

## کاربرد تخصیص و مدیریت آب کشاورزی با استفاده از تکنیک بهینه سازی PSO (مطالعه موردی: دشت نیشابور)

عباس خاشعی سیوکی<sup>۱\*</sup> - بیژن قهرمان<sup>۲</sup> - مهدی کوچک زاده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۸

### چکیده

دشت نیشابور در استان خراسان رضوی با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک و با تکیه بر منابع آبی زیرزمینی یکی از قطب های مهم تولیدات زراعی کشور محسوب می شود. در این تحقیق با استفاده از مدل بیلان آب زیرزمینی معادلات مورد نیاز جهت تخمین نوسانات سطح آب تعیین شد. در ادامه بعلاوه تعدد متغیرهای تابع هدف در بهینه سازی مصرف آب، با استفاده از روش های فرا کاوشی 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 (سال ۱۳۸۷) نشان داد که می توان با کاهش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت اغلب محصولات بهاره و افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت گندم و جو و کلزا بیشترین درآمد را از آب استحصالی از آبخوان کسب نمود. در بین محصولات بهاره ذرت و گوجه فرنگی نسبت به دیگر محصولات بهاره بیشترین سهم را در افزایش سطح داشت. نتایج نشان داد که با افزایش ۲۰۵۹۱ هکتار به محصولات پاییزه و کاهش ۱۰۹۷۰ هکتار از محصولات بهاره می توان ۷۵۰۰ هزار ریال بطور متوسط در هر هکتار درآمد بیشتری بدست آورد.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت نیشابور، PSO، الگو، تراکم کشت

### مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به غذای بیشتر، ضرورت توسعه اراضی و بهبود وضعیت کشاورزی و یا مدیریت مزرعه را بدنبال 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 از اهمیت ویژه ای برخوردار است بطوری 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 یکسال و یا یک دوره تناوب زراعی خاص در واحد هکتار حداکثر شود. بهینه سازی سیاست آبیاری به دو دسته متفاوت تقسیم می شود. در یک دسته تخصیص بهینه آب بین گیاهان مختلف در حالی انجام می

شود که سطح زیر کشت و تراکم گیاهی ثابت است (۱۸). در دسته دوم سطح زیر کشت نیز به عنوان یکی از متغیرهای بهینه سازی وارد می شود. متغیر تصمیم در این مدل ها مساحت زمین تخصیص داده شده به هر گیاه می باشد. این مدل ها به چهار دسته تقسیم می شوند: دسته اول که به آنها مدل های پرابیاری گفته می شود، در شرایط فراوانی آب استفاده می شوند. مدلسازی پرابیاری ساده می باشد زیرا تقاضای آبی به ازای واحد سطح (میزان نیاز آبی متناسب با حداکثر تبخیر-تعرق) و عملکرد در واحد سطح (برابر با عملکرد حداکثر) برای تمام گیاهان مشخص بوده و تنها بایستی الگوی کشت را بهینه سازی نمود. دسته دوم مدل های کم آبیاری از پیش تعریف شده می باشند. به این معنی که در این مدل ها شدت کم آبیاری از نظر زمان و مقدار برای هر گیاه از پیش مشخص می باشد و بنابراین می توان عملکرد واقعی هر گیاه را به کمک تابع تولید آب زمان دار یا تابع زمان دار حساسیت آب - گیاه مانند تابع جنسن (۱۷) محاسبه نمود. بنابراین در این شرایط نیز فرایند بهینه سازی شامل تخصیص بهینه زمین بین گیاهان مختلف می باشد (۹). دسته سوم مدل های تخصیص آب و زمین در شرایط عدم وجود تنش شوری است، در تابع هدف این نوع مدلها،

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

\*- نویسنده مسئول: (Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir)

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

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

تراکم کشت بهینه مطالعاتی محدودی با هدف کنترل سطح ایستابی در اعماق کم صورت گرفته است. در منطقه چیترا دورگای (Chitradorgay) هند در زمینه استفاده بهینه از آب‌های سطحی / زیرزمینی مدل ریاضی از نوع برنامه‌ریزی خطی ارائه شد که تابع هدف آن افزایش عملکرد نسبی محصولات در یک سال زراعی و شرایط پایدار بود. همچنین در سطوح مختلف پمپاژ از سفره آب زیرزمینی مقادیر رطوبت خاک و نوع خاک و همچنین عکس العمل سفره های آب زیرزمینی در منطقه آبیاری شده مورد بررسی قرار گرفت (۲۷). کارآموز و همکاران (۲۰) مدل بهینه استفاده تلفیقی از آب های سطحی و زیرزمینی را برای اراضی کشاورزی جنوب تهران تهیه کردند. در این تحقیق مدل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به منظور شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی تهیه شد. جهت برنامه‌ریزی استفاده تلفیقی مدل بهینه سازی برنامه‌ریزی پویا استفاده شده است. در این مدل تابع هدف، کاهش هزینه‌های پمپاژ بود و علاوه بر کلاسیک بودن روش بهینه‌سازی، تخصیص آب آبیاری در طول دوره رشد محصولات و اعمال تنش بر گیاهان دیده نشده است.

تحقیقات متعددی در بهینه‌سازی علوم آب با استفاده از روشهای فراکاوشی بالاخص روش PSO انجام شده است منعم و نوری (۱۱) به بررسی کاربرد الگوریتم PSO در سیستم های شبکه آبیاری و زهکشی، گنجی (۱۰) به بهینه سازی پایش آب زیرزمینی، سامی کشکولی (۳) به طراحی بهینه شبکه‌های تحت فشار توزیع آب آبیاری با استفاده از روش بهینه‌سازی مبتنی بر رفتار اجزای جمعی (PSO) پرداخته است. ردی و کومار (۱۶) از این روش جهت بهره‌برداری بهینه از مخزن سد مالا برابها هند پرداختند. آنها برای چندین محصول زراعی با در نظر گرفتن وجود تنش و کم آبیاری بهینه سازی درون فصلی را انجام دادند و بهره‌برداری از مخزن را با توجه به سود اقتصادی حاصل از کم آبیاری برای دوره های ده روزه ارائه نمودند. تابع هدف آنها در این تحقیق پیشینه کردن درآمد ناخالص بود و در آن هزینه ها وارد نگردید.

