نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۳۴۳-۳۳۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 333-343

مقاله علمی-پژوهشی

توسعه الگوی بهینه کشت در شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد تحت سناریوهای مختلف آبیاری در مقیاس مزرعه و شبکه

نسرین آزاد[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲]، جواد بهمنش*[۳]، حسین رضایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

چکیده

بهینه‌سازی الگوی کشت می‌تواند بهترین راهکار برای کاهش مصرف آب به همراه حفظ یا افزایش تولیدات کشاورزی و در نتیجه افزایش درآمد کشاورزان باشد. در این تحقیق الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد (به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار) با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO با هدف افزایش سود خالص شبکه بر اساس مقدار آب تحویلی مشخص و افزایش بهره‌وری آب بهینه‌سازی شد. بهینه‌سازی در ۶ تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری و دو استراتژی اجرای کم‌آبیاری (H1: در آب تحویلی به شبکه و مزرعه و H2: در آب تحویلی به شبکه) انجام شد. در نهایت، مقدار آب مصرفی، سود خالص و بهره‌وری اقتصادی در الگوی کشت بهینه با وضع موجود مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در استراتژی H1، با مصرف آب برابر با وضع موجود، مقدار سود خالص و بهره‌وری در الگوی کشت بهینه نسبت به وضع موجود حدود ۱۶/۷ درصد افزایش نشان داد. در استراتژی H2، بهره-وری نسبت به وضع موجود در همه تیمارها افزایش یافت. به‌طوری‌که حتی با کاهش حدود ۴۰ درصد آب تحویلی به شبکه، بهره‌وری اقتصادی حدود ۳۷ درصد نسبت به وضع موجود افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، بهره‌وری آب، سود خالص، کم‌آبیاری

مقدمه

از جمله اساسی‌ترین چالش‌های موجود در بخش کشاورزی با توجه به محدودیت منابع آب قابل‌دسترس و رقابت فزاینده آن با بخش صنعت، محیط‌زیست و ...، این است که علیرغم افزایش پتانسیل تولید محصولات کشاورزی، به دلیل فقدان یک سیستم مدیریتی صحیح امکان استفاده بهینه از منابع آب موجود میسر نشده است و خشک‌سالی‌ها و کاهش نزولات جوی و افزایش جمعیت، کاهش میزان آب استحصالی را در این بخش به دنبال داشته است. در این راستا، ضرورت استفاده از ساز و کارها و بررسی راهکارهای استفاده بهینه از آب از طریق بازنگری در تخصیص منابع آب و مدیریت صحیح عرضه و تقاضا در مدیریت سامانه‌های آبیاری به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب، امری لازم و ضروری می‌باشد.

تنوع گیاهی در یک منطقه و سطح زیر کشت آن و در نتیجه نیاز آبی، از عوامل اصلی تعیین میزان مصرف آب سطحی و استخراج آب های زیرزمینی موجود در آن هستند. به بیان ساده‌تر، میزان استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی، ارتباطی مستقیم با الگوی کشت منطقه دارد. توجه به پایداری منابع آب، بدون اصلاح الگوی کشت، باعث اتلاف این منبع کمیاب تولید شده و منجر به کاهش درآمد کشاورزان می‌شود؛ بنابراین، می‌توان با توجه به میزان آب برداشت‌شده و یا میزان برداشت هدف، الگوی جدید بهینه‌ای از محصولات را در منطقه طراحی نمود (Barikani et al., 2012).

بهینه‌سازی الگوی کشت و تخصیص آب می‌تواند با اهداف مختلف صورت گیرد. اهداف اقتصادی مانند بیشینه کردن سود از رایج‌ترین هدف‌هایی است که کارشناسان در این فرایند مدنظر قرار می‌دهند (Moolman et al., 2006). کشاورزان نیز الگوی کشتی که

۱ - پژوهشگر پسادکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.6.5

بازگشت مالی بیشتری را تضمین کند موردحمایت قرار می‌دهند. ازاین‌رو، یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری اقتصادی در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی و در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید از جمله آب است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). رضاوردی‌نژاد (۱۳۸۹) الگوی کشت و تخصیص آب مصرفی در شرایط شوری و محدودیت آب در شبکه آبیاری سمت راست آبشار در اصفهان را با هدف افزایش سود خالص بهینه‌سازی نمود. در تحقیق مذکور درصد افزایش سود خالص کل شبکه در الگوی بهینه نسبت به الگوی موجود، حدود ۴۱/۶ درصد حاصل شد.

تحقیق کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در تعیین الگوی کشت مزارع کوچک‌مقیاس در محدوده مشهد- چناران نشان داد که تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی خطی باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی شد. در این راستا درآمد خالص کشاورزان ۲/۸۸ برابر و بهره‌وری انرژی نیز ۲۸ درصد بهبود خواهد یافت. میرزایی و همکاران (۱۳۹۵) در تعیین الگوی بهینه کشت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که در صورت مدیریت بهینه مقدار آب موجود و صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی کشت پاییزه، می‌توان سطح بیشتری را به کشت محصولات تابستان اختصاص داد و با استفاده از الگوی کشت پیشنهادی در کشت پاییزه و تابستانه میزان سود به ازای هر هکتار زمین به ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش می‌یابد. قربانی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهش خود به بهینه‌سازی الگوی کشت حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از دو روش برنامه‌ریزی خطی متعارف و آرمانی پرداختند و نشان دادند که با استفاده از برنامه-ریزی خطی متعارف می‌توان مصرف آب را در دو شهرستان گرگان و کردکوی به ترتیب ۶/۱۹ و ۸/۸ درصد کاهش و سود حاصل از تولید محصولات کشاورزی را در شهرستان‌های گرگان و کردکوی به ترتیب ۶/۱۲ و ۴/۱۰ درصد افزایش داد. از طرفی با استفاده از برنامه-ریزی آرمانی می‌توان ۴۶ درصد در گرگان و ۴۷ درصد در کردکوی مصرف آب را کاهش و هم‌زمان ۵ درصد سود حاصل از کشاورزی را افزایش داد.

