

تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO

عباس خاشعی سیوکی^{۱*}، بیژن قهرمان^۲ و مهدی کوچکزاده^۳

چکیده

دشت نیشابور در استان خراسان رضوی با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک و با تکیه بر منابع آبی زیرزمینی یکی از قطب‌های مهم تولیدات زراعی کشور محسوب می‌شود. در این پژوهش با مدل بیلان آب زیرزمینی معادلات لازم برای تخمین نوسانات سطح آب تعیین شد. در ادامه به دلیل زیاد بودن متغیرهای تابع هدف در بهینه‌سازی مصرف آب، با روش‌های فراکاوشی و هوشمند PSO که نیاز به محاسبات کمتر و کارایی بیشتر نسبت به دیگر روش‌ها دارند الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی منطقه مطالعاتی تعیین شد. نتایج مدل بر مبنای یک سال نرمال نشان داد که برای به حداقل رساندن افت سطح آب، در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانه منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹ میلیون مترمکعب از آبخوان دشت نیشابور در طول سال هستند که با این حجم آب باید ۵۹۷۰۶ هکتار از اراضی دشت را فاریاب کرد که ۴۸۷۸۹ هکتار کمتر از وضع موجود است. به طوری که ۴۸۸۰۲ هکتار از اراضی تحت کشت محصولات را کاهش داد و فقط ۱۸۳ هکتار به اراضی گوجه‌فرنگی افزود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، الگو و تراکم کشت، دشت نیشابور، PSO.

ارجاع: خاشعی سیوکی ع. قهرمان ب. و کوچکزاده م. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم PSO. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴): ۱۳۷-۱۴۶.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: abbaskhashei@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۱

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به غذای بیشتر، ضرورت توسعه اراضی و بهبود وضعیت کشاورزی و یا مدیریت مزرعه را به دنبال دارد. در مدیریت مزرعه علاوه بر استفاده بهینه از آب، انتخاب الگوی کشت مناسب، مساحت تحت کشت هر یک از محصولات و میزان پتانسیل آبی به عنوان یک عامل محدود کننده در مصرف آب مهم است به طوری که برنامه ریزی کشاورزی تحت تأثیر الگو و تراکم کشت محصولات قرار می گیرد. با استفاده از مدل بهینه سازی می توان مناسب ترین تراکم کشت را پیش بینی کرد تا درآمد یک سال و یا یک دوره تناوب زراعی خاص حداکثر شود. در این خصوص می توان به پژوهش های ماحی و هدی (۱۹۷۸) در هند اشاره کرد. پایمزد و همکاران (۱۳۸۹) برای بهینه سازی تخصیص آب کشاورزی از روش برنامه ریزی غیرخطی و سیستم های پویا استفاده کردند. با افزایش متغیرهای تصمیم و درجه غیرخطی بودن مسئله، استفاده از روش های فراکاوشی مطلوب تر به نظر می رسد. در این جهت بهینه کردن الگو و تراکم کشت با روش های فراکاوشی به طور عمده در بهره برداری از منابع آب سطحی مانند مخزن های سدها انجام شده است. قدمی و همکاران (۱۳۸۸) به بهره برداری از مخزن سد جهت بهینه کردن آب تخصیص داده شده به گیاهان با الگوریتم ژنتیک پرداختند. شعبانی و هنر (۱۳۸۷) با الگوریتم ژنتیک و برنامه ریزی خطی آب مورد نیاز گیاه در دوره های زمانی مختلف، الگوی بهینه کشت (در فصل اول و دوم کشت) حاصل از الگوریتم ژنتیک شبیه برنامه ریزی خطی است. داریان و شهیدی (۱۳۸۷) کارآیی روش های شبیه سازی آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جامعه مورچگان را در مسئله بهره برداری از مخازن بررسی کردند. راجو و کومار (۲۰۰۴) برای بهره برداری بهینه از مخزن و تعیین الگوی کشت بهینه به مقایسه روش فراکاوشی الگوریتم ژنتیک و روش برنامه ریزی خطی پرداختند. در جدیدترین پژوهش های انجام شده جانگا ردی و کومار (۲۰۱۰) مدل غیرخطی بهینه سازی آب مصرفی با هدف بیشینه کردن منافع اقتصادی از طریق تخصیص آب آبیاری درون فصلی در دوره زمانی معین در شرایط چندمحصولی با روش فراکاوشی PSO^۱ ارائه کردند. مؤلفه های بهره برداری مخزن، بیلان آب خاک، محاسبه تبخیر و تعرق

گیاه در مدل ارائه شده توسط این پژوهشگران در نظر گرفته شده است.

