افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تحت سناریوی بهینه‌سازی تخصیص منابع آب با استفاده از الگوریتم (NSGA-II)

فاطمه‌زهرا صحابی‌فرد[1]، علی شاهنظری[2]، سونیا صادقی[3]

۱.گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

۲.نویسنده مسئول[1]، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

چکیده

پژوهش حاضر به افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در حوضه تجن استان مازندران با استفاده از تخصیص بهینه می‌پردازد. در تحقیق حاضر برای یافتن تخصیص بهینه آب از منابع آبی موجود در منطقه مطالعاتی از روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب و برای محاسبه رواناب حاصل از بارش از مدل SWMM استفاده شده است. از آنجا که مدل تخصیص بهینه منابع آبی، چندهدفه و دارای بیش از یک پاسخ بهینه است که هیچ یک 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 نشان داد بهینه‌سازی تخصیص آب، سبب افزایش بهره‌وری آب کشاورزی به میزان ۷۶ درصد برای مرکبات،٤٧ درصد برنج، ٦٠ درصد دانه‌های روغنی، ٥٩ درصد ذرت‌دانه‌ای، ٦٤ درصد گندم، ۷۷ درصد سبزیجات و ۷٦ درصد پنبه برای سناریوی سوم که یک سناریوی بیابانی است، می‌گردد. همچنین سود اقتصادی نیز به طور متوسط حدود ۳۳ درصد افزایش یافته است. با توجه به نتایج، محصول گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی پس از برنج و مرکبات نسبت به سایر محصولات موجود در منطقه مطالعاتی نسبت به آب مصرفی بیشترین تولید و عملکرد را دارند. مقدار سطح زیر کشت بهینه برای این محصولات به ترتیب برابر با ۳۲۰۰، ۲۷۰۰، ۵۵۲۳ هکتار به دست آمده است. با بهینه‌سازی تخصیص منابع آبی ضمن صرفه‌جویی چشم‌گیر در آب مصرفی، محصول تولیدی به ازای آب مصرفی و همچنین سود اقتصادی نیز بسته به جواب انتخابی می‌تواند افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: سطح زیر کشت، سود اقتصادی، کارایی مصرف آب، عملکرد.

مقدمه

با توجه به کمبود شدید منابع آب در بیشتر حوضه‌های آبریز کشور و آشکار شدن اثرات سو نابودی ذخایر آبی، محققین و کارشناسان به ارائه راهکارهایی ازجمله تغییر یا اصلاح الگوی کشت، افزایش بهره‌وری آب به‌خصوص در کشاورزی، برای مصرف بهینه آب پرداختند. عده زیادی از پژوهش‌گران معتقدند که افزایش بهره‌وری آب کشاورزی یک رهیافت کلیدی برای جبران کمبود آب و کاهش مسائل زیست‌محیطی (توسعه پایدار) است (Mih and Talukdr, 2008). ارتقای بهره‌وری نیازمند مدیریتی هوشمندانه است. مدیریتی که ابزارها و روش‌ها را خوب بشناسد و با توجه به شرایط، بهترین آن‌ها را برگزیند و تلاش نماید تا آن‌ها را به بهترین نحو مورد استفاده قرار دهد. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب از دیدگاه ارتقای مدیریت آبیاری، تخصیص بهینه منابع

[1] aliponh@yahoo.com

آبی است. در اعمال برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب بایستی به این نکته مهم توجه نمود که به‌جای اکتفا به برنامه‌ریزی مجزا در سطح پروژه‌های منفرد، تمرکز در برنامه‌ریزی و مدیریت در مقیاس و سطح حوضه آبریز به‌عنوان واحد مکانی یکپارچه باشد. بنابراین برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب بین مصارف و محل‌های مصرف رقیب نیز بایستی در واحد مکانی و در مقیاس حوضه آبریز صورت پذیرد. گسترش شدید نیازهای آبی از هر دو نظر کمی و استانداردهای کیفی آب، رقابت بین شهرها، استان‌ها، مناطق و حوضه‌های مختلف را در جذب هر چه بیشتر استفاده از منابع آبی با به اجرا درآوردن طرح‌های سدسازی و انحراف آب حتی بدون داشتن تخصیص مصوب از نهادهای رسمی و قانونی بالاتر پدید آورده است. در راستای اجرای سیاست‌های کاهش مصرف آب در کشاورزی باید به سود اقتصادی حاصل از کشت محصولات نیز توجه کرد. اگر طرحی فاقد توجیه اقتصادی لازم باشد، در عمل قابل اجرا نخواهد بود؛ بنابراین، توجه به جنبه اقتصادی این مساله نیز لازم و ضروری است؛ بنابراین، اتخاذ یک تصمیم مدیریتی در راستای استفاده مؤثرتر از آب مصرفی و دستیابی به بیشترین سود اقتصادی ممکن می‌تواند مدیریت آب و بحران آب را کاراتر بنماید. محدودیت منابع آب و افزایش نیازهای آبی که خود ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهرها و سیاست‌های جدید مدیریت جوامع است باعث بروز مشکلات و اختلاف در تخصیص آب می‌گردد.

در این راستا برای تخصیص بهینه منابع آبی که مورد توجه محققین و برنامه‌ریزان قرار گرفته است، به بررسی پژوهش‌های مختلف در این مورد پرداخته شده است(Ehsani and Khaledi, 2003). در جهت افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی مطالعاتی انجام دادند. نتایج نشان داد جهت افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی ابتدا می‌بایست عامل یا عوامل کمیاب را شناسایی کرده و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات در جهت ارتقای بهره‌وری آن عامل و یا عوامل کمیاب صورت گیرد. در کشور ایران به علت ساختار ویژه اقتصادی آن که حول محور کشاورزی قرار دارد و به دلیل محدود بودن منابع آب شیرین، برنامه‌ریزی‌ها و تحقیقات بایستی در جهت افزایش بهره‌وری آب باشد. برای اینکه بدانیم از آب چگونه استفاده می‌کنیم، بهترین راه استفاده از شیوه‌های سنجش بهره‌وری است. این روش‌ها و شاخص‌ها کمک می‌کنند تا بتوان به اهداف درازمدت در زمینه تأمین مواد غذایی جامعه دست پیدا کرد.