رکا و همکاران یک مدل بهینه‌سازی در شرایط کمبود آب برای سیستم‌های آبیاری جنوب اسپانیا بسط دادند. هدف اصلی آن‌ها از این مدل تخصیص آب آبیاری برای سیستم‌های مختلف آبیاری به‌منظور دست‌یابی به حداکثر سود خالص بود (Reca et al., 2001a,b). کیپکورير و رأس یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی پویا را برای تعیین الگوی کشت بهینه محصولات تحت آبیاری در شرایط کمبود آب را توسعه دادند (Kipkorir and Raes, 2002). تابع هدف حداکثر نمودن سود خالص و متغیرهای تصمیم مدل آن‌ها سطح اختصاص‌یافته به هر محصول و مقدار آب اختصاص‌یافته به هر کدام بود. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند یک ابزار با ارزش برای تصمیم‌گیرنده‌ها به‌منظور تعیین الگوی کشت در یک فصل زراعی باشد. بنلی و کودال به‌منظور تعیین الگوی بهینه کشت در جنوب شرقی آناتولی، یک مدل غیرخطی را بسط دادند (Benli and Kodal, 2003). نامبردگان در نهایت مساحت بهینه اختصاص‌یافته به هر محصول و سود خالص عایدی برای مزرعه در حالت‌های آب کافی و کمبود آب را تعیین نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که برای مثال در ۵۰ درصد کم‌آبیاری، سود خالص مزرعه در الگوی کشت بهینه حدود ۲۵ دلار افزایش می‌یابد.

حسن و همکاران به‌منظور بهینه‌سازی تراکم کشت محصولات موجود در الگوی کشت فعلی منطقه فیصل‌آباد پاکستان، یک مدل برنامه‌ریزی خطی توسعه دادند (Hassan et al., 2004). تابع هدف مدل حداکثر نمودن سود خالص حاصل از فروش محصولات بود. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که الگوی کشت بهینه با مقدار آب موجود، موجب افزایش به ترتیب ۱/۸۸ و ۲ درصد سطح زیر کشت و سود خالص نسبت به حالت فعلی شد. رضایی و همکاران از پایه فازی الگوریتم بهینه‌سازی PSO[1] برای بهینه‌سازی الگوی کشت دشت نجف‌آباد در حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده کردند (Rezaei et al., 2017). طبق نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق آن‌ها، الگوی کشت بهینه کاهش میزان مصرف آب و افزایش بهره‌وری را نسبت به الگوی کشت فعلی نشان داد. بهینه‌سازی الگوی کشت دشت کرمانشاه توسط براتی و همکاران نشان داد که نسبت سود به‌دست‌آمده به آب استفاده‌شده در الگوی کشت فعلی ۰/۶۸ میلیون تومان به میلیون مترمکعب بوده و در سناریوهای مختلف بهینه‌سازی، این نسبت به ۱/۲۳، ۰/۸۹ و ۰/۹۴ افزایش یافت (Barati et al., 2020). چن و همکاران نیز برای هماهنگی بین اقتصاد و محیط‌زیست با در نظر گرفتن عدم قطعیت هیدرولوژیکی الگوی کشت منطقه را بهینه نمودند (Chen et al., 2021). نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که الگوی کشت بهینه در مقایسه با الگوی کشت فعلی موجب کاهش ۲۴/۷ درصد انتشار آلودگی و افزایش ۸ درصد منافع اقتصادی شد.

تحقیقات فوق‌الذکر نشان می‌دهند که اصلاح الگوی کشت به‌منظور جلوگیری از اتلاف منابع آب ضروری بوده و با بهینه‌سازی الگوی کشت می‌توان با توجه به میزان آب موجود یا هم‌زمان با کاهش مصرف آب نسبت به وضع موجود، منافع اقتصادی کشاورزان و درنتیجه بهره‌وری اقتصادی را نیز افزایش داد. شبکه مهاباد در سال-های گذشته با دریافت سالیانه ۱۴۰ میلیون مترمکعب آب از سد مهاباد برای ۱۲۰۰۰ هکتار از اراضی مدیریت شده است. ولی در حال حاضر به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر امکان تأمین این حجم آب از سد

1- Particle Swarm Optimization

امکان‌پذیر نبوده و کشاورزان منطقه در سال‌های اخیر با مشکل جدی کم‌آبی به‌خصوص در قسمت‌های انتهایی شبکه مواجه شده‌اند. از طرف دیگر، با خشک تر شدن دریاچه ارومیه و در نظر گرفتن برنامه‌های رهاسازی آب سدها جهت احیای دریاچه ارومیه، حجم آب قابل‌دسترس کشاورزان روز به روز کمتر شده و در نتیجه به دلیل به وجود آمدن تنش‌های آبی شدید گیاهان به دلیل کم آبیاری و کاهش محصول، خسارات جبران‌ناپذیری به کشاورزان منطقه تحمیل خواهد نمود. در واقع میزان تولیدات کشاورزی منطقه کاهش یافته و امنیت غذایی منطقه را با بحران جدی روبرو خواهد کرد. با توجه به توضیحات فوق در حال حاضر باید برنامه‌های اساسی در راستای ایجاد کشاورزی پایدار و ایجاد امنیت فکری کشاورزان منطقه در نظر گرفته شود. در این راستا بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه می‌تواند بهترین راهکار برای کاهش میزان مصرف آب در شبکه و افزایش میزان تولیدات محصولات زراعی و در نتیجه افزایش درآمد کشاورزان باشد. لذا هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی زراعی شبکه آبیاری مهاباد به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار می‌باشد.