در زمینه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی برای تعیین الگو و تراکم کشت بهینه مطالعات محدودی با هدف کنترل سطح ایستابی در عمق های کم انجام شده است. کارآموز و همکاران (۲۰۰۴) مدل بهینه استفاده تلفیقی از آب های سطحی و زیرزمینی را برای اراضی کشاورزی جنوب تهران تهیه کردند. در این پژوهش مدل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای شبیه سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی تهیه شد. برای برنامه ریزی استفاده تلفیقی مدل بهینه سازی برنامه ریزی پویا استفاده شده است. در این مدل تابع هدف، کاهش هزینه های پمپاژ بود و علاوه بر کلاسیک بودن روش بهینه سازی، تخصیص آب آبیاری در طول دوره رشد محصولات و اعمال تنش بر گیاهان دیده نشده است.

پژوهش های زیادی در بهینه سازی علوم آب با روش های فراکاوشی به خصوص روش PSO انجام شده است. منعم و نوری (۱۳۸۹) به بررسی کاربرد الگوریتم PSO در سیستم های شبکه آبیاری و زهکشی، گنجی (۱۳۸۷) به بهینه سازی پایش آب زیرزمینی، سامی کشکولی (۱۳۸۷) به طراحی بهینه شبکه های تحت فشار توزیع آب آبیاری با روش بهینه سازی مبتنی بر رفتار اجزای جمعی (PSO) پرداخته است. ردی و کومار (۲۰۰۷) از این روش برای بهره برداری بهینه از مخزن سد مالابراهیا هند پرداختند. آن ها برای چندین محصول زراعی با در نظر گرفتن وجود تنش و کم آبیاری بهینه سازی درون فصلی را انجام دادند و بهره برداری از مخزن را با توجه به سود اقتصادی حاصل از کم آبیاری برای دوره های ده روزه ارائه کردند. تابع هدف آن ها در این پژوهش بیشینه کردن درآمد ناخالص بود و در آن هزینه ها در نظر گرفته نشدند.

در پژوهش های قبلی بیشتر بهینه سازی های الگو و تراکم کشت در مورد بهره برداری از سدها و آب های سطحی بوده است. در پژوهش هایی که از تلفیق آب های سطحی و زیرزمینی استفاده شده است، نوسانات سطح ایستابی در نظر گرفته نشده است و تنها از روش های خطی در بهینه سازی الگوی کشت استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش بهینه سازی الگو و تراکم کشت دشت نیشابور با روش بالا ابتکاری بهینه سازی PSO (رفتار اجزای جمعی) در شرایط خشکسالی و ترسالی برای جلوگیری از

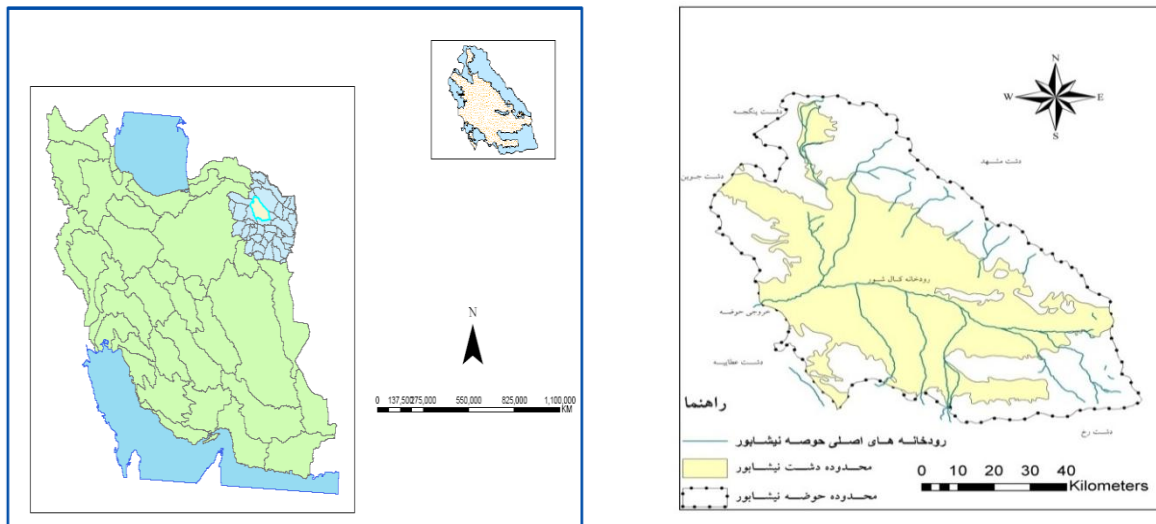
1- Particle Swarm Optimization (PSO)

افت سطح آب زیرزمینی است.

