعد از اجرای سیستم بتواند هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری را تأمین کند، مهم بوده و لذا در هر شرایطی توان

مالی کشاورز و بهره‌بردار؛ دارای اهمیت بود. گزینه چهارم یعنی E2 (هزینه نسبی آب) نیز، امتیازی برابر با گزینه سوم امتیاز داشت. قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳) نیز به لزوم و اهمیت در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در انتخاب نوع سیستم اذعان داشته‌اند.



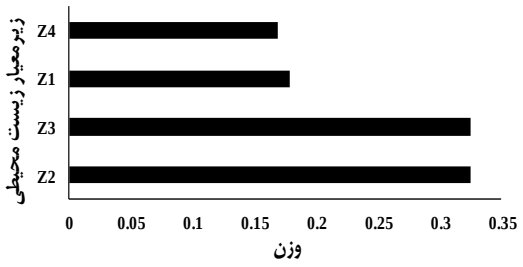
شکل ٤- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اقتصادی

شکل (۵) رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اجتماعی-سیاسی (S) است که برترین گزینه‌ها به ترتیب S5، S4 و S1 می‌باشد."تسهیلات دولتی یا S5" مهم‌ترین گزینه ازنظر کارشناسان بوده و بحث تخصیص اعتبارات برای راه‌اندازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار از جمله باارزش‌ترین گزینه‌ها در بحث بعد اجتماعی-سیاسی است و S4 "سیاست‌گذاری تخصیص آب به کشاورزی" گزینه دوم بود. با توجه به این‌که میزان آب موردنیاز کشاورزی به ذخیره آب پشت سد بستگی دارد؛ در شرایط کم‌آبی حاضر که اهمیت بخش شرب و صنعت بسیار حیاتی است، چالش بسیار بزرگی در تأمین آب کشاورزی و تخصیص آن به شبکه‌های آبیاری وجود دارد. اجرای سامانه‌های تحت‌فشار در گرو اولویت‌دهی مدیران و تصمیم گیران در تخصیص آب کشاورزی در قیاس با دیگر بخش‌ها (شرب و صنعت) می‌باشد. S1 "پذیرش سیستم توسط کشاورزان" از دیگر گزینه‌های مهم بوده و انتظار می‌رفت که برترین گزینه باشد. تا وقتی‌که سیستم موردپذیرش واقع نشود، نمی‌توان درباره باقی بخش‌ها صحبت کرد. گزینه چهارم یعنی S3 (امنیت منطقه) و پنجم یعنی S2 (سطح سواد کشاورزان) به یک اندازه اهمیت داشته است. نتایج قدوسی و ملکشی (۱۳۹۳) که عوامل اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی، اقلیمی،خصوصیات کمی و کیفی خاک، خصوصیات کیفی آب و توپوگرافی را عوامل تأثیرگذار در انتخاب سیستم آبیاری بارانی می‌دانند، نیز در تکمیل مطالب فوق است.



شکل ٥- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد اجتماعی- سیاسی

رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی (Z) نشان داد که گزینه‌های برتر آن به ترتیب Z2، Z3 و Z1 است (شکل ۶). با توجه به این‌که در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار میزان تلفات آب نسبت به روش آبیاری سطحی کاهش می‌یابد و به عبارتی به پایداری آب زیرزمینی کمک شایانی می‌کند؛ ازاین‌رو گزینه Z2 " تعادل بخشی سطح آب زیرزمینی" موردتوجه ویژه قرار گرفته است. درست است که کشاورزان و بهره‌برداران در صورت ایجاد سیستم تحت‌فشار، اراضی تحت کشت خود را توسعه می‌دهند، اما نباید از ماهیت سیستم آبیاری تحت‌فشار در صرفه‌جویی مصرف آب و تعادل بخشی سطح آب زیرزمینی غافل شد. Z3 "کیفیت آب آبیاری" امتیاز برابر با گزینه برتر داشته و اهمیت کیفیت منبع تأمین آب در به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار را نشان می‌دهد.