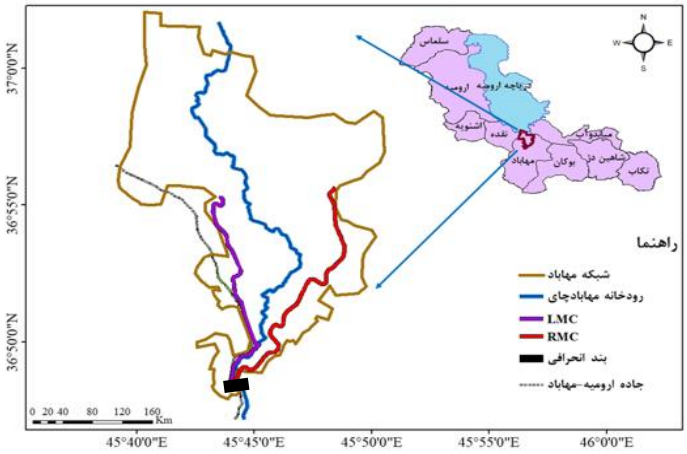
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این تحقیق جهت بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد با مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد یکی از پروژه‌های آبی مهم استان آذربایجان غربی می‌باشد که در شهرستان مهاباد قرار گرفته است. این شبکه بین '۴۵°۲۵ الی ۴۵°۵۰ طول شرقی و ۲۰ °۳۶ الی ۳۷°۵ عرض شمالی واقع شده (شکل ۱) و از جنوب به شهر مهاباد و از غرب و شرق به ارتفاعات منطقه و از شمال به دریاچه ارومیه محدود می‌شود. طرح سد مخزنی و شبکه مهاباد در فاصله ۱۰۲ کیلومتر جنوب ارومیه اجرا شده و سد مخزنی آن در فاصله کمتر از یک کیلومتری بالادست شهر مهاباد قرار دارد. کانال اصلی ساحل راست (RMC) بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای، طول حدود ۱۷ کیلومتر و حداکثر ظرفیت طراحی حدود ۸/۶ مترمکعب در ثانیه، در رقوم ۱۳۰۲/۴ از سد انحرافی مهاباد آبگیری می‌نماید و در حداکثر رقوم ارتفاعی ممکن در حاشیه شرقی شبکه در امتداد جاده " مهاباد – میاندوآب " پیش می‌رود. کانال اصلی ساحل چپ (LMC) بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای با طول حدود ۱۳/۵ کیلومتر و حداکثر ظرفیت طراحی ۸/۶ مترمکعب در ثانیه، از سد انحرافی مهاباد از رقوم ارتفاعی ۱۳۰۱/۲۲ آبگیری نموده و در امتداد رودخانه‌ی مهاباد در حداکثر رقوم ممکن ادامه داشته و اراضی پایین‌دست خود را به‌طور ثقلی آبیاری می‌کند.

جمع‌آوری آمار و اطلاعات موردنیاز

آمار و اطلاعات موردنیاز این طرح از مراکز مختلف از جمله شرکت آب منطقه‌ای، سازمان هواشناسی و سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی به شرح زیر جمع‌آوری‌شده و محاسبات لازم انجام گردید.



شکل ۱- محدوده منطقه موردمطالعه

الگو و تراکم کشت و عملکرد واقعی و پتانسیل محصولات شبکه: به‌منظور جمع‌آوری داده‌های الگو، سطح کشت، تراکم کشت و عملکرد واقعی محصولات الگوی کشت شبکه مهاباد برای سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ از آمار سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی و شرکت آب منطقه‌ای و همچنین عملکرد پتانسیل محصولات الگوی کشت از گزارش موسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بی‌نام،

۱۳۹۵) استفاده گردید (جدول ۱).

نیاز آبی محصولات الگوی کشت: به‌منظور برآورد نیاز آبی محصولات الگوی کشت شبکه، از روش پنمن مونتیث فائو (Allen et al., 1998) و گزارش موسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بی‌نام، ۱۳۹۵) که مربوط به بهنگام سازی نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور در استان آذربایجان غربی و شامل تقویم زراعی، طول مراحل رشد و ضرایب گیاهی محصولات می‌باشد استفاده گردید. آب خالص موردنیاز و نیاز آب آبیاری برای محصولات الگوی کشت زراعی مهاباد در جدول ۱ ارائه شده است.

برآورد توابع تولید-آب محصولات: زمانی که مقدار تخلیه رطوبت از منطقه ریشه بیشتر از آب سهل‌الوصول گردد، تنش آبی بر گیاه وارد می‌گردد. توابع مقیاس درون فصلی تأثیر کم‌آبی بر عملکرد محصول را بررسی نموده‌اند که پرکاربردترین آن‌ها تابع دورنبوس و کسام در نشریه ۳۳ فائو می‌باشد (Doorenbos and Kassam, 1979) که فرم آن به‌صورت تابع زیر می‌باشد:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - k_y \times (1 - \frac{ET_a}{ET_m}) \quad (۱)$$

که در آن، رابطه عملکرد نسبی $(\frac{Y_a}{Y_m})$ به تبخیر و تعرق نسبی $(\frac{ET_a}{ET_m})$ مرتبط می‌گردد. اندیس m مربوط به حالت پتانسیل عملکرد و تبخیر و تعرق می‌باشد و اندیس a مربوط به عملکرد و تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد. k_y نیز ضریب حساسیت گیاه به تنش آبی است. در این طرح به‌منظور برآورد ضریب حساسیت گیاه به تنش خشکی، از مقادیر ارائه‌شده در نشریه ۳۳ فائو (Doorenbos and Kassam, 1979) استفاده گردید (جدول ۱).

منبع تأمین آب: مقدار عرضه در شبکه شامل مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. مقدار عرضه آب سطحی (تحویلی) به شبکه از آمار دریچه‌های آبگیر و مقدار برداشت آب زیرزمینی، بر اساس آمار چاه‌های اخذشده از شرکت آب منطقه‌ای محاسبه گردید. جهت تفکیک چاه‌های داخل محدوده شبکه از کل دشت مهاباد، از نرم‌افزار GIS استفاده گردید.

هزینه تولید و قیمت فروش محصولات: هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های ثابت و متغیر می‌باشد. هزینه‌های تولید هر یک از محصولات شامل هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت بوده و به همراه قیمت فروش محصولات و هزینه آب‌بهای سطحی از آمار سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی و شرکت آب منطقه‌ای برای سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید.