در تحقیقات قبلی اغلب بهینه‌سازی های الگو و تراکم کشت در مورد بهره برداری از سدها و ایهای سطحی بوده است و تنها از روشهای خطی در بهینه سازی الگوی کشت استفاده شده است. اهدافی که در تحقیقات گذشته کمتر به آن اشاره شده است شامل موارد زیر می‌باشد: ۱- بهینه سازی مساحت تحت کشت هر یک از محصولات مورد نظر ۲- استفاده از روش فوق ابتکاری بهینه سازی PSO (رفتار اجزای جمعی) در بهینه سازی الگو و تراکم کشت ۳- تهیه مدل بهینه الگو و تراکم کشت و ترکیب آن با مدل آب زیرزمینی ۴- تعیین الگو و تراکم کشت برای سناریوهای خشکسالی و ترسالی در نهایت هدف از این تحقیق بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات الگوی کشت در شرایط هیدرولوژیکی مختلف با استفاده از الگوریتم فراکاوشی PSO در شرایط کنونی استحصال آب زیرزمینی

بیشینه نمودن سود خالص با اعمال کم آبیاری مدنظر می‌باشد. در این مدل‌ها فقط اثر کمبود آب بر عملکرد لحاظ می‌گردد و اثر کیفیت‌های مختلف آب (از نظر شوری) بر عملکرد لحاظ نمی‌گردد. دسته چهارم (مدلهای تخصیص آب و زمین در شرایط تنش شوری) که در آنها تابع هدف، بیشینه نمودن سود خالص در شرایط توامان کم آبیاری و شوری آب مدنظر می‌باشد (۶).

از طرف دیگر روش‌های بهینه‌سازی به دو دسته کلی کلاسیک و غیر کلاسیک (فراکاوشی) تقسیم می‌شود. بر حسب نوع مسئله، روشهای آماری، دینامیکی و عدم قطعیت به روشهای کلاسیک اضافه می‌گردد. تحقیقات زیادی تاکنون در راستای بهینه نمودن الگو و تراکم کشت با استفاده از روشهای کلاسیک صورت گرفته است. از دیگر کارهای انجام شده در این خصوص می‌توان به تحقیقات ماجی و هدی (۲۱) در هند اشاره کرد. پایمزد و همکاران (۱) به منظور بهینه سازی تخصیص آب کشاورزی از روش برنامه‌ریزی غیر خطی و سیستم های پویا استفاده کردند. در تحقیقی کاروالو و همکاران (۱۳) نشان دادند که در وضعیت های مختلف پتانسیل آبی، سطح زیر کشت، تعداد محصولات و درآمد حاصله در حالت پتانسیل آبی ۱۰۰ درصد بیش از حالات دیگر بود. با افزایش متغیرهای تصمیم و درجه غیرخطی بودن مسئله، استفاده از روشهای فراکاوشی مطلوب‌تر به نظر می‌رسد. در این جهت بهینه نمودن الگو و تراکم کشت با استفاده از روشهای فراکاوشی عمدتاً در بهره‌برداری از منابع آب سطحی مانند مخازن سدها انجام شده‌است. قدمی و همکاران (۸) به بهره برداری از مخزن سد جهت بهینه نمودن آب تخصیص داده شده به گیاهان با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. شعبانی و هنر (۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های زمانی مختلف، الگوی بهینه کشت (در فصل اول و دوم کشت) حاصل از الگوریتم ژنتیک شبیه برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. داریان و شهیدی (۲) کارایی روشهای شبیه‌سازی آنیلینگ (Annealing Algorithm)، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچه را در مسئله بهره‌برداری از مخازن مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ روش قدرتمندی نسبت به سایر روشها بوده و در زمان بسیار کم به نتایج بهتری می‌رسد. راجو و کومار (۲۳) به منظور بهره برداری بهینه از مخزن و تعیین الگوی کشت بهینه به مقایسه روش فراکاوشی الگوریتم ژنتیک و روش برنامه‌ریزی خطی پرداختند. در جدیدترین تحقیقات انجام شده جانگا ردی و کومار (۱۵) مدل غیرخطی بهینه‌سازی آب مصرفی با هدف بیشینه کردن منافع اقتصادی از طریق تخصیص آب آبیاری درون فصلی در دوره زمانی معین در شرایط چند محصولی توسط روش فراکاوشی PSO ارائه کردند. مولفه‌های بهره‌برداری مخزن، بیلان آب خاک، محاسبه تبخیر و تعرق گیاه در مدل ارائه شده توسط این محققین لحاظ گردیده است. در زمینه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی جهت تعیین الگو و

می باشد.

## مواد و روش ها

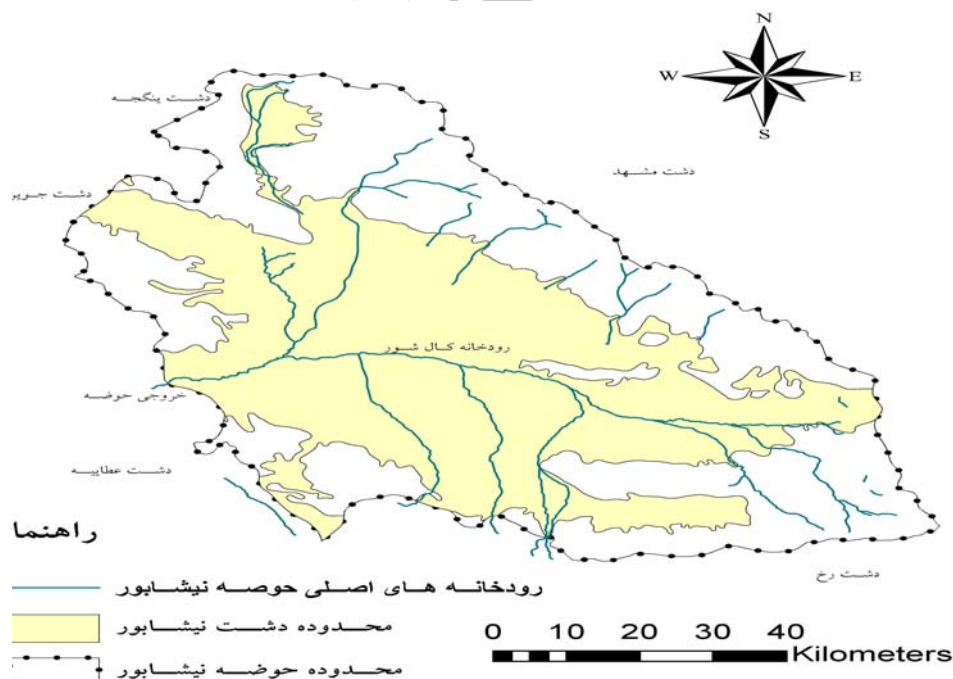
### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت نیشابور با وسعت ۷۲۹۳ کیلومتر مربع جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۳۴۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت (۴۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مذکور در حد فاصل ۱۳°، ۵۸' تا ۳۰°، ۵۹' طول شرقی و ۴۰°، ۳۵' تا ۳۹°، ۳۶' عرض شمالی قرار دارد. این حوضه از جهات شمال، جنوب، غرب و شرق بترتیب به ارتفاعات بینالود، تپه ماهورهای نیزه بند، سیاه کوه و کوه نمک (حوضه آبریز دشت رخ)، حوضه آبریز دشت سوزوار و بلندبهای لیلای جوق و یال پلنگ محدود شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه بترتیب با ۳۳۰۵ و ۱۰۶۵ متر درقله بینالود و خروجی رودخانه کال شور از حوضه واقع شده است (۱۲) (شکل ۱).