ناکاووکا و همکاران (۲۰۱٤) اثر کم آبیاری را بر عملکرد، کیفیت و هزینه‌های تولید در محصول نعنای بومی را در ایالت واشنگتن مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که تا ٦۰ درصد کم آبیاری در کشت نعنای بومی بدون توجه به زمان‌بندی آن می‌تواند میزان مصارف آب را کاهش دهد و باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب و کاهش هزینه‌های تولید گردد. در حالیکه بازده اسانس و کیفیت محصول همانند گیاهی باشد که به‌طور کامل آبیاری می‌گردد. مارتینز و رکا (۲۰۱٤) در مطالعه‌ای کارایی مصارف آب را در دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در محصول زیتون، در استان ارمنیای کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی جایگزین بهتری برای آبیاری قطره‌ای سطحی، به دلیل عملکرد بالای محصول و راندمان بالای مصرف آب می‌باشد. کریمی و جلینی (۱۳۹٦) به بررسی شاخص‌های بهره‌وری محصولات مهم زراعی در دشت مشهد، به‌منظور ارائه راهکارهایی در جهت ساماندهی الگوی زراعی پرداختند، نتایج این تحقیق نشان داد که اولویت کشت محصولات تا رتبه سوم بر اساس شاخص CPD به ترتیب پیاز، گوجه فرنگی و چغندر قند و براساس شاخص‌های BPD و NBPD به ترتیب سیب‌زمینی، پیاز و گوجه فرنگی می‌باشند. با توجه به نتایج این تحقیق، کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مانند یونجه بایستی از الگوی کشت حذف شود. Speed و همکاران (۲۰۱۳) به مطالعه فرآیند سهم‌بندی یک منبع طبیعی محدود در میان مناطق مختلف و بهره‌برداران رقیب که به‌عنوان تخصیص آب نام برده شده است، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که این فرآیند زمانی

ضرورت می‌یابد که توزیع و موجودی طبیعی آب نتواند نیازهای تمام استفاده‌کنندگان آبی از نظر کمیت، کیفیت، زمان‌بندی موجودی، یا قابلیت اطمینان را تأمین نماید. خنجری ساداتی و همکاران (۲۰۱٤) با مطالعه منطقه اطراف سد درودزن با هدف تخصیص بهینه آب آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحت چهار شرط آب و هوایی مختلف که بر اساس ترکیب سطوح احتمال بارش، تبخیر تعرق و جریان ورودی به‌دست‌آمده که در هر شرایط آب و هوایی دو نوع آبیاری کامل و کم آبیاری نیز مورد بررسی قرارگرفته‌است. نتایج حاصل نشان داد که در تمامی شرایط آب و هوایی تحت اعمال کم آبیاری مقدار سود سطح کشت بیشتر از حالت آبیاری کامل بوده‌است. همچنین سطح زمین اختصاص‌یافته برای حالت کم‌آبیاری بیشتر از حالت آبیاری کامل است. اعلمی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه تخصیص بهینه آب پرداختند که به معنای تعیین بهینه میزان آبی که از منابع سطحی، زیرزمینی به‌منظور تأمین نیازهای گوناگون در حوضه‌های آبخیز می‌باشد. وزارت نیرو (۱۳۹۸) به مطالعه تدابیر مدیریت تقاضا می‌پردازد که نتایج نشان می‌دهد برنامه‌ریزی مدرن تخصیص در حوضه، تمرکز بیشتری بر بهینه‌سازی استفاده از منابع موجود و تحلیل‌های تفصیلی اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی و بررسی بده بستان‌ها میان استفاده‌کنندگان رقیب دارد.

پژوهش حاضر قصد دارد تلاشی کوچک، محدود اما با چهارچوب مشخص جهت مواجهه، احتساب و پاسخ‌گویی به بخشی از ملزومات و سؤالات مطرح در مسئله فوق باشد؛ به‌نوعی که بتواند علاوه بر آنکه در کمک به فرآیند افزایش بهره‌وری آب کشاورزی با تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی پیرامون برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در سطح حوضه آبریز مؤثر واقع گردد، به‌عنوان بستری در جهت ادامه کارهای تکمیلی در این راستا به‌عنوان یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در آینده صنعت آب کشور مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به بحران کم‌آبی و پایین بودن بهره‌وری آب، تحقیق حاضر با دامنه کاربرد در سراسر کشور انجام خواهد شد. همچنین می‌توان از تحقیق حاضر در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و هنگام تخصیص آب به زارعین استفاده نمود تا بتوان بهره‌وری آب کشاورزی را افزایش داد و بخشی از مشکلات شبکه‌های آبیاری و زهکشی را بهبود بخشید و راندمان این شبکه‌ها را افزایش داد. جنبه جدید بودن و نوآوری طرح دررسیدن به پایداری منابع آب و حفظ آن برای نسل‌های آینده می‌باشد که به مسئله امنیت فراتر از دیدگاه ملی (رسیدن به امنیت غذایی، سیاسی و ...) می‌پردازد؛ امنیتی که از آن به‌عنوان امنیت انسانی یاد می‌شود. از طرف دیگر در پژوهش‌های قبلی در بحث تخصیص منابع آب، به بحث رواناب ورودی که یکی از منابع مهم آبی می‌باشد توجهی نشده در صورتی که اگر بتوان رواناب ورودی به منطقه را مدیریت نمود، می‌توان گام مهمی در راستای افزایش بهره‌وری آب برداشت و همچنین میزان تخصیص آب را بهبود بخشید. همچنین در پژوهش‌های قبلی به مسئله افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در جهت تخصیص بهینه منابع آب پرداخته نشده است. لذا هدف اصلی تحقیق حاضر، تخصیص بهینه منابع آب در دسترس در منطقه مطالعاتی با در نظر گرفتن رواناب ورودی با هدف افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است که منجر به افزایش کارایی مصرف آب و افزایش سود اقتصادی خواهد شد. در این تحقیق ابتدا شاخص بهره‌وری فیزیکی برای منطقه مطالعاتی محاسبه می‌گردد سپس منطقه مطالعاتی در مدل SWMM شبیه‌سازی خواهد شد و با استفاده از مدل مذکور میزان رواناب ورودی به منطقه محاسبه می‌شود سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب (NSGA-II) در محیط متلب به بهینه‌سازی تخصیص منابع آب با درنظر گرفتن منابع آبی موجود و میزان رواناب ورودی به منطقه پرداخته می‌شود. در نهایت به‌منظور تعیین میزان بهره‌وری آب کشاورزی پس از تخصیص بهینه، شاخص بهره‌وری فیزیکی، مجدد محاسبه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

شبکه آبیاری و زهکشی تجن در شهرستان ساری استان مازندران قرار دارد (شکل ۱). این شبکه که به‌عنوان شبکه کانال‌های آبرسان تلقی می‌گردد، آب ذخیره و تنظیم شده رودخانه تجن را در محل سد انحرافی ساری دریافت و در چهار واحد عمرانی در سواحل چپ و راست رودخانه تجن برای تغذیه کانال‌های فرعی آبیاری درجه دو و سه و انهار سنتی اصلی و همین طورآبندان‌ها درسطح دشت منتقل و توزیع می‌نماید. ۷۰ درصد کشت غالب اراضی محدوده مطالعاتی، برنج می‌باشد. سایر محصولات کشاورزی شامل غلات، سویا، کلزا، پنبه، علوفه، سبزیجات و صیفی جات و باغات میوه می‌باشند (Shahnazari, 2015). براساس تقسیم‌بندی توزیع آب، واحدهای عمرانی شبکه مذکور را می‌توان به دو بخش بالادست و پایین‌دست تقسیم کرد.