جدول ۱- الگوی کشت محصولات زراعی شبکه مهاباد، آب خالص موردنیاز و نیاز خالص آبیاری، عملکرد واقعی و پتانسیل و ضریب حساسیت گیاه به تنش خشکی الگوی کشت

محصول	الگوی کشت		آب خالص موردنیاز	تأمین‌شده از بارندگی	نیاز خالص آب آبیاری	عملکرد واقعی	عملکرد پتانسیل	ضریب حساسیت گیاه به تنش خشکی (ky)
	هکتار	درصد	مترمکعب در هکتار			کیلوگرم بر هکتار		-
یونجه	۱۶۹۶/۴	۲۸/۲	۱۰۹۷۱	۶۶۱	۱۰۳۱۰	۷۱۴۵/۶	۹۱۶۱	۱/۱
گندم	۱۴۴۴/۴	۲۴/۰	۵۸۴۵	۱۳۵۹	۴۴۸۶	۳۲۴۸	۴۱۱۱/۴	۱/۰۵
جو	۶۲۲/۴	۱۰/۳	۴۵۶۰	۱۲۹۰	۳۲۷۰	۳۲۱۷/۹	۴۰۷۳/۳	۱/۰۵
چغندر	۵۶۷/۹	۹/۴	۹۷۲۷	۴۶۱	۹۲۶۶	۶۰۵۵۷/۸	۷۵۶۹۷/۳	۱
ذرت دانه‌ای	۲۷۶/۵	۴/۶	۷۵۰۷	۲۲۷	۷۲۸۱	۷۸۲۲/۳	۹۵۳۹/۴	۰/۹
پیاز	۷۹/۸	۱/۳	۸۲۰۳	۴۵۵	۷۷۴۸	۵۳۱۲۲/۳	۶۸۱۰۵/۵	۱/۱
آفتابگردان روغنی	۲۳/۴	۰/۴	۶۲۳۹	۱۲۲	۶۱۱۶	۱۳۷۹/۶	۱۷۰۳/۲	۰/۹۵
گوجه‌فرنگی	۹/۰	۰/۱	۷۲۶۷	۳۵	۷۲۳۲	۳۳۹۹۴/۵	۴۳۰۳۱	۱/۰۵
کلزا	۶/۱	۰/۱	۵۴۵۶	۱۶۴۴	۳۸۱۲	۱۹۹۸	۲۶۴۹/۹	۱/۲۳
آیش+سایر زراعت‌ها	۱۲۹۲/۰	۲۱/۵						
کل اراضی زراعی	۶۰۱۸/۰							
تراکم کشت (درصد)	۱۰۰							

تابع هدف بهینه‌سازی الگوی کشت، قیود آن و سناریوهای بهینه‌سازی

در این تحقیق بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداکثر نمودن سود خالص مدنظر قرار گرفت. در این حالت هدف حداکثر کردن سود خالص حاصل از الگوی کشت محصولات بوده و فرم ریاضی این تابع به‌صورت رابطه (۲) می‌باشد (رضاوردی‌نژاد، ۱۳۸۹):

$$OF = \sum_{i=1}^{n} (P_i \times Y_i \times A_i) - (C_i \times A_i) - (P_{wi} \times I_i \times A_i) \quad (۲)$$

در رابطه فوق،i: اندیس محصول، P_i: قیمت فروش محصول i (rial/kg)، Y_i: عملکرد محصول i (kg/ha)، A_i: مساحت اختصاص‌یافته به هر محصول i در شبکه (ha)، C_i: هزینه‌های تولید هر محصول i (rial/ha)، I_i: آب اختصاص‌یافته به محصول i در شبکه (m^3/ha) و Pw_i قیمت آب (rial/m^3) می‌باشد.

در تابع هدف فوق، مساحت بهینه هر محصول الگوی کشت (A_i) به‌عنوان مجهولات با هدف حداکثر سازی سود خالص در شبکه بر اساس مقدار مشخص آب تحویلی به شبکه در الگوریتم بهینه‌سازی به دست آمد. در این تحقیق بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم PSO[۱] با کدنویسی در برنامه MATLAB انجام شد. در این الگوریتم از رفتار پرواز دسته‌جمعی پرندگان یا حرکت گروهی ماهی‌ها الگوبرداری شده است که در آن ذرات (موجودات) در فضای جستجوی تابعی که قصد بهینه کردن آن را دارند پخش می‌شوند. هر ذره توسط بردار موقعیت و بردار سرعت در فضای جستجو تعریف می‌گردد و مقدار تابع را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است محاسبه می‌کند. سپس در هر تکرار، بردار سرعت بر اساس بهترین موقعیت یافت شده توسط آن ذره و بهترین ذره محاسبه شده، ذرات در موقعیت جدید قرار گرفته و مقدار تابع هدف دوباره محاسبه می‌گردد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شود تا اینکه جواب بهینه به دست آید (Kennedy and Eberhart, 1995).

در این پژوهش در تعیین قیود بهینه‌سازی موارد زیر مورد توجه قرار گرفت:

۱- محدودیت آب مصرفی: آب مورد تقاضای شبکه (V_d) باید کمتر و یا مساوی آب در دسترس (سطحی V_s و زیرزمینی V_g) در راهبرد آبیاری کامل یا کم‌آبیاری باشد. تیمارهای آبیاری کامل و کم-آبیاری در ۶ تیمار طبق جدول ۲ تعریف گردید.

$$V_d \le V_s + V_g \quad (۳)$$

۲- محدودیت زمین: این محدودیت‌ها عبارت‌اند از نامنفی بودن سطح کشت هر محصول (رابطه ۴)؛ حداقل و حداکثر سطح کشت هر محصول (رابطه ۵) که در آن محدوده مجاز مساحت محصولات الگوی کشت طبق جدول ۲ تعریف شد؛ مجموع سطح کشت محصولات نمی‌تواند از مساحت اراضی زراعی شبکه (A_T) تجاوز نماید (رابطه ۶).

$$A_i \ge 0 \quad (۴)$$

$$\min \le A_i \le max \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} A_i \le A_T \quad (۶)$$

در این تحقیق، بهینه‌سازی در شش تیمار و دو استراتژی طبق جدول ۲ انجام شد. برنامه بهینه‌سازی این تحقیق در هر کدام از شرایط جدول ۲ اجرا شده و الگو و تراکم کشت بهینه به دست آمد. سپس میزان مصرف آب، سود خالص و بهره‌وری در هر کدام از نتایج بهینه به‌دست‌آمده با وضع موجود الگوی کشت مقایسه گردید. لازم به توضیح است که مقدار مصرف آب در وضع موجود برابر با میزان آب تحویلی به شبکه می‌باشد. نظر به اهمیت اقتصادی تولیدات کشاورزی، در این تحقیق به‌منظور مقایسه نتایج بهینه‌سازی با وضع موجود، بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری به‌صورت رابطه (۷) محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت (Kijne et al., 2003).

$$WP_E = \frac{Y\ (\frac{\$}{kg} \times \frac{kg}{ha})}{I\ (m^3/ha)} \quad (۷)$$

که در آن $ ارزش ریالی فروش محصول می‌باشد. صورت کسر به‌صورت سود خالص در نظر گرفته شده و طبق رابطه (۸) محاسبه گردید (رضاوردی‌نژاد، ۱۳۸۹).

$$WP_E = \sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i \times Y_i \times A_i) - (C_i \times A_i) - (P_{wi} \times I_i \times A_i)}{I_i \times A_i} \quad (۸)$$

پارامترهای روابط فوق در تابع هدف بهینه‌سازی تشریح شده است.