### جمع آوری داده ها، تجزیه و تحلیل آنها

به منظور بهینه نمودن الگو و تراکم کشت علاوه بر محصولات عمده دشت (گندم، جو، چغندر قند، پنبه، هندوانه، ذرت علوفه‌ای)، محصولات دیگر که سطح زیر کشت پایینی در دشت دارند مانند آفتابگردان، گوجه‌فرنگی و کلزا نیز بعنوان محصولات دخیل در الگوی

کشت قرار گرفتند. محصول سیب زمینی بعلت بالا بودن کالری و سبزیجات نیز بعلت نزدیک بودن به بازار مصرف (مشهد)، هندوانه بعلت رغبت کشاورزان و کلزا و آفتابگردان بعلت توجه دولت به کشت گیاهان دانه روغنی و گوجه‌فرنگی بعلت وجود کارخانجات متعدد رب سازی در منطقه از اهمیت ویژه‌ای در دشت نیشابور برخوردار هستند. خصوصیات گیاهی مانند تاریخ و دوره‌های کاشت، قیمت استفاده شده و سطح زیر کشت محصولات جمع آوری شد که نتیجه آن در جدول ۲ ارائه گردیده است. بر این اساس گندم و جو بیشترین سطح زیر کشت و دانه‌های روغنی کمترین سطح زیر کشت را در دشت به خود اختصاص داده‌اند. با استفاده از بازبدهای 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 محدوده مطالعاتی نیشابور ۲۳۷۸۰ هکتار باغ وجود دارد که ۳۰ درصد آنها در مناطق کوهستانی و از منابع آب سطحی تامین می‌شود و مابقی در محدوده دشت احداث شده‌اند و از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. حدود ۵۰ درصد اراضی زیر کشت زراعت منطقه سالانه بصورت آیش وجود دارد و محدودیت‌های سطح زیر کشت نیز بر این اساس پایه گذاری گردید. مدل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بر اساس اطلاعات آبخوان دشت نیشابور از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی تهیه شد.



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

افزایش یابد. نتایج تحقیقات نشان داد که ضرایب حساسیت به تنش آبی تنها در محدوده تنش ملایم صادق است و با افزایش تنش از دقت معادلات فوق کاسته می شود (۱۹). با استفاده از رابطه ۲ عملکرد نسبی محصول تخمین و بر اساس سطح زیر کشت حجم آب استحصالی از آب زیرزمینی مشخص می شود.

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

$AET_c$ : تبخیر-تعرق واقعی (میلیمتر)،  $PET_c$ : تبخیر-تعرق ماکزیمم (میلیمتر)،  $K_{yct}$ : ضریب حساسیت گیاه: به خشکی در مرحله t: تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک نیشابور بصورت روزانه و ده روزه و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتس اصلاح شده (نشریه ۵۶ فائو) تعیین شد ضرایب  $K_c$  محاسبه و ضریب  $K_y$  (ضریب حساسیت به خشکی) بر اساس اطلاعات نشریه فائو ۳۳ بدست آمد (۱۴). میزان بارندگی در غالب دوره آماری ده روزه مشخص شد. با توجه به وجود اراضی کلاس I و II در منطقه، اراضی کشاورزی اراضی با قابلیت نفوذ متوسط تا سبک، بافت خاک سطحی متوسط و شیب ۰-۲ درصد می باشد (۴). بر این اساس ظرفیت نگهداشت خاک مزرعه ۳۱۰ و نقطه پژمردگی دائم ۱۴۰ میلیمتر در متر خاک تعیین شد. تبخیر-تعرق واقعی به عنوان بخشی از تبخیر-تعرق پتانسیل بصورت ضریبی که خود تابعی از میزان بارندگی و بیلان رطوبتی خاک و عمق آب آبیاری و رواناب و نفوذ عمقی می باشد تعیین می شود. در این تحقیق با استفاده از معادلات حاکم بر بیلان آب در خاک که در منابع (۱۵، ۲۲، ۲۵) ذکر شده است میزان تبخیر-تعرق واقعی، و قیود مربوط به آن محاسبه شد و بر اساس معادله ۲ عملکرد محصولات بدست آمد بعد از تعیین مقدار آب آبیاری و در نتیجه آن حجم آب استحصالی از آب زیرزمینی، محدودیت برداشت آب از طریق مدل بیلان آب زیرزمینی تعیین شده و مدل مذکور میزان افت سطح آب را مشخص می نماید. بر اساس وضعیت بارندگی، چهار سناریو تعریف شد. بارندگی میانگین منطقه نیشابور بعنوان بارندگی مبنا در نظر گرفته شد و افزایش یا کاهش بارندگی نسبت به بارندگی میانگین منطقه مبنای تغییرات هیدرولوژیکی قرار گرفت (جدول ۱) (۱۶).

