نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.14395.2924

تخصیص بهینه منابع آبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری حمیدیه)

پیمان کاشفی‌نژاد[۱]، *عبدالرحیم هوشمند[۲] و سعید برومندنسب[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۳]استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۵

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به افزایش روزافزون محدودیت منابع آبی، نیاز به برنامه‌ریزی جهت استفاده بهینه و درست از منابع آبی به‌ویژه در بخش کشاورزی که بیش‌تر منابع آبی را مصرف می‌کند، احساس می‌شود. در راستای تدوین یک برنامه جهت مدیریت روند استفاده از منابع آبی در دسترس در شبکه آبیاری حمیدیه، پژوهشی به‌منظور تخصیص بهینه منابع آبی به الگوی کشت این شبکه آبیاری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: در این راستا سال آبی ۹۵-۹۴ به ۳۶ دوره ده‌روزه تقسیم‌شده و مدلی چندهدفه جهت تخصیص منابع آبی به هر یک از دوره‌های ده‌روزه با هدف بیشینه‌سازی میزان کارایی مصرف آب نسبی و نسبت درآمد به هزینه به کمک الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب ایجاد شد. همچنین، جهت کمینه‌سازی خطای برآورد کاهش محصول در شرایط اعمال کم آبیاری، یک مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه با کمک الگوریتم ژنتیک ایجاد شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان برآورد شده کاهش محصول با استفاده از ضرایب حساسیت به تنش آبی ارائه‌شده در مطالعات پیشین در اثر اعمال کم آبیاری به‌تمامی مراحل رشد گیاه از ۱۶/۵ تا ۱۹۵/۵ درصد متغیر است که کاهش محصول بیش از صد درصد نمایانگر وجود خطاست. در حالی‌که میزان کاهش محصول برآوردی با استفاده از ضرایب اصلاح‌شده از ۸ تا ۵۷/۵ درصد متغیر می‌باشد. از آن‌جا مدل تخصیص بهینه منابع آبی مدلی چندهدفه و دارای بیش از یک پاسخ بهینه است که هیچ‌یک بر دیگری برتری نداشته و بر اساس شرایط مدیریتی پاسخ مناسب انتخاب می‌گردد، سه پاسخ از پاسخ‌های بهینه موجود در قالب سه سناریو انتخاب شد تا با شرایط فعلی تخصیص آب مورد مقایسه قرار گیرند. نتایج مدل تخصیص بهینه منابع آبی نشان داد که با وجود تغییرات ناچیز در میزان نسبت درآمد به هزینه، میزان کارایی مصرف آب نسبی حداقل ۹ درصد افزایش‌یافته و کاهش حداقل ۲۶ درصدی منابع آب را به دنبال دارد. همچنین، سطح کشت به میزان ۱۹۲، ۱۸۹ و ۱۸۲ هکتار به‌ترتیب در سناریوهای اول تا سوم افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، در سناریوی اول و سوم میزان سود اقتصادی به‌ترتیب به میزان

* مسئول مکاتبه: hooshmand_a@scu.ac.ir

۱۹/۵ و ۱۰/۷ میلیارد ریال نسبت به وضعیت فعلی افزایش می‌یابد، در حالی‌که در سناریوی دوم سود اقتصادی با کاهش ۸/٤ میلیارد ریالی همراه است.

نتیجه‌گیری: با بهینه‌سازی تخصیص منابع آبی ضمن صرفه‌جویی چشم‌گیر در آب مصرفی، محصول تولیدی به‌ازای آب مصرفی و همچنین سود اقتصادی نیز بسته به جواب انتخابی می‌تواند افزایش یابد. همچنین تخصیص بهینه منابع آبی باعث افزایش سطح کشت می‌شود که این به معنای احیاء اراضی آیش است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ضرایب حساسیت به تنش آبی گیاه، کارایی مصرف آب، مدیریت آب، نسبت درآمد به هزینه