تشکیل می‌دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مذکور در حد فاصل ۱۳، ۵۸ تا ۳۰، ۵۹ طول شرقی و ۳۵، ۴۰ تا ۳۹، ۳۶ عرض شمالی قرار دارد (ولایتی ۱۳۷۸). شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز دشت نیشابور را در استان خراسان رضوی و کشور ایران نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دشت نیشابور با وسعت ۷۲۹۳ کیلومترمربع جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۳۴۰۰ کیلومترمربع آن را دشت (۴۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات



شکل ۱- موقعیت حوضه نیشابور و نمایی از رودخانه‌ها، حوضه و آبخوان دشت نیشابور

محدوده مطالعاتی نیشابور ۲۳۷۸۰ هکتار باغ وجود دارد که ۳۰ درصد آن‌ها در منطقه‌های کوهستانی و از منابع آب سطحی تأمین می‌شود و بقیه در محدوده دشت احداث شده‌اند و از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. حدود ۵۰ درصد اراضی زیرکشت زراعت منطقه سالانه به صورت آیش وجود دارد و محدودیت‌های سطح زیرکشت نیز بر این اساس پایه‌گذاری شد. مدل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی براساس اطلاعات آبخوان دشت نیشابور از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شد. تغییرات حجم بهره‌برداری بر حاصل‌ضرب مساحت در ضریب ذخیره آبخوان (۲۹۵۰ کیلومترمربع در ۰/۰۸) (شرکت آب منطقه‌ای، ۱۳۸۸)، تقسیم شد تا میزان افت سطح آب در دشت تعیین شود. معادله مذکور شامل متغیرهای ورودی (یعنی میزان نفوذ سالیانه از بارش در منطقه، آورد سالیانه زیرزمینی به آبخوان، میزان نفوذ از رواناب‌های سطحی ورودی به دشت و میزان آب برگشتی به آبخوان از برداشت سالیانه در دشت) است. پارامترهای خروجی شامل خروجی از آبخوان، میزان بهره‌برداری سالیانه از آبخوان

برای بهینه کردن الگو و تراکم کشت علاوه بر محصولات عمده دشت (گندم، جو، چغندر، پنبه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای)، محصولات دیگر که سطح زیرکشت پایینی در دشت دارند مانند آفتاب‌گردان، گوجه‌فرنگی و کلزا نیز به‌عنوان محصولات دخیل در الگوی کشت قرار گرفتند.

محصول سیب‌زمینی به‌دلیل بالا بودن کالری و سبزیجات به‌دلیل نزدیک بودن به بازار مصرف (مشهد)، هندوانه به‌دلیل رغبت کشاورزان و کلزا و آفتاب‌گردان به‌دلیل توجه دولت به کشت گیاهان دانه روغنی و گوجه‌فرنگی به‌دلیل وجود کارخانجات زیاد رب‌سازی در منطقه، اهمیت زیادی در دشت نیشابور دارند. خصوصیات گیاهی مانند تاریخ و دوره‌های کاشت، قیمت استفاده شده و سطح زیرکشت محصولات، جمع‌آوری شد که نتیجه آن در جدول ۱ ارائه شده است.

با استفاده از بازدیدهای محلی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری اراضی، سطح قابل کشت در دشت، سالانه ۱۰۷۵۰۰ هکتار و کل اراضی قابل کشت (اراضی کلاس یک، دو و سه) ۱۹۵۵۰۰ هکتار تعیین شد. در کل

محصولات کشاورزی براساس سالنامه آماری کشاورزی ۱۳۸۷ و بازدیدهای میدانی و تهیه پرسشنامه از کشاورزان در منطقه به دست آمد.

محدودیت‌ها و تابع هدف

تابع هدف به صورت نسبت سود به هزینه (B/C) در نظر گرفته شد که در آن صورت میزان سود (درآمدها) و مخرج هزینه‌های مختلف محصولات ارائه شده است که در معادله ۱ بیان می‌شود.

$$OF = \text{Max} \left(\frac{\sum_{c=1}^n \left(\left(Y_{pc} \left(\frac{Y_{ac}}{Y_{pc}} \right) \right) P_c + L_c \right) A_c}{\sum_{c=1}^n (Cf_c + Cpro_c + Char_c + Cbf_c + Cw_c) A_c} \right) \quad (1)$$

غالب دوره آماری ده روزه مشخص شد. با توجه به وجود اراضی کلاس I و II در منطقه، اراضی کشاورزی با قابلیت نفوذ متوسط تا سبک، بافت خاک سطحی متوسط و شیب ۰-۲ درصد است (شرکت آب منطقه‌ای، ۱۳۸۸). بر این اساس ظرفیت نگهداشت خاک مزرعه ۳۱۰ و نقطه پژمردگی دایم ۱۴۰ میلی‌متر در متر خاک تعیین شد. تبخیر-تعرق واقعی به‌عنوان بخشی از تبخیر-تعرق پتانسیل به‌صورت ضریبی که خود تابعی از میزان بارندگی و بیلان رطوبتی خاک و عمق آب آبیاری و رواناب و نفوذ عمقی است، تعیین می‌شود. در این پژوهش با معادلات حاکم بر بیلان آب در خاک که در منابع (جانگا و ناکش کومار، ۲۰۱۰؛ پائل و همکاران، ۲۰۰۰ و رائو و همکاران، ۱۹۸۸) ذکر شده است میزان تبخیر-تعرق واقعی، و قیدهای مربوط به آن محاسبه شد و براساس معادله ۲ عملکرد محصولات به دست آمد. بعد از تعیین مقدار آب آبیاری و در نتیجه آن حجم آب مورد بهره‌برداری از آب زیرزمینی، محدودیت برداشت آب از طریق مدل بیلان آب زیرزمینی تعیین شده و مدل مذکور میزان افت سطح آب را مشخص می‌کند. در جدول ۲ براساس وضعیت بارندگی، چهار سناریو تعریف شد (ردی و کومار، ۲۰۰۷).

