نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 722-714

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 714-722

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

علی شهیدی*[1]، علی مروّت نشان[2]

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 فراکاوشی 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 سناریوی‌های 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

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 مواجه 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 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 سبد 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 مجازی[3] 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

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)

3 - Virtual Water

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 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 (Carvallo 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 فراکاوشی 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 بیلان آب زیرزمینی و با روش فراکاوشی 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 استحصالی 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 دردسترس 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)

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

V_W: آب مجازی (mm/kg)، CWR_C: متوسط نیاز آبی گیاه (mm)، CY_C: 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 درمناطق خشک که با بحران کم آبی و خشک‌سالی مواجه‌اند، تولید محصولات کشاورزی آب‌بر یا با آب مصرفی بیش‌تر می‌تواند فضا را برای صادرات آب مجازی فراهم آورد در حالی‌که 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 نمودندکه 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

نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند، به گونه‌ای که اختلاف سود در اجرای دو حالت کنونی و بهینه 11/5 درصد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

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 می‌باشد که از این مقدار 76 درصد آن آبی و 24 درصد آن بصورت دیم می‌باشد و سطح زیر کشت اراضی باغی این دشت 10137 هکتار می‌باشد که از این مقدار نیز 54,3 درصد به صورت آبی و مابقی به صورت دیم می‌باشد (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 بالغبر265382 نفر می‌باشد (مرکز آمار ایران، 1390).

جمع آوری داده- تجزیه و تحلیل

به منظور بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی دشت بیرجند، 11 محصول (گندم، جو، ذرت، یونجه، سبزیجات، چغندرقند، زعفران، عناب، زیره، زرشک، پنبه) برای قرارگیری در الگوی کشت جدید، انتخاب شدند که این محصولات عمده محصولات دشت بیرجند را تشکیل می‌دهند. 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 می‌باشد (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 دوره‌های 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.

$$VW = min \frac{\sum_{c=1}^{n} Q_c \cdot A_c}{\sum_{c=1}^{n} (Yp_c \cdot PC \cdot (1 - [\sum_{t=1}^{TN} K_{yct} \{1 - \frac{ETa_c}{ETp_c}\}_t]) \cdot A_c)} \quad (2)$$

فاکتورهای به کار رفته در این تابع: VW = آب مجازی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی، Qc مجموع مقادیر عمق آب 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 می‌شود که در قسمت زیر سناریوهای مختلفی برای آن در نظر گرفته شده است)، Yp عملکرد پتانسیل محصول (kg/ha)، Kyct ضریب حساسیت به خشکی محصول c در دوره t، Pc: 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
چغندرقند	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 می‌دهد از معادله استوارت (معادله 3) که میزان عملکرد نسبی محصولات را براساس ضریب حساسیت به خشکی تعیین می‌کند، استفاده گردید.

$$\frac{Ya_c}{Yp_c} = 1 - \sum_{t=1}^{TN} K_{yct} \{1 - \frac{ETa_c}{ETp_c}\}_t \quad (3)$$

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 مانتیث اصلاح شده (نشریه 56 فائو) تعیین گردید. ضریب حساسیت به خشکی (ky) 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 میلی‌متر در متر خاک تعیین شد. تبخیروتعرق واقعی به عنوان بخشی از تبخیروتعرق پتانسیل به صورت ضریبی که خود تابعی از میزان بارندگی و بیلان رطوبتی خاک و عمق آب آبیاری و رواناب و نفوذ عمقی می‌باشد تعیین می‌گردد. البته باید خاطر نشان نمود که در روند بهینه‌سازی مقدار عمق آب آبیاری (q) به‌گونه‌ای که

به گیاه تنش وارد نشود بهینه می‌گردد. در این تحقیق تبخیروتعرق واقعی به عنوان بخشی از تبخیروتعرق پتانسیل به‌صورت 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 به‌سهولت 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 پارامترهای فضای جستجو در قالب رشته‌هایی به نام کرومزوم شکل می‌گیرند. هر کرومزوم نشان‌دهنده یک جواب برای مسئله مورد نظر است. کرومزوم‌ها در کنار هم مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که جمعیت نامیده می‌شود و در شروع عملیات معمولا 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 به‌وجود می‌آورد. معمولا 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 حتما 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 کرومزوم 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 19درصد 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 کرومزوم، تغییر قابل توجه‌ای ندارد. تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد کرومزوم در شکل 1 نمایش داده شده است.