شکل ٦- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد زیست‌محیطی

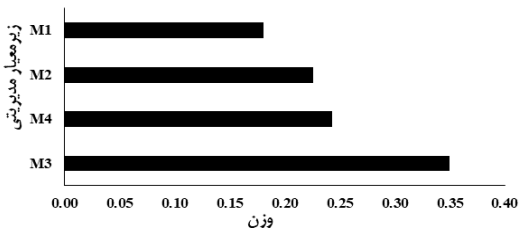
گزینه Z1 که بیانگر مورد "شوری خاک" می‌باشد که خود از کیفیت آب آبیاری تأثیر می‌پذیرد زیرا مستقیماً بر عملکرد محصولات اثرگذار است. "تأثیر کود و سموم بر محصول و خاک یعنی Z4" امتیاز برابری با شوری خاک داشته است.

آریا آذر و مجنونی هریس (۱۳۹۸) نیز در مطالعه‌ای به تأثیر معیارهای کمی و کیفی آب، راندمان آبیاری و خاک را در انتخاب کاربرد بهترین سیستم آبیاری با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه رودخانه آجی چای تأکید داشتند.

شکل (۷) رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد مدیریتی (M) را نشان می‌دهد. M3 "کاهش تلفات نسبت به روش سطحی" برترین گزینه این بعد بوده و کاملاً قابل‌انتظار است زیرا که اگر تلفات سیستم آبیاری تحت‌فشار نسبت به روش‌های مرسوم کاهش قابل‌توجهی نداشته باشد به‌هیچ‌وجه توسعه آن قابل توجیه نیست.

گزینه M4 "تشکل آب بران" از دیگر گزینه‌های مهم بوده و بحث مدیریت و توزیع آب توسط خود کشاورزان، اهمیت بالایی ازنظر کارشناسان و متخصصان داشته است.

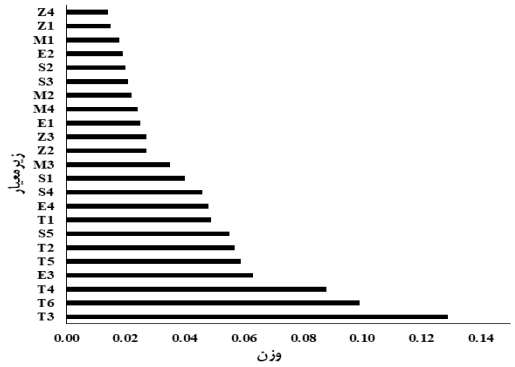
M2 "میزان سازه‌های انتقال آب" گزینه سوم ازنظر اهمیت در بخش مدیریتی مطرح‌شده است. M1 "تعداد کارکنان متخصص" موجود در شبکه و بحث کنترل و به‌کارگیری بهینه از سامانه‌ها، برخلاف انتظار آخرین زیرمعیارها در بعد مدیریتی بیان‌شده است. نتایج نیک مهر و زیبایی (۱۳۹۵) نیز با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.



شکل ۷- رتبه‌بندی زیرمعیارهای بعد مدیریتی

شکل (۸) رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها را نشان می‌دهد. گزینه‌ای که با اختلاف نسبت به دیگر عوامل به‌عنوان برترین گزینه انتخاب شد، زیرمعیار تأمین نیاز آبی گیاه از معیار فنی بود. این گزینه در معیار فنی هم برترین گزینه شده بود. به‌طورکلی سه گزینه برتر در بعد فنی، پارامترهایی هستند که در بررسی نهایی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و این امر نشان می‌دهد که اولاً، بعد فنی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در توسعه سامانه‌های آبیاری بوده و ثانیاً، بحث تأمین نیاز آبی گیاه، امکان تحویل آب و الگوی کشت به سیستم موردتوجه ویژه کارشناسان و متخصصان بوده است.

به‌غیراز گزینه نسبت درآمد به هزینه (گزینه چهارم) از معیار اقتصادی، گزینه پنجم (نوع خاک و توپوگرافی) و ششم (عمر مفید سیستم) هم از معیار فنی می‌باشد. تعداد کارکنان متخصص (بعد مدیریتی)، شوری خاک و تأثیر کود و سموم بر محصول و خاک (بعد زیست‌محیطی) جزء گزینه‌های کم‌اهمیت بودند که تأمل‌برانگیز است زیرا به بحث زیست‌محیطی، آن‌طور که بایدوشاید، توجه نشده است.