دشت، تبخیر-تعرق و زهکشی از آبخوان در انتهای دشت است. در مدل مذکور ابتدا میزان حجم آب نفوذ یافته از طریق بارندگی و رواناب براساس اطلاعات موجود و پژوهش‌های قبلی در دشت تعیین شد. این مقدار براساس ضریب رواناب و ضریب نفوذ عمقی حاصل از بارندگی و رواناب تعیین شد. میزان آب برگشتی از حجم تخلیه شده از طریق میزان آب نفوذ عمقی حاصل از مدل تعیین می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸). اطلاعات

در آن OF تابع هدف، c تعداد محصولات به کار برده شده در الگوی کشت، Y_{pc} حداکثر تولید محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Y_{ac} تولید محصول واقعی (کیلوگرم بر هکتار)، P_c قیمت محصول بر حسب ریال بر کیلوگرم، A_c سطح زیرکشت محصول c (هکتار)؛ L_c درآمدهای متفرقه محصول در صورت وجود (ریال-هکتار)، Cf هزینه کاشت، $Cpro$ هزینه داشت، $Char$ هزینه برداشت، Cbf هزینه قبل از کاشت (ریال-هکتار) و Cw هزینه آب و زمین (ریال-هکتار).

برای برآورد عملکرد محصولات موجود در الگوی کشت با استفاده از ضریب حساسیت محصولات به تنش آبی استفاده می‌شود با استفاده از معادله ۲ عملکرد نسبی محصول تخمین و براساس سطح زیرکشت حجم آب مورد بهره‌برداری از آب زیرزمینی مشخص می‌شود (ردی و کومار، ۲۰۰۷).

$$\frac{Y_{ac}}{Y_{pc}} = \left(1 - \sum_{t=1}^{TN} \left[K_{yct} \left(1 - \frac{AET_c}{PET_c} \right) \right] \right) \quad (2)$$

در معادله بالا، AET_c تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر) برای محصول c، PET_c تبخیر-تعرق ماکزیمم (میلی‌متر) برای محصول c، K_{yct} ضریب حساسیت گیاه c به خشکی در مرحله t، TN تعداد کل مراحل دوره رشد.

تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک نیشابور به‌صورت روزانه و ده روزه و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت اصلاح شده (نشریه ۵۶ فائو) تعیین شد ضریب K_c محاسبه و ضریب K_y (ضریب حساسیت به خشکی) براساس اطلاعات نشریه فائو ۳۳ به دست آمد (دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹). میزان بارندگی در

[illegible]

نیاز و غیره باید حداقل و حداکثر سطح زیرکشت محصول را در نظر گرفت. این ضریب در اینجا ۳۰ درصد در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از افت سطح آب حداقل سطح زیرکشت براساس روش آزمون و خطا به گونه‌ای تعیین شد که مدل بیشترین شایستگی را به ذرات اختصاص دهد و بتواند در محدودیت‌های تعیین شده صدق کند. میزان تبخیر- تعرق واقعی کوچک‌تر و یا مساوی تبخیر- تعرق پتانسیل در نظر گرفته شد. از آنجاکه ضریب گیاهی K_y محصولات در تنش‌های ملایم صادق هستند پس نسبت تبخیر تعرق واقعی به پتانسیل باید بزرگ‌تر و مساوی ۰/۵ باشد (قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲)

الگو و تراکم کشت بهینه برای هر سناریو برای بیلان آبی صفر در نظر گرفته شد. هدف از اجرای مدل، تعیین الگو و تراکم کشت بهینه برای به تعادل رساندن آبخوان دشت است. مساحت مربوط به محصولات انتخاب شده باید بزرگ‌تر از صفر بوده و مساحت‌های اختصاصی به محصولات نباید از مساحت کل مزرعه‌های ارائه شده در جدول ۱ بزرگ‌تر شود. در تمامی سناریوها مدل سطح زیرکشت هر محصول را به صورت ضریبی از سطح موجود محصولات تعیین می‌کند این امر بدین دلیل است که تغییرات شدید تراکم و الگوی کشت در یک منطقه به سهولت ممکن نیست و در تعیین الگو و تراکم کشت از جهت ظرفیت بازار، نیازهای محصولات به نیروی انسانی و تجهیزات مورد

جدول ۲- تعریف سناریوهای اجرای مدل

عنوان سناریو	وضعیت بارندگی	نسبت بارندگی به بارندگی نرمال (۲۲۱ میلی‌متر)
سناریوی اول	سال نرمال	۱
سناریوی دوم	خشکسالی	۰/۸
سناریوی سوم	خشکسالی شدید	۰/۶
سناریوی چهارم	ترسالی	۱/۲