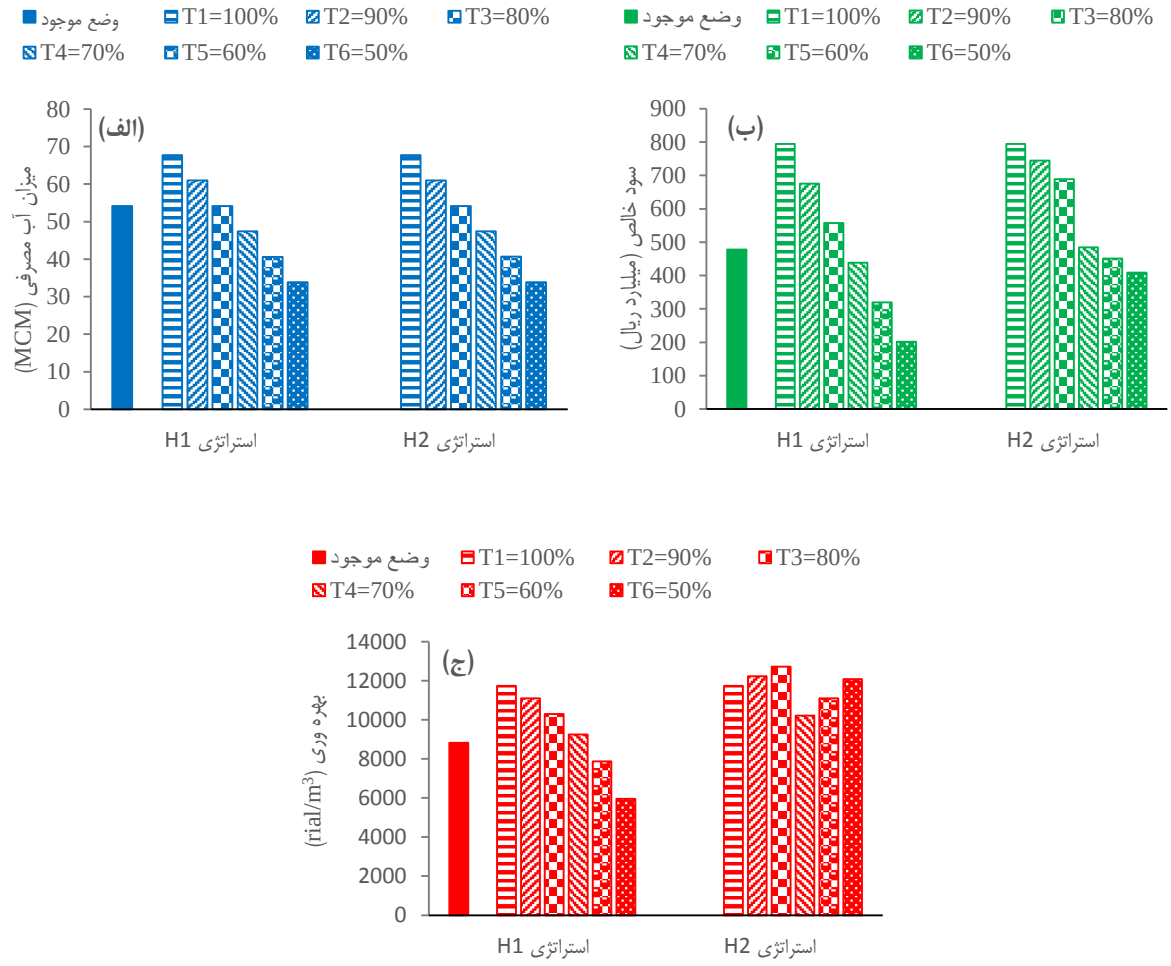
نتایج و بحث

وضعیت موجود الگو و تراکم کشت شبکه مهاباد در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که این جدول نشان می‌دهد، کل سطح اراضی زراعی در شبکه مهاباد ۶۰۱۸ هکتار می‌باشد. شبکه مهاباد شامل ۹ محصول اصلی یونجه، گندم، جو، چغندر، ذرت دانه‌ای، پیاز، آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و کلزا می‌باشد که به ترتیب ۲۸/۲، ۲۴، ۱۰/۳، ۹/۴، ۴/۶، ۱/۳، ۰/۴، ۰/۱ و ۰/۱ درصد کل مساحت اراضی زراعی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین مساحت زیر کشت شبکه مهاباد مربوط به یونجه با حدود ۱۷۰۰ هکتار و کمترین مساحت مربوط به کلزا با حدود ۶ هکتار می‌باشد. ۲۱/۵ درصد اراضی شبکه مهاباد نیز مربوط به سایر زراعت‌ها و آیش می‌باشد.

۱- Particle Swarm Optimization

جدول ۲- سناریوهای مختلف بهینه‌سازی

تیمارهای آبیاری:	
T1=100%	آبیاری کامل با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری
T2=90%	کم آبیاری با تأمین ۹۰ درصد نیاز آبیاری
T3=80%	کم آبیاری با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبیاری
T4=70%	کم آبیاری با تأمین ۷۰ درصد نیاز آبیاری
T5=60%	کم آبیاری با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبیاری
T6=50%	کم آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبیاری
	استراتژی‌های اجرای کم آبیاری:
H1	اعمال کم‌آبیاری در مقدار آب تحویلی به شبکه + اعمال کم‌آبیاری در مزرعه. در این استراتژی با اعمال کم‌آبیاری به گیاه، عملکرد آن طبق توابع تولید کاهش می‌یابد.
H2	اعمال کم‌آبیاری در مقدار آب تحویلی به شبکه. در این استراتژی گیاه نیاز کامل آبیاری را دریافت نموده و عملکرد پتانسیل را دارا می‌باشد. ولی آب تحویلی به شبکه بر اساس هر کدام از تیمارهای آبیاری فوق تعریف شده و سطح کشت شبکه کاهش می‌یابد.
محدوده مجاز مساحت محصولات الگوی کشت: سطح حداقل و حداکثر کشت هر محصول بر اساس آمار طولانی‌مدت منطقه، بین حداقل و حداکثر آن (٪۳۰ ± تغییر نسبت به وضع موجود) در نظر گرفته شد.	