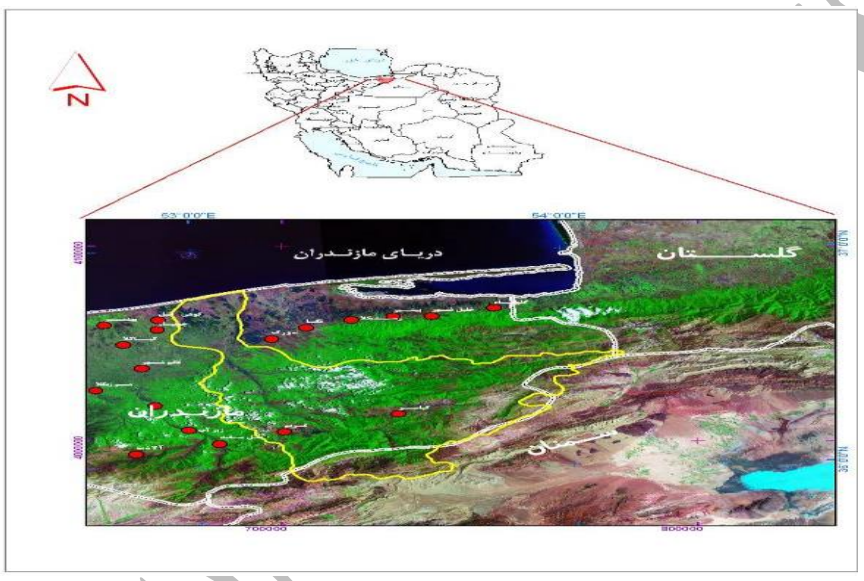

Figure 1. Geographical location of Tajen watershed

مشخصات کشاورزی

عمده محصولات زراعی و باغی حوضه شامل مرکبات، برنج، دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای، گندم، سبزیجات و پنبه می‌باشد. در راستای بررسی وضعیت فعلی شبکه تجن، آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از پژوهش‌های مرتبط در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱ در ارتباط با میزان سود اقتصادی و همچنین بهره‌وری حاصل از محصولات در جدول ۱ شرح داده شده‌است.

Table 1. Current state of Tajen network

crops	Economic profit (million Rials)	Productivity (kg/m3)
Citrus	1290660	0.5
Rice	1879493	0.5
Oil Seeds	270600	0.9
Maize	32000	0.7
wheat	1191860	0.67
vegetables	262200	1.9
cotton	15500	0.7

بهینه‌سازی چند هدفه

روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه به روش‌هایی اطلاق می‌شود که در آن از بیش از یک تابع هدف استفاده می‌گردد که این توابع با هم رابطه عکس دارند .در این روش‌های بهینه‌سازی، یک جواب بهینه به دست نیامده، بلکه مجموعه‌ای از جواب‌ها به دست می‌آید که هیچ یک بر دیگری برتری نداشته و انتخاب مناسب‌ترین جواب به شرایط مدیریتی بستگی دارد (دب و همکاران، ۲۰۰۲).

در بهینه‌سازی چندهدفه، زمانی یک جواب بهینه است که به‌وسیله جواب دیگری غلبه نشود. یک جواب بر جواب دیگر زمانی غلبه می‌کند که حداقل در یکی از توابع هدف، میزان تناسب کمتری داشته باشد. همچنین، در صورتی که میزان تناسب آن جواب در دیگر توابع هدف نسبت به جواب دیگری بیشتر نباشد؛ به عبارت دیگر، x_1 بر x_2 غلبه می‌کند درصورتی که یکی از دو شرط زیرصدق کند (دب و همکاران،۲۰۰۲).

رابطه ۱) $f_1(x_1)<f_1(x_2)$ and $f_2(x_1) \leq f_2(x_2)$

رابطه ۲) $f_1(x_1) \leq f_1(x_2)$ and $f_2(x_1)< f_2(x_2)$

در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه روش‌های زیادی ابداع شده است .در اینجا به الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب پرداخته شده‌است.

الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب

الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب[2](NSGAII)، یک روش بهینه‌سازی برای مسائل با چند تابع هدف است .این روش در سال ۲۰۰۲ توسط دب و همکاران ابداع شد .این روش بر اساس الگوریتم ژنتیک تک هدفه است با این تفاوت که در الگوریتم ژنتیک چند هدفه از مفاهیم غلبگی و فاصله ازدحامی جهت به دست آوردن پاسخ‌های بهینه استفاده می‌گردد .در این الگوریتم، پاسخ‌ها مطابق با مفاهیم ذکر شده مرتب می‌شوند. مراحل کار الگوریتم به شرح زیر است:

الف) ایجاد جمعیت اولیه

ایجاد جمعیت اولیه به اندازه N کروموزوم همانند آنچه که در توضیح الگوریتم ژنتیک تک هدفه بیان شده، صورت می‌گیرد. میزان تناسب هر یک از پاسخ‌ها محاسبه گشته و سپس پاسخ‌ها بر اساس مفهوم غلبگی سطح‌بندی می‌شوند. این کار بدین صورت است که پاسخ‌هایی که نامغلوب شناخته شوند، رتبه یک می‌گیرند. با صرف نظر از جواب‌های نامغلوب، تعدادی از کروموزوم‌ها بر دیگر کروموزوم‌ها غلبه می‌کنند. این دسته کروموزوم‌ها رتبه دو می‌گیرند. این کار آنقدر ادامه می‌یابد تا تمامی کروموزوم‌ها رتبه غلبگی خود را دریافت کنند.

ب) ایجاد نسل

مطابق با آنچه که پیشتر در الگوریتم ژنتیک تک هدفه بیان شد، نسل جدید با استفاده از عملگرهای همبری و جهش ایجاد می‌شوند. در این مرحله جمعیت جدید متشکل از نسل قدیم و نسل جدید است؛ به عبارت دیگر، در این مرحله تعداد جمعیت دو برابر شده و هیچ کروموزومی حذف نمیگردد.

ج) رتبه دهی بر اساس غلبگی

جمعیت جدید از نظر غلبگی مورد بررسی قرار گرفته و رتبه غلبگی هر یک از کروموزوم‌ها مشخص می‌گردد. کروموزوم‌های با رتبه غلبگی یکسان در یک جبهه قرار می‌گیرند .پاسخ‌هایی که در جبهه اول قرار گیرند، بهترین جواب‌ها هستند (Deb et al., 2002).