الگوریتم PSO

در این الگوریتم که براساس به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین ذرات پایه گذاری شده است ابتدا برای هر متغیر در فضای جستجو به صورت تصادفی مقادیری تخصیص پیدا می‌کند. هر ذره یا پرند با مقادیر اختصاص داده شده به تمامی متغیرها، براساس شایستگی که همان مقدار تابع هدف است یک راه حل تولید می‌کند. برای ادامه مسیر و تعیین راه حل بهینه هر ذره براساس میزان جابجایی تعیین شده راه حل بعدی را پیدا می‌کند. این عمل براساس جابجایی و موقعیت ذرات دیگر و خود ذره در تجربیات قبلی انجام می‌شود (شای و ابرهات، ۱۹۹۸).

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t + c_1 r_1 (p_i^t - x_i^t) + c_2 r_2 (p_g^t - x_i^t) \quad (3)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (4)$$

در این معادله‌ها X_i^t موقعیت یا مقدار ذره (مقدار متغیرها) در فضای جستجو و t شماره تکرار ذره P_i^t بهترین موقعیت ذره i در شماره تکرار t و P_j^t موقعیت بهترین ذره در فضای جستجو که بسته به نوع جستجو (موضعی و سراسری) متفاوت است. r_1 و r_2 عددهای تصادفی بین صفر و یک براساس تابع توزیع یکنواخت، c_1 و c_2 ضریب‌های شناختی

و اجتماعی، ω ضریب اینرسی است که براساس یک روش تدریجی فضای جستجو را کاهش می‌دهد. X ضریب انقباض است. مقادیر ضرایب شناختی و اجتماعی با آزمون و خطا و نتایج حاصل از دیگر پژوهش‌های تعیین شد. ضریب اینرسی با استفاده از معادله شای و ابرهات (۱۹۹۸) تعیین شد. ذره i برای رسیدن به موقعیت جدید براساس معادلات ۳ و ۴ پرواز می‌کند. با این روش همه ذرات موقعیت جدید را به دست می‌آورند. این فرآیند تکرار می‌شود تا $t=t_{max}$ شود. یکی از روش‌های تعیین t_{max} زمانی است که تغییرات در جواب بهینه حاصل نشد.

در صورتی که جواب‌های تولید شده برای هر متغیر از قیدهای تعیین شده خارج شود، در صورتی که بیشتر از مقدار تعیین شده باشد مساوی با مرز بالا و اگر کمتر از مقدار تعیین شده باشد برابر با مرز پایین تعریف می‌شود.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های مدل PSO

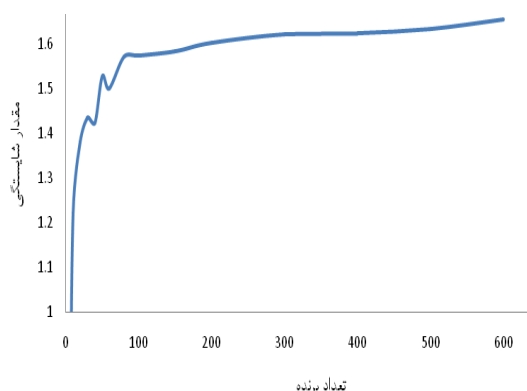
برای اجرای مدل بهره‌برداری پارامترهای مورد استفاده تعیین شد. پارامترهای مذکور در مدل بهینه‌سازی PSO

بهینه‌سازی بهره برداری از مخزن از مقادیر ۲۰۰، ۵۰۰، ۱/۵ و ۰/۵ به ترتیب برای تعداد اعضا، تکرار، ضریب شناختی و جمعیتی در مدل^۱ EMPSO استفاده کردند که علت تفاوت آن به تفاوت در نوع تابع هدف، محدودیت‌ها و نوع مدل بهینه‌سازی بستگی دارد.

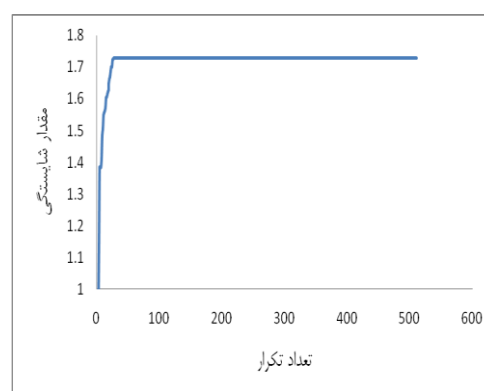
طبق جدول ۳ ارائه شد تعداد اعضا و دیگر ضریب‌های مربوطه بهینه با سعی و خطا و براساس پژوهش‌های ردی و کومار (۲۰۰۷) تعیین شد. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است میزان شایستگی (مقدار تابع هدف) ذرات بعد از ۱۵۰ ذره و ۱۰۰ تکرار تغییرات زیادی ندارد. این در حالی است که ردی و کومار (۲۰۰۷) در