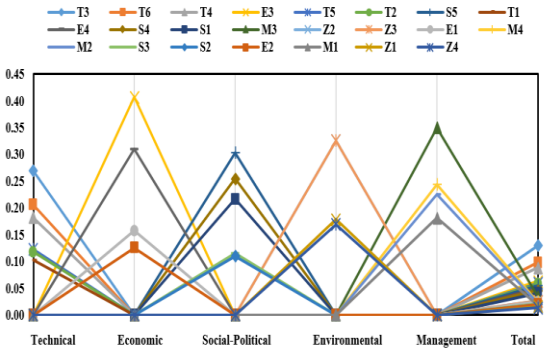
شکل ۸- رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها

آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت، بر اساس کارایی[1]، پویا[2]، شیب[3]، دوبعدی[4] و اختلاف[5] به پنج گروه تقسیم می‌شوند که در این تحقیق از آنالیز حساسیت بر اساس کارایی استفاده شد. آنالیز حساسیت انجام‌شده بر اساس رتبه‌بندی زیرمعیارها در شکل (۹) ارائه‌شده است. در این شکل، محور عمودی سمت چپ، وزن معیارها و محور عمودی سمت راست، وزن زیرمعیارها و در محور افقی عنوان معیارها می‌باشد. ترتیب زیرمعیارهای برتر و کم اثرتر دقیقاً متناظر با رتبه‌بندی کلی زیرمعیارها (شکل ۸) می‌باشد. تأمین نیاز آبی گیاه، امکان تحویل آب و الگوی کشت هر سه از معیار فنی، جز سه گزینهٔ با حساسیت بالا بوده و تعداد کارکنان متخصص از بعد مدیریتی، شوری خاک و تأثیر کود و سموم بر

[1] Performance
[2] Dynamic
[3] Gradient
[4] Two-Dimensional
[5] Difference

محصول و خاک از بعد زیست‌محیطی سه گزینه با حساسیت کمتر شناخته شدند. این بدان معنی است که برای مثال گزینه T3 "تأمین نیاز آبی گیاه" بیشترین تغییرات در امتیازدهی توسط افراد تکمیل‌کننده پرسشنامه را داشته است. برای دیگر گزینه‌های برتر نیز همین توضیحات صادق است اما برای گزینه‌هایی که اهمیت کمتری داشته‌اند، تغییرات امتیازدهی تکمیل‌کنندگان پرسشنامه کمتر بوده و تقریباً همگی آن‌ها اتفاق‌نظر داشته‌اند. وزن کلی معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی–سیاسی، مدیریتی و زیست‌محیطی به ترتیب برابر با ۰/۴۳، ۰/۲، ۰/۱۸، ۰/۱۱ و ۰/۰۸ است. ممکن است از دیدگاه کشاورز چنین اعدادی حاصل نشود اما هدف استفاده از نظر کارشناسان اجرایی و دانشگاهی می‌باشد.



شکل ۹- آنالیز حساسیت تمامی معیارها و زیرمعیارها

بررسی‌ها نشان می‌دهد مسائل فنی و اقتصادی از دیدگاه کارشناسان بیش از سایر عوامل موردتوجه قرارگرفته است. این رویکرد کارشناسان در راستای دغدغه‌های اصلی کشاورز از قبیل تأمین نیاز آبی به‌موقع گیاه و درآمد کشاورز نیز است اما باید توجه داشت مسائل اجتماعی از جمله پذیرش این سیستم نزد کشاورزان، سطح سواد کشاورزان در مدیریت این سیستم و وجود تسهیلات لازم در درازمدت در خصوص اجرای آن می‌تواند از محدودیت‌های اصلی در توسعه این سیستم باشد. به دلیل حاصلخیزی دشت، وجود آب با کمیت و کیفیت مناسب در آن در خصوص اجرای سیستم تحت‌فشار شاید سبب شده مسائل زیست‌محیطی در نظر گرفته‌شده در این مطالعه ازنظر کارشناسان از جایگاه خاصی برخوردار نباشد اما باید توجه داشت که مسائل زیست‌محیطی در درازمدت در خصوص هرگونه توسعه باید موردتوجه قرار گیرد. به‌طورکلی در کنار دیدگاه کارشناسان و مدیران در خصوص توسعه سیستم تحت‌فشار در دشت بایستی به‌صورت یکپارچه همه مسائل فنی، اقتصادی، اجتماعی–سیاسی، زیست‌محیطی و مدیریتی در نظر گرفته شود.