شکل ۲- میزان آب مصرفی (الف)، سود خالص (ب) و بهره‌وری اقتصادی (ج) در تیمار و استراتژی‌های مختلف بهینه در مقایسه با وضع موجود در شبکه مهاباد

الگو و تراکم کشت بهینه، میزان آب مصرفی، سود خالص و بهره‌وری در تیمارها و استراتژی‌های مختلف بهینه‌سازی

در جدول ۳ نتایج الگو و تراکم کشت بهینه در تیمارهای مختلف بهینه‌سازی در شبکه مهاباد در استراتژی‌های H1 (اعمال کم‌آبیاری در مقدار آب تحویلی به شبکه و مزرعه) و H2 (اعمال کم‌آبیاری در مقدار آب تحویلی به شبکه) ارائه شده است. طبق نتایج بهینه به‌دست‌آمده، در استراتژی H1 برای محصول پیاز بیشترین مساحت ممکن اختصاص داده شده و تراکم کشت بهینه ۸۳/۳ درصد به‌دست‌آمده است. با توجه به اینکه در استراتژی H2 آب تحویلی به گیاه برابر با ۱۰۰ درصد نیاز آبی بوده ولی آب تحویلی به شبکه برابر با مقادیر کم آبیاری در تیمارهای مختلف است، با کاهش آب تحویلی به شبکه در تیمارهای مختلف، سطح زیر کشت شبکه کاهش یافته است. به‌طوری‌که تراکم کشت از حدود ۸۳ درصد در تیمار T1 به حدود ۴۲ درصد در تیمار T6 رسیده است؛ ولی عملکرد محصولات برابر با عملکرد پتانسیل می‌باشد.

در شکل ۲ میزان آب مصرفی، سود خالص و بهره‌وری اقتصادی در تیمارها و استراتژی‌های مختلف بهینه در مقایسه با وضع موجود در شبکه مهاباد نشان داده شده و در جدول ۴، درصد تغییرات میزان آب مصرفی، سود خالص و بهره‌وری در تیمارها و استراتژی‌های مختلف بهینه در مقایسه با وضع موجود ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده از استراتژی H1، در الگوی کشت بهینه تیمار T1، با افزایش ۲۵ درصد میزان آب مصرفی، سود خالص حدود ۶۶ درصد افزایش و در نتیجه مقدار بهره‌وری حدود ۳۳ درصد افزایش می‌یابد. با مصرف آب به مقدار وضع موجود، مقدار سود خالص و بهره‌وری در الگوی کشت بهینه نسبت به وضع موجود حدود ۱۶/۷ درصد افزایش می‌یابد. با اعمال کم‌آبیاری برای گیاه و کاهش عملکرد محصول در استراتژی H1، در تیمارهای T4، T5 و T6 به دلیل کاهش عملکرد گیاه در اثر کم‌آبیاری، سود خالص نسبت به وضع موجود کاهش می‌یابد.

در استراتژی H2 بهره‌وری در همه تیمارها نسبت به وضع موجود افزایش‌یافته است. به‌طوری‌که حتی در تیمار T6 و با کاهش حدود ۴۰ درصد میزان آب تحویلی به شبکه در مقایسه با وضع موجود (کاهش ۵۰ درصد آب تحویلی نسبت به وضعیت پتانسیل)، بهره‌وری در وضعیت بهینه حدود ۳۷ درصد نسبت به وضع موجود افزایش می‌یابد.

نتایج این تحقیق نشان داد که در استراتژی H2 در آبیاری کامل و همچنین کاهش میزان آب تحویلی به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد نسبت به آبیاری کامل، سود خالص شبکه نسبت به وضع موجود افزایش می‌یابد. با کاهش ۳۰ درصدی مقدار آب تحویلی نسبت به آبیاری کامل، مقدار سود خالص شبکه تقریباً با سود خالص وضع موجود برابر خواهد بود. با کاهش ۴۰ و ۵۰ درصد میزان آب تحویلی به شبکه، سود خالص به ترتیب ۵/۵ و ۱۴/۳ درصد کمتر از سود خالص وضع موجود خواهد بود.

جدول ۳- الگو و تراکم کشت بهینه در تیمارها و استراتژی‌های مختلف بهینه‌سازی در شبکه مهاباد

تیمار	استراتژی	مساحت (هکتار)									تراکم کشت (درصد)
		یونجه	گندم	جو	چغندر	ذرت دانه‌ای	پیاز	آفتابگردان روغنی	گوجه فرنگی	کلزا	مجموع	
T1	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
T2	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۱۲۸۳/۰	۱۴۴۶/۷	۴۹۲/۴	۷۳۸/۰	۲۱۶/۴	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۶/۰	۵/۶	۴۳۰۸/۱	۷۱/۶
T3	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۱۱۹۸/۰	۱۰۱۱/۵	۴۵۶/۹	۷۰۵/۴	۱۹۴/۰	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۶/۰	۴/۳	۳۶۹۶/۲	۶۱/۴
T4	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۱۱۸۸/۰	۱۰۱۱/۰	۴۳۶/۰	۳۹۸/۰	۱۹۴/۰	۴۶/۰	۱۶/۰	۶/۰	۴/۰	۳۳۰۹/۰	۵۵/۰
T5	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۸۶۵/۲	۱۰۱۱/۰	۴۳۵/۷	۳۹۸/۰	۱۹۴/۰	۵۶/۰	۴/۷	۵/۷	۲/۲	۲۹۷۲/۵	۴۹/۴
T6	H1	۱۳۱۶/۰	۱۸۷۶/۸	۶۴۷/۵	۷۳۸/۰	۳۰۳/۳	۱۰۴/۰	۱۶/۰	۷/۱	۵/۹	۵۰۱۴/۵	۸۳/۳
	H2	۶۹۵/۲	۱۰۰۵/۵	۳۸۴/۶	۳۹۵/۸	۰/۰	۵۵/۸	۰/۰	۳/۸	۱/۸	۲۵۴۲/۶	۴۲/۲