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل PSO

wmin	wmax	C2	C1	MAXiter	X	N
کمینه ضریب اینرسی	بیشینه ضریب اینرسی	ضریب اجتماعی	ضریب شناختی	بیشترین تکرار	ضریب انقباض	اندازه جمعیت
۰/۴	۰/۹	۲	۲	۱۰۰	۰/۹	۱۵۰



شکل ۳- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد پرنده



شکل ۲- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تکرار

خسران و حفظ منابع آب زیرزمینی باید ۴۸۸۰۲ هکتار از ارضی تحت کشت محصولات را کاهش داد و تنها ۱۸۳ هکتار به اراضی گوجه‌فرنگی افزود. دلیل افزایش رغبت کشاورزان به کشت چغندر قند در سطح دشت ارائه خدمات یارانه‌ای مانند مبلغ‌های وام با سود کم، کود و سم و کسر مبلغ‌های آن از درآمد چغندر تحویلی به کارخانه است که کارخانه قند نیشابور به کشاورزان ارائه می‌دهد. در صورتی که می‌توان با اعمال رقابت گوجه با چغندر قند و اعمال همین یارانه‌ها به محصول گوجه از طرف کارخانجات رب‌سازی علاوه بر حفظ تولید چغندر قند کارخانجات رب و صنایع جانبی آن را توسعه داد.

با توجه به اهمیت بارش در تغذیه آبخوان، در صورت بروز خشکسالی باید از سطح زیرکشت محصولات در سطح دشت کم کرد و فقط با بهره‌برداری ۲۹۴ میلیون مترمکعب آب ۴۱۲۰۱ هکتار اراضی را تحت کشت قرار داد. نتایج نشان داد که تراکم کشت بهینه در این شرایط با کاهش سطح زیرکشت گندم، جو، چغندر قند، پنبه،

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانه منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹ میلیون مترمکعب از آبخوان دشت نیشابور در طول سال هستند که با این حجم آب باید ۵۹۷۰۶ هکتار از اراضی دشت را فاریاب کرد که ۴۷۷۶۹ هکتار کمتر از وضع موجود است، که به دلیل وقوع تنش‌های آبی در منطقه در شرایط کنونی می‌توان عملکرد در واحد سطح را افزایش و درآمد خالص متوسط هر هکتار را ۱/۷۶ برابر شرایط کنونی افزایش داد. این امر به دلیل کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمدهای محصولاتی است که در الگوی کشت با افزایش سطح کشت و عملکرد روبرو هستند اتفاق می‌افتد. کاروالو و همکاران (۱۹۹۸) نیز در پژوهش خود نتیجه گرفتند در حالت پتانسیل آبی ۱۰۰٪ تعداد محصولات و درآمد حاصله بیش از حالات دیگر است. نتایج این پژوهش نشان داد که اختلاف درآمد بین الگوی کشت بهینه در سناریوی نرمال و شرایط کنونی فقط ۹۶ میلیارد تومان است. نتایج نشان داد که برای جبران

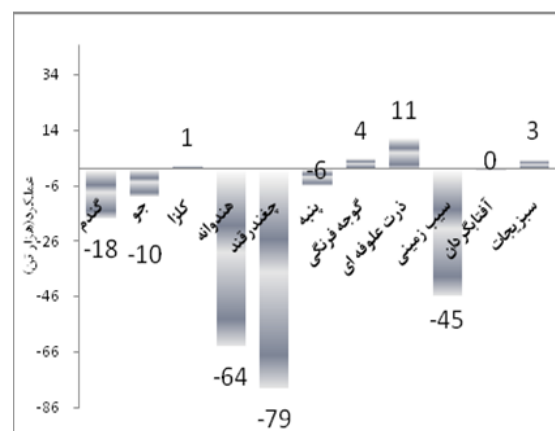
نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی و تعیین الگو و تراکم کشت بهینه در دشت نیشابور در شرایط جلوگیری از افت سطح ایستابی است. این شرایط برای سناریوهای مختلف هیدرولوژیکی اجرا شد نتایج نشان داد که:

۱. برای جلوگیری از افت سطح ایستابی در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانه منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹ میلیون مترمکعب از آبخوان دشت نیشابور در طول سال هستند که با این حجم آب باید ۵۹۷۰۶ هکتار از اراضی دشت را فاریاب کرد که ۴۸۷۸۹ هکتار کمتر از وضع موجود است.
۲. در شرایط نرمال برای جبران خسران و حفظ منابع آب زیرزمینی باید ۴۸۸۰۲ هکتار از اراضی تحت کشت محصولات را کاهش داد و فقط ۱۸۳ هکتار به اراضی گوجه‌فرنگی افزود.
۳. با توجه به اهمیت بارش در تغذیه آبخوان، در صورت بروز خشکسالی باید با کاهش سطح زیرکشت گندم، جو، چغندرقد، پنبه، آفتاب‌گردان، هندوانه و سیب‌زمینی و افزایش دیگر محصولات درآمد را افزایش داد.
۴. کاهش سطح زیرکشت محصولات در شرایط ترسالی باعث کاهش عملکرد گندم به میزان ۱۷۶۴۷ تن در سطح دشت می‌شود کاهش عملکرد جو با افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای برای تغذیه دامها جبران می‌شود.

آفتاب‌گردان، هندوانه و سیب‌زمینی و افزایش دیگر محصولات به همراه است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با وقوع ترسالی در منطقه سطح زیرکشت کلزا از محصولات پاییزه به بیشترین مقدار مجاز افزایش یافته ولی گندم و جو کاهش یافته است و در بین محصولات بهاره گوجه‌فرنگی، ذرت و سبزیجات بیشترین افزایش سطح زیرکشت را داشته است و در مجموع با کاهش ۱۴۲۵۰ هکتار محصولات پنبه، سیب‌زمینی، چغندرقد و هندوانه افت سطح آب حفظ شده است.

نتایج شکل ۵ نشان داد که کاهش سطح زیرکشت محصولات در شرایط ترسالی باعث کاهش عملکرد گندم به میزان ۱۷۶۴۷ تن در سطح دشت می‌شود کاهش عملکرد جو با افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای برای تغذیه دامها جبران می‌شود. کاهش تولید چغندرقد و اثرات اشتغال‌زایی آن می‌تواند با افزایش دیگر محصولات صنعتی مانند گوجه و کلزا تا حدودی جبران شود. به دلیل وجود کارخانجات زیاد تولید رب در محدوده منطقه مورد مطالعه افزایش تولید گوجه‌فرنگی می‌تواند تا مقدار زیادی نیاز این کارخانجات را به مواد اولیه جبران نماید. در این شرایط هیدرولوژیکی با افزایش سطح زیرکشت ۱۱۳۲ هکتار از محصولات پاییزه و بهاره می‌توان متوسط درآمد هر هکتار از اراضی سطح دشت را به ۰/۴ (ده میلیون ریال) رساند. این نتایج نشان می‌دهد در صورت وقوع ترسالی می‌توان علاوه بر جلوگیری از افت سطح آب نسبت به شرایط موجود ۳/۷ میلیارد تومان افزایش درآمد در سطح دشت ایجاد کرد.



شکل ۵- کاهش عملکرد محصولات نسبت به شرایط موجود در صورت جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی در شرایط ترسالی

جدول ۴- سطح زیر کشت و حجم آب استحصالی هر محصول جهت مسافت از افت سطح ایستایی در سناریوهای مختلف

نام محصول	سناریو نرمال			سناریو خشکسالی			سناریو خشکسالی شدید			سناریو ترسالی		
	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	عملکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	عملکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	عملکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	عملکرد نسبی
گندم	۱۹۰۸۴	۸۲/۹۳	۱	۱۲۱۴۵	۴۸/۳۲	۰/۹۶	۶۹۴۰	۴۶/۳۲	۱	۲۰۸۱۹	۱۰۶۵۳	۱
جو	۱۸۴۲۰	۹۰/۱۶	۱	۱۱۷۲۲	۷۹/۷۱	۱	۶۶۹۸	۳۶/۰۳	۱	۲۰۰۹۴	۹۶۸۸	۱
کلزا	۲۴۸	۱/۱۴	۱	۵۴۸	۴/۸۴	۱	۵۵۰	۵/۹۵	۱	۵۸۵	۴۰۰۴	۱
هندوانه	۵۰۸۴	۲۴/۷۰	۰/۷۲	۳۲۳۵	۱۲/۵۶	۰/۶۴	۷۹۳۸	۱۲/۲۰	۰/۶۶	۵۵۴۶	۲۸/۷۳	۰/۶۴
چغندر قند	۳۸۵۰	۴۵/۳۵	۰/۹۷	۲۴۵۰	۳۱/۹۴	۰/۹۲	۱۴۰۱	۲۲/۶۱	۱	۴۲۰۰	۵۴۸۴	۰/۹۷
پنبه	۴۷۸۵	۵۴/۱۷	۰/۹۶	۳۰۴۵	۴۲/۸۶	۰/۹۹	۱۷۴۸	۲۶/۶۷	۱	۵۲۲۰	۴۸/۷۱	۰/۹۲
گوجه فرنگی	۷۹۳	۵/۵۲	۰/۵۸	۷۹۳	۷/۴۳	۰/۷	۷۹۳	۶/۴۰	۰/۶۹	۷۹۳	۵/۹۶	۰/۶
ذرت علوفه ای	۹۷۴	۱۱/۲۷	۰/۶۶	۲۳۰۲	۲۲/۹۹	۰/۶۸	۳۳۰۲	۲۷/۰۹	۰/۷۶	۳۳۰۲	۲۵۰۱	۰/۵۶
سیب زمینی	۵۴۳۵	۳۵/۲۸	۰/۶۲	۳۴۵۸	۷۶/۳۷	۰/۶۸	۱۹۷۶	۱۶/۱۶	۰/۸۳	۵۹۲۹	۳۷/۳۹	۰/۶۸
آفتابگردان	۴۴۰	۲/۴۹	۰/۶۴	۲۸۰	۱/۹۲	۰/۸۹	۱۶۰	۱/۴۹	۰/۹۷	۴۸۰	۲/۹۵	۰/۷۴
سبزیجات	۵۹۵	۶/۱۹	۰/۸۶	۱۲۲۳	۱۴/۴۳	۰/۹۱	۱۲۲۱	۱۶/۰۲	۱	۱۲۲۳	۱۳/۲۳	۰/۸۹
حجم آب استحصالی (میلیون مترمکعب)	۳۵۹/۲۱			۲۹۴/۶۵			۲۲۴/۸۵			۴۲۴/۳۵		
مساحت (هکتار)	۵۹۷۰۶/۸۳			۴۱۲۰۱/۰۲			۳۱۷۳۶/۸۸			۶۷۱۹۲		
نسبت سود به هزینه	۱/۶۸			۱/۶۲			۱/۶۰			۱/۶۵		
متوسط درآمد (میلیون ریال بر هکتار)	۱/۰۴			۱/۰۰			۱/۰۰			۱		

منابع

11. Carvallo H. O. Holzapfel E. A. Lopez M. A. and Marino M. A. 1998. Irrigated cropping optimization. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. 124(2):67-72.
12. Doorenbas J. and Kassam A. H. 1979. Yield reponse to water. *FAO irrigation and Drainage paper 33*, Rome, Italy. 193 p.
13. Anga Reddy M. and Nagesh Kumar D. 2010. Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using elitist-mutated particle swarm optimization *Hydrological Science of Journal*. 52(4):686-701.
14. Janga Reddy M. J. and Nakush kumar D. 2007. Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. *Hydrological Processes* 21:2897-2909.
15. Ghahraman B. and Sepaskhah. A. R. 2002. Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping pattern. *Irrigation Science*. 21:127-137.
16. Karamouz M. Kerachian R. and Zahraie B. 2004. Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. 130(5):391-402.
17. Maji C. C. and Heady E. O. 1978. Intertemporal allocation of irrigation water in the Mayurakshi Project(India): An application of chance-constrained linear programming. *Water Resources Research*. 14:190-196.
18. Paul S. Panda S. N. and Nagesh Kumar D. 2000. Optimal irrigation allocation: A multilevel approach, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. 126(3):149-156.
19. Raju K. S. and Nagesh Kumar D. 2004. Irrigation planning using genetic algorithms. *Water Resources Management*. 18 (2):163-176.
20. Rao N. H. Sarma P. B. S. and Chander S. 1988. A simple dated water- production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*. 13:25-32.
21. Shi Y. and Eberhart R. 1998. A modified particle swarm optimizer. *Evolutionary Computation Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence*. 69-73.
۱. پایمزد ش. مرید س و مقدسی م. ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی غیرخطی و سیستم‌های پویا در تخصیص آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان). *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۴(۱):۴۴-۵۲.
۲. داریان م. و شهیدی ل. ۱۳۸۷. بررسی کاربرد الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ در بهره‌برداری بهینه از منابع آب و مقایسه آن با دیگر روش‌های کاوشی. *نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*. ۱۹:۸-۱۹.
۳. سامی کشکولی ب. ۱۳۸۷. طراحی بهینه شبکه‌های تحت‌فشار توزیع آب آبیاری با استفاده از روش بهینه‌سازی مبتنی بر رفتار اجزای جمعی (PSO) پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس. ۶۵ ص.
۴. شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی. ۱۳۸۸. *مطالعات مدیریت به هم پیوسته منابع آب دشت نیشابور*. ۱۲۳ ص.
۵. شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی. ۱۳۸۴. *گزارش ممنوعیت دشت نیشابور، دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی*. ۷۲ ص.
۶. شعبانی م. ک. و هنر زیبایی م. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی. *مجله علوم و فنون کشاورزی آب و خاک*. ۱۲(۴۴):۵۳-۶۸.
۷. قدمی س. م. قهرمان ب. شریفی م. ب. و رجبی مشهدی ح. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم چند مخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحقیقات منابع آب ایران. ۵(۲):۱-۱۵.
۸. گنجی خرم‌دل ن. ۱۳۸۷. طراحی شبکه بهینه پایش آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم اجزای جمعی (PSO) رساله دکتری علوم و مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۵۰ ص.
۹. منعم م. ج. و نوری م. ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری منعم. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۴(۱):۷۳-۸۲.
۱۰. ولایتی س. ۱۳۷۸. بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات کیفی آبخوان نیشابور. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۵۸: ۱۱۹-۱۳۴.