نتایج الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (ACO) و مقایسه با روش AHP

مجموع حجم آب تحویلی کانال‌های شبکه آبیاری دشت قزوین ۲۵۵۷۵۴/۴ هزار مترمکعب است که با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۵۰ درصد، حجم آب خالص ۱۲۷۸۷۷/۲ هزار مترمکعب مساحت تحت کشت آبی شبکه ۴۱۰۰۰ هکتار است. در این مطالعه حجم آب در دسترس را با حالت‌های مختلف تأمین آب ۱۰۰، ۸۰، ۷۵ و ۷۰ درصد نظر گرفته شد و مساحت‌ها و حجم آب بهینه با هدف ماکزیمم سازی سود خالص برآورد شد. الگوی کشت بهینه توسط ACO و الگوی کشت وضع موجود و الگوی پیشنهادی جهاد کشاورزی در جدول (۴) آورده شده است. مقایسه الگوی بهینه کشت هر سه حالت حجم آب در دسترس نشان می‌دهد که در صورت حجم آب ۱۰۰ درصد، مساحت ۴۱۰۰۰ هکتار زیر کشت می‌رود و با تأمین آب ۸۰، ۷۵ و ۷۰ درصد مساحت کشت به ترتیب به ۳۲، ۳۱ و ۲۶ هکتار کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که از نتایج روش ارزیابی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) شبکه آبیاری قزوین و با بررسی وزن هرکدام از زیرمعیارها نیز مشخص شد که اولاً، بحث فنی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در توسعه سامانه‌های آبیاری بوده و ثانیاً، بحث تأمین نیاز آبی گیاه با وزن ۰/۱۲۹، امکان تحویل آب با وزن ۰/۰۹۹ و الگوی کشت با وزن ۰/۰۸۸ از مهم‌ترین عواملی هستند که موردتوجه ویژه کارشناسان و متخصصان قرارگرفته‌اند. تأمین آب شامل همین زیرمعیارهای تأثیرگذار با وزنی قابل‌توجه در توسعه شبکه آبیاری تحت‌فشار (حفظ سطح کشت فعلی) است. به‌طوری‌که مشخص است، حدود ۰/۳۱۶ از وزن معیارها مربوط به تأمین آب است (۰/۱۲۹+۰/۰۹۹+۰/۰۸۸) و در صورت کمبود آب در شبکه

آبیاری به میزان ۳۰ درصد، حدود یک‌سوم از شبکه بایستی به‌صورت آبش درآید و به‌جای ۴۱۰۰۰ می‌توان ۲۶۰۰۰ هکتار را به زیر کشت برد. لذا برای حفظ سطح زیر کشت شبکه با حفظ الگوی کشت فعلی و منابع آب موجود لازم است وضع موجود به سمت روش آبیاری تحت‌فشار جهت‌یابی کند. این نتیجه تأییدی بر صحت نتایج روش AHP در ارزیابی شبکه و تأیید وزن و اهمیت معیار فنی و زیرمعیارهای نیاز آبی گیاه، تحویل آب و الگوی کشت حاصل از روش AHP و هم‌راستا بودن با روش ACO است.