مقدمه

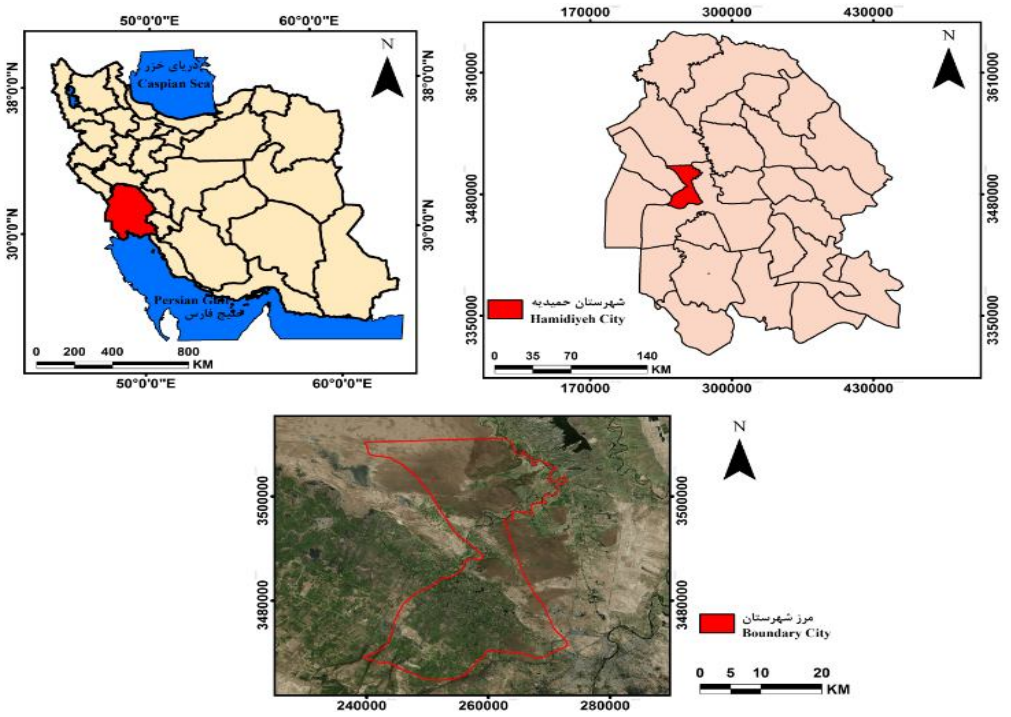
مطابق با شاخص‌های بین‌المللی فالکن‌مارک[1]، شاخص آسیب‌پذیری منابع آب[2] و مؤسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب[3]، ایران در مرحله تنش آبی بحرانی و به‌شدت بحرانی قرار دارد (١٦). در چنین شرایطی، بیش‌ازپیش به مدیریت اصولی منابع آبی نیاز است. با توجه به سهم عمده مصرف آب در بخش کشاورزی، تخصیص آب در این بخش باید به بهترین حالت ممکن صورت گیرد که در این راستا، پیش‌ازاین از فن بهینه‌سازی در مطالعات مربوط به آب استفاده‌شده است. خاشعی و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه بر روی دشت نیشابور با هدف تخصیص آب به الگوی کشت این دشت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[4] نتیجه گرفتند که در صورت بروز خشک‌سالی برای حفظ روند فعلی کاهش سطح ایستایی، سطح زیر کشت دشت نیشابور باید از ۱۰۷۵۷٦ هکتار به ۷۷۵٦٤ هکتار کاهش یابد (۹). نتایج مطالعه‌ای از گارگ و داهیچ (۲۰۱٤) نشان داد که میزان کاهش محصول پنبه، دانه‌های روغنی، برنج، سورگوم، خردل، گندم، نیشکر و نخود در اثر اعمال کم آبیاری با سطوح مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰٪) در تمامی مراحل رشد محصولات بین ۷/۲ تا ۱۰۱/۲ درصد متغیر است. این در حالی است که کاهش محصول بیش از ۱۰۰٪ منطقی نبوده و نشانگر خطای برآوردی است. همچنین نتایج نشان داد که در اثر اصلاح ضرایب مرحله‌ای حساسیت به تنش آبی[5] با استفاده از روش فرمولاسیون معکوس[6]، میزان کاهش محصول برآوردی در اثر اعمال کم آبیاری از ٤ تا ۵۸٪ متغیر است (۸). لاله‌زاری و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه بر روی دشت باغ‌ملک با کمک الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رتبه‌بندی نامغلوب دریافتند آبیاری تکمیلی نقش چندانی در افزایش کارایی مصرف آب گندم ندارد. همچنین جهت دستیابی به بهترین درآمد باید ۵۵ درصد نیاز آبی محصول تأمین شود (۱۰). احمدیان‌فر و همکاران (۲۰۱٦) از تلفیق مدل شبیه‌ساز سیاست بهره‌برداری جیره‌بندی گسسته و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب استفاده شد تا شاخص کمبود آب برای تأمین نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی برای دوره آماری ٤۸ ساله کاهش یابد. نتایج مطالعه مجموعه‌ای از جواب‌ها را به‌جای یک جواب بهینه ارائه می‌دهد. بنابراین به سهولت تصمیم‌گیری در مورد تأمین آب اهداف متضاد کشاورزی و زیست‌محیطی در شرایط مختلف بهره‌برداری کمک می‌کند (۱). در مطالعه میرزایی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)[7]

1- Falkenmark index
2- International water management institute index
3- Water resources vulnerability index
4- Particle Swarm Optimization
5- Stage wise crop response factor
6- Inverse formulation method
7- Genetic algorithm

الگوی کشت بهینه برای شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان واقع در استان گلستان تعیین کردند. نتایج نشان داد در کشت پاییزه تمام مساحت قابل‌کشت به زیر کشت می‌رود. همچنین ۳۸ درصد از آب موجود به‌صورت مازاد باقی می‌ماند که می‌توان با این حجم مازاد سطح زیر کشت محصولات تابستانه را به میزان ۱۳۸۸ هکتار افزایش داد. این افزایش سطح زیر کشت منجر به افزایش ۳۷ درصدی سود اقتصادی می‌گردد (۱۱). نتایج مطالعه اسعدی‌مهربانی و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه زرینه‌رود نشان داد میزان سود اقتصادی در حالت بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از مدل بهینه‌سازی قطعی نسبت به وضعیت فعلی ۳۶٪ افزایش می‌یابد. این در حالی است که این افزایش سود اقتصادی با کاهش ۱۲ درصدی در مصرف آب همراه است (٤). بنابراین، استفاده از فن بهینه‌سازی می‌تواند در تصمیم‌گیری مربوط به مسائل تخصیص آب و همچنین تعیین یک الگوی کشت برای منطقه کمک بسیار شایانی کند. در این مطالعه جهت تخصیص بهینه منابع آبی به شبکه آبیاری حمیدیه، مدلی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب ایجاد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه: شهرستان حمیدیه واقع در استان خوزستان است. شکل ۱ موقعیت شهرستان حمیدیه را نشان می‌دهد. شبکه آبیاری حمیدیه که در این شهرستان قرار دارد، با سطح قابل‌کشت ۱۳۵۰۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). در این شبکه کشت محصولات به‌صورت پاییزه و تابستانه صورت می‌گیرد. محصولات لوبیا، برنج، سبزیجات و کنجد به‌صورت تابستانه و بقیه محصولات به‌صورت پاییزه کشت می‌شوند. جدول ۱ اطلاعات مربوط به الگوی کشت شبکه آبیاری حمیدیه را در سال آبی ۹۵-۱۳۹٤ نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری حمیدیه.

Figure 1. The location of Hamidiyeh irrigation network.

جدول ۱- اطلاعات الگوی کشت شبکه آبیاری حمیدیه در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹٤ (منبع: جهاد کشاورزی حمیدیه).

Table 1. Hamidiyeh irrigation network cropping pattern information in water year 2015-2016 (Source: Hamidiyeh Bureau of Agriculture).

محصول Crop	واحد Unit	گندم Wheat	لوبیا Bean	جو Barely	برنج Rice	سبزیجات Vegetables	خیار Cucumber	گوجه Tomato	کلم Cabbage	کلزا Canola	کنجد Sesame
هزینه کاشت planting cost	میلیون ریال در هکتار Million Rials per hectare	18	26	17	20	70	60	120	80	12	9
آب‌بها Irrigation fee	میلیون ریال در هکتار Million Rials per hectare	1.2	1.8	1.1	2.8	7	3.8	4.7	1.2	1.2	1.2
قیمت فروش Crop price	ریال بر کیلوگرم $Rls.Kg^{-1}$	13000	28000	11000	17000	5000	6000	2500	6000	2800	50000
عملکرد Yield	کیلوگرم بر هکتار $Kg.ha^{-1}$	3200	1300	2800	3500	45000	15000	40000	45000	2000	1100
سطح اراضی زیر کشت Cultivated Land Area	هکتار (ha)	8200	500	800	1800	1900	700	1500	300	250	700

مدل بهینه‌سازی: مطالعه حاضر متشکل از دو مدل بهینه‌سازی است که هر کدام در زیر جداگانه توضیح داده شدند. هر دو مدل در فضای نرم‌افزار Matlab ساخته و اجرا شدند.

مدل اصلاح ضرایب حساسیت به تنش آبی: در شرایطی که بر گیاه کم آبیاری اعمال شود، میزان محصول‌دهی کاهش می‌یابد. دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) رابطه ۱ را جهت برآورد میزان کاهش محصول در شرایط اعمال کم آبیاری معرفی کردند (۷). این رابطه به‌صورت زیر است:

$$1-\frac{Y_a}{Y_m}=K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right) \qquad (۱)$$

که در آن، K_y ضریب فصلی حساسیت به تنش آبی، ET_a تبخیر- تعرق واقعی، ET_m تبخیر- تعرق پتانسیل محصول، Y_a عملکرد واقعی محصول ($kg.ha^{-1}$) و Y_m حداکثر عملکرد محصول ($kg.ha^{-1}$) است.

برآورد کاهش محصول در شرایط کم‌آبی می‌تواند با رابطه زیر نیز برآورد شود (١٤):

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_m}\right)=\sum_{i=1}^{n}K_{yi}\left(1-\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}\right) \qquad (۲)$$

که در آن، K_{yi} ضریب حساسیت در مرحله iام رشد محصول، ET_{ai} تبخیر- تعرق واقعی در مرحله iام رشد محصول، ET_{mi} تبخیر- تعرق پتانسیل محصول در مرحله i رشد محصول است (١٤). جدول ۲ شامل ضرایب حساسیت فصلی و مرحله‌ای گیاهان ارایه شده در مطالعات پیشین است (۷ و ۸).

جدول ۲- ضرایب مرحله‌ای و فصلی حساسیت محصولات به تنش آبی ارائه‌شده در مطالعات پیشین.

Table 2. Seasonal and stage wise crop response factors proposed in former studies.

محصول Crop	گندم Wheat	لوبیا Bean	جو Barely	برنج Rice	کلزا Canola	کنجد Sesame	سبزیجات Vegetables	خیار Cucumber	گوجه Tomato	کلم Cabbage
مرحله ۱ Stage 1	0.2	0.2	0.2	1	0.3	0.3	0.8	0.3	0.4	0.2
مرحله ۲ Stage 2	0.6	1.1	0.6	1.09	0.55	0.55	0.4	0.5	1.1	0.4
مرحله ۳ Stage 3	0.5	0.75	0.5	1.32	0.6	0.6	1.2	0.7	0.8	0.45
مرحله ٤ Stage 4	0.6	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	1	0.6	0.4	0.6
ضریب فصلی Seasonal	1	1.15	1	1.1	0.8	0.8	1	0.77	1.05	0.95

استفاده از ضرایب مرحله‌ای حساسیت به کمبود آب ارائه‌شده در مطالعات پیشین با کمک رابطه ۲ میزان کاهش محصول در صورت اعمال کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه و در سطوح بالای کم آبیاری می‌تواند از ۱۰۰٪ تجاوز کند که این بیانگر خطا در برآورد است (۸). جهت حصول مقدار درست ضرایب حساسیت به کم‌آبی نیاز به آزمایش در محل موردمطالعه است، اما از آن‌جا که این امر به هزینه، زمان و نیروی انسانی زیادی نیاز دارد، در این مطالعه مدلی جهت کمینه‌سازی خطای برآوردی میزان کاهش محصول ایجاد شد. بر این اساس، میزان کاهش محصول با استفاده از رابطه ۱ مبنا قرار گرفته و ضرایب مرحله‌ای حساسیت به کم‌آبی نسبت به آن اصلاح گشتند. توجه شود که در این مطالعه هدف کمینه‌سازی خطا تا حد امکان و عدم تجاوز میزان کاهش محصول برآوردی از ۱۰۰٪ در سطوح کم آبیاری بالا می‌باشد. در این راستا از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شد. متغیرهای تصمیم‌گیری این مدل، ضرایب مرحله‌ای حساسیت اصلاح‌شده محصولات به تنش آبی می‌باشند. رابطه زیر تابع هدف مدل می‌باشد:

$$E = \sum_{J=1}^{ND}[\{\sum_{i=1}^{n} K_{yi.adj}(1-\frac{ETa_{ji}}{ETm_i})\} - (1-\frac{Y_{aj}}{Y_m})]^2 \quad (۳)$$

که در آن، E میزان خطا، j اندیس مربوط به رژیم کم آبیاری، ND تعداد سطوح کم آبیاری مورد بررسی، $k_{yi.adj}$ ضریب اصلاح‌شده حساسیت برای دوره iام محصول و Y_{aj} عملکرد واقعی برای سطح آبیاری j، ETa_{ij} تبخیر- تعرق واقعی در مرحله iام محصول و در سطح آبیاری j و ETm_i تبخیر- تعرق پتانسیل در مرحله iام محصول می‌باشد. لازم به ذکر است که Y_{aj} با استفاده از رابطه ۱ به‌دست می‌آید. همچنین سطوح کم آبیاری موردبررسی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰ و ۵۰٪ می‌باشند که در تمامی مراحل رشد محصول رخ می‌دهند (۸).

تنها محدودیت مدل، حفظ روند حساسیت مراحل رشد با توجه به ضرایب مرحله‌ای حساسیت به کم‌آبی محصولات توسط دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) است (۷). همچنین، تعیین کران بالا و کران پایین ضرایب بر اساس گستره مقادیر اعلام‌شده است. جهت اطمینان از به‌دست آمدن جواب بهینه، نتایج حاصل با نتایج حاصل از روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مورد مقایسه قرار گرفت (۱۰). جهت حصول بهترین جواب، بهترین مقدار پارامترهای هر یک از دو روش

بهینه‌سازی بر اساس شاخص VIKOR مطابق با اکبری‌پور و ماسحیان (۲۰۱۳) به‌دست آمد (۲). در روش الگوریتم ژنتیک، تعداد جمعیت ٤۰، درصد همبری[1] ۷۰، احتمال جهش[2] ۳۰، درصد جهش ۲ و تعداد تکرار ۲۰۰ است. همچنین در روش الگوریتم ازدحام ذرات تعداد جمعیت ٤۰، ضریب اجتماعی ۲/۵، ضریب شناختی ۲/۵، ضریب انقباض ۰/۳۸، وزن اینرسی حداکثر ۰/۹، وزن اینرسی حداقل ۰/٤ و تعداد تکرار ۲۰۰ می‌باشد. تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در هر دو روش ٤ است.

مدل تخصیص بهینه آب: در مطالعه حاضر، مدلی دو هدفه جهت تخصیص بهینه آب به شبکه آبیاری حمیدیه در هر یک از ۳٦ دوره ۱۰ روزه سال آبی ساخته شد. متغیرهای تصمیم‌گیری در این مدل عمق آب آبیاری هر یک از محصولات در هر یک از دوره‌های ۱۰ روزه و سطح کشت آن‌ها در شبکه است. میزان آب موردنیاز هر یک از محصولات مطابق با آلن و همکاران برآورد شد (۲). با توجه به این‌که تعداد اهداف مورد بیشینه‌سازی مدل بیش از یکی است، استفاده از روش الگوریتم ژنتیک کارایی نداشته و بنابراین در مدل از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب[3](NSGAII) ارائه‌شده توسط دب و همکاران (۲۰۰۲) استفاده شد (٦). روش مذکور با توجه به بررسی صورت گرفته توسط آن‌ها نسبت به بسیاری از روش‌های بهینه‌سازی دیگر برتری دارد (٦). اهداف مدل مطالعه حاضر عبارت‌اند از:

۱- بیشینه‌سازی مجموع کارایی مصرف آب نسبی محصولات که به شرح زیر است:

$$WUE = \sum_{p=1}^{K}[(1-\sum_{i=1}^{n}K_{iy}(1-\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}))\times\frac{\sum_{i=1}^{n}ET_{mi}}{\sum_{i=1}^{n}ET_{ai}}]_p \quad (٤)$$

که در آن، WUE[4] مجموع کارایی مصرف آب نسبی محصولات، P شماره گیاه در الگوی کشت، k تعداد محصولات و n تعداد مراحل رشد گیاه است (۱۰).

۲- بیشینه‌سازی مجموع نسبت درآمد به هزینه

تابع مجموع نسبت درآمد به هزینه بدین‌صورت است:

$$Of = \frac{\sum_{c-1}^{n}(((Y_{pc}\times(\frac{Ya_c}{Yp_c}))\times P_c+L_c)\times A_c}{\sum_{c-1}^{n}((cf+Cpro+Char+Cbf+Cw)\times A_C} \quad (۵)$$

که در آن، c تعداد محصولات به‌کار برده شده در الگوی کشت، Y_{pc} حداکثر تولید محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار، P_c قیمت محصول بر حسب ریال بر کیلوگرم، A_c سطح زیر کشت محصول بر حسب هکتار، L_c درآمدهای متفرقه محصول در صورت وجود (ریال- هکتار)، C_f هزینه کاشت، C_{pro} هزینه داشت، C_{har} هزینه برداشت، C_{bf} هزینه قبل از کاشت (ریال- هکتار) و C_w هزینه آب و زمین (ریال- هکتار) است (۹).

محدودیت‌های مدل تخصیص آب: مجموع سطح زیر کشت تمامی محصولات نباید بیش‌تر از مساحت کل سطح کشت اراضی منطقه در هر فصل کشت باشد. همچنین، از آن‌جا که تدوین یک الگوی کشت نیازمند در نظر گرفتن سیاست‌های مختلف است، تغییرات سطح کشت هر محصول حداکثر ۳۰٪ در نظر گرفته شد. جهت پیشگیری از اعمال تنش‌های بسیار شدید، در هر یک از مراحل رشد محصول با ضریب حساسیت به تنش آبی بیش‌تر از ۰/۵، مدل نصف نیاز آبیاری محصول را تأمین می‌کند (۱۰). یکی دیگر از محدودیت‌های این مدل، معادله بیلان آب در خاک بوده که به شرح زیر است (۱۲):

1- Crossover
2- Mutation
3- Non Dominated Sorting Genetic Algorithm
4- Water Use Efficiency

$$SM_{t+1}D_{t+1} = SM_tD_t + RF_t + q_t - ET_{a_t} + SM_{max}(D_{t+1} - D_t) - DP_t - SR_t \quad (۶)$$

که در آن، SM_t میزان رطوبت خاک در دوره t (mm/m)، SM_{t+1} میزان رطوبت خاک در دوره t+1 (mm/m)، D عمق ریشه گیاه (mm)، RF میزان بارش مؤثر (mm)، q عمق آبیاری (mm)، ET_a تبخیر- تعرق واقعی (mm)، SM_{max} رطوبت اشباع خاک (mm/m)، DP نفوذ عمقی (mm)، SR رواناب سطحی (mm) و t شماره دوره است (۱۲).

ظرفیت تأمین آب شبکه در هر یک از دوره‌های ده‌روزه نیز از دیگر محدودیت‌های مدل است. از آن‌جا که نتایج مدل تخصیص آب باید توجیه اقتصادی داشته باشد، کاهش میزان کل سود اقتصادی حداکثر ۳۰٪ در نظر گرفته شد. سود اقتصادی از رابطه زیر به‌دست می‌آید (۱۵):

$$NB = \sum_{P=1}^{K}(B_p \times Y_{ap} - C_p - I_pC_w) \times A_p \quad (۷)$$

که در آن، NB سود خالص (ریال)، B_p قیمت فروش محصول (ریال در کیلوگرم)، C_p هزینه ثابت برای گیاه، C_w هزینه آب آبیاری (ریال در مترمکعب)، I_p حجم ناخالص آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) و A_p مساحت زمین اختصاص داده به محصول p است (۱۵). لازم به ذکر است که پس از برآورد نیاز آبی ناخالص گیاه در یک هکتار و تقسیم میزان آب‌بها بر آن، میزان آب‌بهای محصول بر اساس ریال بر مترمکعب به‌دست آمد.

جهت اطمینان از صحت خروجی مدل تخصیص آب استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب، نتایج حاصل با روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش‌یافته نخبه‌گرا[1] (EM-MOPSO) که توسط ردی و کومار (۲۰۰۷) ابداع شد، مورد مقایسه قرار گرفت (۱۲). مقایسه این دو روش بر اساس معیارهای زیر صورت گرفت:

۱- پوشش مجموعه[2]

پوشش مجموعه عبارت است از نسبت جواب‌هایی از مجموعه B که توسط جواب‌های مجموعه A غلبه شده است (۵).

$$C(A,B) = \frac{|\{b \in B | \exists a \in A: a \preceq b\}|}{|B|} \quad (۸)$$

۲- فاصله‌گذاری[3]

این پارامتر جهت سنجش توزیع جواب‌های بهینه به‌دست آمده است. فرمول فاصله‌گذاری به شرح زیر است (۵). نتایجی که میزان فاصله‌گذاری کم‌تری داشته باشند، بر نتایج دیگر برتری دارند.

$$S = \sqrt{\frac{1}{|Q|}\sum_{i=1}^{|Q|}(d_i - \bar{d})^2} \quad (۹)$$

تنظیم پارامتر در روش‌های یادشده بر اساس نسبت S/N مطابق با صادقی و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد (۱۳). در الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب تعداد جمعیت ۳۱۰، درصد همبری ۹۰، احتمال جهش ۱۰، درصد جهش ۲ و تعداد تکرار ۱۰۰۰ است. همچنین در روش EM-MOPSO تعداد جمعیت ۳۱۰، ضریب اجتماعی ۲/۵، ضریب شناختی ۱/۵، ضریب فشردگی ۰/۳، وزن اینرسی ۰/۱، تعداد ذرات جهشی ۳۱، درصد احتمال جهش ۳۰، ۰ و تعداد تکرار ۱۰۰۰ می‌باشد. همچنین مقدار S_m بر این اساس تنظیم شد که از زمان اجرا تا آخرین تکرار از ۰/۱ به ۰/۰۳ کاهش یابد. این مدل دارای ۱۵۵ متغیر تصمیم‌گیری است.

1- Elitist-mutated multi-objective particle swarm optimization

2- Set Coverage
3- Spacing

نتایج و بحث

جهت حصول اطمینان از بهینه بودن جواب‌های به‌دست آمده در مدل تخصیص بهینه آب با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب، نتایج حاصل با نتایج روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش‌یافته نخبه‌گرا پس از ۲۰ اجرای مستقل مقایسه شدند. جدول ۳ نتایج مقایسه دو روش را نشان می‌دهد که بر این اساس، نتایج الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش‌یافته نخبه‌گرا مقادیر فاصله‌گذاری کم‌تری نسبت به نتایج روش الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب دارد. از طرفی میزان پوشش مجموعه این روش نسبت به روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش‌یافته نخبه‌گرا بیش‌تر است که بنابراین هیچ‌یک از دو روش را نمی‌توان برتر از دیگری نتیجه گرفت، اما بر اساس مقدار پایین دو معیار در نتایج هر یک از روش‌ها، صحت بهینه بودن جواب‌های الگوریتم ژنتیک تأیید می‌گردد.

جدول ۳- مقایسه نتایج الگوریتم ژنتیک چندهدفه و روش بهینه‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش‌یافته نخبه‌گرا.

Table 3. Compare of NSGAII results with EM-MOPSO results.

پوشش مجموعه Set coverage		فاصله‌گذاری Spacing		پارامتر Parameter
NSGAII	EM-MOPSO	NSGAII	EM-MOPSO	روش بهینه‌سازی Optimization method
0.35	0.16	0.00049	0.001	بهترین Best
0	0	0.0028	0.007	بدترین Worst
0.09	0.02	0.001	0.005	میانگین Mean
0.1	0.05	0.0006	0.002	انحراف معیار Standard deviation

جهت حصول اطمینان از بهینه بودن جواب‌های به‌دست آمده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک در مدل اصلاح ضرایب حساسیت به کم‌آبی، نتایج حاصل با نتایج روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مقایسه شد. نتایج هر یک از دو روش بعد از ۲۰ اجرای مستقل در جدول‌های ٤ و ٥ نشان داده شده‌اند. بر اساس مقایسه مقادیر میانگین و انحراف معیار، روش بهینه‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات عملکرد بهتری دارد. با در نظرگیری مقادیر به‌دست آمده از هر دو روش، صحت بهینه بودن پاسخ‌های روش الگوریتم ژنتیک تأیید می‌شود.

جدول ٤- نتایج کمینه‌سازی خطای برآورد کاهش محصول با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

Table 4. Results of yield estimation error minimization using genetic algorithm.

انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	بدترین مقدار Worst value	بهترین مقدار Best value	محصول Crop
1.57×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-6}	9.3×10^{-9}	گندم Wheat
3.2×10^{-7}	3.5×10^{-7}	1.18×10^{-6}	1.4×10^{-8}	لوبیا Bean
1.2×10^{-6}	$\times10^{-7}$ 5.6	1.3×10^{-6}	1.6×10^{-9}	جو Barely
4.5×10^{-6}	4.8×10^{-6}	1.3×10^{-5}	6.9×10^{-11}	برنج Rice
2.44×10^{-6}	2.24×10^{-6}	6.7×10^{-6}	1.2×10^{-15}	سبزیجات Vegetables
1.41×10^{-6}	48×10^{-6}	6.5×10^{-6}	1.1×10^{-6}	خیار Cucumber
1.96×10^{-7}	3.72×10^{-7}	6.5×10^{-6}	7.2×10^{-8}	گوجه Tomato
5.66×10^{-7}	5.12×10^{-7}	3.14×10^{-7}	1.1×10^{-8}	کلم Cabbage
1.6×10^{-5}	4.8×10^{-6}	4.1×10^{-5}	1.1×10^{-9}	کلزا Canola
1.17×10^{-7}	1.35×10^{-7}	3.14×10^{-7}	4.4×10^{-9}	کنجد Sesame

جدول ٥- نتایج کمینه‌سازی خطای برآورد کاهش محصول با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات.

Table 5. Results of yield estimation error minimization using particle swarm optimization.

انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	بدترین مقدار Worst value	بهترین مقدار Best value	محصول Crop
1.04×10^{-6}	5.2×10^{-7}	2.6×10^{-6}	3×10^{-33}	گندم Wheat
2.16×10^{-11}	1.08×10^{-11}	5.4×10^{-11}	3×10^{-33}	لوبیا Bean
2.4×10^{-8}	1.2×10^{-8}	6×10^{-8}	$\times10^{-32}$ 1.8	جو Barely
8.4×10^{-10}	4.2×10^{-10}	1.2×10^{-9}	3.8×10^{-33}	برنج Rice
4.36×10^{-9}	2.18×10^{-9}	1.09×10^{-18}	9.2×10^{-33}	سبزیجات Vegetables
1.2×10^{-23}	6×10^{-16}	3×10^{-15}	3.8×10^{-33}	خیار Cucumber
4×10^{-23}	2×10^{-23}	10^{-22}	3.32×10^{-33}	گوجه Tomato
2.2×10^{-22}	1.1×10^{-22}	5.5×10^{-22}	0	کلم Cabbage
1.4×10^{-14}	7×10^{-15}	3.5×10^{-14}	1.9×10^{-34}	کلزا Canola
7.19×10^{-18}	3.6×10^{-18}	1.8×10^{-17}	4.6×10^{-33}	کنجد Sesame

مدل اصلاح ضرایب حساسیت به تنش آبی: جدول ٦ نشان‌دهنده ضرایب حساسیت اصلاح‌شده است. این مقادیر نسبت به ضرایب ارائه‌شده در مطالعات پیشین کم‌تر می‌باشد که ناشی از تلاش مدل در راستای کمینه‌سازی خطای برآوردی است. جدول ۷ نشان‌دهنده حداقل و حداکثر میزان برآورد شده کاهش محصول در شرایط اعمال سطوح مختلف کم آبیاری (۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰ و ۵۰٪) در تمامی مراحل رشد با استفاده از ضرایب مختلف حساسیت به کم‌آبی است. در این جدول، استفاده از ضرایب مرحله‌ای حساسیت ارائه‌شده در مطالعات پیشین میزان کاهش محصول بیش‌تر از ۱۰۰٪ در اکثر محصولات برآورد می‌کند، در صورتی‌که با استفاده از ضرایب اصلاح‌شده حساسیت چنین مسأله‌ای وجود ندارد که این یافته با نتایج گارگ و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت دارد (۸).

جدول ٦- ضرایب حساسیت به تنش آبی فائو در هر مرحله رشد اصلاح‌شده.

Table 6. Modified FAO stage wise crop response factors.

لوبیا Bean	جو Barely	برنج (شلتوک) Rough Rice	کلزا Canola	کنجد Sesame	کلم Cabbage	گوجه Tomato	خیار Cucumber	سبزیجات Vegetables	گندم Wheat	
0.02	0.05	0.01	0.017	0.06	0.06	0.04	0.01	0.02	0.02	مرحله ۱ Stage 1
0.48	0.63	0.53	0.25	0.07	0.07	0.09	0.56	0.19	0.48	مرحله ۲ Stage 2
0.17	0.43	0.35	0.57	0.37	0.37	0.34	0.28	0.53	0.17	مرحله ۳ Stage 3
0.35	0.04	0.12	0.11	0.31	0.31	0.48	0.25	0.19	0.35	مرحله ٤ Stage 4

جدول ۷- میزان حداقل و حداکثر کاهش محصول برآورد شده با استفاده از ضرایب مختلف حساسیت به کم‌آبی.

Table 7. Minimum and maximum of yield reduction estimation using different K_ys.

گندم Wheat	لوبیا Bean	جو Barely	برنج(شلتوک) Rough Rice	کلزا Canola	کنجد Sesame	کلم Cabbage	گوجه Tomato	خیار Cucumber	سبزیجات Vegetables		
10.0	11.5	10.0	11.0	8.0	8.0	9.5	10.5	7.7	10.0	مینیمم Minimum	K_y
50.0	100.0	50.0	55.0	40.0	40.0	47.5	52.5	38.5	50.0	ماکزیمم Maximum	
19.0	19.0	22.5	39.1	20.5	20.5	16.5	27.0	21.0	34.0	مینیمم Minimum	K_{yi}
114.0	112.5	85.0	195.5	82.5	102.5	82.5	135.0	105.0	170.0	ماکزیمم Maximum	
10.2	11.5	10.0	11.0	8.0	8.0	9.5	11.0	9.4	10.0	مینیمم Minimum	$K_{y.adj}$
50.9	57.5	49.9	55.0	40.0	40.0	47.5	54.8	46.8	49.8	ماکزیمم Maximum	

تخصیص بهینه آب: مدل حاضر یک مدل چندهدفه هست که در آن بیش از یک پاسخ بهینه وجود داشته و انتخاب جواب مناسب بستگی به شرایط مدیریتی دارد. جهت تحلیل نتایج و مقایسه با وضعیت کنونی شبکه، از میان پاسخ‌های بهینه سه جواب در قالب سه سناریو انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. در سناریوی اول پاسخی انتخاب شد که بیش‌ترین میزان سود به هزینه را داشته باشد. سناریوی دوم شامل پاسخی است که دارای بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب نسبی باشد. در سناریوی سوم پاسخی که کم‌ترین فاصله را با بیش‌ترین مقدار توابع هدف داشته باشد، انتخاب شد. جدول ۸ درصد تأمین نیاز آبی محصولات را به تفکیک سناریو نشان می‌دهد. مطابق با این جدول، در تمامی سناریوها از فن کم آبیاری استفاده شده است. در تمامی سناریوها، گندم به‌دلیل این‌که گسترده‌ترین سطح کشت را دارد، به‌منظور جلوگیری از تغییرات زیاد سود اقتصادی تمام نیاز آبی خود را دریافت می‌کند. همچنین گوجه‌فرنگی از آن‌جا که کشت آن صرفه اقتصادی ندارد، در راستای پیروی از محدودیت‌های اقتصادی مدل تا حد امکان بیش‌ترین درصد تأمین نیاز آبی را دریافت می‌کند. از آن‌جا که در سناریوی اول بیش‌ترین میزان نسبت درآمد به هزینه حاصل‌شده است، در این سناریو نسبت به دیگر سناریوها میزان بیش‌تری از نیاز آبی محصولات نسبت به دیگر سناریوها تأمین می‌شود. در سناریو دوم در راستای بیشینه‌سازی محصول تولیدی نسبت به آب مصرفی، اولویت تخصیص آب به مراحل حساس‌تر رشد گیاه داده شده تا ضمن تأمین کم‌ترین میزان نیاز آبی گیاه، محصول‌دهی به کم‌ترین میزان ممکن کاهش یابد. سناریوی سوم از آن‌جا که حد وسط دو سناریوی پیشین است، درصد تأمین نیاز آبی محصولات تقریباً حالتی مابین سناریوهای اول و دوم دارد.

جدول ۸- درصد تأمین آب محصولات در وضعیت‌های مختلف.

Table 8. Crops water requirement supply percent in different situations.

	سبزیجات Vegetables	خیار Cucumber	گوجه Tomato	کلم Cabbage	کنجد Sesame	کلزا Canola	برنج (شلتوک) Rough Rice	جو Barely	لوبیا Bean	گندم Wheat
وضعیت فعلی Current situation	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
سناریو ۱ Scenario 1	73.6	100	91.8	95.5	90	100	81.7	97	71.6	100
سناریو ۲ Scenario 2	73.6	66.8	89.8	94	56.2	91.3	74.4	85.9	71.6	100
سناریو ۳ Scenario 3	73.6	66.8	90.2	92.7	89.9	95.3	81.7	97	71.6	100

جدول ۹ سطح کشت محصولات را به تفکیک سناریو نشان می‌دهد. تغییرات سطح کشت بر اهداف مدل اثری نداشته و صرفاً جهت رعایت محدودیت اقتصادی مدل و در جهت تخصیص منابع آبی است. در تمامی سناریوها کل سطح کشت افزایش می‌یابد. محصولات لوبیا و جو به‌دلیل سودآوری پایین و محصول گوجه‌فرنگی به‌دلیل نداشتن صرفه اقتصادی با کاهش سطح مواجه شده و سطوح ازدست‌رفته توسط برنج، گندم و خیار جایگزین می‌گردد. با وجود این‌که کنجد محصولی با سودآوری بالاست، با کاهش سطح مواجه شده و سبزیجات که محصولی با نیاز آبی کم‌تر و سوددهی بیش‌تر است، جایگزین سطح ازدست‌رفته می‌گردد. افزایش سطح کشت کل محصولات با نتایج خاشعی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد (۹).

جدول ۱۰ مقایسه اهداف مدل، سود اقتصادی و میزان آب مصرفی را به تفکیک سناریو نشان می‌دهد. در تمامی سناریوها کارایی مصرف آب نسبی افزایش می‌یابد، گرچه میزان نسبت درآمد به هزینه با تغییرات جزئی همراه است. کارایی مصرف آب نسبی بین ۹/۲ تا ۱۵/٤ درصد افزایش و آب مصرفی بین ۲٦ تا ۳۲٪ کاهش می‌یابد. این کاهش مصرف آب و افزایش میزان تولیدی نسبت به آب مصرفی به‌ترتیب با یافته‌های لاله‌زاری و همکاران (۲۰۱۵) و خاشعی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد (۹ و ۱۰). سناریوهای اول و دوم افزایش سود داشته و کاهش سود در سناریوی دوم در حد قابل‌قبولی رخ می‌دهد. این مسأله ناشی از آن است که در ازای اعمال کم آبیاری و کاهش محصول‌دهی، سطح کشت محصولات با افزایش مواجه شده و بنابراین سود اقتصادی شبکه افزایش و یا با کاهش قابل‌قبولی مواجه می‌گردد. بنابراین مدل حاضر توجیهات اقتصادی لازم را دارد. توجیه اقتصادی نتایج مدل مطالعه حاضر و هزینه‌بر نبودن آن می‌تواند به‌عنوان یک راهکار غیرسازه‌ای در راستای سیاست تحویل حجمی آب قابلیت اجرا داشته باشد. همچنین نتایج مدل بیانگر کارایی بالای مدل مطالعه حاضر و روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب در حل مسائل بهینه‌سازی تخصیص آب است و با استفاده از فن بهینه‌سازی می‌توان در شرایط محدودیت منابع آبی در دسترس، بهترین شرایط ممکن را با توجه به اهداف مدنظر در کشاورزی اراضی منطقه ایجاد نمود. همچنین می‌توان دامنه مطالعات را به اراضی خارج از شبکه، اراضی با محصولات کشاورزی دیگر، تخصیص آب از بالادست و سایر مسائل تخصیص بهینه منابع آبی تعمیم داد.

جدول ۹- سطح کشت محصولات شبکه آبیاری حمیدیه در شرایط مختلف بر حسب هکتار.

Table 9. Crops cultivation area of Hamidiyeh irrigation network in different situations.

محصول Crop	گندم Wheat	لوبیا Bean	جو Barely	برنج (شلتوک) Rough Rice	کلزا Canola	کنجد Sesame	کلم Cabbage	گوجه Tomato	خیار Cucumber	سبزیجات Vegetables	سطح کل Total area
وضعیت فعلی Current situation	8200	500	800	1800	250	700	300	1500	700	1900	16650
سناریو اول Scenario 1	8434	485	748	1845	217	669	306	1425	717	1996	16842
سناریوی دوم Scenario 2	8399	487	748	1845	256	664	306	1424	717	1993	16839
سناریوی سوم Scenario 3	8391	485	749	1846	256	665	306	1423	719	1995	16832

جدول ۱۰- مقایسه نتایج مدل به تفکیک سناریوهای تخصیص آب.

Table 10. Comparison of the model results in each scenario.

	وضعیت فعلی Current situation	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
کارایی مصرف آب نسبی Relative water use efficiency	10	10.92	11.54	11.3
نسبت درآمد به هزینه Revenue-cost ratio	25.9	26.04	24.18	25.87
سود اقتصادی (میلیارد ریال) Net benefit (Billion Rials)	624	643.5	615.6	634.7
میزان آب مصرفی (میلیون مترمکعب) Water use (MCM)	400	297.3	272.8	293

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد خطای برآوردی ضرایب مرحله‌ای حساسیت به تنش آبی بالا بوده، اما با اصلاح آن‌ها از طریق مدل بهینه‌سازی اصلاح ضرایب این مشکل تا حد زیادی رفع می‌شود. همچنین، با به‌کارگیری مدل تخصیص آب ساخته‌شده می‌توان کارایی مصرف آب نسبی را حداقل ۹/۲ درصد افزایش داده و حداقل ۲۶٪ در مصرف آب صرفه‌جویی نمود که این مسأله با تغییرات جزئی میزان درآمد به هزینه همراه است. میزان تغییرات در سود اقتصادی بسته به سناریوی انتخابی می‌تواند با افزایش یا کاهش همراه باشد، اما از آن‌جا که میزان کاهش بیش‌تر از ۳۰٪ نیست، می‌توان نتیجه گرفت که تخصیص بهینه منابع آبی توجیه اقتصادی دارد.

منابع

1. Ahmadianfar, A., Adib, A., Taghian, A., and Haghighi, A. 2016. Optimization operation from storage dams using non-dominated sorting genetic algorithm. J. Irrig. Sci. Engin. 39: 2. 89-100. (In Persian)
2. Akbripour, H., and Masehian, E. 2013. Efficient and Robust Parameter Tuning for Heuristic Algorithms. Inter. J. Ind. Engin. Prod. Res. 24: 2. 143-150.
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Irrigation and Drainage paper NO.56. Rome, Italy, 174p.
4. Asaadi-Mehrabani, M., Banihabib, M.E., and Roozbahany, A. 2018. Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud Basin. Iran-Water Resources Research. 14: 1. 13-24. (In Persian)
5. Deb, K. 2001. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. John wiley and sons, Hoboken, New Jersey, United States, 518p.
6. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 6: 2. 182-197.
7. Doorenbos, J., and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper No.33. Rome, Italy, 193p.
8. Garg, N.K., and Dadhich, S.M. 2014. A proposed method to determine yield response factors of different crops under deficit irrigation using inverse formulation approach. Agricultural Water Management. 137: 68-74.
9. Khashei Siuki, A., Ghahraman, B., and Kouchakzadeh, M. 2013. Application of agriculture water allocation and management by PSO optimization technic (Case study: Nayshabur Plaine). J. Water Soil. 27: 2. 292-303. (In Persian)
10. Lalehzari R., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., and Haghighi, A. 2015. Optimal allocation of surface and groundwater resources to cropping pattern in Baghmalek plain by multi-objective planning based on non-dominated sorting algorithm. Ph.D. Dissertation. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. 226p. (In Persian)
11. Mirzaee, S., Shahabi Far, M., and Sharifan, H. 2017. Determining the optimum cropping pattern in Golestan dam irrigation and drainage network using genetic algorithm. J. Irrig. Sci. Engin. 40: 3. 181-190. (In Persian)
12. Reddy, M.J., and Kumar, D.N. 2007. Multi-objective particle swam optimization for generating trade-offs in reservoir operation. Hydrological Processes. 21: 2897-2909.
13. Sadeghi, J., and Akhavan Niaki, S.T. 2015. Two parameter tuned multi-objective evolutionary algorithms for a bi-objective vendor managed inventory model with trapezoidal fuzzy demand. Applied soft computing. 30: 567-576.
14. Stewart, J.I., Hagan, R.M., and Pruit, W.O. 1976. Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency. US Department of Interior, Washington DC, United States, 80p.
15. Tavakoli, A.R., Liaghat, A., and Mahdavi Moghaddam, M. 2012. Water allocation pattern under conjunctive use of advanced management and single irrigation scenarios in rainfed areas. J. Water Res. Agric. 25: 2. 93-106. (In Persian)
16. Zargan, J., and Waez-Mousavi, S.M. 2016. Water crisis in Iran: its intensity, causes and confronting strategies. Ind. J. Sci. Technol. 9: 44. 2-6.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(6), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.14395.2924

Optimal allocation of water resources using non-dominated sorting genetic algorithm (Case study: Hamidiyeh irrigation network)

P. Kashefi Nezhad[1], *A.R. Hooshmand[2] and S. Boroomandnasab[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[2]Associate Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz,
[3]Professor, Dept. of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz
Received: 12.21.2017; Accepted: 10.27.2018

Abstract

Background and Objectives: Considering the growing limitation of water resources, a plan is needed to be made in order to optimally use water resources, especially in the agricultural sector which uses most of the water resources. A study was conducted which its objective is to optimally allocate water resources to the Hamidiyeh irrigation network cropping pattern in order to make a plan to manage the water resources consumption trend in the Hamidiyeh irrigation network.

Materials and Methods: The water year 2015-2016 was divided into 36 periods which consist of 10 days and multi-objective model was created to allocate water resources to each one of 10 day periods in order to maximize the relative water use efficiency and the revenue-cost ratio using a non-dominated sorting genetic algorithm. Furthermore, another optimization model was created to minimize the error in the yield reduction estimation under deficit irrigation application situation using genetic algorithm.

Results: The obtained results of stage wise crop response factors modification model indicated that the estimated values of yield reduction under deficit irrigation application situation using the stage wise crop response factors which were proposed by former studies vary between 16.5 and 195.5 percent. The yield reduction amount of more than 100 percent shows an estimation error, while the yield reduction estimated using the modified stage wise crop response factors vary between 8 to 59.5 percent. The optimal water resources allocation model is a multi-objective model which has more than one optimal solution that none of them is better that the other, and the suitable solution is chosen based on managerial decision taking. As a result, three solutions were chosen as scenarios to be compared with the current water allocation situation. Results indicated that revenue-cost ratio is slightly changed under optimal water resources allocation, but relative water use efficiency is increased at least by 9 percent, and water use is reduced at least by 26 percent. Furthermore, the cultivation area is increased by 192,189, and 182 hectares in the first, second, and third scenario, respectively. Net benefit was increased by 19.5 and 10.7 billion rials (IRR) in the first and the third scenario, however, it was reduced by 8.4 billion rials (IRR) in the second scenario.

Conclusion: The amount of water consumption is considerably reduced and the relative water use efficiency and the cultivated area is increased under optimal water resources allocation which causes reuse of fallow area. Furthermore, net benefit could also be increased depending on the chosen solution.

Keywords: Crop response factors, Optimization, Revenue-cost ratio, Water management, Water use efficiency

* Corresponding Author; Email: hooshmand_a@scu.ac.ir