د) محاسبه فاصله ازدحامی

[2] Non-dominated sorting genetic algorithm

یکی از پارامترهای مؤثر در یافتن پاسخ‌های بهینه، فاصله ازدحامی پاسخ‌هاست .با تکرار یافتن الگوریتم حالتی پیش می‌آید که تعداد اعضای جبهه اول از N تعداد تنظیم شده برای جمعیت بیشتر می‌شود؛ بنابراین در میان پاسخ‌های جبهه اول، پاسخی بهینه است که بیشترین فاصله ازدحامی را داشته باشد. فاصله ازدحامی از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۱) $CDi = \sum_{m=1}^{N} \frac{OFm(i+1) - OFm(i-1)}{OFimax - OFimin}$

رابطه ۲) $\Sigma OFm(i+1) - OFm(i-1) OF_i^{max} - OF_i^{min} Nm=1$

که در این رابطه i شماره کروموزوم، m شماره تابع هدف، N تعداد تابع هدف و OFm میزان تناسب کروموزوم در تابع هدف m است (Lalezari et al., 2014).

ه) مرتب‌سازی جواب‌ها

کروموزوم‌های جمعیت یا جواب‌ها در ابتدا بر اساس شماره جبهه که رتبه غلبگی است به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس بر اساس فاصله ازدحامی مرتب‌سازی جواب‌ها صورت می‌گیرد .این مرتب‌سازی به‌صورت نزولی است .در پایان N کروموزوم اول جمعیت به‌عنوان اعضای جمعیت انتخاب شده و بقیه حذف می‌گردند .مراحل یاد شده مطابق با تعداد از پیش تنظیم کرده تکرار شده و سپس متوقف می‌شود (Deb et al., 2002).

تخصیص بهینه آب

بهره‌وری آب بیان می‌کند که ارزش یک واحد آب در چه زمانی، در کدام مکان، برای چه نوع گیاهی و با چه کیفیتی بالاترین است. برآیند این تحلیل به لحاظ کاربردی برای افزایش بهره‌وری آب این است که تخصیص و توزیع آب در هر منطقه باید با اولویت دشت‌های کم آب صورت پذیرد. با توجه به تفاوت مزیت نسبی آب در شرایط مختلف، ضروری است تا توزیع آب بر مبنای کسب بالاترین بهره‌وری آب صورت پذیرد. لذا یکی از راهکارهای پیشنهادی برای افزایش بهره‌وری در تحقیق حاضر تخصیص بهینه منابع آب است. در مطالعه حاضر، مدلی دو هدفه جهت تخصیص بهینه آب درنظر گرفته‌شده‌است که با توجه به این که تعداد اهداف مورد بیشینه‌سازی مدل بیش از یکی است، استفاده از روش الگوریتم ژنتیک کارایی ندارد و از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب (NSGAII) که توسط Deb et al.(2002) ارائه شده‌است، استفاده شد. روش مذکور با توجه به بررسی صورت گرفته توسط آن‌ها نسبت به بسیاری از روش‌های بهینه‌سازی دیگر برتری دارد.

بنابراین مدل‌های بهینه‌سازی شامل مدل بهینه‌سازی چند هدفه تخصیص بهینه آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب، مدل بهینه‌سازی تخصیص آب با هدف افزایش سود اقتصادی و مدل بهینه‌سازی تخصیص آب با هدف افزایش کارایی مصرف آب نسبی هستند.

مدل چند هدفه تخصیص بهینه آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب

این مدل بهینه‌سازی شامل دو هدف متضاد است که باید بیشینه‌سازی شوند. متغیرهای تصمیم‌گیری این مدل شامل میزان آب تخصیصی در هر یک از دوره‌های رشد و سطح کشت محصولات است.

تابع هدف شامل بیشینه‌سازی کارایی مصرف آب و بیشینه‌سازی سود اقتصادی خواهد بود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

تابع هدف بیشینه‌سازی کارایی مصرف آب

$$WUE = \sum_{p=1}^{k}[(1-\sum_{i=1}^{n}K_{iy}(1-\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}))\times\frac{\sum_{i=1}^{n}ET_{mi}}{\sum_{i=1}^{n}ET_{ai}}]_p$$ رابطه ۳)

در رابطه فوق WUE کارایی مصرف آب، P شماره گیاه در الگوی کشت، K تعداد کل گیاهان، ET_{ai} تبخیر و تعرق واقعی در مرحله i، ET_{mi} تبخیر و تعرق پتانسیل محصول در مرحله i محصول، K_{iy} ضریب حساسیت به تنش آبی در مرحله i ام رشد محصول، می‌باشد.

در راستای بیشینه‌سازی این هدف، مدل باید آب را به‌گونه‌ای تخصیص دهد که با مصرف کمترین میزان آب ممکن، بیشترین میزان محصول را تولید کند؛ بنابراین مدل در صورت اعمال کم آبیاری، مراحل رشد با حساسیت به تنش آبی بیشتر را در اولویت تخصیص آب قرار داده و مراحل رشد با حساسیت کمتر در اولویت دوم قرار می‌گیرند. علیت این امر جلوگیری از کاهش شدید عملکرد نسبی محصول و یا به عبارت دیگر، کاهش شدید محصول تولیدی است.

باتوجه به توابع هدف که شامل بیشینه‌سازی کارایی مصرف آب و همچنین بیشینه‌سازی سود اقتصادی می‌باشد، از تابع عملکرد استفاده شده‌است. تابع عملکرد برای هر محصول از منابع موجود دریافت و وارد تابع هدف می‌شود. به این صورت هم تابع هدف در مدل اعمال می‌شود و هم تنش در تابع عملکرد درنظر گرفته شده‌است.

با توجه به داده‌های موجود، مقدار آب فعلی و همچنین تابع هدف به‌عنوان ورودی به مدل داده می‌شود تا در نهایت کارایی مصرف آب توسط مدل بیشینه شود. مدل مورد نظر این قابلیت را دارد تا مقدار آب بهینه را دراختیار قرار دهد. درنهایت با مقایسه مقدار آب فعلی و مقدار آب بهینه، دریافت خواهد شد که کدام محصولات دچار کم آبیاری شدند، در کدام محصولات مقدار مصرف آب بیشتر است و در کدام محصولات تغییری رخ نخواهد داد.

تابع هدف بیشینه‌سازی سود اقتصادی

$$NB = \sum_{p=1}^{k}(B_p \times Y_{ap} - C_p - I_p C_w)\times A_p$$ رابطه ٤)

در رابطه فوق NB سود خالص (ریال)، B_p قیمت فروش محصول (ریال در کیلوگرم)، C_p هزینه ثابت برای گیاه، Y_{ap} عملکرد واقعی، 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.

محدودیت‌های مدل عبارت‌اند از:

۱) سطح کشت هر محصول، تبخیر تعرق واقعی و پتانسیل محصول، کارایی مصرف آب نسبی و نسبت درآمد به هزینه نامنفی هستند.