جدول ٤- تغییرات الگوی کشت تحت حجم ۸۰، ۷۵ و ۷۰ درصد آب در دسترس با استفاده از ACO

درصد حجم آب (مترمکعب)	متغیر تصمیم	سود خالص	محصولات									مجموع
			گندم	جو	کلزا	آیش	ذرت دانه‌ای	ذرت علوفه‌ای	سیب زمینی	گوجه	لوبیا	چغندر قند	آیش	
۱۰۰ درصد	مساحت (هکتار)	۱۵۸۱/۷ E+	۱۰۷۴۰	۵۱۶۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۱۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۰	۴۱۰۰۰
۱۲۷۸۷۷/۲	آب (میلی‌متر بر هکتار)		۳۲۷	۱۴۲	۲۹۰	۰	۴۱۰	۱۸۶/۲	۷۳۱	۷۶۶/۴	۵۴۸/۸	۹۴۳	۰	۱۲۷۸۷۶۰۰۰
۸۰ درصد	مساحت (هکتار)	۱۵۳۳/۵ E+	۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۷۰۰۰	۱۴۰۰۰	۲۰۰۰	۶۹۹	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۱۰۱	۴۱۰۰۰
۱۱۵۰۸۹/۴۸	آب (میلی‌متر بر هکتار)		۳۲۷	۱۴۲	۲۹۰	۰	۴۱۰	۱۸۶/۲	۷۳۱	۷۶۶/۴	۵۴۸/۸	۹۴۳	۰	۱۰۲۲۹۹۴۹۰
۷۵ درصد	مساحت (هکتار)	۱۲۴۱/۴ E+	۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۴	۷۰۰۰	۱۳۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۶۹۶	۴۱۰۰۰
۱۰۲۳۰۱/۷۶	آب (میلی‌متر بر هکتار)		۳۲۷	۱۴۲	۲۹۰	۰	۴۱۰	۱۸۶/۲	۷۳۱	۷۶۶/۴	۵۴۸/۸	۹۴۳	۰	۹۵۶۹۴۴۰۰
۷۰ درصد	مساحت (هکتار))	۱۲۵۱/۳ E+	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰۰	۴۰۳۰۰
۸۹۵۱۴/۴	آب (میلی‌متر بر هکتار)		۳۲۷	۱۴۲	۲۹۰	۰	۴۱۰	۱۸۶/۲	۷۳۱	۷۶۶/۴	۵۴۸/۸	۹۴۳	۰	۸۹۴۰۰۸۰۰

نتیجه‌گیری

توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار با هدف صرفه‌جویی آب با توجه به مشکل کم‌آبی و همچنین به دلیل پایین بودن راندمان کاربرد آب، تلفات آب و ضعف زیرساخت‌ها به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در دهه‌های اخیر در دستور کار مدیران و سیاست‌گذاران بوده است. در ارزیابی اجرای هرگونه طرح، عوامل متعددی از قبیل فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، زیست‌محیطی، مدیریتی و غیره دخالت دارند به‌طوری‌که هرکدام از عوامل می‌تواند همسو و یا در تقابل با یکدیگر باشند. در این پژوهش به بررسی ارزیابی پتانسیل توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار در اراضی دشت قزوین با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با لحاظ عوامل مختلف فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، اجتماعی زیست‌محیطی و مدیریتی پرداخته شد. طبق بررسی‌های انجام‌شده در رابطه با امکان توسعه سیستم آبیاری تحت‌فشار در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین، تأمین نیاز آبی گیاه از معیار فنی بیشترین وزن را داشته و تأثیر کود و سموم بر محصول و خاک از معیار زیست‌محیطی کمترین تأثیر در توسعه سیستم مذکور را داشته است. آنالیز حساسیت انجام‌شده نیز به ترتیب برتری معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی–سیاسی، مدیریتی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد که حاکی از تأثیرگذاری بیشتر معیار فنی می‌باشد. برای استفاده پایدار از منابع آب و کاهش هدر رفت آن با توجه به مقدار آب موردنیاز محصولات، توزیع زمانی آب در منطقه تحت پوشش شبکه بایستی توسط مسئولان بهره‌برداری، اصلاح شود. با توجه به این‌که در سال‌های اخیر کاهش ذخایر آبی اتفاق افتاده است، بایستی برنامه‌ای هدفمند و بلندمدت برای منابع آب موجود

تدوین شود و سیاست لازم برای تأمین نیاز آبی منطقه با به‌کارگیری سامانه‌های تحت‌فشار و کارآمد در حال حاضر و سال‌های آینده اتخاذ شود. به‌عنوان نتیجه کلی می‌توان ذکر کرد که اجرای سیستم آبیاری تحت‌فشار در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین هم ازنظر صرفه‌جویی و هم بهبود بهره‌وری آب بسیار مؤثر و کارا خواهد بود اما باید دغدغه‌های کشاورز و نیازهای آن‌ها نیز در نظر گرفته شود. همچنین نتایج نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی به‌علت ماهیت گسسته و کمی کردن پارامترهای مسئله به‌عنوان ابزاری توانمند و دارای انعطاف در بررسی و ارزیابی شبکه‌های آبیاری مطرح است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی، ضمن مطالعه دقیق الگوی کشت و تناوب زراعی، میزان منابع آب قابل‌دسترس و همچنین مقدار آب مصرفی واقعی در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین بتوان بهترین سناریوهای مدیریتی را باهدف دوجانبه افزایش درآمد کشاورز و همچنین ذخیره منابع آب در مخازن موجود در منطقه پیاده‌سازی کرد و رویکردهای به‌روز مدیریتی و فناوری‌های جدید را توسعه داد.

منابع

اروجلو، م.، هاشمی، س. م. و روزبهانی، ع. ۱۳۹۶. تحلیل ریسک سامانه اصلی انتقال آب در شبکه‌های آبیاری با رویکرد سلسله مراتبی فازی. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۲۴ (۵): ۴۷-۲۵.

آریاآذر، ن. و مجنونی هریس، ا. ۱۳۹۸. اولویت‌بندی کاربرد سامانه‌های آبیاری با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه رودخانه آجی‌چای. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۱): ۱۲۱-۱۰۹.

آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶) جلد اول: محصولات زراعی. چاپ اول، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۹۵ ص.

حبیبی کندبن، ع.، کیهانی، م.، پرورش ریزی، ع. و شیخ‌حسینی، م. ۱۳۹۶. استفاده از شاخص‌های خارجی فرآیند ارزیابی سریع در شبکه آبیاری قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸ (۳): ۵۰۲-۴۹۱.

حسنوی آتشگاه، م.، یاسی، م. و امیری تکلدانی، ا. ۱۳۹۸. الگوی تصمیم‌گیری در شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مبتنی بر روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سلسله مراتبی (AHP). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵ (۴): ۳۱۳-۲۹۹

حسنی، ی.، هاشمی شاهدانی، س. م. و زهرائی، ب. ۱۳۹۹. توسعه ساختار جدید بهره‌برداری-اقتصادی در شبکه‌های آبیاری فاقد بازار آب. نشریه علوم آب‌وخاک. ۲۴ (۱): ۴۳-۲۷.

خیرخواه زرکش، م.، ناصری، ح.، داوودی، م. و سلامی، ه. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی، مطالعه موردی دامنه شمالی کوه‌های کرکس-نطنز. پژوهش و سازندگی. ۲۱ (۲): ۱۰۱-۹۳.

دهقانی، ع.، امیر تیموری، س. و زارع مهرجردی، م.ر. ۱۳۹۸. کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی الگوی کشت (شهداد، شهرستان کرمان). اقتصاد کشاورزی. ۱۳ (۴): ۸۷-۱۰۳.

زادباقر، ا.، منتظر، ع. و حیدری، ن. ۱۳۸۷. ارزیابی بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

شکیبا، م.، ذاکری نیا، م.، شریفان، ح. و شهابی‌فر، م. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه-کمینه (MMAS) سیستم مورچگان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان). آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۱): ۷۴-۶۶.

عابدزاده، س.، روزبهانی، ع. و حیدری، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی ریسک طرح‌های توسعهٔ منابع آب با روش تحلیل درخت خطا (مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ ۴ مکران و بندرعباس). اکوهیدرولوژی. ۷ (۱): ۴۵-۲۹.

عباسی، ف.، محمدی، ح.، بازگیر، س. و آزادی، م. ۱۳۹۷. برآورد تاریخ بهینه کشت و مراحل حساس رشد به تنش آبی در مناطق عمده کشت گندم دیم ایران. مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۲۸۷-۲۶۷.

قدسی پور، ح. ۱۳۹۵. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۲۲۲ ص.

قدوسی شهر رضایی، ح. ۱۳۸۰. بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری با انجام تحلیل حساسیت در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها DEA. دانشگاه تربیت مدرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. ۱۱۵ ص.

قدوسی، ح. و ملکشی، ف. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین (AHP) (از فرایند تحلیل سلسله مراتبی). پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۲۱ (۲): ۱۳۱-۱۵۲.

کاکویی، س. و عمادی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی توزیع آب (مطالعه موردی: کانال MC شبکه آبیاری البرز). پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۲۰ (۲): ۱۹۴-۱۷۹.

مراد زاده، پ.، اوجاقلو، ح. و قبایی سوق، م. ۱۳۹۸. ارزیابی موقعیت سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت زنجان). آب‌وخاک. ۲۳ (۴): ۵۷۸-۵۶۵.

مرید نژاد، ع.، لیاقت، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۴. تحلیل نتایج مطالعات ارزیابی تغییر سیستم آبیاری سطحی به آبیاری تحت‌فشار در شبکه‌های فرعی آبیاری اراضی ۵۵۰۰۰۰ هکتاری مؤسسه جهاد نصر در استان خوزستان. اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طرح احیاء ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام. ۲۶ و ۲۷ آبان.

مولوی، ح.، لیاقت، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۵. ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبیاری با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضهٔ آبریز ارس). مدیریت آب و آبیاری. ۶ (۲): ۲۳۶-۲۱۷.

نائینی، م. س.، لیاقت، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۸. ارزیابی سامانه-های آبیاری نخلستان‌های بوشهر و تعیین مناسب‌ترین سامانه با استفاده از روش AHP. مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۲۲۵-۲۱۱.

نیک‌مهر، س. و زیبایی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی طرح‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان: کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش تاپسیس. اقتصاد کشاورزی. ۱۰ (۲): ۱۹۰-۱۷۳.

Babazadeh, A., Poorzahedy, H., and Nikoosokhan, S. 2011. Application of particle swarm optimization to transportation network design problem. Journal of King Saud University-Science. 23(3): 293-300.

Donoso, G. 2021. Economics of Water Resources. In Water Resources of Chile (pp. 335-346). Springer, Cham.

Dorigo, M., and Blum, C. 2005. Ant colony optimization theory: A survey. Theoretical computer science. 344(2-3): 243-278.

Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. 1996. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics). 26(1): 29-41.

Karami, E. 2006. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. Agricultural Systems. 87(1): 101-119.

Montazar, A. and Behbahani, S. M. 2007. Development of an optimized irrigation system selection model using analytical hierarchy process. Biosystems Engineering. 98(2): 155-165.

Neissi, L., Albaji, M. and Nasab, S. B. 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. Agricultural Water Management. 231, 106004.

Okada, H., Styles, S. W. and Grismer, M. E. 2008. Application of the Analytic Hierarchy Process to irrigation project improvement: Part I. Impacts of irrigation project internal processes on crop yields. Agricultural Water Management. 95(3): 199-204.

Pramana, N. and Prajanti, S. D. W. 2019. Protection Strategies on Irrigated Farm Using Analytic Hierarchy Process. Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi dan Pembangunan. 19(2): 207-217.

Wind, Y. and Saaty, T. L. 1980. Marketing applications of the analytic hierarchy process. Management Science. 26(7): 641-658.

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 2, Autumn and Winter 2021, 15-30

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص. ۳۰-۱۵

Evaluation of Potential Development of Pressurized Irrigation in Qazvin Plain with Analytical Hierarchy Process and Ant Colony Optimization Algorithm

O .Raja[1], F. Mirzaei[2*], M. Pourgholam-Amiji[3], M. Hooshmand[4], M. Saleh[5] and F. Balovi[6]

Abstract

Given the problem of water scarcity, population growth, and the need for more production, assessing the development potential of the pressurized irrigation system to save water and increase productivity in the Qazvin plain can be considered as a management and decision-making tool. In this study, the potential development of a pressurized irrigation system in the irrigation and drainage network of Qazvin plain investigated using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The hierarchical analysis structure consisted of five technical, economic, socio-political, environmental, and managerial dimensions, each of which had several sub-criteria. Experts completed eighteen questionnaires. After completing the questionnaires, the results analyzed using Expert Choice software. The calculated incompatibility rate was 0.084, which was less than the maximum allowable (0.1). Examination of the final weighting of each of the sub-criteria showed that firstly, the technical dimension is the most critical factor influencing the development of pressurized irrigation systems. Secondly, the sub-criterion of the water supply of the plant with 0.129 weight, water delivery with 0.099 weight, and cultivation pattern with 0.088 weight, all of them from technical dimension; these most important factors have received special attention from experts and specialists. In other words, of the top six sub-criteria, five were the technical dimension, and only one was the economic dimension. Sensitivity analysis results also showed the overall weight of technical, economic, socio-political, managerial, and environmental criteria equal to 0.43, 0.2, 0.18, 0.11, and 0.08, respectively, indicating greater technical dimension effectiveness and consensus of different researchers. Also, the effect of different network water supply scenarios on cultivation pattern by ant colony optimization (ACO) algorithms confirmed the results of AHP.

Keywords: Crop Water Requirement, Development, Expert Choice, Irrigation System, Sensitivity Analysis

1, 3, 4 and 6- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran (*Corresponded Author Email: Fmirzaei@ut.ac.ir)
5- MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
Received: 18 October 2020
Accepted: 8 January 2021