جدول ٤- درصد تغییرات میزان آب مصرفی، سود خالص و بهره‌وری در تیمارها و استراتژی‌های مختلف بهینه در مقایسه با وضع موجود در شبکه مهاباد

استراتژی	تیمار	وضعیت آبیاری	میزان آب مصرفی (MCM)	درصد تغییر میزان آب مصرفی نسبت به وضع موجود	سود خالص (میلیارد ریال)	درصد تغییر سود خالص نسبت به وضع موجود	بهره‌وری (rial/m^3)	درصد تغییر بهره‌وری نسبت به وضع موجود
		وضع موجود	۵۴/۲		۴۷۷/۷		۸۸۱۶/۵	
H1	T1	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۶۷/۷	۲۵/۰	۷۹۴/۶	۶۶/۳	۱۱۷۳۳/۵	۳۳/۱
	T2	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۱/۰	۱۲/۵	۵۸۴/۶	۲۲/۴	۹۵۹۱/۳	۸/۸
		وضعیت بهینه	۶۰/۹	۱۲/۵	۶۷۶/۰	۴۱/۵	۱۱۰۹۰/۷	۲۵/۸
	T3	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۵۴/۲	۰/۰	۴۷۷/۷	۰/۰	۸۸۱۶/۵	۰/۰
		وضعیت بهینه	۵۴/۲	۰/۰	۵۵۷/۳	۱۶/۷	۱۰۲۸۷/۲	۱۶/۷
	T4	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۴۷/۴	-۱۲/۵	۳۷۰/۷	-۲۲/۴	۷۸۲۰/۲	-۱۱/۳
		وضعیت بهینه	۴۷/۴	-۱۲/۵	۴۳۸/۷	-۸/۲	۹۲۵۴/۱	۵/۰
	T5	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۴۰/۶	-۲۵/۰	۲۶۳/۸	-۴۴/۸	۶۴۹۱/۸	-۲۶/۴
		وضعیت بهینه	۴۰/۶	-۲۵/۰	۳۲۰/۰	-۳۳/۰	۷۸۷۶/۷	-۱۰/۷
	T6	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۳۳/۹	-۳۷/۵	۱۵۶/۹	-۶۷/۲	۴۶۳۲/۱	-۴۷/۵
		وضعیت بهینه	۳۳/۹	-۳۷/۵	۲۰۱/۴	-۵۷/۸	۵۹۴۸/۲	-۳۲/۵
H2	T1	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۶۷/۷	۲۵/۰	۷۹۴/۶	۶۶/۳	۱۱۷۳۳/۵	۳۳/۱
	T2	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۶۰/۹	۱۲/۵	۷۴۴/۷	۵۵/۹	۱۲۲۲۰/۸	۳۸/۶
	T3	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۵۴/۲	۰/۰	۶۸۸/۸	۴۴/۲	۱۲۷۱۷/۸	۴۴/۳
	T4	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۴۷/۴	-۱۲/۵	۴۸۴/۶	۱/۴	۱۰۲۱۷/۸	۱۵/۹
	T5	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۴۰/۷	-۲۴/۹	۴۵۱/۲	-۵/۵	۱۱۰۹۶/۲	۲۵/۹
	T6	آبیاری تیمار با الگوی کشت فعلی	۶۷/۷	۲۵/۰	۶۹۱/۵	۴۴/۸	۱۰۲۱۱/۲	۱۵/۸
		وضعیت بهینه	۳۳/۹	-۳۷/۵	۴۰۹/۳	-۱۴/۳	۱۲۰۸۳/۱	۳۷/۱

میرزایی و همکاران (۱۳۹۵) در تعیین الگوی بهینه کشت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان نشان دادند که الگوی کشت فعلی منطقه بهینه نبوده و در صورت استفاده از الگوی کشت پیشنهادی در کشت پاییزه و تابستانه میزان سود به ازای هر هکتار زمین به ترتیب ۴۷ و ۵۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش می‌یابد. بهینه‌سازی الگوی کشت حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از برنامه‌ریزی خطی متعارف توسط قربانی و همکاران (۱۳۹۹) مقدار کاهش مصرف آب را در دو شهرستان گرگان و کردکوی به ترتیب ۶/۱۹ و ۸/۸ درصد و مقدار افزایش سود حاصل از تولید محصولات کشاورزی را به ترتیب ۶/۱۲ و ۴/۱۰ درصد نشان داد.

از طرفی طبق نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق مذکور، با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی می‌توان ۴۶ درصد در گرگان و ۴۷ درصد در کردکوی مصرف آب را کاهش و هم‌زمان ۵ درصد سود حاصل از کشاورزی را افزایش داد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه آبیاری مهاباد در استان آذربایجان غربی به مساحت تقریبی ۱۲۰۰۰ هکتار و با هدف افزایش سود خالص شبکه بر اساس مقدار آب تحویلی مشخص و افزایش بهره‌وری آب انجام شد. بهینه‌سازی در ۶ تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری و دو استراتژی اجرای کم‌آبیاری (H1: در آب تحویلی به شبکه و مزرعه و H2: در آب تحویلی به شبکه) و با محدوده مجاز مساحت ۳۰ ± درصد مساحت محصولات در وضع موجود انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که در استراتژی H1، بهره‌وری در تیمارهای ۱۰۰، ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد کم‌آبیاری بیشتر از وضع موجود می‌باشد. در این استراتژی، با مصرف آب به مقدار وضع موجود، مقدار سود خالص و بهره‌وری در الگوی کشت بهینه نسبت به وضع موجود حدود ۱۶/۷ درصد افزایش می‌یابد. در استراتژی H2 بهره‌وری در همه تیمارها نسبت به وضع موجود افزایش یافته است. به‌طوری‌که حتی با کاهش حدود ۴۰ درصد میزان آب تحویلی به شبکه در مقایسه با وضع موجود (تیمار T6)، بهره‌وری در وضعیت بهینه حدود ۳۷ درصد بیشتر از وضع موجود می‌باشد. رضاوردی‌نژاد (۱۳۸۹) نیز در بهینه‌سازی الگوی کشت در شبکه آبیاری سمت راست آبشار، درصد افزایش سود خالص کل شبکه در الگوی بهینه نسبت به الگوی موجود را حدود ۴۱/۶ درصد گزارش نمودند. تحقیق کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در تعیین الگوی کشت مزارع کوچک‌مقیاس در محدوده مشهد- چناران نشان داد که الگوی کشت بهینه باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی شده و درآمد خالص کشاورزان ۲/۸۸ برابر خواهد شد. بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات منطقه فیصل‌آباد پاکستان توسط حسن و همکاران نیز نشان داد که الگوی کشت بهینه با مقدار آب موجود، موجب افزایش به ترتیب ۱/۸۸ و ۲ درصد سطح زیر کشت و سود خالص نسبت به حالت فعلی شد (Hassan et al., 2004). نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به محدودیت منابع آب کشور و ضرورت مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی از یک‌سو و لزوم حفظ یا افزایش درآمد کشاورزان از سوی دیگر، بهینه‌سازی الگوی کشت اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. اجرای الگوی کشت بهینه در شبکه آبیاری مهاباد می‌تواند یک راهکار مناسب در راستای افزایش سود خالص شبکه و در نتیجه افزایش بهره‌وری اقتصادی با تأمین مقدار آب موجود و یا حتی کاهش مقدار آب ورودی به شبکه باشد. بنابراین بهینه‌سازی الگوی کشت مناطق مختلف کشور و بخصوص اجرای الگوی کشت بهینه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

