

مدیریت آب کشاورزی با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک (GA) (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

علی شهیدی^{1*}، علی مروّت نشان²

تاریخ دریافت: 1393/11/29 تاریخ پذیرش: 1395/8/18

چکیده

روند رو به رشد مشکلات کمبود آب نقش موثری را در تشدید بحران آب در ایران و بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله دشت بیرجند در استان خراسان جنوبی دارد که تنها با تکیه بر منابع آب زیرزمینی اقدام به تولیدات کشاورزی می‌شود. در این تحقیق با استفاده از مدل بیلان آب زیرزمینی معادلات مورد نیاز برای تخمین سطح عمق آب آبیاری تعیین شده است سپس تابع هدفی که بر پایه مفهوم آب مجازی و تابع استوارت می‌باشد، ایجاد شد. در ادامه به علت تعدد متغیرهای تابع هدف در بهینه‌سازی مصرف آب، با استفاده از روش فراکاشی و هوشمند ژنتیک (GA) که نیاز به محاسبات کم‌تر و کارایی بیش‌تر نسبت به دیگر روش‌ها دارند، الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی دشت مطالعاتی در 4 سناریو (1) 30 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول، (2) 50 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول، (3) 75 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول و (4) تغییرات آزاد سطح زیر کشت محصولات به ازای بازه صفر تا حداکثر سطح زیر کشت موجود در منطقه مورد بررسی) تعیین شد. نتایج مدل نشان داد که سطح زیر کشت محصولات در نظر گرفته شده بهینه نمی‌باشد و مصرف آب در بخش کشاورزی دشت بیرجند متناسب با شرایط موجود نیست. بهترین سناریوی از بین سناریوهای مطرح شده، سناریوی چهارم می‌باشد زیرا نه تنها سودآوری را به میزان 4 برابر افزایش خواهد داد بلکه میزان آب مصرفی را نیز حدوداً 8 درصد کاهش می‌دهد.

واژه های کلیدی: آب مجازی، ارتقا بهره‌وری، الگوریتم ژنتیک، الگوی کشت، بهینه‌سازی

مقدمه

غذایی این جمعیت بر مبنای حدود 2600 کیلوکالری انرژی روزانه به بیش از 150 میلیارد مترمکعب آب، سالانه نیاز خواهد بود که این مقدار در سید آبی کشور موجود نمی‌باشد (بابازاده، 1391). سازماندهی مناسب مدیریت تقاضا و تنظیم الگوی مصرف آب به صورت پایدار، می‌تواند یکی از راهکارهای راه‌گشای تعدیل در اتلاف آب باشد. محدودیت‌های مالی و زمانی، عوامل مهم دیگری می‌باشند که امکان بهره‌برداری مناسب‌تر از منابع موجود را با مشکل مواجه می‌سازند (Rao et al., 1988). به همین دلیل در سال‌های اخیر در کنار مدیریت عرضه (تامین منابع آب)، مسئولان و برنامه‌ریزان حوزه آب، مدیریت تقاضا و حفظ منابع آبی را در دستور کار خود قرار داده‌اند. به نحوی که در حوزه مدیریت جدید (تقاضای آب) مفهوم جدیدی به نام آب مجازی³ ارائه شده است. (محمدیان و همکاران، 1386) استفاده کاربردی از مفهوم آب مجازی و بهینه‌سازی تابع هدف، گامی در جهت پیش‌برد اهداف بلند مدت پایداری منابع آبی است، روش‌های

ایران با میانگین بارندگی سالانه 252 میلی‌متر (413 میلیارد متر مکعب) و 130 میلیارد متر مکعب منابع آب تجدید شونده، از توزیع نامتوازن زمانی و مکانی منابع آب برخوردار است. از طرفی رشد جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیش‌تر باعث شده که بخش کشاورزی کماکان بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در کشور باشد. اما تولید آن هنوز کل تقاضای منابع غذایی را برآورده نمی‌کند (بابازاده، 1391). عدم اعتماد به میزان منابع آب، رقابت شدید برای آب از سوی بخش‌های دیگر و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، ایران را به شدت در معرض مواجهه با تنش آبی قرار داده است (روحانی و همکاران، 1387). پیش‌بینی شده است که جمعیت ایران تا سال 1410، به مرز 100 میلیون نفر خواهد رسید، که در این صورت برای تامین نیازهای

1- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

2- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بیرجند

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

$$Vw = CWRc / CYc \quad (1)$$

Vw : آب مجازی (mm/kg), $CWRc$: متوسط نیاز آبی گیاه (mm), CYc : عملکرد متوسط گیاه (kg)

مفهوم بنیادی بهره‌وری آب کشاورزی، استفاده صحیح از آب به همراه افزایش تولید محصولات کشاورزی است. در این تعریف افزایش هم‌زمان کارایی مصرف آب و افزایش تولید در واحد سطح با مفهوم (افزایش تولید به ازای هر واحد حجم آب مصرفی) ملاک عمل قرار می‌گیرد (هوشمند، 1389). در واقع، در مبحث بهره‌وری باید به دو مفهوم راندمان که عبارت است از مقدار ظرفیت فعلی به ظرفیت اسمی و اثر بخشی که عبارت است از درجه و میزان نیل به اهداف تعیین شده به صورت هم‌زمان توجه نمود. به طور کلی هر عملی که منجر به استفاده مناسب‌تر از آب در کشاورزی گردد، منجر به افزایش بهره‌وری آب خواهد شد (Paul, et al., 2002). در نتیجه با کاهش (صرفه جویی) در میزان آب مجازی می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد.

اهمیت بهینه‌سازی الگوی کشت

در ایران به ویژه در مناطق خشک که با بحران کم آبی و خشک‌سالی مواجه‌اند، تولید محصولات کشاورزی آبربر با آب مصرفی بیش‌تر می‌تواند فضا را برای صادرات آب مجازی فراهم آورد در حالی که با برنامه‌ریزی صحیح در ارتباط با الگوی بهره‌برداری از اراضی (الگوی کشت بهینه) می‌توان تقاضا برای آب را مدیریت کرد. این مهم، نیازمند تصمیم‌گیری‌های مناسب در چهارچوب سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب در جهت تخصیص بهینه منابع آب در سطح حوضه آبریز می‌باشد. از این رو باید با بررسی این تغییرات، وضعیت موجود آب از نظر الگو و تراکم با شرایط پیشنهادی مقایسه گردد و بهترین الگو که متناسب با افزایش بهره‌وری آب باشد، انتخاب شود. یافتن الگوی کشت زراعی بهینه با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی که مهم‌ترین آن‌ها منابع آبی می‌باشد، پیچیده بوده و با روش‌های معمول مانند سعی و خطا نمی‌توان یقین حاصل نمود که آیا ترکیب کشت پیشنهادی بهترین ترکیب کشت می‌باشد. از این رو در برنامه‌ریزی کشاورزی و تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در یک واحد کشاورزی و یا در یک منطقه خاص، از برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌شود. (شفیعی، 1387). باقریان و همکاران (1386) جهت تعیین الگوی بهینه کشت، از روش برنامه‌ریزی خطی که در رابطه با تخصیص بهینه منابع کم‌یاب بین فعالیت‌های مختلف رقیب بکار گرفته می‌شود، استفاده کردند. همچنین برای استخراج و تجزیه و تحلیل نتایج از نرم افزار LINDO استفاده نمودند که از این طریق الگوی کشت در دو حالت کنونی (کالیبره) و بهینه، با توجه به محدودیت‌های منطقه تعیین گردید. برای نشان دادن رابطه قیمت-مقدار، نمودار تقاضای آب به صورت پلکانی استخراج گردید. نتایج

بهینه‌سازی به دو دسته کلی کلاسیک و غیر کلاسیک (فراکوشی) 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 کارهای انجام شده در این خصوص می‌توان به تحقیقات ماجی و هدی در هند (Maji and Heady., 1998) اشاره کرد. پایمرد و همکاران (1389) به منظور بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی از روش بهینه‌سازی غیرخطی و سیستم‌های پویا استفاده کردند. در تحقیقی کاروالو و همکاران (Carvalho et al., 1998) نشان دادند که در وضعیت‌های مختلف، عملکرد در پتانسیل آبی 100 درصد بیش از حالات دیگر است. با افزایش متغیرهای تصمیم و درجه غیرخطی بودن مسئله، استفاده از روش‌های فراکوشی مطلوب‌تر به نظر می‌رسد. شعبانی و همکاران (1387) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف، الگوی بهینه کشت (در فصل اول و دوم کشت) را برآورد نموده و اعلام داشتند که نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک شبیه برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. خاشعی و همکاران (1392) با استفاده از مدل بیان آب زیرزمینی و با روش فراکوشی PSO الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی دشت نیشابور را تعیین نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان با کاهش 30 درصدی سطح زیر کشت اغلب محصولات بهاره و افزایش 30 درصدی سطح زیر کشت گندم و جو و کلزا بیش‌ترین درآمد را از آب استحصال از آبخوان دشت نیشابور کسب نمود. صبوحی و سلطانی (1387)، در تحقیق خود، مدلی را در سطح حوضه آبریز شامل، 5 سطح از ریسک در مقدار آب در دسترس و سه سطح بازده آبیاری 35، 45، 65 درصد در مقدار آب آبیاری مطرح کردند. این تحقیق نتایج مختلفی در سطوح ریسک و بازده نشان داده است به طوری که برخی از مدل‌ها در وضعیت مناسب از لحاظ واردات آب مجازی قرار داشتند. اهدافی که در تحقیقات گذشته کم‌تر به آن اشاره شده است شامل موارد زیر می‌باشد:

1- بهینه‌سازی مساحت تحت کشت هر یک از محصولات مورد نظر در کنار بهینه‌سازی عمق آب آبیاری 2- استفاده از روش‌های فوق ابتکاری بهینه‌سازی مانند ژنتیک و PSO

رابطه آب مجازی و بهره‌وری

اصطلاح آب مجازی، نخستین بار در دهه 90 میلادی توسط آلن به این صورت معرفی شد: مجموعه آب مصرف شده برای تولید مقدار معینی از محصول، اعم از کالا، فرآورده‌های کشاورزی یا حتی خدمات را آب مجازی می‌نامند (احسانی، 1387). که این شاخص به صورت رابطه 1 نمایش داده می‌شود: (Hukestra and Hong., 2002)

آبیاری بهینه شده برای هر محصول (m^3/ha)، A_i سطح زیر کشت هر یک از محصولات الگوی کشت (ha) (به عنوان متغیر در نظر گرفته می شود که در قسمت زیر سناریوهای مختلفی برای آن در نظر گرفته شده است)، Y_p عملکرد پتانسیل محصول (kg/ha)، K_{yct} ضریب حساسیت به خشکی محصول c در دوره t ، P_c : ارزش محصول ETa ، و ETp به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل محصول در طی مراحل رشد (mm).

جدول 1- سطح زیر کشت، دوره رشد و آب مصرفی در وضعیت

کنونی هر یک از محصولات در دشت بیرجند			
محصول	T(day)	Q(m^3/ha)	A(ha)
گندم	130	8030	8543
پنبه	190	15230	1400
یونجه	60	4638	850
چغندر قند	190	18220	75
سبزیجات	110	14690	320
ذرت	130	8000	20
جو	220	8236	2943
زیره	130	5270	557
عناب	150	4500	521
زعفران	220	5870	2000
زرشک	150	6850	2550

مرجع: (مروت نشان، 1393).

مقدار عملکرد محصول که قسمت مخرج تابع هدف را تشکیل می دهد از معادله استوارت (معادله 3) که میزان عملکرد نسبی محصولات را براساس ضریب حساسیت به خشکی تعیین می کند، استفاده گردید.

$$\frac{Y_{a_i}}{Y_{p_i}} = 1 - \sum_{t=1}^{TN} K_{yct} \left\{ 1 - \frac{ETa_i}{ETp_i} \right\} t \quad (3)$$

مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک بیرجند بصورت روزانه و ده روزه و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث اصلاح شده (نشریه 56 فائو) تعیین گردید. ضریب حساسیت به خشکی (K_y) براساس اطلاعات نشریه فائو 33 است (خاشعی، 1390) میزان بارندگی در غالب دوره آماری ده روزه مشخص گردید. مقدار ظرفیت نگهداشت خاک مزرعه 150 و نقطه پژمردگی دایم 71 میلی متر در متر خاک تعیین شد. تبخیر و تعرق واقعی به عنوان بخشی از تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت ضربی که خود تابعی از میزان بارندگی و بیلان رطوبتی خاک و عمق آب آبیاری و رواناب و نفوذ عمقی می باشد تعیین می گردد. البته باید خاطر نشان نمود که در روند بهینه سازی مقدار عمق آب آبیاری (q) به گونه ای که

نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی کنند، به گونه ای که اختلاف سود در اجرای دو حالت کنونی و بهینه 11/5 درصد می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

از نظر جغرافیایی، دشت بیرجند در موقعیت 59 درجه و 13 دقیقه طول جغرافیایی و 32 درجه و 53 دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع 1470 متری از سطح دریا قرار دارد. اراضی زیر کشت محصولات زراعی در دشت بیرجند 23853 هکتار می باشد که از این مقدار 76 درصد آن آبی و 24 درصد آن بصورت دیم می باشد و سطح زیر کشت اراضی باغی این دشت 10137 هکتار می باشد که از این مقدار نیز 54,3 درصد به صورت آبی و مابقی به صورت دیم می باشد (روحانی و همکاران، 1387). در سال 1390، جمعیت شهری بالغ بر 194405 نفر بوده است و جمعیت روستایی بالغ بر 70977 نفر و جمعیت کل شهرستان بیرجند بالغ بر 265382 نفر می باشد (مرکز آمار ایران، 1390).

جمع آوری داده - تجزیه و تحلیل

به منظور بهینه سازی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی دشت بیرجند، 11 محصول (گندم، جو، ذرت، یونجه، سبزیجات، چغندر قند، زعفران، عناب، زیره، زرشک، پنبه) برای قرارگیری در الگوی کشت جدید، انتخاب شدند که این محصولات عمده محصولات دشت بیرجند را تشکیل می دهند. در وضعیت حاضر محصول گندم بیشترین سطح زیر کشت (حدود 30 درصد) را به خود اختصاص داده است و محصول ذرت با کشت سالیانه 20 هکتار از کمترین سطح زیر کشت برخوردار می باشد (مروت نشان، 1393). دوره رشد و آب مصرفی در وضعیت کنونی هر یک از محصولات در جدول 1 آورده شده است. برای تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی و مقدار بهینه آب مصرفی هر محصول طی دوره های آبیاری از مدل بیلان آب در خاک استفاده شد.

تابع هدف

تابع هدف براساس تابع آب مجازی، بصورت نسبت آب مصرفی به عملکرد محصول در نظر گرفته شده است که در رابطه (2) ارائه گردیده است.

$$VW = \min \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - P_c) \left(1 - \left[\sum_{t=1}^{TN} K_{yct} \left(1 - \frac{ETa_i}{ETp_i} \right) \right] \cdot A_i \right)} \quad (2)$$

فاکتورهای به کار رفته در این تابع: $VW =$ آب مجازی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی، Q_c مجموع مقادیر عمق آب

پارامترهای فضای جستجو در قالب رشته‌هایی به نام کروموزوم شکل می‌گیرند. هر کروموزوم نشان‌دهنده یک جواب برای مسئله مورد نظر است. کروموزوم‌ها در کنار هم مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که جمعیت نامیده می‌شود و در شروع عملیات معمولاً عناصر جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. الگوریتم به صورت تکراری روی عناصر جمعیت دو عملگر برش و جهش را اعمال کرده و از یک جمعیت، جمعیت جدید را به وجود می‌آورد. معمولاً به جواب‌های یک جمعیت، نسل گفته می‌شود. در انتها پس از تکرار متناهی، جواب‌های مورد نظر در نسل آخر تولید می‌شوند. واضح است که همه جواب‌ها حتماً جواب بهینه نیستند. برای تعیین میزان بهینه بودن هر جواب از معیاری استفاده می‌شود که به آن تابع هدف گفته می‌شود. در عمل تابع هدف به هر کروموزوم جمعیت از یک نسل، یک مقدار نسبت می‌دهد که این مقدار، برازندگی این جواب را نسبت به بقیه جواب‌های همان نسل مشخص می‌نماید (قنبری، 1383).

چهار عملگر الگوریتم ژنتیک

برازندگی یا تناسب انتخاب، ترکیب یا ادغام و جهش.

نتایج

ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک

با توجه به تابع برازندگی (تابع هدف) تعریف شده، مقدار فاکتور جمعیت در نظر گرفته شده 100 می‌باشد، که از این مقدار 80 درصد آن به فاکتور انتخاب اختصاص داده شده است. با توجه به در نظر گرفتن 1 درصد از جمعیت به عنوان نسل برتر و انتقال به نسل بعدی، مقدار جهش صورت گرفته در الگوریتم ژنتیک برابر 19 درصد در نظر گرفته شد. مسئله بسیار مهم در الگوریتم‌های فراکاوشی، هم‌گرایی الگوریتم به مقدار خاصی (مقدار شایستگی یا مقدار تابع هدف) می‌باشد که مقدار شایستگی در این تحقیق بعد 100 تکرار و 500 کروموزوم، تغییر قابل توجه‌ای ندارد. تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد کروموزوم در شکل 1 نمایش داده شده است.

به گیاه تنش وارد نشود بهینه می‌گردد. در این تحقیق تبخیر و تعرق واقعی به عنوان بخشی از تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت ضریبی (ضرایب گیاهی و اصلاح آن براساس نشریه 56 فائو) که خود تابعی از میزان بارندگی و بیلان رطوبتی خاک و عمق آب آبیاری و رواناب و نفوذ عمقی می‌باشد تعیین شد و براساس معادله 3 عملکرد محصول بدست آمد و در مخرج تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. سطح زیر کشت هر محصول را بصورت ضریبی از سطح موجود محصولات تعیین می‌نماید، این امر بدین جهت است که تغییرات شدید تراکم و الگوی کشت در یک منطقه به سهولت امکان‌پذیر نیست و در تعیین الگو و تراکم کشت از جهت ظرفیت بازار، نیازهای محصولات به نیروی انسانی و تجهیزات مورد نیاز و غیره می‌بایست حداقل و حداکثر سطح زیر کشت محصول را در نظر گرفت در نتیجه براساس میزان تغییرات سطح زیر کشت 4 سناریو زیر تعریف گردید:

1- 30 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول

2- 50 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول

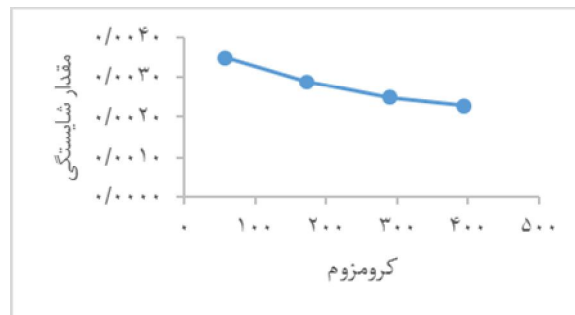
3- 75 درصد تغییرات سطح کنونی هر محصول

4- تغییرات آزاد سطح زیر کشت محصولات به ازای بازه صفر تا حداکثر سطح زیر کشت موجود در منطقه مورد بررسی.

تابع هدف شکل گرفته محاسبات پیچیده‌ای دارد در نتیجه برای بهینه‌سازی این تابع از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش فراکاوشی استفاده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از قدرتمندترین روش‌های فراابتکاری جهت یافتن نقاط حداقل و حداکثر یک تابع هدف می‌باشد. روش حل الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که فضای مسئله به صورت تصادفی و مرحله به مرحله جستجو می‌شود و در حقیقت هدف جستجو، پیدا کردن جواب‌های بهتر در هر مرحله نسبت به جواب‌های قبل است. یکی از ویژگی‌های شاخص الگوریتم ژنتیک، امکان اجرای موازی است که توانایی حل مسائل بسیار بزرگ و پیچیده را فراهم می‌آورد. روش کار این الگوریتم به این صورت است که در ابتدا



شکل 1- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد کروموزوم

سطح زیر کشت

بتوانند بین بازه صفر تا حداکثر سطح زیر کشت دشت، سطحی را به خود اختصاص دهند که در این سناریو بر خلاف 3 سناریوی قبلی بیشترین سطح زیر کشت متعلق به گندم نمی‌باشد بلکه کمترین سطح به محصول گندم با مقدار 254 هکتار اختصاص داده شده است. بیشترین سطح زیر کشت در این سناریو به محصولات زیره، زعفران، سبزیجات، عناب و پنبه با سطحی به ترتیب 2970، 4842، 5034، 1394 و 940 هکتار، تعلق دارد.

آب مصرفی محصولات

جدول 3 مجموع مقادیر آب مصرفی برای هر یک از محصولات در شرایط بهینه و عمق آبیاری کل برای هر محصول آورده شده است. میزان آب مصرفی هر یک از محصولات در دشت بیرجند بسیار بالا می‌باشد و این مقدار در این دشت متناسب با شرایط اقلیمی منطقه نیست و نتایج حاصله از بهینه‌سازی تابع هدف نیز نشان دهنده این موضوع می‌باشد.

با مشاهده جدول 2 می‌توان نتیجه گرفت سطح زیر کشت در سناریوی اول، دوم و سوم بازه تغییرات سطح زیر کشت برای هر یک از محصولات براساس 50، 75 و 80 درصد سطح زیر کشت کنونی می‌باشد. در هر سه سناریو همانند حالت کنونی، بیشترین سطح زیر کشت مربوط به محصول گندم است. در سناریو اول پس از گندم (6718 هکتار) بیشترین سطح زیر کشت مربوط به محصولات جو، زعفران، زرشک و پنبه به ترتیب با سطح زیر کشت 3018، 2173، 1752، 932 هکتار می‌باشد. کمترین سطح زیر کشت در بازه تغییرات 30 درصدی مربوط به محصول ذرت با سطح 24 هکتار بوده است. در سناریوی دوم با توجه به تغییرات 50 درصدی هم‌چون سناریوی اول بیشترین سطح زیر کشت مربوط به محصولات گندم، زعفران، جو، زرشک و عناب با سطح زیر کشت به ترتیب 6139، 2880، 1765، 1343 و 770 هکتار می‌باشد. در سناریوی سوم نیز بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گندم، زعفران، جو، عناب و زیره می‌باشد. در سناریوی چهارم شرط بر این است که هر یک از محصولات آزادانه

جدول 2- سطح زیر کشت محصولات دشت بیرجند در شرایط کنونی و بهینه (ha)

سطح	گندم	پنبه	یونجه	چغندر قند	سبزیجات	ذرت	جو	زیره	عناب	زعفران	زرشک
مقدار کنونی	8543	1400	850	75	320	20	2943	557	521	2000	2550
سناریو اول	6718	932	708	54	343	24	3018	695	620	2173	1752
سناریو دوم	6139	740	730	73,5	363	16,5	1765	742	770	2880	1343
سناریو سوم	5805	410	670	73	385	14	1177	834	895	3320	739
سناریو چهارم	254	940	875	312	2970	663	298	5034	1394	4842	880

جدول 3- مقادیر آب مصرفی محصولات دشت بیرجند (1000m³/ha) در شرایط موجود و بهینه

محصول	گندم	پنبه	یونجه	چغندر قند	سبزیجات	ذرت	جو	زیره	عناب	زعفران	زرشک
عمق آبیاری	5/03	13/1	4/23	12/99	4/14	8/09	4/57	2/25	11/89	2/88	9/33
مقدار بهینه	2/47	7/23	2/35	8/5	2/22	5/95	2/79	1/03	8/06	1/63	6/73

نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل

برای بدست آوردن تبخیر و تعرق واقعی هر یک از محصولات الگوی کشت از روش معادلات بیلان آب در خاک (طبق رابطه 4) استفاده گردید.

$$SMc^{t+1} Dc^{t+1} = SMc^t Dc^t + RF^t + q_c^t - ET_{ac}^t + SMc_{Max}^t (Dc^{t+1} - Dc^t) - DP_c^t - SR_c^t \quad (4)$$

که در این رابطه:

$SMc^{t+1} Dc^{t+1}$: رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه c در

دوره زمانی t+1 (میلی‌متر بر متر)

$SMc^t Dc^t$: رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه c در دوره t

(میلی‌متر بر متر)

RF^t : بارندگی در دوره t (میلی‌متر)

q_c^t : آب اختصاص یافته برای گیاه c در دوره t (میلی‌متر)

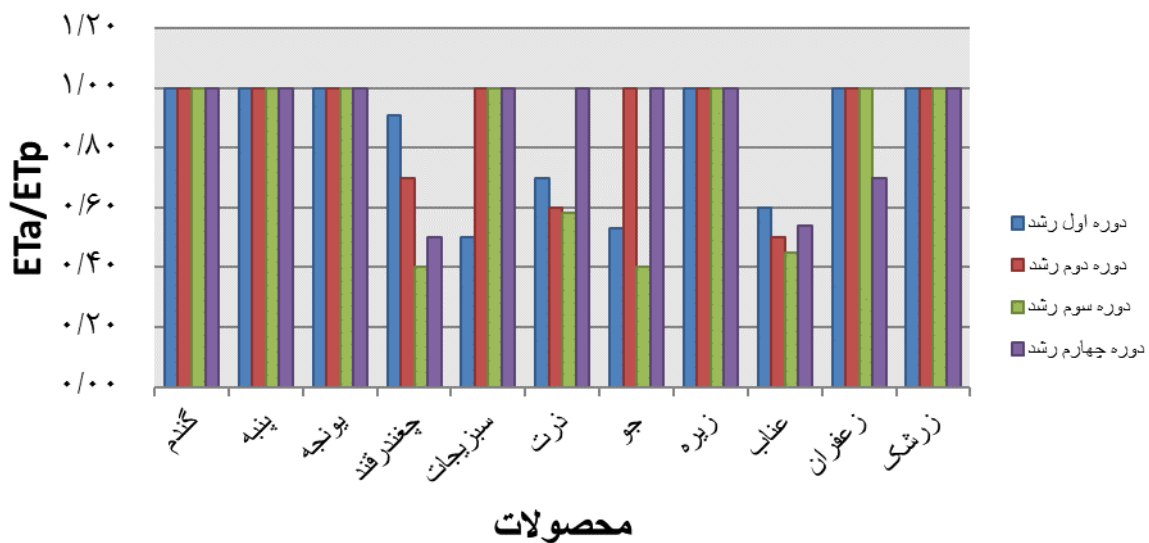
میزان تبخیر و تعرق واقعی در طی دوره‌های رشد مشخص و نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل هر یک از محصولات طی

دوره‌های رشد، در شکل 2 ارائه شده است.

چهارم، میزان صرفه‌جویی حدودا 8 درصد (8/45 میلیون مترمکعب در سال) است. از تمامی سناریوها می‌توان این نتیجه را گرفت که مصرف آب حتی بدون در نظر گرفتن تلفات انتقال آب از منبع تا پای گیاه بسیار بالا بوده و مقدار متوسط حدود 10 درصدی (به جز سناریو سوم) را بیش از میزان منطقی آن به خود اختصاص داده است. میزان صرفه‌جویی مصرف آب در سناریوهای مختلف در جدول 4 آورده شده است.

میزان صرفه‌جویی آب مصرفی در سناریوها

در سناریوی اول میزان آب صرفه‌جویی شده 9/07 میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. در سناریوی دوم میزان صرفه‌جویی در مصرف آب افزایش و مقداری بالغ بر 16/2 میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. در سناریوی سوم با توجه به نتایج، مقدار صرفه‌جویی منابع آب حدودا 33/5 میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. در سناریوی



شکل 2- نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل هر یک از محصولات طی دوره رشد

جدول 4- میزان مصرفی و صرفه‌جویی آب در سناریوهای مختلف (میلیون مترمکعب)

صرفه جویی	جمع آب مصرفی	زرشک	زعفران	عنب	زیره	جو	ذرت	سبزیجات	چغندرقلند	یونجه	پنبه	گندم	مقدار کنونی
0/00	177/8	23/8	5/76	6/2	1/25	13/45	0/16	1/32	0/97	3/6	18/34	43	مقدار کنونی
9/07	108/73	23/58	7/08	9/99	1/43	16/84	0/28	1/52	0/91	3/32	13/47	30/3	سناریو اول
16/20	101/6	18/07	9/38	12/4	1/52	9/85	0/19	1/61	1/25	3/43	10/7	33/1	سناریو دوم
33/50	84/3	9/94	10/8	14/4	1/72	6/56	0/16	1/7	1/24	3/14	5/92	28/6	سناریو سوم
8/45	109/35	6/46	15/7	22/4	10/3	1/66	7/88	13/18	12/1	4/11	13/6	1/74	سناریو چهارم

نتیجه گیری

و میزان آب مصرفی معرفی گردید. به علت تعدد متغیرها و پیچیدگی تابع هدف شکل گرفته، از الگوریتم‌های فراکاوشی که زمان کم‌تر و همچنین راحت‌تر به جواب می‌رسند، استفاده شده است. از بین الگوریتم‌های موجود از الگوریتم ژنتیک به دلیل خصوصیات ویژه این الگوریتم استفاده گردید. نتایج حاصله نشان دهنده‌ی این واقعیت می-

یکی از راهکارهای مناسب برای سازگاری با بحران آب، بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی است. در این تحقیق با استفاده از مفهوم بنیادی آب مجازی و با استفاده از معادلات بیلان آب در خاک و معادله استوارت، تابع هدفی با دو متغیر سطح زیر کشت

پایمرد، ش.، مرید، س. و مقدسی، م. 1389. برنامه‌ریزی غیرخطی و سیستم‌های پویا در تخصیص آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان). مجله آبیاری و زهکشی ایران. 1. 4: 44-52

خاشعی سیوکی، ع.، قهرمان، ب. و کوچک‌زاده، م. 1392. کاربرد تخصیص و مدیریت آب کشاورزی با استفاده از تکنیک بهینه سازی PSO (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، نشریه آب‌و خاک. 27: 292-303

خاشعی سیوکی، ع. 1390. تهیه مدل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی جهت تعیین الگو و تراکم کشت بهینه (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

روحانی، ن.، یانگ، ه.، امین سیچانی، س.، افیونی، م.، موسوی، ف. و کامگار حقیقی، ع.ا. 1387. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 12. 46(ب): 55-68.

سند توسعه شهرستان بیرجند. 1394. برنامه پنج ساله پنجم در شهرستان بیرجند، 1388 الی 1393. سازمان مدیریت و برنامه ریزی.

شعبانی، م.ک.، هنر، ت. و زیبایی، م. 1387. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی. 12. 44: 53-68

شفیعی، ع. 1387. تعیین الگوی کشت بهینه محصولات با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: شهرستان بشرویه). اولین همایش منطقه ای توسعه منابع آب.

صوحی، م. و سلطانی، غ. 1387. بهینه سازی الگوهای کشت در سطح حوضه آبریز با تاکید بر منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی: مطالعه موردی منطقه خراسان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 12. 43: 297-313

قنبری، ر. 1383. آشنایی با الگوریتم ژنتیک. دانشگاه صنعتی شریف. ص 187.

مروت نشان، ع. 1393. تهیه الگو و تراکم کشت بهینه براساس آب مجازی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، پایان نامه ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بیرجند.

محمدیان، ف.، علیزاده، ا.، نیری، س. و عربی، ا. 1386. طراحی الگوی

باشد که الگوی کشت مورد استفاده در دشت بیرجند متناسب با شرایط اقلیمی، محیطی و منابع در دسترس نمی‌باشد. همان گونه که از نتایج مشخص است میزان مصرف آب در دشت بیرجند با مقدار بهینه خود تفاوت زیادی دارد در نتیجه سناریوهای مذکور را طی چند سال باید اجرا نمود. بهترین سناریوی از بین سناریوهای مطرح شده (از دید صرفه جویی منابع آب) سناریوی سوم می‌باشد ولی با توجه به افزایش میزان درآمد در سناریوی چهارم که بسیار چشم‌گیر می‌باشد و از طرفی میزان آب مصرفی را نیز حدودا 8 درصد کاهش می‌دهد، سناریوی چهارم به عنوان سناریوی مناسب‌تر مطرح است. در نتیجه در افق نزدیک با به کارگیری سناریوی چهارم می‌توان افزایش سودآوری را در کنار افزایش کارایی مصرف آب داشت.

پیشنهادها

می‌توان از روش‌ها و مدل‌های کم آبیاری در کنار بهینه‌سازی مصرف آب استفاده نمود تا کارایی مصرف آب افزایش پیدا کند.
- استفاده از دیگر روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب و مقایسه آن‌ها با یکدیگر تا بهترین و بهینه‌ترین روش معرفی گردد.
- به جهت کاربردی‌تر شدن روش‌های بهینه‌سازی به این شکل بهتر است عوامل زیادی از جمله بحث اشتغال که بسیار با اهمیت می‌باشد، در نظر گرفت.
- افزایش کارایی مصرف آب فقط به فضای کشت محدود نیست پس پیشنهاد می‌گردد به معقوله استفاده از روش‌های آبیاری مدرن (آبیاری تحت فشار) و همچنین به روش‌های مدرن انتقال آب نیز توجه ویژه گردد.
- در تابع هدف به فاکتورهایی از جمله میزان کوددهی و روش‌های به‌سازی خاک نیز توجه شود.

منابع

احسانی، م.، خالدی، ه.، برقی، ی. 1387. مقدمه‌ای بر آب مجازی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره 134.

بابازاده، ج. 1391. ارزیابی وضعیت کشاورزی استان هرمزگان از دیدگاه آب مجازی. مجله پژوهش آب در کشاورزی (ب). 26. 4: 235-248

باقریان، ع.، صالح، ا. و پیکانی، غ. 1386. بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه کازرون با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران.

- Project(India): An application of chance-constrained linear programming, Water Resources. Research . 14: 190-196.
- Paul,S., Panda,S.N and Nagesh Kumar,D. 2002. Optimal irrigation allocation: a Multi level approach. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,ASCE 126 .3: 149-156.
- 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.
- زراعی پایدار با تاکید بر مبادله آب مجازی، مجله آبیاری و زهکشی ایران. 2. 1: 45-57.
- هوشمند،ع. 1389. آب مجازی و بهره‌وری آب در کشاورزی، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.
- 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.
- Maji,C.C and Heady,E.O. 1998. Intertemporal allocation of irrigation water in the Mayurakshi

Archive of SID

Agricultural Water Management Approach through the Technique of Virtual Water Genetic Optimization (GA) (Case study: Birjand plain)

A. Shahidi^{*1}, A. Morovatneshan²

Received: Feb.18, 2015

Accepted: Nov.08, 2016

Abstract

Iran's influential role in intensifying water scarcity water crisis, especially in arid and semi-arid plains such as Birjand, South Khorasan province is, that only by relying on groundwater resources to agricultural production occurs. In this study by groundwater balance modeling, the required equations for estimating fluctuations of the water table levels have been determined; Then the objective function based on the concept of virtual water is the function Stewart, was created. Then, because too many variables in the objective function in the optimization of water use, using heuristic and intelligent Genetics (GA) which requires fewer calculations than the other methods are more efficient, optimized crop pattern and density studies Plains 4 the scenario was set. Results showed areas of crops cultivation were not optimized and water use in agriculture is not appropriate to the circumstances of Birjand plain. Given those results the best answer among of the scenarios is the fourth scenario, because profitability not only has increased 4times, but also reduces the amount of water to approximately 8%.

Keywords: Crop pattern, Genetic Algorithm (GA), Improving efficiency, Optimization, Virtual water

1 - Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand

2 - Master Science Student of Irrigation and Drainage, University of Birjand

(*- Corresponding Author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)