جدول ۱- تعریف سناریوهای اجرای مدل

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

تغییرات حجم استحصالی بر حاصلضرب مساحت در ضریب ذخیره آبخوان (۲۹۵۰ کیلومتر مربع در ۰/۰۸) (۴)، تقسیم شد تا میزان افت سطح آب در دشت تعیین شود. معادله بیلان شامل متغیرهای ورودی (یعنی میزان نفوذ سالیانه از بارش در منطقه، آورد سالیانه زیرزمینی به آبخوان، میزان نفوذ از رواناب های سطحی ورودی به دشت و میزان آب برگشتی به آبخوان از برداشت سالیانه در دشت) می باشد. پارامترهای خروجی شامل خروجی از آبخوان، میزان بهره برداری سالیانه از آبخوان دشت، تبخیر-تعرق و زهکشی از آبخوان در انتهای دشت می باشد. مطالعات قبلی در سطح دشت نیشابور نشان داد که جهت تعیین حجم آب ورودی به آبخوان حاصل از آب نفوذی رواناب دشت و آب نفوذی بارش ضریب رواناب و نفوذ در دشت به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۰۷ تعیین شده است. ضریب نفوذ حاصل از رواناب در دشت ۰/۱۸ تعیین گردید. از آنجا که ۳۲ درصد از منابع آب سطحی در کشاورزی مصرف می شود این حجم آب از حجم آب مورد نیاز کشاورزی در مدل کسر گردید. علاوه بر آن حجم آب ورودی و خروجی زیرزمینی در دشت به ترتیب ۳۱۱ و ۱۴/۵ میلیون مترمکعب تعیین گردید. سهم آب مصرفی باغات و صنعت و شرب از منابع آب زیرزمینی ۲۱۵ و ۵۲/۵ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد (۴ و ۵). اطلاعات محصولات کشاورزی بر اساس سالنامه آماری کشاورزی ۱۳۸۷ و بازدیدهای میدانی و تهیه پرسشنامه از کشاورزان در منطقه اخذ گردید.

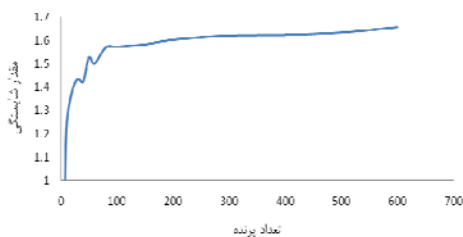
### محدودیت ها و تابع هدف

تابع هدف بصورت نسبت سود به هزینه (B/C) در نظر گرفته شده که در رابطه ۱ ارائه شده است.

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

در آن 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 برحسب ریال بر کیلوگرم،  $A_c$ : سطح زیر کشت محصول c (هکتار)؛  $L_c$ : درآمدهای متفرقه محصول در صورت وجود (ریال-هکتار)،  $C_f$  هزینه کاشت،  $C_{pro}$  هزینه داشت،  $Char$  هزینه برداشت،  $C_{bf}$  هزینه قبل از کاشت (ریال-هکتار) و  $C_w$  هزینه آب و زمین (ریال-هکتار) به منظور برآورد عملکرد محصولات موجود در الگوی کشت با استفاده از ضریب حساسیت محصولات به تنش آبی، دو نوع معادلات وجود دارد (۲۴) معادلاتی که بصورت معادلات حاصل ضرب و حاصل جمع استفاده می شود در این تحقیق از معادلات حاصل جمعی استفاده شد تا علاوه بر کاهش درجه غیر خطی بودن تابع هدف، دقت برآورد





شکل ۳- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد پرنده

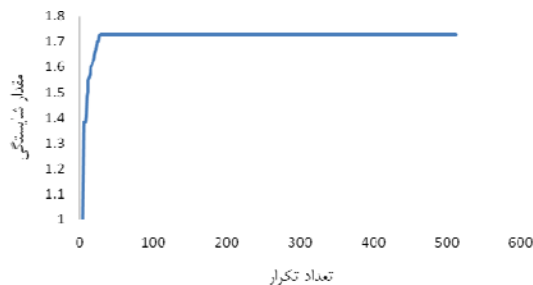
با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل بهره‌برداری و تراکم کشت وضعیت موجود (جدول ۱) می‌توان نتیجه گرفت که تراکم کشت موجود بهینه‌ترین تراکم کشت در منطقه نمی‌باشد و می‌توان با همین وضع برداشت آب و با تغییر در سطح زیر کشت بهره‌برداری اقتصادی بیشتری را داشت. در شرایط موجود دشت، کمترین سطح زیر کشت مربوط به کلزا و بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گندم می‌باشد. نتایج حاصل از نمودارهای شکل ۴ نشان می‌دهد که مدل در طول دوره رشد سعی در حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی مزرعه دارد تا بدین وسیله تنش آبی کمتری به محصولات وارد شود. این نتایج با نتایج تحقیق قدمی و همکاران (۸) نیز مطابقت دارد. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مدل الگوریتم ژنتیک جهت بهینه نمودن تراکم کشت تنش رطوبتی کمتری به محصولات زراعی اعمال نموده است. نتایج شکل ۴ (ب و ج) نشان می‌دهد که متوسط رطوبت خاک محصولات در طول دوره ده روزه در حد آب سهل‌الوصول قرار دارد و تنش آبی کمی به محصولات وارد می‌شود. تغییرات رطوبتی خاک محصولات پنبه و آفتابگردان با تغییرات رطوبتی خاک این محصولات در مدل تحقیق ردی و کومار (۱۶) نیز مطابقت دارد. نتایج حاصل از شکل ۴ (د) نیز که مدل اعمال تنش آبی به محصول گوجه فرنگی، را مجاز دانسته است. این امر بعلت بالا بودن نبار آبی و پایین بودن نسبی ضریب حساسیت این محصول می‌باشد. نتایج مدل در جدول ۴ جهت بهینه نمودن وضع موجود نشان داد که عملکرد نسبی محصولات پاییزه مانند گندم، جو و کلزا صد درصد تعیین شده است که این امر بعلت فائق نشدن تنش رطوبتی به محصول می‌باشد.

$\chi$  ضریب انقباض می‌باشد. مقادیر ضرایب شناختی و اجتماعی با آزمون و خطا و نتایج حاصل از دیگر تحقیقات تعیین شد. ضریب اینرسی با استفاده از رابطه شای و ابره‌ارت (۲۶) تعیین گردید. ذره  $i$  جهت رسیدن به موقعیت جدید بر اساس معادلات ۳ و ۴ پرواز می‌کند. با این روش همه ذرات موقعیت جدید را بدست می‌آورند. این فرآیند تکرار می‌شود تا  $t=t_{max}$  شود. یکی از روشهای تعیین  $t_{max}$  زمانی است که تغییرات در جواب بهینه حاصل نگردد. در صورتی که جوابهای تولید شده برای هر متغیر از قیود تعیین شده تعدی نماید، 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

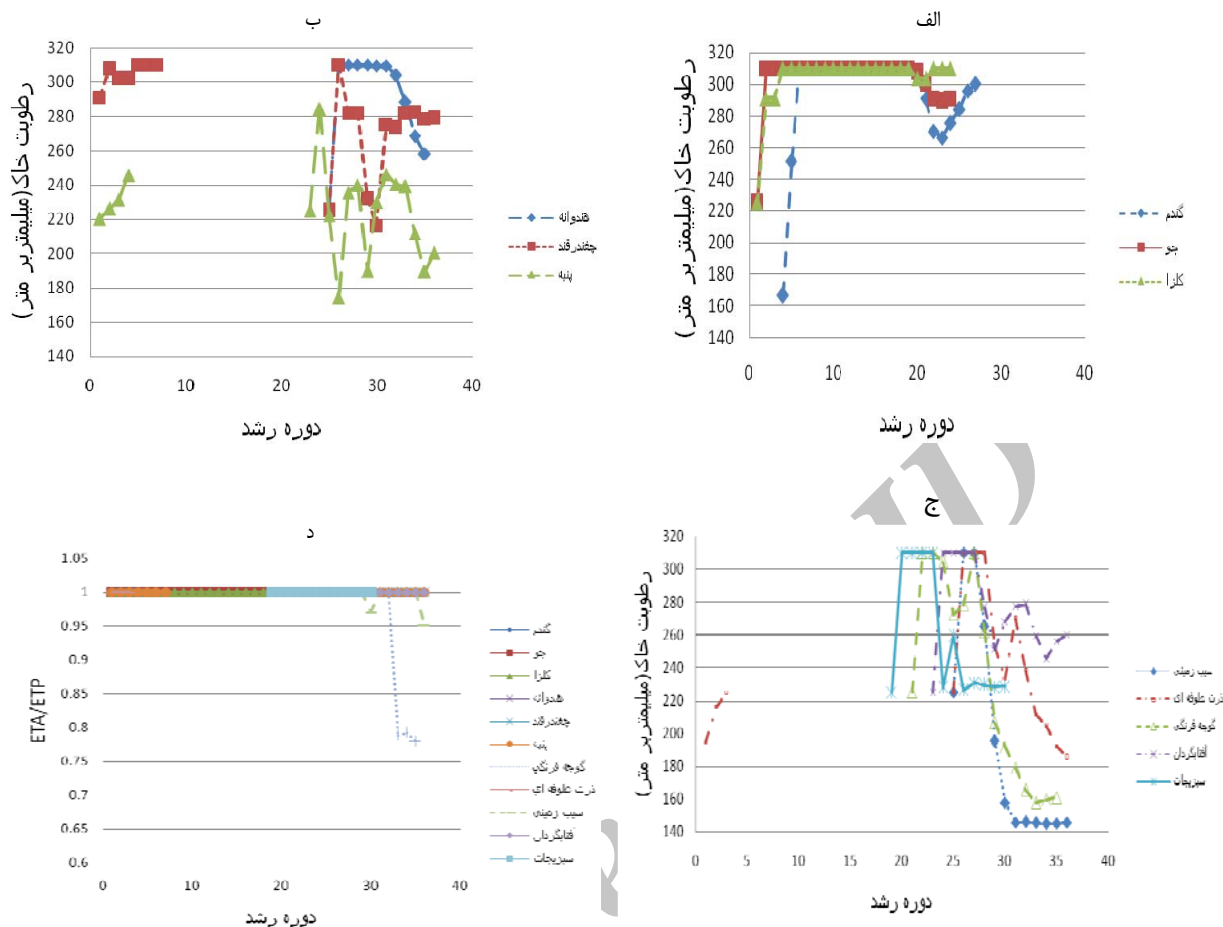
به منظور اجرای مدل بهره‌برداری پارامترهای مورد استفاده تعیین گردید. پارامترهای مذکور در مدل بهینه‌سازی PSO مطابق جدول ۳ ارائه شد تعداد اعضا و دیگر ضرایب مربوطه بهینه با سعی و خطا و بر اساس تحقیقات قبلی تعیین شد. همانطور که در اشکال ۲ و ۳ ارائه شده است میزان شایستگی (مقدار تابع هدف) ذرات بعد از ۱۵۰ ذره و ۱۰۰ تکرار تغییرات قابل توجهی ندارد. این در حالی است که ردی و کومار (۱۶) در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن از مقادیر ۲۰۰، ۵۰۰، ۱/۵ و ۰/۵ به ترتیب برای تعداد اعضا، تکرار، ضریب شناختی و جمعیتی در مدل (Elitist Mutation Particle Swarm Optimization) EMPSO استفاده کردند که علت تفاوت آن به تفاوت در نوع تابع هدف، محدودیتها و نوع مدل بهینه‌سازی بر می‌گردد.



شکل ۴- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تکرار

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل PSO

wmin	wmax	C2	C1	MAX <sub>iter</sub>	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 ۴- تغییرات رطوبتی خاک و نسبت تبخیر تعرق واقعی به تبخیر تعرق پتانسیل در طول دوره رشد محصولات برای سناریوی نرمال

درصدی کشت گندم و جو و افزایش سطح زیر کشت کلزا تا ۵۸۵ هکتار تنها ۶۹۳ میلیون مترمکعب آب استحصال نمود تا شرایط بیلان منفی با شدت کنونی حفظ شود. در کشتهای بهاره می‌بایست با افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی، ذرت و سبزیجات، بقیه سطوح زیر کشت را کاهش داد که در این میان سیب زمینی با ۲۹۶۵ هکتار بیشترین کاهش سطح کشت را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که علیرغم بروز خشکسالی می‌توان با استحصال ۶۹۳ میلیون مترمکعب باعث افزایش عملکرد محصولات گردید بیشترین افزایش عملکرد مربوط به محصولات چغندرقد و پنبه می‌باشند. نتایج مدل نشان داد که با کاهش ۳۰۰۱۲ هکتاری از سطح زیر کشت دشت نیشابور می‌توان میزان افزایش سود خالص هر هکتار را ۳۸ درصد افزایش داد این امر باعث می‌شود که وضعیت افت سطح آب زیرزمینی از وضع موجود بیشتر نشود.

نتایج مدل بر مبنای یک سال نرمال (سال ۱۳۸۷) نشان می‌دهد که می‌توان با افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت گندم، جو و کلزا به ترتیب به میزان ۱۰۴۰۹ هکتار، ۱۰۰۴۷ هکتار و ۱۳۵ هکتار بیشترین درآمد را از آب استحصالی از آبخوان کسب نمود. محصولات بهاره عمدتاً با کاهش سطح کشت به میزان ۳۰ درصدی روبرو بودند در این میان ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی بیشترین سهم را در افزایش سطح داشت. نتایج نشان داد که با افزایش ۵۳۱ هکتار به محصول ذرت و کاهش ۲۹۱۴ هکتار از سیب زمینی می‌توان درآمد بیشتری را کسب کرد. این امر به علت بالا بودن سود اقتصادی محصولات گوجه‌فرنگی و ذرت می‌باشد. میزان افزایش درآمد متوسط هر هکتار در الگو و تراکم کشت بهینه ۷/۵ میلیون ریال نسبت به وضعیت موجود تعیین شد. در صورت بروز خشکسالی در دشت می‌توان با کاهش ۳۰

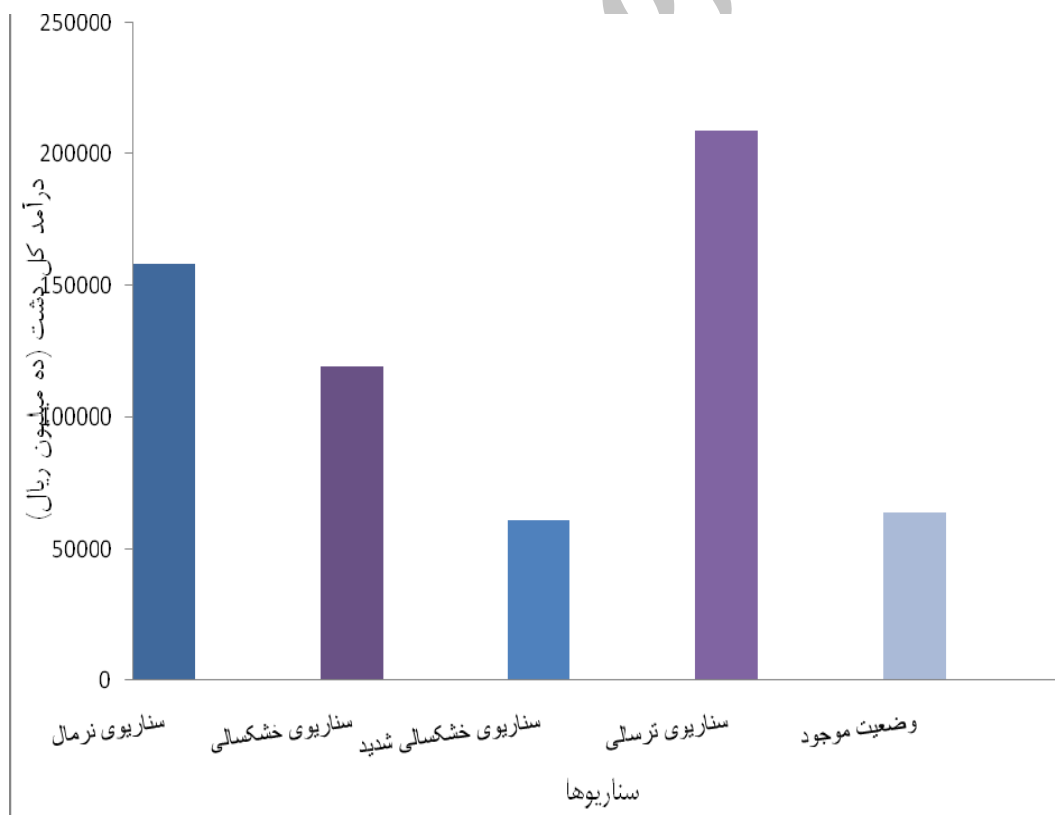
جدول ۳- سطح زیر کشت و حجم آب استحصال بهینه هر محصول در شرایط موجود

نام محصول	سناریوی شمال			سناریوی خشکسالی			سناریوی شمال			سناریوی خشکسالی شدید			سناریوی شمال			سناریوی خشکسالی		
	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی	سطح زیر کشت (هکتار)	حجم آب مصرفی (میلون مترمکعب)	علاکرد نسبی
گندم	۳۵۱۰۸	۳۷۷۱۶	۱	۳۳۲۸۸	۱۷۰۷۲	۱	۳۰۸۱۹	۱۳۰۲۴	۱	۳۵۱۰۸	۳۸۸۷	۱	۳۳۲۸۸	۳۳۷۱۶	۱	۳۳۲۸۸	۳۳۷۱۶	۱
جو	۳۳۵۳۷	۷۱۱۸	۱	۳۳۳۳۳	۱۱۳۳۳	۱	۳۰۰۸۴	۳۵۲۱۸	۱	۳۳۵۳۷	۳۳۳۳۳	۱	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۱	۳۳۳۳۳	۳۳۳۳۳	۱
کزله	۵۵۵	۵۴	۱	۵۵۵	۵۴	۱	۵۵۵	۵۴	۱	۵۵۵	۵۴	۱	۵۵۵	۵۴	۱	۵۵۵	۵۴	۱
هندوانه	۶۷۷۱	۶۶۱	۰/۷۹	۶۷۷۱	۶۵۴	۰/۹۳	۵۵۶۶	۱۸۱۳	۰/۶۶	۶۷۷۱	۶۵۴	۰/۹۳	۶۷۷۱	۶۵۴	۰/۹۳	۶۷۷۱	۶۵۴	۰/۹۳
چغندر	۴۰۰	۸۷۶	۱	۴۰۰	۸۷۳	۱	۳۲۰۰	۶۱۲	۰/۸۸	۴۰۰	۸۷۳	۱	۴۰۰	۸۷۳	۱	۴۰۰	۸۷۳	۱
بنه	۶۰۰	۱۰۷/۱	۱	۶۰۰	۱۰۷/۱	۱	۵۳۰	۶۱۵	۰/۹۹	۶۰۰	۱۰۷/۱	۱	۶۰۰	۱۰۷/۱	۱	۶۰۰	۱۰۷/۱	۱
گوجه فرنگی	۷۸۳	۹/۱	۰/۸۱	۷۸۳	۱۱	۰/۸۷	۷۸۳	۷/۶	۰/۶۴	۷۸۳	۱۱	۰/۸۷	۷۸۳	۱۱	۰/۸۷	۷۸۳	۱۱	۰/۸۷
ذرت علوفه ای	۳۳۰۲	۳۱۶	۰/۸۷	۳۳۰۲	۳۸	۰/۸۱	۳۳۰۲	۳۸۴	۰/۷۶	۳۳۰۲	۳۸	۰/۸۱	۳۳۰۲	۳۸۴	۰/۷۶	۳۳۰۲	۳۸۴	۰/۷۶
سیب زمینی	۶۹۱۷	۶۲۷	۰/۷۶	۶۹۱۷	۷۳۸	۰/۸۵	۵۹۳۹	۵۲۵	۰/۷۴	۶۹۱۷	۷۳۸	۰/۸۵	۶۹۱۷	۷۳۸	۰/۸۵	۶۹۱۷	۷۳۸	۰/۸۵
انگور	۵۶۰	۶۷	۰/۸۹	۵۶۰	۵۴	۰/۸۷	۴۸۰	۳۲	۰/۸۳	۵۶۰	۶۷	۰/۸۹	۵۶۰	۶۷	۰/۸۹	۵۶۰	۶۷	۰/۸۹
سبزیجات	۶۵۹	۸	۰/۸۸	۱۳۳۳	۱۵۹	۰/۸۱	۱۳۳۳	۱۷۵	۰/۸۳	۶۵۹	۸	۰/۸۸	۱۳۳۳	۱۷۵	۰/۸۳	۶۵۹	۸	۰/۸۸
حجم آب استحصال (میلون مترمکعب)	۷۳۸۸	۶۸۲۲		۷۳۸۸	۶۸۲۲		۶۴۲۲	۶۸۲۲		۷۳۸۸	۶۸۲۲		۷۳۸۸	۶۸۲۲		۷۳۸۸	۶۸۲۲	
مساحت (هکتار)	۱۱۷۳۱/۸	۷۷۵۳۲/۴		۱۱۷۳۱/۸	۷۷۵۳۲/۴		۶۷۸۲	۶۷۸۲		۱۱۷۳۱/۸	۷۷۵۳۲/۴		۱۱۷۳۱/۸	۷۷۵۳۲/۴		۱۱۷۳۱/۸	۷۷۵۳۲/۴	
نسبت سبز به هزینه	۱/۸۹	۱/۶۵		۱/۸۹	۱/۶۵		۱/۵۲	۱/۵۲		۱/۸۹	۱/۶۵		۱/۸۹	۱/۶۵		۱/۸۹	۱/۶۵	
متوسط درآمد میلیون ریال بر هکتار	۱/۳۴	۱/۵۴		۱/۳۴	۱/۵۴		۰/۸	۰/۸		۱/۳۴	۱/۵۴		۱/۳۴	۱/۵۴		۱/۳۴	۱/۵۴	



رطوبتی را کاهش و آب مورد نیاز گیاه را تامین نمود. مقایسه روند تغییرات بارش نشان می‌دهد که با کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی میزان تامین آب محصولات افزایش یافته و با افزایش بارندگی کاهش می‌یابد. میزان درآمد خالص هر هکتار از اراضی کشت دشت با افزایش سطح زیرکشت کاهش پیدا می‌کند بطوری که با افزایش سطح زیر کشت در سناریوی ترسالی این پارامتر از ۱/۸۹ به ۱/۸۶ (ده میلیون ریال) کاهش پیدا نمود. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین درآمد در شرایط ترسالی و کمترین در آمد دشت در شرایط خشکسالی شدید حاصل می‌شود. نتایج مدل حاکی از این مطلب بود که در شرایط موجود می‌توان با تغییر در الگو و تراکم کشت گیاهان زراعی ۹۴/۵ میلیارد تومان به درآمد کشاورزی منطقه افزود. با افزایش بارندگی و وقوع ترسالی ۱۴۵/۲ میلیارد تومان به درآمد خالص کشاورزان افزوده می‌شود در صورت وقوع خشکسالی شدید در منطقه و اعمال الگو و تراکم کشت بهینه تنها ۳ میلیارد تومان از درآمد خالص کشاورزان در شرایط نرمال کاسته می‌شود. که می‌توان با اعمال یارانه خشکسالی از افزایش سطح زیر کشت و برداشت بیش از حد آب زیرزمینی جلوگیری نمود.

در صورتی که خشکسالی شدت بیشتری داشته باشد به منظور حفظ شرایط موجود یعنی قبول ۸۳ سانتیمتر افت در سال تنها کشت ۶۷۱۹۲ هکتار از محصولات را مجاز می‌داند و می‌بایست ۴۰۳۹۴ هکتار از وضع موجود کمتر کشت نمود که بیشترین کاهش مربوط به گندم، جو، سیب زمینی، هندوانه، چغندر قند، پنبه، می‌باشد. در این میان نتایج نشان داد که می‌توان سطح زیر کشت محصولات سبزیجات و کلزا را تا ۳۰ درصد افزایش داد. نتایج نشان داد که با افزایش بارندگی و وقوع ترسالی سطح زیر کشت محصولات پاییزه به بیشترین مقدار مجاز خود رسیدند. در شرایط ترسالی تمامی محصولات الگوی کشت در کشت بهاره با افزایش سطح زیر کشت روبرو شدند به جز چغندر قند و سیب‌زمینی که به ترتیب با ۲۱۰۰ و ۲۹۶۴ هکتار کاهش روبرو شدند. میزان افزایش سطح کشت در دشت نیشابور در شرایط ترسالی به میزان ۲۰۴۵۴ هکتار می‌رسد که کمتر از کاهش سطح زیر کشت در شرایط خشکسالی می‌باشد. که این امر به تاثیر مقدار قابل توجه ای از نیاز آبی محصولات پاییزه از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی دارد. نتایج مدل بهینه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور نشان داد که به منظور افزایش درآمد محصولات می‌بایست تنش



شکل ۵- تغییرات درآمد خالص دشت در الگوی تراکم کشت بهینه به ازای سناریوهای مختلف در شرایط موجود

## نتیجه گیری

سطح و افزایش سطح زیر کشت محصولات پاییزه درآمد بیشتری را کسب کرد. کاهش سطح زیر کشت محصولات پاییزه در تمامی سناریوهای به جز سناریوی ترسالی حاکی از کاهش سطح زیر کشت محصولات عمده ای مانند گندم و جو در کشت پاییزه بود و این عامل وابستگی این محصولات را به بارش اثبات می کند. افزایش سطح زیر کشت محصولات گوجه‌فرنگی، ذرت علوفه ای و سبزیجات در اغلب سناریوها دیده شد.

هدف از این مطالعه بررسی و تعیین الگو و تراکم کشت بهینه در دشت نیشابور در شرایط موجود و شرایط ممانعت از افت سطح ایستابی می باشد. این شرایط برای سناریوهای مختلف هیدرولوژیکی اجرا و نتایج ارائه شد. نتایج نشان داد که الگو و تراکم کشت موجود نمی تواند بالاترین سود اقتصادی را ارائه نمایند. نتایج نشان داد که می توان با کاهش سطح زیر کشت و افزایش عملکرد محصولات بهاره در واحد

## منابع

- ۱- پایمزد ش.، مرید س. و مقدسی م. ۱۳۸۹. برنامه ریزی غیرخطی و سیستمهای پویا در تخصیص آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان). مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۴، ص ۴۴-۵۲.
- ۲- داریان م. و شهیدی ل. ۱۳۸۷. بررسی کاربرد الگوریتم شبیه سازی آنیلینگ در بهره برداری بهینه از منابع آب و مقایسه آن با دیگر روش های کاوشی. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید ۱۰:۱۹۹-۸.
- ۳- سامی کشکولی ب. ۱۳۸۷. طراحی بهینه شبکه های تحت فشار توزیع آب آبیاری با استفاده از روش بهینه سازی مبتنی بر رفتار اجزای جمعی (PSO) پایان نامه کارشناسی ارشد گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس. ص ۶۵.
- ۴- شرکت آب منطقه ای استان خراسان رضوی. ۱۳۸۸. مطالعات مدیریت بهم پیوسته منابع آب دشت نیشابور.
- ۵- شرکت آب منطقه ای استان خراسان رضوی. ۱۳۸۴. گزارش ممنوعیت دشت نیشابور، دفتر مطالعات آبهای زیرزمینی.
- ۶- شریفان ح. ۱۳۸۵. بهینه سازی الگو و تراکم کشت در وضعیت های غیر قطعی مقدار و کیفیت آب آبیاری. رساله دکتری علوم و مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- 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. جلد ۱۲ شماره ۴۴ صفحات ۵۳-۶۸.
- ۸- قدمی س. م.، قهرمان ب.، شریفی م. ب. و رجبی مشهدی ح. ۱۳۸۸. بهینه سازی بهره برداری از سیستم چند مخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۵ شماره ۲ ص ۱-۱۵.
- ۹- کابوسی ک. ۱۳۸۷. تلفیق دیدگاه های آبیاری و اقتصاد کشاورزی به منظور کاملتر نمودن مدل های بهینه سازی الگوی کشت. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۸. الی ۱۰ بهمن ۱۳۸۷.
- ۱۰- گنجی خرم دل 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.
- ۱۱- منعم م. ج. و نوری م. ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه های آبیاری منعم مجله آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱، جلد ۴، ص ۷۳-۸۲.
- ۱۲- ولایتی س. ۱۳۷۸. بررسی عوامل موثر بر تغییرات کیفی آبخوان نیشابور. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۱۴۹. ص ۱۱۹.
- 13- Carvallo H.O., Holzappel E.A., Lopez, M.A., and Marino M.A. 1998. Irrigated cropping optimization. Journal of Irrigation and Drainage. Engineering, ASCE, 124(2):67-72.
- 14- Doorenbas J., and Kassam A.H. 1979. Yield reponse to water. FAO irrigation and Drainage paper 33, Rome, Italy. 193PP.
- 15- Janga Reddy M., and Nagesh Kumar D. 2010. Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using elitist-mutated particle swarm optimization. Hydro.Sci. J. 52(4), 686-701.
- 16- Janga Reddy M. J., and Nakush kumar D. 2007. Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. Hydrol. Process. 21: 2897-2909.
- 17- Jensen M.E. 1968. Water consumption by agricultural plants. in T.T. Kozlowski (ed.), Water Deficit and Plant Growth, Vol.11, Academic Press, New York.
- 18- 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. Irrig. Sci. 21: 127-137.
- 19- Ghahraman B., and Sepaskhah. A.R. 1997. Use of water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of

- wheat and barley. *Irrig. Sci.* 18:11-16.
- 20- 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.
  - 21- 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 Resour. Res.*, 14, pp: 190-196.
  - 22- 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.
  - 23- Raju K.S., and Nagesh Kumar D. 2004. Irrigation planning using genetic algorithms, *Water Resources Management*, 18 (2), 163 – 176.
  - 24- Rao N.H., Sarma P.B.S., and Chander S. 1990. Optimal multicrop allocation of seasonal and intra-seasonal irrigation water, *Water Resources Research*, 26(4), 551–559.
  - 25- 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.
  - 26- Shi Y., and Eberhart R. 1998. A modified particle swarm optimizer. *Evolutionary Computation Proceedings*, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 69–73.
  - 27- Vedula S., Mujumdar P.P., and Sekhar G.C. 2005. Conjunctive use modeling for multicrop irrigation, *Agricultural Water Management*, 73: 193-221.

Archive of SID



## Application of Agriculture Water Allocation and Management by PSO Optimization Technic (Case study: Nayshabur Plaine)

A. Khashei Siuki<sup>1\*</sup>- B. Ghahraman<sup>2</sup>- M. Kouchakzadeh<sup>3</sup>

Received: 15-04-2012

Accepted: 28-4-2013

### Abstract

Nayshabour plain in Khorasan Razavi with arid and semi-arid climate, have an important role in agricultural production by using groundwater resources. In this study, by using groundwater balance model the equations which are required for estimating water table variations is obtained for plain. afterwards since, there are too many variables in the objective function of water consumption (optimized crop pattern and intensification) a meta heuristic method which require less computation of effect while it is more efficient will be used. In this research PSO optimization algorithm (Particle Swarm Optimization) is used. Model results based on a normal year (2008) showed that can earn highest income from the aquifer with 30 percent reduced spring cultivation, and increased 30 percent of wheat, barley and calona. Among the spring crops, corn and tomato ratio to another crops have largest increase area. The results showed that can obtain 7500 (thousands rial /hec) more benefit with increasing 20,591 hectares to autumn crops and reduced 10,970 spring products

**Keywords:** Crop Pattern, Groundwater, Optimization Algorithm, PSO, Neishabour plain

1- Assistant Professor of Water Engineering Department, University of Birjand  
(\* - Corres ponding Author Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir)

2- Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor of Irrigating and Drainage Engineering Dpartment, Tarbiat Modares University