بی‌نام. ۱۳۹۵. بهنگام سازی نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کشور در استان آذربایجان غربی، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور- موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.

رضاوردی‌نژاد، و. ۱۳۸۹. الگوی کشت و تخصیص آب مصرفی در شرایط شوری و محدودیت آب در شبکه آبیاری سمت راست آبشار. رساله دکتری. دانشگاه تهران.

قربانی، خ.، مفتاح هلقی، م. و کرامت زاده، ع. ۱۳۹۹. بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۱): ۱۶۳-۱۸۸.

کریم زاده، م.، علی زاده، ا. و انصاری، ح. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱۰): ۸۴۹-۸۵۹.

محمدی، ح.، بوستانی، ف. و کفیلزاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی فازی: مطالعه موردی. آب و فاضلاب. ۴:۴۳-۵۵.

میرزایی، ش.، ذاکرنیا، م. و شهابی فر، م. ۱۳۹۵. تعیین الگوی کشت بهینه در شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۳): ۱۸۱-۱۹۰.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and

optimization. In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. IEEE Press. Piscataway, N. J.

Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. J. (Eds.). 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement (Vol. 1). Cabi.

Kipkorir, E. C. and Raes, D. 2002. Transformation of yield response factor into Jensen's sensitivity index. Irrigation and Drainage Systems. 16(1): 47-52.

Moolman, C. E., Blignaut, J. N. and Van Eyden, R. 2006. Modelling the marginal revenue of water in selected agricultural commodities: A panel data approach. Agrekon. 45(1): 78-88.

Reca, J., Roldán, J., Alcaide, M., López, R. and Camacho, E. 2001a. Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems: I. Description of the model. Agricultural water management. 48(2): 103-116.

Reca, J., Roldán, J., Alcaide, M., López, R. and Camacho, E. 2001b. Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems: II. Application to the Bémbezar irrigation system. Agricultural Water Management. 48(2): 117-132.

Rezaei, F., Safavi, H. R. and Zekri, M. 2017. A hybrid fuzzy-based multi-objective PSO algorithm for conjunctive water use and optimal multi-crop patt۳ern planning. Water resources management. 31(4): 1139-1155.

drainage paper 56. Fao, Rome. 300(9): D05109.

Barati, K., Abedi Koupai, J., Darvishi, E., Arzani, A. and Yousefi, A. 2020. Crop Pattern Optimization using System Dynamics Approach and Multi-Objective Mathematical Programming. Journal of Agricultural Science and Technology. 22(5): 1397-1412.

Barikani, A., Ahmadian, M., Khalilian, S. and Chizari, A. 2012. Sustainable Conjunctive Use of Surface Water and Under Ground Water Resources Determining Optimal Cropping Patterns in Qazvin Basin. Agricultural Aconomics and Development. 20(77): 29-56.

Benli, B. and Kodal, S. 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. Agricultural water management. 62(3): 187-203.

Chen, Y., Zhou, Y., Fang, S., Li, M., Wang, Y. and Cao, K. 2021. Crop pattern optimization for the coordination between economy and environment considering hydrological uncertainty. Science of The Total Environment, 151152.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.

Hassan, I., Raza, M. A., Khalil, M. and Rehmat, I. 2004. Determination of optimum cropping pattern in the Faisalabad Division (Pakistan). International Journal of Agricultural Biology. 6(5): 901-903.

Kennedy, J. and Eberhart, R.C. 1995. Particle swarm

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 333-343

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۳۴۳-۳۳۳

Developing of Optimum Cropping Pattern in Mahabad Irrigation and Drainage Network under Different Irrigation Scenarios at Farm and Network Scale

N. Azad[1] , V. Rezaverdinejad[2], J. Behmanesh[3*], H. Rezaei[4]
Recived: Nov.14, 2021 Accepted: Jan.13, 2021

Abstract

Optimization of cropping pattern can be the best approach to reduce water consumption with maintaining maintain or increasing agricultural productions and consequently increase farmers' incomes. In this research, the cropping pattern of Mahabad irrigation and drainage network (with an approximation area of 12,000 ha) was determined using the PSO optimization algorithm with the objective of increasing the net benefit of the network based on the specified amount of delivered water and increasing water productivity. Optimization was done in 6 treatments of full and deficient irrigation and two strategies of deficient irrigation implementation (H1: in delivered water to the network and farm and H2: in delivered water to the network). Finally, the amount of water consumption, net benefit and economic productivity in the optimal cropping pattern were compared with the present condition. The results showed that in H1 strategy, with water consumption equal to the present condition, the amount of net benefit and economic productivity in the optimum cropping pattern increased about 16.7% compared to the current situation. In H2 strategy, productivity increased compared to the present situation in all treatments. Even by a reduction of about 40% of delivered water to the network, economic productivity increased about 37% compared to the present condition.

Key words: Deficient irrigation, Net benefit, Optimization, Water productivity

1- Postdoc Researcher, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir)