

تعیین سطح زیر کشت بهینه برخی از محصولات کشاورزی در شرایط متفاوت آب و هوایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دشت قزوین

آیسن یوسف دوست، ام‌البنی محمدرضاپور^{۱*} و محبوبه ابراهیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه زابل، ایران.

icenyd@gmail.com

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل، ایران.

nmohammadrezapour@yahoo.com & mohammadrezapour@uoaz.ac.ir

استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

ebrahimi_mahboube@yahoo.com

چکیده

کشاورزی به علت ماهیت بیولوژیکی آن و وابستگی شدید به طبیعت بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آبی در بیشتر کشورهاست. لذا امروزه مدیریت آب در این بخش نقش مهمی را در مصرف منابع آب کشورها بازی می‌کند. مطالعه حاضر با هدف بهینه‌سازی سطح زیر کشت، تخصیص آب آبیاری و حداکثر سازی سود حاصل از کشت بخشی از مزارع دشت قزوین (فلات مرکزی ایران) که آب مورد نیاز خود را از طریق سد طالقان تأمین می‌کنند در شرایط آب و هوایی مختلف با کمک الگوریتم ژنتیک انجام شد. در این مطالعه با ترکیب سطوح احتمالاتی مختلف از بارندگی، تبخیر و جریان ورودی بهینه‌سازی در چهار شرایط آب و هوایی متفاوت انجام شده است. نتایج بیان‌گر این بود که در شرایط آب و هوایی نرمال، مرطوب، خشک و گرم و خشک سود حاصل از الگوی کشت جدید ارائه شده توسط مدل نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش چشمگیری داشته و پیروی از الگوی کشت جدید تا حدود زیادی باعث کاهش مصرف آب این بخش می‌شود. بطوری که حجم آب ذخیره شده در مخزن در انتهای دوره بهره‌برداری در شرایط آب و هوایی مرطوب، نرمال، خشک و گرم و خشک به ترتیب مقادیر ۲۶۲۰۴۵/۲، ۲۸۶۲۶۸۶/۶، ۲۷۳۰۸۹ و ۹۵۵۵۴۲ متر مکعب نسبت به قبل از بهینه‌سازی افزایش یافته است. همچنین بررسی نتایج نشان داد که سطح زیر کشت محصول چغندر قند در هر چهار شرایط متفاوت آب و هوایی به دلیل نیاز آبی بالا و عملکرد پایین این محصول بالای ۸۰٪ کاهش سطح داشته است. به عبارت دیگر پیشنهاد می‌گردد، محصول چغندر قند در هیچ یک از شرایط آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه کشت نگردد. همچنین با الگوی کشت جدید در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، خشک، نرمال و مرطوب به ترتیب مقادیر ۲/۸۱، ۲/۶۲، ۱/۳۴ و ۱/۵۳ درصد افزایش سود برای کشاورزان حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم فرا ابتکاری، بهینه‌سازی، مدیریت آب کشاورزی.

۱- آدرس نویسنده مسول: زابل، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

دریافت: بهمن ۱۳۹۴ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۵

مقدمه

کشاورزی به علت ماهیت بیولوژیکی آن و وابستگی شدید آن به طبیعت بزرگترین مصرف‌کننده منابع آبی در بیشتر کشورها می‌باشد. آبیاری امروزه نقش مهمی را در اقتصاد کشورها بازی می‌کند، لذا مدیریت آب کشاورزی بیشترین تأثیر را در بالا بردن کارایی مصرف در مواقع کم‌آبی و کاهش خسارات اقتصادی و اجتماعی آن دارد. بهینه‌سازی مسائل سیستم‌های منابع آب دارای پیچیدگی‌هایی است که بعضاً حل آن‌ها با روش‌های معمول بهینه‌سازی امکان‌پذیر نبوده و یا حداقل از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. در این راستا تحقیقات فراوانی به منظور یافتن روش‌های مناسب برای حل این مسائل صورت گرفته است. به همین منظور در سال‌های اخیر روش‌های کاوشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب مورد توجه واقع شده‌اند.

روش‌های کاوشی اغلب الهام گرفته از طبیعت هستند که برای حل مسائل در زمینه‌های مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. از روش‌های تکاملی شناخته شده می‌توان الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی آنلینگ، جستجوی ممنوعه، الگوریتم مورچگان، ازدحام ذرات اشاره کرد. از مطالعات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی سطح زیر کشت در ایران انجام گرفته است می‌توان به صبحی و همکاران (۱۳۸۳)، طالبی و رکلائی و همکاران (۱۳۹۲)، گرگانی و کهن‌سال (۱۳۹۳) اشاره نمود. بر اساس مرور منابع صورت گرفته مطالعات زیادی در کشورهای دیگر نیز در زمینه بهینه‌سازی الگوی کشت صورت گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. به‌منظور بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن آب، استفاده بهینه از آب‌های سطحی و زیرزمینی و تعیین الگوی بهینه کشت تحت شرایط کم‌آبی در منطقه چیترا دوریگی هند یک مدل برنامه‌ریزی خطی انجام شد که نتایج نشان داد از بین محصولات فصلی و سالیانه کدام محصولات برای کسب حداکثر سود کاشته شود و چه مقدار زمین و آب به هر محصول اختصاص داده شود (ازیز، ۲۰۰۱). در

پژوهشی دیگر جهت بهینه‌سازی عملکرد مخزن سد یک منظوره مالارپارابها (malaprabha) برای آبیاری گیاهان زراعی از الگوریتم ژنتیک استفاده شد که نتایج بیانگر تشابه عملکرد بهینه به‌دست‌آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک به عملکرد بهینه به‌دست‌آمده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی بود (نجاش کومار و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهشی در شمال عربستان یک مدل ترکیبی LP-DP برای استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی برای یک محصول توسعه داده شد. در این مدل، از کم‌آبیاری برای افزایش سطح زیر کشت استفاده شد. این مدل در نواحی که کمبود آب آبیاری رنج می‌برند، قابل اجرا است (ازیز، ۲۰۰۸).

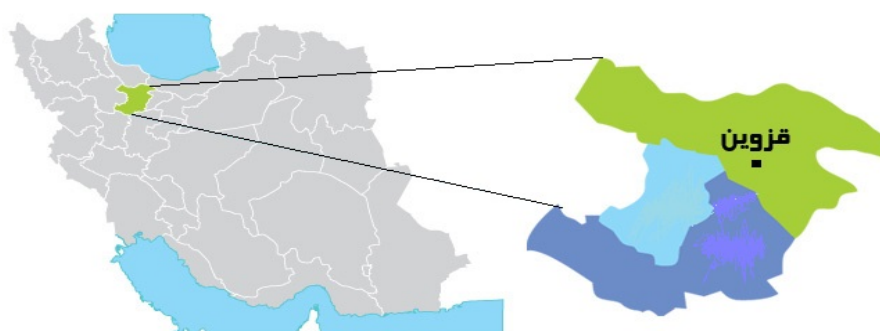
بهره‌برداری از مخزن در منطقه چالکیدیکی (chalkidiki) یونان نیز به منظور تعیین الگوهای بهینه کشت در شرایط آب و هوایی مختلف با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. با حل مدل در شرایط مختلف آب و هوایی میزان بهینه آب برای هر محصول و الگوی کشت بهینه به دست آمد (پاپامیچای، ۲۰۰۸). برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی زاینده‌رود اصفهان نیز در شرایط خشکسالی جهت حداقل نمودن خسارات و تخصیص و توزیع آب در پایین‌دست سد مدل‌های سه لایه تهیه شد که زیر مدل اول توزیع آب در طول دوره‌های ده روزه رشد گیاه، زیر مدل دوم تخصیص آب بین محصولات غالب کشت شده در منطقه و زیر مدل سوم بهینه‌سازی در توزیع آب که این بهینه‌سازی می‌تواند درآمد شبکه‌ها را تا ۴۲ درصد بالا ببرد بوده است (مقدسی و همکاران ۲۰۰۸). با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی بهینه‌سازی آب آبیاری پنج منطقه نوار غربی فلسطین مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد آب آبیاری با تغییر الگوی کشت تحت شرایط محدودیت‌های آب و زمین ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (دیما و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین از مدل برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی برای بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی و آبیاری بهینه الگوی چند کشتی استفاده شد. سه الگوریتم متفاوت