شکل 1- تغییرات مقدار شایستگی نسبت به تعداد کرومزوم

سطح زیر کشت

با مشاهده جدول 2 می‌توان نتیجه گرفت سطح زیر کشت در سناریوی اول، دوم و سوم بازه تغییرات سطح زیرکشت برای هر یک از محصولات براساس ۵۰،۳۰ و 75 درصد سطح زیر کشت کنونی می‌باشد. در هر سه سناریو همانند حالت کنونی، بیش‌ترین سطح زیرکشت 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 زیرکشت 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 زیرکشت 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 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 5034، 4842، 2970، 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.

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

سطح	گندم	پنبه	یونجه	چغندرقند	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	چغندرقند	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 تبخیروتعرق واقعی به تبخیروتعرق پتانسیل

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

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

که در این رابطه:

SMc t+1Dc t+1: رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه c در دوره زمانی t+1 (میلی‌متر بر متر)

SMct Dc t: رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه c در دوره t (میلی‌متر بر متر)

RFt: بارندگی در دوره t (میلی‌متر)

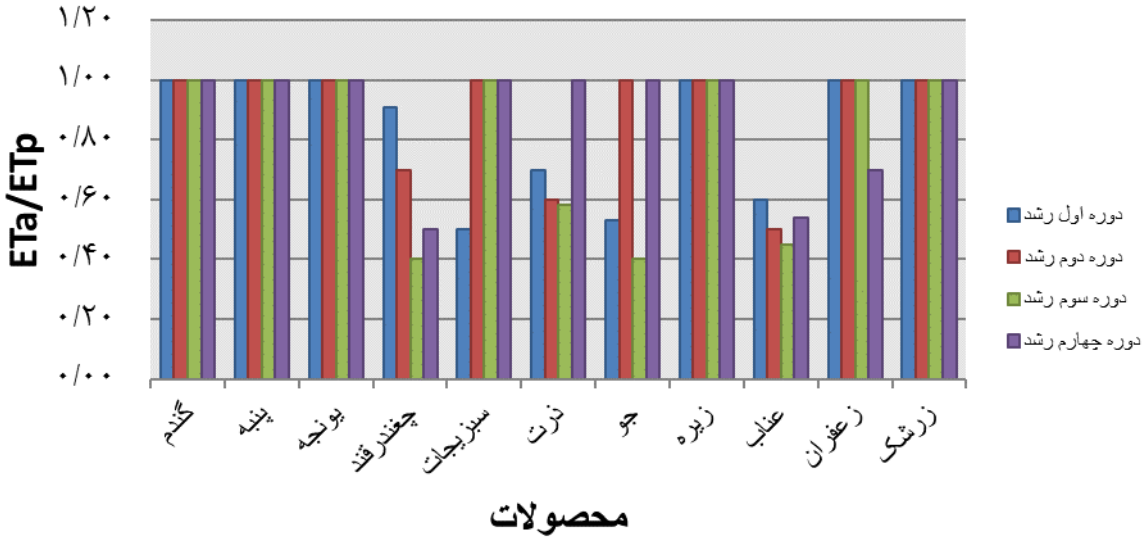
qct: آب اختصاص یافته برای گیاه c در دوره t (میلی‌متر)

میزان تبخیروتعرق واقعی در طی دوره‌های رشد مشخص و نسبت تبخیروتعرق واقعی به تبخیروتعرق پتاسیل هر یک از محصولات طی

دوره‌های رشد، در شکل 2 ارائه 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 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.



شکل 2- نسبت تبخیروتعرق واقعی به تبخیروتعرق پتانسیل هر یک از محصولات طی دوره رشد

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

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

نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای مناسب برای سازگاری با بحران آب، بهینه-سازی 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 و میزان آب مصرفی معرفی گردید. به علت تعدد متغیرها و پیچیدگی تابع هدف شکل گرفته، از الگوریتم‌های فراکاوشی که زمان کم‌تر و همچنین راحت-تر 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-

باشد که الگوی کشت مورد استفاده در دشت بیرجند متناسب با شرایط اقلیمی، محیطی و منابع در دسترس نمی‌باشد. همان‌گونه 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 سناریوی‌های 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 روش-های به‌سازی خاک نیز توجه شود.

منابع

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

بابازاده،ح. 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.

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 سازیPSO (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، نشریه آب‌وخاک. 27، 2: 303-292.

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: 68-53.

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

صبوحی،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.، نیریزی،س و عربی،ا. 1386. طراحی الگوی

زراعی پایدار بـا تاکیـد بـر مبادلـه آب مجـازی، مجلـه آبیـاری و زهکشی ایران. 2. 1: 45-57.

هوشمند،ع. 1389. آب مجازی و بهره‌وری آب در کشـاورزی، سـومین 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 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 levelapproach. 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.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 714-722

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 722-714

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

A. Shahidi*[1], A. Morovatneshan[2]
Recived: 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)