۲) مجموع سطح زیر کشت تمامی محصولات در یک فصل کشت نباید بیشتر از مساحت کل سطح قابل کشت اراضی منطقه باشد.

۳) تعیین الگوی کشت تابع سیاست‌های مختلف می‌باشد و صرفاً نمی‌توان بر اساس توابع هدف این مدل تصمیم‌گیری کرد بنابراین حداکثر ۳۰ درصد تغییر سطوح کشت در نظر گرفته شد.

٤) محصولاتی که در فصل کشت متفاوتی رشد می‌کنند، به صورت جداگانه بهینه‌سازی می‌شوند.

٥) برای جلوگیری از تنش خشکی در مراحلی که گیاه شدیداً حساس است، برای دوره‌هایی که ضریب حساسیت K_y بیشتر از ۰/۵ است، می‌بایست حداقل نصف نیاز آبیاری آن دوره برای محصول تأمین گردد (Lalezari et al., 2014).

٦) تبخیر تعرق واقعی گیاه همواره کمتر یا مساوی تبخیر تعرق پتانسیل گیاه در آن دوره است.

۷) در هر یک از دوره‌های ده روزه، میزان آب تخصیص یافته به الگوی کشت نباید از میزان آب در دسترس شبکه بیشتر شود.

بهره‌وری آب

بهره‌وری را می‌توان به صورت فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی- زیست‌محیطی تعریف کرد. بر این اساس بهره‌وری فیزیکی شامل تولید محصول بیشتر به ازای حجم آب مصرفی، بهره‌وری اقتصادی شامل کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم آب مصرفی و بهره‌وری اجتماعی- زیست‌محیطی شامل ایجاد اشتغال بیشتر، غذای بیشتر و یا درآمد سرانه بیشتر به ازای حجم آب مصرفی و در رابطه با مسائل زیست‌محیطی به معنای تولید بیشتر به ازای زه‌آب کمتر می‌باشد. به‌طورکلی بهره‌وری آب از دیدگاه‌های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، معمول‌ترین این دیدگاه‌ها بهره‌وری از دیدگاه فیزیکی، بهره‌وری از دیدگاه مالی و بهره‌وری از دیدگاه اشتغال می‌باشد. مفهوم بهره‌وری از دیدگاه فیزیکی: بر اساس این دیدگاه، بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب است. بهره‌وری از دیدگاه مالی: بر اساس این دیدگاه بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم آب است. بهره‌وری از دیدگاه اشتغال: بر اساس این دیدگاه بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی به معنای ایجاد اشتغال بیشتر به ازای واحد حجم آب است. با توجه به اهداف اصلی پژوهش حاضر، در این تحقیق ابتدا وضع موجود منطقه مورد مطالعه بدون تغییر اساسی شبیه‌سازی خواهد شد. سپس شاخص بهره‌وری فیزیکی برای وضع موجود منطقه محاسبه می‌گردد. سپس سناریوی بهینه‌سازی تخصیص منابع آب ارائه خواهد شد و مجدداً شاخص‌های بهره‌وری با اعمال سناریوی نام برده محاسبه می‌شود.

بهره‌وری فیزیکی: شاخص تولید محصول به ازای مترمکعب آب یا CPD: این شاخص از تقسیم مقدار محصول به میزان آب مصرفی به دست می‌آید (Molden et al., 1988). این شاخص را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$CPD = \frac{Q}{W}$$ رابطه ۵)

که در رابطه فوق Q مقدار محصول بر حسب کیلوگرم و W مقدار آب مصرفی بر حسب مترمکعب است.

رواناب سطحی

برای محاسبه میزان ورود رواناب سطحی به منابع آبی موجود در منطقه مطالعاتی از مدل بارش -رواناب SWMM استفاده خواهد شد و با توجه به آن شاخص‌های بهره‌وری مربوطه محاسبه می‌شود. این مدل یک واقعه رگبار را بر اساس هایتوگراف بارندگی، داده‌های ورودی هواشناسی، سیستم حوضه و شبکه زهکشی جهت تولید هیدروگراف خروجی، شبیه‌سازی می‌کند. پس از آن هیدروگراف ناشی از بارندگی بر سطح زیرحوضه‌ها را تعیین نموده و آن را به صورت مخزن غیرخطی با استفاده از معادلات پیوستگی و مانینگ، در زیر حوضه‌های کوچک و کانال‌ها، روندیابی می‌کند.

در این روش جریان‌های ورودی از بارش و یا زیر حوضه‌های بالادست ناشی می‌شود. خروجی‌ها عبارت‌اند از تبخیر، نفوذ و رواناب سطحی. ظرفیت این مخزن برابر حداکثر ذخیره چالابی است که شامل حداکثر ذخیره سطحی ایجاد شده توسط گودال‌ها، رطوبت سطحی و برگاب می‌باشد. هنگامی که عمق آب در مخزن از حداکثر ذخیره چالابی بیشتر شود، رواناب سطحی شکل می‌گیرد که جریان خروجی را تشکیل می‌دهد. عمق آب روی سطح زیر حوضه نسبت به زمان با حل عددی دیفرانسیلی معادله بیلان آب روی زیر حوضه به دست می‌آید؛ بنابراین پس از محاسبه میزان رواناب، حجم رواناب ورودی به حوضه نیز به‌عنوان یکی از منابع آبی مهم و ضروری در محاسبات لحاظ خواهد شد.

معرفی مدل شبیه‌سازی (SWMM)

مدل ریاضی SWMM با مشارکت شرکت مهندسی متکالف و ادی، دانشگاه فلوریدا و شرکت مهندسی منابع آب برای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده و به‌منظور شبیه‌سازی پدیده‌های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب‌روها، طی سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ تهیه گردید. از این مدل عملاً در کلیه زمینه‌های زهکشی شهری اعم از طراحی ساده سیستم جمع‌آوری تا تحلیل‌های پیچیده هیدرولیکی و مطالعات کیفی جریان استفاده شده‌است. مدل مشتمل بر متجاوز از ۱۲۰۰۰ سطر برنامه کامپیوتری است و یکی از جامع‌ترین مدل‌های موجود برای تحلیل‌های مربوط به برآورد سیلاب و دبی طراحی در سیلابروها محسوب می‌شود. مدل مدیریت رواناب سطحی یک مدل دینامیک شبیه‌سازی بارش- رواناب بوده و می‌تواند برای یک واقعه، کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی نماید و همچنین قابلیت ترکیب با سایر مدل‌ها برای ارائه نتایج در حوضه‌های آبریز را دارد. از جمله قابلیت‌های فنی این مدل می‌توان به مواردی شامل، قابلیت‌های شبیه‌سازی وضعیت هیدرولوژیکی- هیدرولیکی و کیفیت آب در مناطق شهری و غیر شهری، امکان برآورد دبی اوج سیلاب در بارش‌های متفاوت، امکان ارزیابی تأثیرات مخازن تأخیری- ذخیره‌ای در شدت طغیان‌ها و سطح آب معادل آن‌ها در قسمت‌های پایاب، قابلیت شبیه‌سازی تأثیر پل‌ها، زیرگذرها، سرریزها، مقسم‌ها، پمپ‌ها و سایر سازه‌های هیدرولیکی مرتبط، امکان حل معادلات در حالت ماندگار و غیر ماندگار، امکان برآورد حجم و طول مدت آب‌گرفتگی در صورتی که شدت سیلاب از ظرفیت سیلابرو تجاوز کند و قابلیت شبیه‌سازی وضعیت جریان در سیلابرو در حالت آزاد و شرایط غرقاب‌شدگی، اشاره کرد. این مدل از دو بخش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تشکیل می‌شود. در بخش هیدرولوژیکی رابطه بارش- رواناب مطرح می‌شود و حاصل آن رواناب هر کدام از زیر حوضه‌ها است. در بخش هیدرولیکی محاسبات هیدرولیکی مجراهای جمع‌آوری آب‌های سطحی صورت می‌گیرد (Sadeghi, 1400).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه رواناب

در تحقیق حاضر جهت افزایش محصول تولیدی به ازای آب مصرفی و میزان سود در واحد هکتار محصولات شبکه آبیاری تجن، یک مدل بهینه‌سازی تخصیص آب ایجاد شد. روش بهینه‌سازی مورد استفاده در این مدل، روش الگوریتم NSGA-II می‌باشد. در همین راستا و مطابق با موضوع تحقیق که افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تحت سناریوی تخصیص بهینه منابع آب در دسترس در منطقه مطالعاتی با هدف افزایش کارایی مصرف آب و افزایش سود اقتصادی می‌باشد، رواناب خروجی حوضه محاسبه شده است و همراه با سایر منابع آب در الگوریتم NSGA-II لحاظ شده است. سایر منابع آب شامل آب‌های سطحی، زیرزمینی، آب‌بندان، سد، رودخانه و یا مخزن‌های موجود می‌باشد. رواناب ورودی یکی از منابع مهم آبی می‌باشد که اگر بتوان رواناب ورودی به منطقه را

مدیریت نمود، می‌توان گام مهمی در راستای افزایش بهره‌وری آب برداشت و همچنین میزان تخصیص آب را بهبود بخشید. محاسبه رواناب ناشی از بارش با استفاده از مدل بارش- رواناب SWMM در دوره بازگشت پنج سال انجام شده است. زیرحوضه‌های استفاده‌شده در مدل شامل پایاب تجن، تجن میانی، چهاردانگه، سراب تجن و ظالم‌رود می‌باشد. سپس به‌منظور در نظر گرفتن کلیه بارش‌ها در دوره بازگشت مذکور، میانگین حجم رواناب در این دوره بازگشت لحاظ شده است؛ به عبارت دیگر رواناب حاصل از بارش نیز در کنار سایر منابع آب، به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد. در ارتباط با محاسبه رواناب در دوره بازگشت مذکور، کل حوضه با لحاظ سد و آب‌بندان دراختیار مدل قرار گرفته‌است. درواقع مقدار آبی که وارد سد و یا آب‌بندان نشده‌است و همچنین نفوذ پیدا نکرده‌است، به‌عنوان رواناب درنظرگرفته‌می‌شود. محاسبه انجام‌شده، در رواناب خروجی حوضه (که در قسمت انتهایی حوضه‌ی پایاب تجن قرار دارد) و در ایستگاه کردخیل صورت گرفته‌است. شکل ۲ نمودار رواناب خروجی حوضه تجن در دوره بازگشت پنج ساله را نشان می‌دهد.

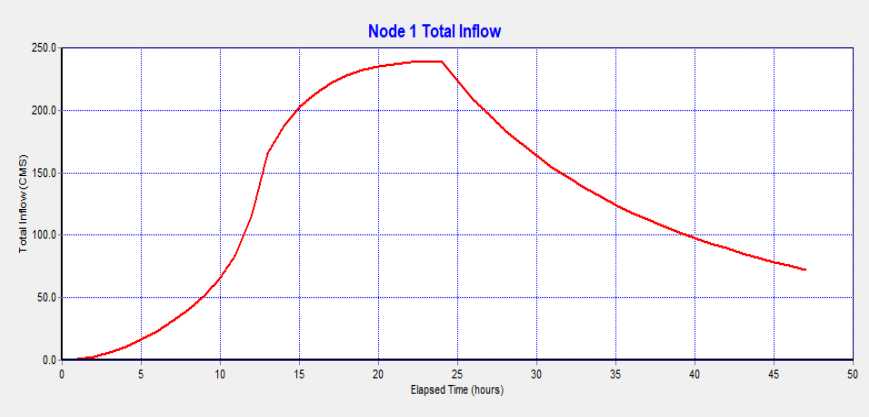

Figure 2. hydrograph of Tajen basin outflow during the return period of five years

نتایج حاصل از تخصیص بهینه آب

مدل حاضر یک مدل دو هدفه می‌باشد 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 شده‌است 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 ۲ میزان تأمین نیاز آبی محصولات را به تفکیک سناریو نشان می‌دهد. در تمامی سناریوها، برنج و مرکبات به دلیل این که گسترده‌ترین سطح کشت را دارند، به‌منظور جلوگیری از تغییرات زیاد سود اقتصادی تمام نیاز آبی خود را دریافت می‌کنند. از آن جا که در سناریوی اول بیش‌ترین میزان نسبت درآمد به هزینه حاصل شده 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، محصول دهی به کم‌ترین میزان ممکن کاهش یابد. سناریوی سوم از آن جا که حد وسط دو سناریوی پیشین است، میزان تأمین نیاز آبی محصولات تقریباً حالتی مابین سناریوهای اول و دوم دارد.

Table 2. Amount of water consumed by products in different situations (cubic meters per hectare)

	Citrus	Rice	Oil Seeds	Maize	wheat	vegetables	cotton
Scenario 1	**7467**	**13427**	**5083**	**2680**	**1666**	**2716**	**3638**
Scenario 2	**7467**	**13427**	**4625**	**2439**	**1503**	**2716**	**3516**
Scenario 3	**7467**	**13427**	**4829**	**2546**	**1666**	**2716**	**3559**

جدول ۳ میزان بهره‌وری فیزیکی را برای محصولات مختلف در سناریوی سوم که یک سناریوی بینابین می‌باشد، نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده، در تخصیص بهینه آب با هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب، میزان بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات غالب منطقه افزایش یافته است. یکی از دلایل افزایش بهره‌وری در کلیه محصولات در نظر گرفتن رواناب ورودی به منطقه به‌عنوان یکی از منابع ورودی مهم می‌باشد. این کاهش مصرف آب و افزایش میزان تولیدی نسبت به آب مصرفی به ترتیب با یافته‌های Lalezari et al.(2015) و Khashei et al. (2013) مطابقت دارد.

Table 3. The amount of physical efficiency index in current conditions and optimal conditions

crops	Current allocation (kg/m3)	Optimal allocation (kg/m3)
Citrus	**0.9**	**2.11**
Rice	**0.95**	**2.95**
Oil Seeds	**0.9**	**2.67**
Maize	**0.7**	**1.7**
wheat	**0.67**	**1.86**
vegetables	**0.8**	**3.1**
cotton	**0.7**	**2.25**

جدول شماره‌ی ٤ الگوی کشت بهینه پیشنهادی توسط مدل را با الگوی کشت اجرا شده مقایسه می‌کند. تغییرات سطح کشت بر اهداف مدل اثری نداشته و صرفاً جهت رعایت محدودیت اقتصادی مدل و در جهت تخصیص منابع آبی است. آنچه از مشاهده آن استنباط می‌شود این است که سطح زیر کشت مرکبات و برنج ثابت مانده است. سطح زیر کشت گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی افزایش یافته است. زیرا با توجه به جدول شماره‌ی ۳ میزان افزایش بهره‌وری برای این محصولات بیشتر از سایر محصولات است؛ یعنی به ازای مقدار آب مصرفی بیشترین تولید و عملکرد را این محصولات دارند. لذا افزایش سطح زیرکشت آن‌ها می‌تواند بیشترین عملکرد را جهت تأمین هدف که حداکثرسازی سود و افزایش بهره‌وری است را داشته باشد. سطح زیر کشت پنبه و ذرت دانه‌ای کاهش یافته است؛ زیرا با توجه به جدول شماره‌ی ۳، میزان افزایش بهره‌وری در این دو محصول به نسبت سایر محصولات کمتر است لذا عملکرد تقریباً کمی دارند؛ بنابراین سطح زیر کشت آن‌ها هم کاهش می‌یابد.

Table 4. Comparison of cultivated area under current and optimal conditions

crops	current cultivation (Hectare)	Optimal cultivation (Hectare)
Citrus	**13075**	**13075**
Rice	**25088**	**25088**
Oil Seeds	**4605**	**5523**

Maize	**370**	**250**
wheat	**2612**	**3200**
vegetables	**1226**	**2700**
cotton	**836**	**650**

جدول شماره‌ی ۵ مقایسه سود اقتصادی را برای ارزیابی راهکار تخصیص بهینه آب نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده با تخصیص بهینه منابع آب برای محصولات غالب منطقه، سود اقتصادی حاصل از محصولات نیز افزایش یافته است که نشان‌دهنده قابل اجرا بودن طرح می‌باشد. اگر طرحی فاقد توجیه اقتصادی لازم باشد، در عمل قابل اجرا نخواهد بود؛ بنابراین توجه به جنبه اقتصادی، لازم و ضروری است. این افزایش سود و توجیه‌پذیر بودن آن با تحقیقات Kashfi et al.(2018) مطابقت دارد.

توجیه اقتصادی نتایج مدل مطالعه حاضر و هزینه بر 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.

Table 5. Comparison of economic profit of products under current and optimal conditions

crops	Current profit (million rials)	Optimal profit (million rials)
Citrus	**1290660**	**1935990**
Rice	**1879493**	**2819240**
Oil Seeds	**270600**	**405900**
Maize	**32000**	**48000**
wheat	**1191860**	**1787790**
vegetables	**262200**	**393300**
cotton	**15500**	**23300**

طبق نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که مقدار بهره‌وری و همچنین سود اقتصادی محصولات پس از تخصیص بهینه افزایش یافته است و در ارتباط با سطح زیر کشت نتایج نشان می‌دهد که محصولات مرکبات و برنج پس از تخصیص بهینه ثابت مانده‌اند و محصولات پنبه و همچنین ذرت دانه‌ای مقدار کشت بهینه آن کاهش یافته است و محصولات گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی افزایش یافته‌اند. با توجه به نتایج تحقیق مشاهده می‌شود محصول گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی نسبت به سایر محصولات ذکر شده نسبت به آب مصرفی بیشترین تولید و عملکرد را دارند زیرا با توجه به ارقام به دست آمده مقدار سطح زیر

کشت در این محصولات حالت افزایشی دارد و همچنین میزان افزایش بهره‌وری برای این محصولات بیشتر از سایر محصولات است.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی برای تعیین یک برنامه جامع در تخصیص مناسب از منابع آب بوده است، به‌گونه‌ای که در تمام شرایط مورد نظر بتوان عملکرد مطلوبی از لحاظ بهره‌وری اقتصادی در حوضه‌های خشک ایران به دست آورد. در این راستا برای تعیین برنامه بهره‌برداری از منابع آبی، از روش کاربردی بهینه‌سازی استفاده گردید. همچنین باید خاطر نشان کرد که در بهینه‌سازی بخش، علاوه بر منابع آب سطحی و زیرزمینی از رواناب ورودی نیز به‌عنوان یکی از منابع ورودی مهم بهره گرفته شده است تا به مدیریت صحیح و بهینه منابع آب کمک نماید. هدف از تخصیص آب، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش سود اقتصادی می‌باشد. در تحقیق حاضر برای یافتن بهینه‌ترین تخصیص آب از منابع آبی موجود در منطقه مطالعاتی از روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است. طبق نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که مقدار بهره‌وری و همچنین سود اقتصادی محصولات پس از تخصیص بهینه افزایش یافته است و در ارتباط با سطح زیر کشت نتایج نشان می‌دهد که محصولات مرکبات و برنج پس از تخصیص بهینه ثابت مانده‌اند و محصولات ذرت دانه‌ای و همچنین پنبه مقدار کشت بهینه آن کاهش یافته‌است و محصولات گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی افزایش یافته‌اند. با توجه به نتایج تحقیق مشاهده می‌شود محصول گندم، سبزیجات و دانه‌های روغنی پس از برنج و مرکبات نسبت به سایر محصولات ذکر شده نسبت به آب مصرفی بیشترین تولید و عملکرد را دارند زیرا با توجه به ارقام به دست آمده مقدار سطح زیر کشت در این محصولات حالت افزایشی دارد و همچنین میزان افزایش بهره‌وری برای این محصولات بیشتر از سایر محصولات است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در الگوی کشت منطقه، محصولات با سودآوری بیشتر و عملکرد بالاتر مد نظر قرار بگیرند تا بتوان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد و از آب به‌طور بهینه استفاده نمود.

منابع

Alami, M.T., Aghabalaei, B., Ahmadi, M.H. &Farzin, S. (2013). Optimal allocation of water resources systems using dynamic systems. *Journal of Water Resources Engineering*. 7 (23): 110-99. (In Persian).

Badieizadeh, S. Bahremand, A. Dehghani, A. Nora, N. (2014). Urban flood management through surface runoff simulation using SWMM model in Gorgan city, Golestan province. *Journal of water and soil protection research*. volume 22. Number 4. 155-170. (In Persian).

Ehsani, M., Khaledi, H. (2012). Agricultural Water Efficiency. Iran: National Irrigation and Drainage Committee press. (In Persian).

Fan, Y., Wang, C., & Z. Nan. (2014). Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. Agricultural Water Management, 146: 335-345.

Kaki. Saman; Mirkhalaq Zia Tabar Ahmadi & Valiullah Karimi, (2015). comparison of water consumption efficiency in classic semi-mobile irrigation and surface irrigation for wheat crop(a case study of Bukan city). In: 3rd National Congress of Biology and Natural Sciences, the center of sustainable development solutions, Mehr Institute of Higher Education Arvand,Tehran, Iran. (In Persian).Karamoz, M., Ahmadi, A. & Falahi, M. (2015). System Engineering. Iran: Amirkabir University of Technology press. (In Persian).

Karamoz, M. & Karachian, R. (2012). Quality planning and management of water resources systems. Iran: Amirkabir University of Technology press. (In Persian).

Karimi, M. & Jalini, M. (2016). Investigating agricultural productivity indicators in important crops, case study: Mashhad plain, *water and sustainable development journal*, pp. 133-138. (In Persian).

Kashefinejad, P., Houshmand, A., Broumand Nesab, S. (2017). Optimal allocation of water resources using genetic algorithm with non-dominated ranking (case study: Hamidiyeh irrigation network). *Journal of Water and soil protection research*. 253-239. (In Persian).

Khashei Seyuki A., Hahraman B. & Kochzadeh M. (2013). The application of agricultural water allocation and management with optimization technique (PSO, case study: Neyshabur Plain), *Water and Soil Journal*, 27(2):292-303. (In Persian).

Khanjari Sadati, S., Speelman, S., Sabouhi, M., Gitizadeh, M. & Ghahraman, B. (2014). Optimal Irrigation Water Allocation Using a Genetic Algorithm under Various Weather Conditions. *Water Journal from MDPI*. 6: 3068-3084.

Kiafar, H. (2010). Optimal allocation of water during the cropping season using genetic algorithm. Master's thesis, Faculty of Water Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran. 128 pages. (In Persian).

Lalehzari,R., Broumand Nesab, S., Moazd, H.,& Haghighi, (2014). Optimum allocation of surface and underground water resources to Baghmolek plain cultivation pattern with multi-objective planning algorithm based on non-dominated ranking. Doctoral dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. 226 pages. (In Persian).

Ministry of Energy. (1998). Water allocation system and action plan: *Iran Water Resources Management Company publication*. Vice President of Water and Wastewater Affairs, Water and Wastewater Planning Office. (In Persian).

Ministry of Energy. (2018). Water allocation system: *publication of Iran Water Resources Management Company*. Vice President of Water and Water Resources, Water and Water Resources Planning Office. (In Persian).

Ali, M.H. & Talukder, M.S.U., (2008). "Increasing water productivity in crop production--A synthesis," *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 95(11), pages 1201-1213, November.

Mikovit C. Rauch, W. & Kleidorfer, M. (2014). Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. Procedia Engineering, 70, pp.1147-1156.

Park,S Y. Lee, K. W. Park, I. H. & Ha, S. R. (2008).Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network foe a SWMM simulation. Desalination, 226(1-3),328-337.

Sadeghi, S. (1400). *Optimizing the surface water disposal network in terms of risk analysis and damage estimation approach*. Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 166 pages. (In Persian).

Samadi Alinia, N. (2017). *Planning optimal water allocation at the watershed level using the combination of MODSIM models and genetic algorithm*. Master's thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Amir Kabir University of Technology, Tehran,Iran. 98 pages. (In Persian).

Scheierling, S. M., Treguer, D. O., Booker, J. F., & Decker, E (2014). How to assess agricultural water productivity? Looking for water in the agricultural productivity and efficiency literature. Policy Research Working Paper Series 6982, The World Bank.

Schluter M, D.C. Savitsky, D. Mckinney, & H. Lieth, (2005). Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River Delta: *A water management Model for ecological impact assessment*. Envir. Model. and Software, 20: 529-545.

Selvalingam,S. Liong, S. Y. & Manoharan, P. C. (1987). Use of RORB and SWMM models to an urban catchment in Singapore. Advances in water Resources, 10(2), 78-86.

Speed R., Yuanyuan L., Le Quesne T., Pegram G and Zhiwei Z. 2013. Basin Water Allocation Planning: Principles, Procedures and Approaches for Basin Allocation Planning.Asian Development Bank, GIWP, UNESCO, and WWF-UK.

Totonchi, F., Kiai, A. &Maknoun, R. (2016). Investigating the history of water policy in Iran. International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Contemporary Iran. Tehran, Iran. (In Persian).

Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: *Vulnerability from climate change and population growth. Science*, 289(5477):284-288.

Increasing the productivity of agricultural water under the optimization scenario of water resource allocation using the algorithm (NSGA-II)

Fatemeh Zahra Sahabifard[1], Ali Shahnazari[2] , Sonia Sadeghi[3]

1.Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

2. Corresponding Author[3], Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources,Sari, Iran.

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Abstract

The present research deals with increasing agricultural water productivity in Tajen basin of Mazandaran province by using optimal allocation. In the current research, to find the most optimal allocation of water from the available water sources in the study area, the optimization method with genetic algorithm with non-superior ranking was used and SWMM model was used to estimate the runoff resulting from precipitation. Since the model of optimal allocation of water resources is multi-objective and has more than one optimal response, none of which is superior to the other, and the appropriate response is selected based on the management conditions, three responses were selected from the optimal responses in the form of three scenarios to be compared with the current conditions of water allocation. The results showed that the optimization of water allocation caused an increase in agricultural water productivity by 76 percent for citrus fruits, 47 percent for rice, 60 percent for oilseeds, 59 percent for corn, 6۰percent for wheat, 77 percent for vegetables and 76 percent for cotton for the third scenario. which is a desert scenario. Also, the economic profit has increased by 33 percent on average. According to the results, wheat products, vegetables and oilseeds after rice and citrus have the highest production and yield compared to other products in the study area. The optimal cultivated area for these products is equal to 3200, 2700, 5523 hectares, respectively. By optimizing the allocation of water resources while saving significant water consumption, the production product per water consumption as well as the economic profit can be increased depending on the chosen solution.

Keywords: Cultivated area, Economic benefit, Water use efficiency, Performance.

[3] aliponh@yahoo.com