تأمین می‌کنند در شرایط آب و هوایی مختلف با کمک الگوریتم ژنتیک میباشد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

دشت قزوین به وسعت ۴۴۰ هزار هکتار در فلات مرکزی ایران قرار دارد، دارای اقلیمی نیمه خشک و تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است. منابع تامین آب سطحی تامین کننده آب این دشت رودخانه‌ها و دریاچه‌ی اوان است. یکی از رودهای مهم تامین کننده آب این دشت رودخانه طالقان است که سد طالقان روی آن بنا شده است. سد طالقان در ۱۳۵ کیلومتری شمالغرب تهران که مختصات جغرافیایی آن عبارت است از: طول جغرافیایی ۳۷° و ۵۰° الی ۱۰' و ۵۱° عرض جغرافیایی ۵' و ۳۶° الی ۲۵' و ۳۶° بر روی رودخانه طالقان در محل روستایی روشنابدر احداث شده است. اهداف اصلی احداث این سد می‌توان به تامین آب کشاورزی دشت قزوین، تامین آب شرب شهرهایی تهران و کرج، تغذیه مصنوعی دشت قزوین، کنترل سیلابهای فصلی رودخانه طالقان اشاره کرد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

باد، حجم آورد کلی رودخانه، حجم آب ذخیره شده در مخزن سد، حجم آب خروجی از مخزن، سطح مخزن، حجم کل مخزن، بارندگی در سطح مخزن، حجم آب

ژنتیک، PSO و جهش قورباغه با هدف دستیابی به بالاترین سود خالص از سیستم منابع آب از طریق فراهم کردن آب آبیاری برای الگوی چند کشتی به کاربرده شد که نتایج حاکی از برتری روش خطی نسبت به غیرخطی و برتری الگوریتم قورباغه نسبت به دو الگوریتم دیگر بود (مهدی پور و همکاران، ۲۰۱۳). از مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای تخصیص آب برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه ژانگ ونگ و با استفاده از سناریوهای متفاوت عدم قطعیت میزان بهینه تخصیص آب و الگوی کشت به دست آمد (دی و لی، ۲۰۱۳).

در پژوهشی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تخصیص آب و تعیین الگوی کشت بهینه منطقه کشاورزی تحت پوشش سد درودزن واقع در استان فارس استفاده شد و در شرایط آب و هوایی مختلف و کم آبیاری و آبیاری کامل الگوی کشت و آب تخصیصی مشخص شد (خنجری و همکاران، ۲۰۱۴). هدف از انجام این مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت، تخصیص آب آبیاری و دستیابی به بالاترین سود حاصل از کشت بخشی از مزارع دشت قزوین که آب مورد نیاز خود را از طریق سد طالقان

آمار و اطلاعات و الگوی کشت منطقه

آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل دمای حداقل، حداکثر و میانگین، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت

سرریز شده از مخزن سد طالقان، از اداره هواشناسی و آب منطقه ای استان تهران به دست آمده است. جدول (۱) سطح فعلی زیر کشت، هزینه تولید، حداکثر عملکرد

جدول ۱- قیمت، عملکرد و تاریخ کشت محصولات در منطقه در سال زراعی ۹۲-۹۳

محصول	سطح زیر کشت (ha)	حداکثر عملکرد (kg/ha)	هزینه تولید (Rials/ha)	تاریخ کاشت
گندم	۳۴۵۸۳	۱۶۳۹/۹۳۶	۱۲۷۳۱۹۸	اوایل مهر تا اواخر آذر
ذرت	۹۶۰۸	۸۶۱۲/۷۶۱	۱۹۷۶۳۴۳	۱۵ اردیبهشت
چغندر قند	۱۴۲۵	۳۹۲۱۵/۱۲	۲۵۷۳۲۵۶	۱ فروردین تا ۲۵ اردیبهشت
جو	۹۸۹۳	۲۷۶۳/۵۲۶	۱۱۷۰۸۲۲	۱۵ مرداد و ۱۵ آذر (دو کشت)
یونجه	۹۵۴۸	۹۴۰۲/۹۰۱	۲۱۸۲۴۵۲	۱۵ اردیبهشت تا ۳۱ اردیبهشت

منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین

طالقان را برای آبیاری n محصول زراعی در بازه زمانی j در فصل آبیاری به دنبال داشته باشد، که به شکل رابطه (۱) بیان می‌گردد. (جرجیا و پاپامیچای، ۲۰۰۸)

$$Z^* = \text{Max} \sum_{i=1}^n [p_i(Y_C)_i - C_i] A_i \quad (1)$$

که در آن:

n تعداد محصولات، i شاخص محصول، Z* کل درآمد منطقه بر حسب ریال، P_i قیمت فروش محصول i (ریال) بر کیلوگرم، C_i هزینه تولید محصول i (ریال در هکتار)، A_i مساحت کاشت محصول i (هکتار)، Y_C عملکرد نسبی همان تابع تولید محصول از آب (بدون بعد) می‌باشد که از رابطه‌ی توابع تولید درون فصلی محاسبه می‌شود. در توابع تولیدی درون فصلی، ضریب حساسیت و تبخیر- تعرق در مراحل مختلف رشد گیاه در نظر گرفته می‌شود. جانسون و همکاران (۱۹۶۸) رابطه بین میزان عملکرد نسبی و تبخیر- تعرق نسبی که به صورت رابطه (۲) می‌باشد را ارائه کردند.

$$Y_C = \frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_a}{ET_{max}} \right)^{Y_i} \quad (2)$$

مشکل چنین مدل‌هایی وجود ضرایب حساسیت در مراحل مختلف رشد است. انتخاب غیر مناسب چنین ضرایبی، استفاده از مدل‌های ریاضی برای برآورد تولید را دچار مشکل می‌کند (قهرمان و سپاسخواه، ۱۹۹۷). برای رفع این مشکل ضرایب K_y برای مراحل مختلف رشد بسیاری از گیاهان در نشریه ۳۳ سازمان خواروبار جهانی

مقادیر هزینه تولید ارائه شده در جدول ۱ از جمع هزینه های تولید هزینه خرید بذر، کود، آفت کشها، ماشین آلات و هزینه برداشت بدست آمده است. همچنین میزان سود ناخالص در این مقاله نیز از ضرب حداکثر تولید محصولات در قیمت آنها بدست آمده است. همچنین فصل آبیاری در این مقاله از اول فروردین شروع و تا انتهای آذر به پایان می‌رسد که به دوره‌های ۱۰ روزه تقسیم شده و ۲۷ دور آبیاری در نظر گرفته شده است. همچنین از ابتدای دی تا ابتدای فروردین هیچگونه آبیاری وجود ندارد. تبخیر و تعرق مرجع نیز با استفاده از معادله پنمن - مانیتث با استفاده از داده‌های میانگین درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی محاسبه شده است. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی نیز در منطقه مورد مطالعه با بافت لومی FC= ۰/۲۵ و PWP= ۰/۱۲ میباشد.

تعریف مدل و متغیرهای وابسته به آن

مدل به صورت یک برنامه‌ی غیرخطی با هدف معرفی مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از مخزن سد، تخصیص بهینه آن بین گیاهان مختلف و در نهایت حداکثر کردن سود حاصل از کشت محصولات طراحی شده است. طول بازه زمانی معادلات بیلان، برای کل مدل ثابت و معادل دور آبیاری منطقه قزوین (۱۰ روزه) در نظر گرفته شده است. تابع هدف در این مدل بیشینه کردن درآمد ناخالص منطقه می‌باشد به طوری که عملکرد بهینه سد

اولین قیدی که استفاده شد مقدار آب موجود در سطح خاک است که از آن به عنوان رطوبت سطحی خاک یاد می‌شود. در ابتدای هر بازه زمانی رطوبت اضافه شده ($ERAIN_{ij} - IR_{ij}$) که در شروع بازه زمانی و یک باره در نظر گرفته شد به اضافه رطوبت قبلی منبعی برای انجام تبخیر-تعرق برای گیاه خواهد بود. با صرف نظر کردن از رواناب سطحی بیلان آب خاک در هر بازه زمانی به صورت رابطه (۴) نوشته شد:

$$(SM_{in})_{ij} + 1 = (SM_{in})_{ij} + ERAIN_{ij} + IR_{ij} - (ETa)_{ij} + (TAW_{ij} + 1 - TAW_{ij}) \quad (4)$$

در این رابطه، $(SM_{in})_{ij}$ و $(SM_{in})_{ij} + 1$ سطح رطوبت خاک mm محصول i به ترتیب در بازه زمانی j و IR_{ij} آب آبیاری تخصیصی mm به محصول i در بازه زمانی j و $TAW_{ij} + 1$ و TAW_{ij} کل رطوبت قابل دسترس mm برای محصول i به ترتیب در بازه زمانی j و $j+1$ و $ERAIN_{ij}$ میزان بارندگی مؤثر mm برای محصول i در بازه زمانی j است (قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۴).

محدودیت نیاز آبی گیاه

در بازه زمانی i محدودیت بعدی نیاز آبی گیاه نمایش داده شد. برای محاسبه $(IR_{max})_{ij}$ است که با j نیاز آبی گیاه از فرمول زیر استفاده شد:

$$(IR_{max})_{ij} = (1 - P_{i,j})TAW_{ij} + (ET_m)_{ij} - (SM_{in})_{ij} - ERAN_{ij} \quad (5)$$

در این آن:

$(IR_{max})_{ij}$ حداکثر نیاز آبی محصول i در بازه زمانی j mm ، $P_{i,j}$ عامل تخلیه رطوبت خاک در شرایط بدون تنش آبی گیاه i بازه زمانی j که از نشریه فائو ۲۴ قابل استخراج است، $ERAIN_{ij}$ میزان بارندگی مؤثر mm برای محصول i در بازه زمانی j و $(ET_m)_{ij}$ حداکثر تبخیر تعرق گیاه i در بازه زمانی j $(SM_{in})_{ij}$ سطح رطوبت

(FAO) گزارش شده است (دورنبرس و کازم، ۱۹۷۹)؛ که در آن:

Y_a عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار ۱)، Y_{max} حداکثر عملکرد محصول تحت شرایط مدیریت داده با تأمین آب نامحدود همان عملکرد بالقوه (کیلوگرم در هکتار ۱)، ET_a تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_{max} حداکثر تبخیر و تعرق (میلی‌متر)، λ_i شاخص حساسیت محصول به کم‌آبی است که از فرمول زیر محاسبه می‌شود (جرجیا و پاپامیچای، ۲۰۰۶):

$$\lambda = 0.2418K^3 - 0.1768K^2 + 0.9464K - 0.0177 \quad (3)$$

در فرمول (۳) k ضریب واکنش عملکرد به کم‌آبی در دوره‌های مختلف رشد گیاه است؛ که از نشریه فائو ۵۶ برای هر محصول و در طول دوره‌های مختلف رشد گیاه به دست می‌آید.

محاسبه تبخیر - تعرق گیاه مرجع و تبخیر-تعرق واقعی گیاه

تبخیر تعرق گیاه مرجع با روش فائو پنمن مونتیث و برای محاسبه تبخیر - تعرق گیاه مرجع از نرم افزار Ref-ET استفاده شده است. پس از محاسبه تبخیر-تعرق مرجع برای به دست آوردن تبخیر - تعرق واقعی گیاه از ضرب تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی، استفاده می‌شود (رایت ۱۹۸۱ و ۱۹۸۲، آلن ۲۰۰۵).

قیود مدل

هر تابع هدفی که نوشته می‌شود دارای یک سری محدودیت‌ها است که عملکرد مدل را با شرایط واقعی منطقه تطبیق می‌دهد در زیر محدودیت‌های استفاده شده در مدل برای کاربردی ساختن، تابع هدف بیان می‌شود.

محدودیت رطوبت آب در خاک

$$(R_{\max})_{ij} = \frac{(IR_{\max})_{ij}}{ME} = \frac{(1 - P_{ij})TAW_{ij} + (ET_m)_{ij} - (SM_{in})_{ij} - ERAIN_{ij}}{ME} \quad (9)$$

در این رابطه: $(R_{\max})_{ij}$ حداکثر میزان آب خروجی از سد برای آبیاری محصول i در بازه زمانی j (mm) $(IR_{\max})_{ij}$ حداکثر نیاز آبی محصول i در بازه زمانی j (mm)، P_{ij} عامل تخلیه رطوبت خاک در شرایط بدون تنش آبی گیاه i در بازه زمانی j که از نشریه فائو ۲۴ قابل استخراج است و ME میانگین راندمان انتقال و بهره‌برداری آب آبیاری است که بر اساس نظر کارشناسان منطقه مورد مطالعه تعیین خواهد شد (ودولا و ماجومدر، ۱۹۹۲).

قیود تبخیر-تغرق واقعی

رابطه (۱۰) محدودیت تبخیر و تغرق است. تبخیر و تغرق واقعی همواره کوچک‌تر یا مساوی تبخیر تغرق پتانسیل است. این محدودیت نشان می‌دهد تا زمانی که رطوبت خاک بیشتر از یک حد بحرانی باشد، $ET_a = ET_m$ بوده ولی در رطوبت‌های کمتر ET_a علاوه بر ET_m به میزان رطوبت باقی‌مانده در خاک نیز بستگی خواهد داشت و تبخیر و تغرق واقعی کوچک‌تر از نسبتی از مقدار پتانسیل آن است.

$$ET_a(X, T) = -dx / dt = f(x)ET_m(t) \quad (10)$$

$$f(X) = \begin{cases} 1(1-P) & X \leq Taw \\ \frac{X}{[(1-p)TAW]} & 0 \leq X \leq (1-P)TAW \end{cases} \quad (11)$$

در رابطه (۱۰) ET_a تبخیر-تغرق واقعی، X رطوبت خاک در منطقه ریشه، t بازه زمانی، $F(X)$ تابع تخلیه آب از خاک و ET_m تبخیر-تغرق بالقوه است. بقیه پارامترها پیش‌تر توضیح داده شده‌اند (جورجیا و پاپامیچی، ۲۰۰۶).

خاک mm محصول i به ترتیب در بازه زمانی j و TAW_{ij} مقدار رطوبت قابل دسترس گیاه مورد نظر است (قدمی و قهرمان، ۲۰۰۹).

محدودیت آب آبیاری تخصیصی به گیاه

برای محاسبه آب آبیاری تخصیصی به گیاه مورد نظر IR_{ij} در حالت آبیاری کامل از فرمول (۶)، استفاده شد (قدمی و قهرمان ۲۰۰۹).

$$IR_{ij} = (ET_{a_{ij}} - ERANE_{ij}) / ME \quad (6)$$

که در فرمول فوق ME راندمان آبیاری است که از ملاحظات منطقه‌ای و نوع روش آبیاری برآورد می‌شود. $ERANE_{ij}$ میزان بارندگی مؤثر mm برای محصول i در بازه زمانی j ، $(ET_a)_{ij}$ حداکثر تبخیر تعرق گیاه i در بازه زمانی j .

قیود تخصیص آب به گیاهان

محدودیت بعدی R_{ij} حجم آب خروجی از سد برای آبیاری محصول i در بازه زمانی j است که به کمک فرمول (۷) محاسبه می‌شود.

$$R_{ij} = \frac{\sum R_{ij} * A_i}{ME} \quad (7)$$

R_{ij} حجم آب خروجی از سد همواره از حداکثر میزان رهاسازی آب از سد باید کوچک‌تر باشد، بدیهی است که این مقدار همواره باید از صفر بزرگ‌تر باشد این محدودیت به صورت زیر نمایش داده شد.

$$0 \leq R_{ij} \leq R_{ij} \max \quad (8)$$

حداکثر میزان رهاسازی آب از سد در هر بازه زمانی برای آبیاری هر محصول متناسب با میزان آب تخصیص یافته در هر بازه زمانی برای هر محصول با توجه به راندمان آبیاری بر اساس فرمول (۹) است:

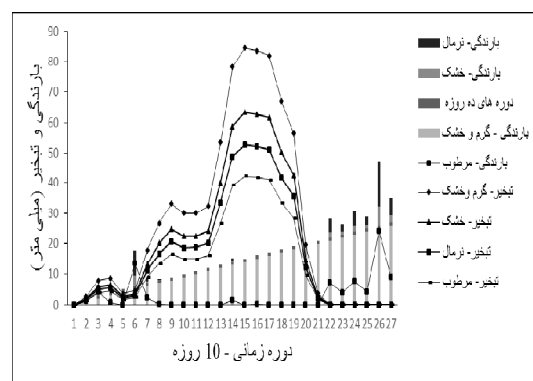
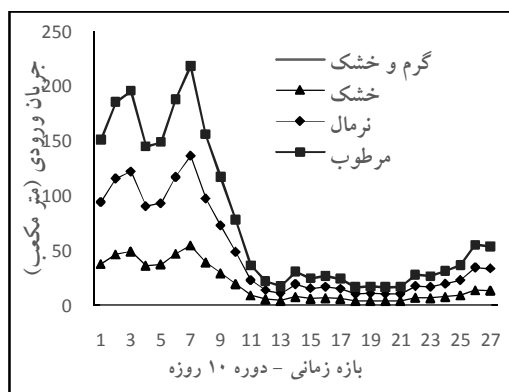
بیشتر این قیودات و روابط در مراجع (خنجری و صبحوحی ۲۰۱۴، قدمی و قهرمان ۲۰۰۹ و قهرمان و سپاسخواه ۲۰۰۲) قابل دسترس می‌باشند.

طبقه بندی آب و هوایی

مقدار و منحنی فراوانی مقادیر بارندگی، تبخیر-تعرق، تبخیر از سطح سد و جریان ورودی با توجه به احتمالات مختلف مقادیر به دست آمده در سال آبی ۹۲-۹۱ از سازمان آب منطقه‌ای تهران برآورد شد. ذکر این نکته در اینجا ضروری است که برای انتخاب سال مینا ابتدا برای هشت سال که آمار آن‌ها به صورت روزانه وجود داشت مدلها اجرا شدند. بهینه‌ترین جواب‌های حاصله توسط دو الگوریتم اغلب در سال ۹۱-۹۲ اتفاق افتاد. بنابراین این سال به عنوان سال پایه در نظر گرفته شده است. براساس احتمال میزان بارندگی، جریان ورودی به سد، میزان تبخیر از سطح سد و تبخیر-تعرق در جدول (۲)، ۴ شرایط آب و هوایی گرم و خشک، نرمال، خشک و مرطوب به صورت زیر برای مدل در نظر گرفته شد (رائست و همکاران، ۲۰۰۰).

جدول ۲- شرایط آب و هوایی در سطوح احتمالات مختلف

شرایط آب و هوایی		سطوح احتمالات (درصد) (بر اساس داده های سال مینا)	
جریان ورودی	بارندگی	تبخیر	جریان ورودی
گرم و خشک	۰	۸۰	۰
خشک	۲۰	۶۰	۲۰
نرمال	۵۰	۵۰	۵۰
مرطوب	۸۰	۴۰	۸۰



شکل ۲- بارندگی و تبخیر - تعرق مرجع در شرایط متفاوت آب و هوایی در دوره های ۱۰ روزه در ایستگاه سینوپتیک قزوین و جریان ورودی به سد در سال مینا

قیود بیلان آب در مخزن سد

محدودیت بعدی که به تابع هدف اعمال می‌شود، بیلان آب در سد است که همواره S_i مقدار آب ذخیره‌شده در سد برای هر بازه زمانی بین S_{max} حداکثر حجم ذخیره سد و S_{min} حداقل حجم ذخیره مخزن (حجم مرده) است (رابطه ۱۲) (خنجری و صبحوحی، ۲۰۱۴).

$$S_{min} \leq S_i \leq S_{max} \quad (12)$$

محدودیت سطح زیر کشت محصولات

محدودیت آخر محدودیت سطح زیر کشت است، بدیهی است که سطح زیر کشت هر محصول باید بین حداکثر سطح زیر کشت A_{max} و حداقل A_{max} آن باشد، این محدودیت طبق رابطه (۱۳) نمایش داده می‌شود.

$$A_{min} \leq A_i \leq A_{max} \quad (13)$$

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها از آن به عنوان یک روش عددی، جست‌وجوی مستقیم و تصادفی معرفی کرد. این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است. در الگوریتم GA، ابتدا به طور تصادفی جامعه‌ای از کروموزوم‌ها ایجاد و سپس برازندگی آن‌ها محاسبه و تعیین می‌گردد. در ادامه به وسیله عملگرهای پیوند و جهش جامعه‌ای جدید با مقادیر برازندگی بالاتر تولید می‌شود (گلدبرگ ۱۹۸۹). مهم‌ترین عملگرهای الگوریتم GA شامل بُرش^۲ و جهش^۳ می‌باشد که عمل برش بر روی کروموزوم‌های افرادی که به عنوان والد انتخاب شده‌اند اعمال می‌شود و پس از اعمال برش ژن‌های دو والد از محل برش از هم جدا شده و باهم جابه‌جا می‌شوند. عمل جهش به صورت‌های گوناگونی می‌تواند اعمال شود از جمله این‌که یک ژن می‌تواند با ژنی دیگر در طول کروموزوم تعویض شود یا مقدار عددی یک یا چند ژن به طور تصادفی تغییر کند. عمل تشکیل کروموزوم نیز به طرق مختلف امکان‌پذیر است که می‌توان داده‌ها را به صورت دودویی کد کرد و سپس داده‌های کد شده را کنار هم قرار داد یا خود داده‌های واقعی را کنار هم قرار داد (گلدبرگ ۱۹۸۹). برای نوشتن کد برنامه از نرم‌افزار متلب کمک گرفته شد.

نتایج و بحث

مدل به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در چهار حالت آب و هوایی مرطوب، نرمال، گرم و خشک، خشک حل شد. در ادامه نتایج حاصل از اجرای مدل برای شرایط آب‌وهوایی مختلف برای الگوریتم ژنتیک بیان می‌شود.

عملکرد محصولات در شرایط آب و هوایی مختلف

یکی از خروجی‌های کارآمد مدل عملکرد نسبی محصولات در شرایط آب و هوایی مختلف است. در شرایطی که آب تخصیص یافته به محصول برابر با حداکثر نیاز آبی گیاه باشد عملکرد نسبی برابر یک به دست خواهد آمد. همچنین در شرایطی که آب تخصیص یافته از آب مورد نیاز آن کم‌تر باشد عملکرد نسبی آن کم‌تر از یک به دست خواهد آمد. در جداول (۳) عملکرد محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک مشاهده می‌شود.

جدول ۳- عملکرد نسبی (Y_p/Y_m) در شرایط آب و هوایی مختلف حاصل از الگوریتم ژنتیک

محصول	مرطوب	نرمال	خشک	گرم و خشک
ذرت	۱	۱	۰/۹۸	۰/۷۵
یونجه	۱	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۰
جو	۱	۱	۰/۹۸	۰/۷۸
چغندر قند	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۶۳
گندم	۱	۱	۰/۹۷	۰/۸۱

منبع: نتایج حاصل از اجرای مدل

الگوریتم ژنتیک، در شرایط آب و هوایی مرطوب عملکرد گندم، ذرت، جو، یونجه و در شرایط آب‌وهوایی نرمال عملکرد گندم، جو، چغندر قند را برابر یک محاسبه کرده است. این امر نشان‌گر این است که در این شرایط آب و هوایی آب تخصیص داده شده به محصولات برابر نیاز آبی آن‌ها بوده است. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در شرایط آب و هوایی مختلف عملکرد محصولات با هم متفاوت است و با کاهش بارندگی و گرم‌تر شدن آب و هوا عملکرد محصولات کاهش می‌یابد. از آنجا که حد اقتصادی بودن عملکرد محصولات بر اساس پژوهش جورجیا و پاپامیچی (۲۰۰۸) ضریب ۰/۷ در نظر گرفته شده است، لذا در شرایط آب و هوایی گرم و خشک عملکرد تخمینی بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای محصول چغندر قند با مقدار ۰/۶۳ کم‌تر از حد اقتصادی بودن آن می‌رسد. این بدین معنی است که کشت این محصول در این شرایط آب‌وهوایی به دلیل نیاز آبی بالا و کاهش عملکرد چندان اقتصادی نیست.

²Crossover

³Mutation

آب آبیاری تخصیصی به گیاهان برای شرایط آب و هوایی

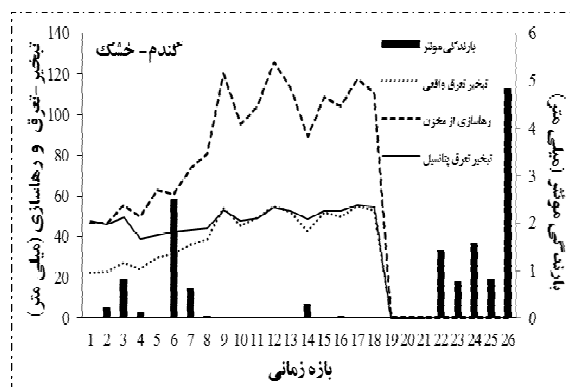
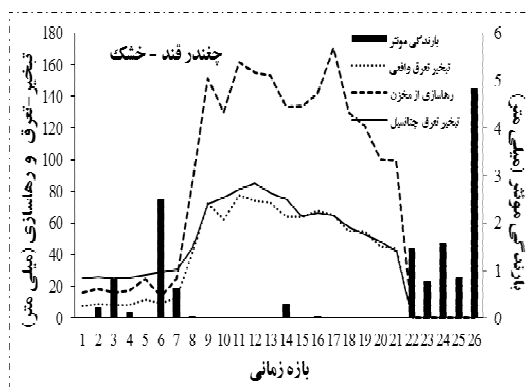
با توجه به فرمول‌های مطرح شده در قسمت مواد و روشها برای محاسبه آب تخصیص یافته به محصولات، نیاز به اطلاعات رطوبت خاک، تبخیر و تعرق پتانسیل و راندمان آبیاری میباشد. مدل طوری طراحی شده است که، زمانی که بارندگی نیاز آبی گیاهان را تأمین می‌کند نیازی به آبیاری نیست. یعنی مدل ابتدا نیاز آبی گیاهان را به وسیلهی آب سبز تأمین می‌کند، سپس در صورت عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی، تخصیص آب را انجام می‌دهد.

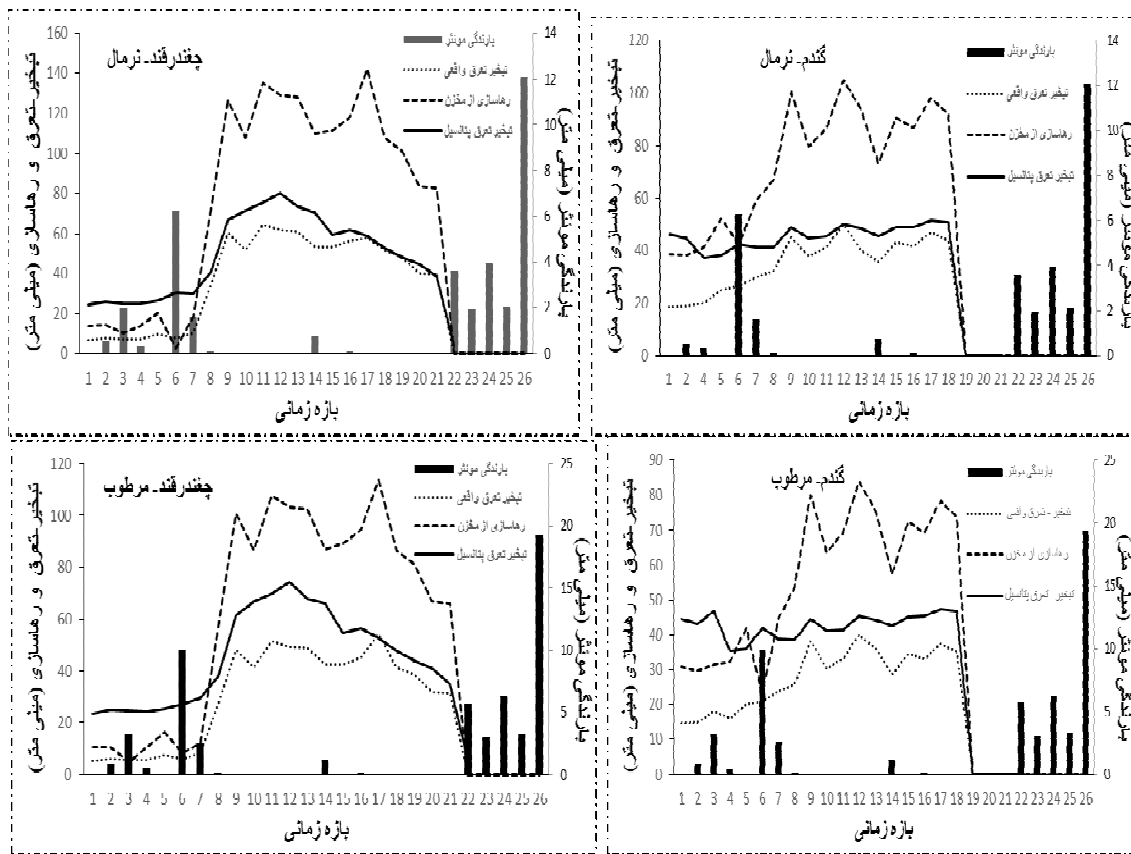
به همین دلیل است که آب آبیاری تخصیصی به محصولات در آب و هوای نرمال و مرطوب به نسبت آب و هوای خشک بسیار کم‌تر است. علاوه بر این استفاده از ضریب K_p در طراحی مدل سبب شده که مدل به دوره‌های رشد گیاه توجه کند و آب آبیاری تخصیصی به گیاهان در طول دوره رشد بیشتر از دوره‌ی بازدهی و برداشت محصول باشد و در دوره‌ی خواب گیاه آبیاری صورت نگیرد. در شکل (۳) مقدار آب تخصیص یافته، مقدار بارندگی موثر، تبخیر تعرق پتانسیل و واقعی به دو محصول چغندر قند (با نیاز آبی بالا) و گندم (با نیاز آبی پایین) در هر بازه زمانی و در سه شرایط آب و هوایی خشک، مرطوب، نرمال نشان داده شده است

با توجه به نمودارها مشاهده میشود که، با تغییر الگوی آب و هوایی و با افزایش بارندگی و کاهش تبخیر آب آبیاری مورد نیاز محصولات کاهش می‌یابد به طوری که مدل در شرایط آب و هوایی مرطوب حداکثر آب مورد نیاز و تخصیصی به محصول گندم را به کم‌تر از ۴۷ میلی‌متر و چغندر قند را به کم‌تر از ۷۴ میلی‌متر می‌رساند؛ و در شرایط خشک با کاهش حجم بارندگی و افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر، این مقادیر در دوره‌ی رشد برای گندم نزدیک به ۵۵ میلی‌متر و چغندر قند نزدیک به ۸۵ میلی‌متر محاسبه شده است. همانطور که از شکل بالا مشخص است مدل ابتدا آب مورد نیاز گیاه را از طریق آب سبز و سپس از مخزن سد تأمین می‌کند.

سود حاصل از الگوی کشت بهینه محصولات در شرایط آب و هوایی مختلف

خروجی اصلی مدل که مربوط به تابع هدف مدل هم می‌شود خروجی مربوط به سود و سطح زیر کشت مربوط به هر محصول است؛ که برای آب و هوایی گرم و خشک، خشک، نرمال و مرطوب مقادیر محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک در جدول (۴) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که مدل در شرایط آب و هوایی مختلف هم در قبل از بهینه‌سازی و هم بعد از بهینه‌سازی مقادیر سود کشاورز را محاسبه کرده است.





شکل ۳- بارندگی موثر، تبخیر - تعرق پتانسیل، تبخیر - تعرق واقعی، آب خروجی از سد برای نیاز آبیاری برای دو محصول (گندم و چغندر قند) در شرایط آب و هوایی خشک، نرمال و مرطوب

جدول ۴- سود و الگوی کشت حاصل از کشت محصولات در شرایط متفاوت آب و هوایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

آب و هوای خشک				آب و هوای گرم و خشک				محصول
سود (تومان)		سطح زیر کشت (هکتار)		سود (تومان)		سطح زیر کشت (هکتار)		
فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	
۵۵۵۴۲۹۶۸۶۹	۵۵۴۲۸.۱۶۰۶۷	۳۴۸۶۶	۳۴۵۸۳	۴۵۰۳۶۷۶۹۱۲۸	۴۴۴۹۸۱۷۹۰۱۴۳	۳۵۰۰۱	۳۴۵۸۳	گندم
۱۵۳۸۱۸۳۱۲۰۰	۱۴۷۸۵۱۰۲۸۰۵	۹۸۳۵	۹۶۰۸	۸۶۴۸۴۱۷۸۲۶	۸۵۴۴۴۷۳۳۵۹	۹۷۴۷	۹۶۰۸	ذرت
۱۵۶۹۹۲۴۸۷۹۴	۱۴۴۲۵۲۹۴۴۴۶	۱۰۱۵۸	۹۸۹۳	۱۰۰۴۶۶۰۷۶۹۳	۹۷۷۱۲۹۳۷۲۷	۱۰۱۷۱	۹۸۹۳	جو
۸۶۸۳۱۷۶۹	۸۳۸۱۵۹۳۸	۱۳۷	۱۴۲۵	.	-۱۸۹۶۷۴۲۲۶	.	۱۴۲۵	چغندر قند
۳۷۵۱۸۹۷۸۶۰۰	۳۵۶۱۱۶۹۱۷۰۶	۱۰۰۵۹	۹۵۴۸	۲۸۹۴۶۱۰۰۱۲۵	۲۷۳۴۹۲۳۶۷۰۴	۱۰۱۰۵	۹۵۴۸	یونجه
۱۲۴۲۲۹۸۱۷۲۳۳	۱۲۱۰۵۴۲۲۰۹۶۱	۶۵۰۵۵	۶۵۰۵۵	۹۲۶۹۷۸۹۴۷۷۲	۹۰۱۶۳۷۹۳۹۳۳	۶۵۰۵۵	۶۵۰۵۵	جمع
آب و هوای نرمال				آب و هوای مرطوب				محصول
سود (تومان)		سطح زیر کشت (هکتار)		سود (تومان)		سطح زیر کشت (هکتار)		
فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	فعلی	بهینه	
۶۵۹۸۳۱۶۰۸۳۴	۶۵۲۶۴۸۸۹۳۹۸	۳۴۹۶۳	۳۴۵۸۳	۶۵۹۷۳۴۲۱۱۷۱	۶۵۲۶۴۸۸۹۳۹۸	۳۴۹۵۸	۳۴۵۸۳	گندم
۱۷۹۵۵۸۸۴۳۷۰	۱۷۷۲۱۸۶۹۶۰۳	۹۷۳۴	۹۶۰۸	۱۷۹۵۲۷۱۱۱۶۲	۱۷۷۲۱۸۶۹۶۰۳	۹۷۳۳	۹۶۰۸	ذرت
۱۶۱۹۹۲۱۹۳۰۵	۱۵۷۹۴۱۱۸۱۸۸	۱۰۱۴۶	۹۸۹۳	۱۶۱۹۳۷۲۶۱۸۹	۱۵۷۹۴۱۱۸۱۸۸	۱۰۱۴۳	۹۸۹۳	جو
۱۷۷۰۴۴۱۸۸	۱۶۸۶۹۱۸۳۰۶	۱۵۶	۱۴۲۵	۲۱۹۴۶۰۵۳۴	۱۷۹۷۳۰۶۱۰۲	۱۷۴	۱۴۲۵	چغندر قند
۳۶۷۷۹۳۶۷۱۸۰	۳۶۹۲۳۱۵۳۷۸۹	۱۰۰۵۵	۹۵۴۸	۵۰۵۲۳۲۶۸۱۹	۴۸۰۰۵۳۷۴۲۰۸	۱۰۰۴۸	۹۵۴۸	یونجه
۱۳۷۰۹۴۶۷۵۸۷۶	۱۳۵۲۸۰۵۶۱۴۸۶	۶۵۰۵۵	۶۵۰۵۵	۱۵۰۸۶۱۶۰۰۰۰	۱۴۸۵۸۳۵۵۷۴۹۷	۶۵۰۵۵	۶۵۰۵۵	جمع

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در آب و هوای گرم و خشک به دلیل کاهش بارندگی و جریان ورودی و افزایش تبخیر ذخیره سد برای آبیاری محصولات کاهش یافته و سطح زیر کشت محصولات پرمصرف، کاهش و محصولات کم مصرف افزایش چشمگیری داشته است. در این شرایط محصول گندم، از لحاظ سطح زیر کشت در رتبه اول افزایش و محصول ذرت در رتبه دوم قرار دارد. همچنین سطح زیر کشت چغندر قند از ۱۴۲۵ هکتار به صفر کاهش یافته است که علت این امر نیاز آبی بسیار بالای این محصول میباشد. لازم به ذکر است که سطح زیر کشت جو نسبت به ذرت از کاهش چشمگیری برخوردار بوده که علت این امر کشت دوم این محصول در فصل تابستان میباشد. پیروی از الگوی کشت بهینه‌ی جدید ارائه شده توسط مدل در شرایط آب و هوایی گرم و خشک هم حجم آب مصرفی در انتهای دوره بهره‌برداری افزایش یافته و هم از لحاظ اقتصادی به سود کشاورز است.

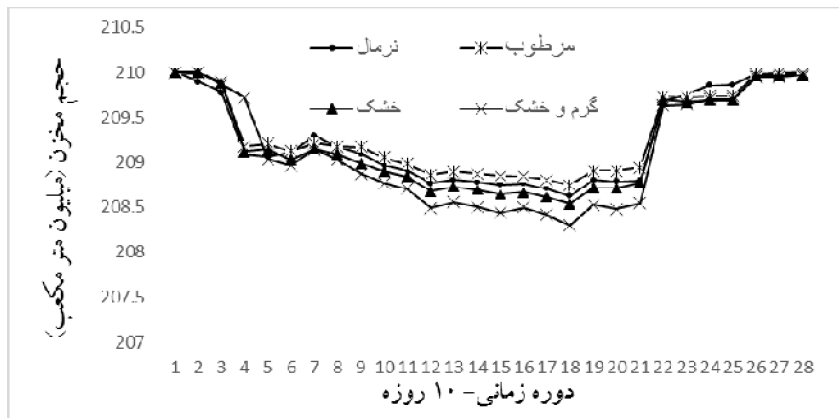
بطوری که با اجرای مدل ۲/۸۱ درصد سود نسبی کشاورزان افزایش یافته است. در شرایط آب و هوایی خشک نیز سطح زیر کشت گندم در رتبه اول و سپس جو، ذرت و یونجه قرار دارد. همان‌طور که دیده میشود سطح زیر کشت چغندر قند نسبت به قبل از بهینه سازی بسیار کاهش یافته و به ۱۳۷ هکتار رسیده است. در این شرایط نیز سود حاصل از سطح زیر کشت جدید به مقدار ۲/۶۲ درصد افزایش یافته است. در شرایط آب و هوایی نرمال بیشترین مساحت زیر کشت به گندم، یونجه، جو و ذرت اختصاص یافته است. سطح زیر کشت محصول چغندر قند در این شرایط آب و هوایی نیز نسبت به قبل از اجرای مدل کاهش یافته و به ۱۵۶ هکتار رسیده است. در این شرایط آب و هوایی نیز سود کشاورزان ۱/۳۴ درصد افزایش یافته است. در شرایط آب و هوایی مرطوب همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد به دلیل این‌که

بارندگی و جریان ورودی به سد به نسبت سایر حالات بیشتر و در حالت حداکثر قرار دارد انتظار می‌رود سطح زیر کشت همه محصولات با نیاز آبی بالا نسبت به سایر شرایط آب و هوایی افزایش یابد. بطور مثال در این شرایط مساحت زیر کشت محصول چغندر قند به ۱۷۴ هکتار رسیده است که نسبت به سایر شرایط آب و هوایی افزایش چشمگیری داشته است. همچنین سود کلی کشاورزان نیز به مقدار ۱/۵۳ درصد افزایش یافته است که علت این امر به دلیل افزایش عملکرد محصول چغندر قند و یونجه در آب و هوای مرطوب نسبت به سایر شرایط آب و هوایی میباشد.

این نتایج نشان می‌دهند که محصول گندم در تمام شرایط آب و هوایی گیاهی با نیاز آبی کم و عملکرد مناسب در منطقه مورد مطالعه میباشد. در مقابل گیاه چغندر قند، در همه شرایط آب و هوایی بالای ۸۰٪ کاهش مساحت زیر کشت داشته است. این امر به این معنی است که در این منطقه با توجه به حجم محدود آب قابل در دسترس و نیاز آبی بالای محصول چغندر قند و سود پایین این گیاه کشت این محصول توصیه نمی‌شود و این محصول، گیاهی با نیاز آبی بالا و عملکرد پایین تشخیص داده شده است. همچنین، همان‌طور که مشاهده میشود در همه شرایط آب و هوایی الگوی کشت جدید که توسط مدل الگوریتم زنتیک طراحی شده، باعث افزایش سود کشاورزان منطقه شد که توانایی این مدل در پژوهش خنجری و همکاران (۲۰۱۴) نیز به اثبات رسیده است.

حجم آب ذخیره شده در سد در حالات مختلف آب و هوایی

شکل ۴ مقادیر حجم ذخیره بعد از بهینه سازی در مخزن در طول دوره بهره برداری را نشان می‌دهد.



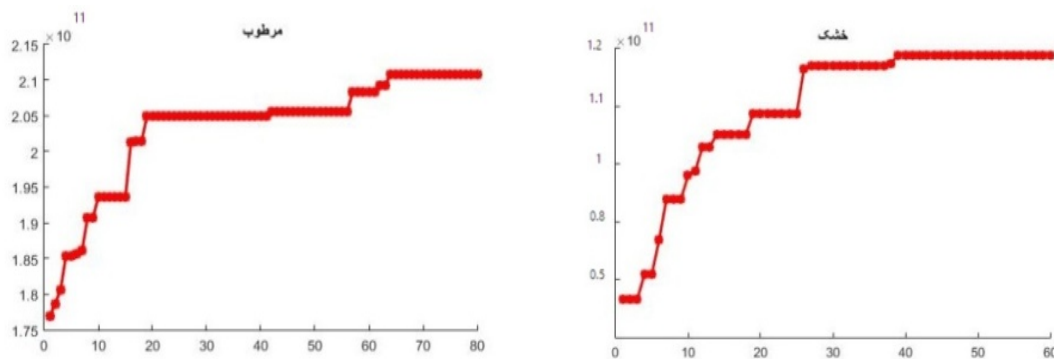
شکل ۴- حجم مخزن در شرایط متفاوت آب و هوایی پس از بهینه سازی در طول دوره بهره برداری

۲/۴۵۲۶۲، ۶/۲۸۶۲۶، ۸۹/۲۷۳۰، ۲/۹۵۵۵ متر مکعب نسبت به قبل از بهینه سازی کاهش یافته است. در حقیقت طراحی مدل به گونه ای است که در طول سال های بحران و کم آبی سطح زیر کشت محصولات پر مصرف را کاهش دهد و به دنبال آن سطح زیر کشت را به محصولی با مصرف آب کم تر و سود اقتصادی بالاتر اختصاص دهد با این کار ضمن حفظ سود کشاورز، تخصیص آب از مخزن سد هم به صورت مدیریت شده انجام می شود.

نتایج الگوریتم ژنتیک

شکل (۵) نمودار ساده ای از حداکثر تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک در حداکثر تکرار در شرایط آب و هوایی مرطوب و خشک را نشان می دهد.

همانطور که شکل (۴) نشان می دهد، در شرایط آب و هوایی مرطوب، به دلیل افزایش بارندگی و افزایش آب ورودی به سد حجم آب ذخیره شده در سد افزایش یافته و به همین ترتیب پتانسیل جریان خروجی سد نیز افزایش می یابد. به دنبال این مدل آب بیشتری به محصولات با نیاز آبی بالا اختصاص داده و سطح زیر کشت این محصولات افزایش می یابد. خلاف این حالت درست زمانی رخ می دهد که شرایط آب و هوایی خشک بوجود می آید. به دنبال افزایش دما تبخیر به شدت زیاد شده و با کاهش بارندگی، جریان ورودی به سد کاهش چشمگیری داشته و امکان رهاسازی آب برای حداقل سطح زیر کشت وجود دارد و مدل سطح زیر کشت محصولاتی با نیاز آبی بالا را کاهش می دهد. با اجرای این مدل مصرف آب کشاورزی در شرایط آب و هوایی مرطوب، نرمال، خشک و گرم و خشک به ترتیب مقادیر



شکل ۵- عملکرد الگوریتم ژنتیک در شرایط آب و هوایی خشک

نیست. از مهمترین نتایج بدست آمده در این تحقیق بدست آوردن الگوی کشت جدید طوری که هم سود کشاورز تامین شود و هم حجم آب ذخیره شده در مخزن برای نیازهای دیگر سد ذخیره شود است. با توجه به نتایجی که ارائه شد با الگوی کشت جدید در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، خشک، نرمال و مرطوب به ترتیب مقادیر ۲/۸۱، ۲/۶۲، ۱/۳۴ و ۱/۳۵ درصد افزایش سود برای کشاورزان حاصل شده است. همچنین مصرف آب کشاورزی در شرایط آب و هوایی مرطوب، نرمال، خشک و گرم و خشک به ترتیب مقادیر ۲۶۲۰۴۵/۲، ۲۸۶۲۶۸۶/۶، ۲۷۳۰۸۹ و ۹۵۵۵۴۲ متر مکعب نسبت به قبل از بهینه سازی کاهش یافته است. در حقیقت طراحی مدل به گونه‌ای است که در طول سال‌های بحران و کم آبی سطح زیرکشت محصولات پر مصرف را کاهش دهد و به دنبال آن سطح زیرکشت را به محصولی با مصرف آب کم‌تر و سود اقتصادی بالاتر اختصاص دهد با این کار ضمن حفظ سود کشاورز، تخصیص آب از مخزن سد هم به صورت مدیریت شده انجام می‌شود.

الگوریتم ژنتیک در شرایط آب و هوایی مختلف با تعداد تکرارهای مختلف به جواب بهینه دست پیدا کردند. مثلاً در شرایط آب و هوای نرمال با تعداد تکرار ۴۳، در شرایط مرطوب با ۶۵، در شرایط خشک ۳۷ و شرایط گرم و خشک نیز با ۴۸ تکرار به ماکزیمم سراسری رسیده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای مدیریت منابع آب سد طالقان و تعیین حداکثر سود حاصل از کشت محصول در دشت قزوین تحت شرایط متفاوت آب‌وهوایی استفاده شده است. یکی از خروجی‌های کارآمد مدل عملکرد نسبی محصولات در شرایط آب و هوایی مختلف است. در شرایط آب و هوایی گرم و خشک عملکرد تخمینی توسط الگوریتم ژنتیک برای برخی از محصولات از قبیل چغندر قند و یونجه به کم‌تر از حد اقتصادی بودن آن‌ها می‌رسد که این بدین معنی است که کشت این محصولات در این شرایط آب‌وهوایی به دلیل نیاز آبی بالا و کاهش عملکرد چندان اقتصادی

فهرست منابع

۱. صبوچی، م.، سلطانی، غ.، زیبایی، م. و ترکمانی، ج. ۱۳۸۵. تعیین راهبردهای مناسب کم‌آبایی مناسب کم‌آبایی با هدف حداکثر سازی منافع اجتماعی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵۶: ۱۶۷-۲۰۲.
۲. طالبی ورکلائی، ب.، شریفیان، ح.، دهقانی، آ.، مفتاح هلقی، م.، نعمتی کوتنای، م. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی الگوی کشت به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب با روش الگوریتم ژنتیک موردی (پایین‌دست شهید رجایی-شهرستان ساری)، اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب (گرگان).
۳. گرگانی، ج. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت ریسک محور همسو با مدیریت آب کشاورزی با استفاده از الگوی ترکیبی (MGA-MOTAD) (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
4. Allen, R.G., Clemmens, A.J. Burt, C.M., Solomon K. and T. Halloran. 2005. Prediction accuracy for project-wide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.
5. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration, *Irrigation and Drainage paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy*, 56-76, 163-166
6. Azaiez, M.N. and M. Hariga. 2001. Theory and Methodology: A Single-Period

- Model for Conjunctive Use of Ground and Surface Water under Severe Overdrafts and Water Deficit. *European Journal of Operational Research*, 133, 653-666
7. Azaiez, M.N. 2008. Modeling Optimal allocation of deficit irrigation: Application to crop production in Saudi Arabia, *Journal of Mathematical Modeling and Algorithms*, 7: 277-289.
 8. Dai, Z.Y. and Y. P. Li. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty". *Agricultural Water Management*. 129: 69– 79.
 9. Dima, W., Nazer, Z. M., Maarten, A., Siebel, p. and G. Huub. 2010. Optimizing irrigation water use in the west bank, Palestine. *Journal of agricultural water management*, 97: 339-345
 10. Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. FAO
 11. irrigation and drainage paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 193 pp
 12. Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. FAO
 13. irrigation and drainage paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 193 pp
 14. Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. FAO
 15. irrigation and drainage paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 193 pp
 16. Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water. FAO
 17. irrigation and drainage paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 193 pp
 18. Doorenbos, J, kassam AH. 1979. Yield Responds to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No 33. FAO, Rome, Italy. 193pp.
 19. Ghadami, S.M., Ghahraman, B., Sharifi, M.B., and H. Rajabi Mashhadi. 2009. Optimization of Multi reservoir Water Resources System Operation Using Genetic Algorithm. *Journal of Iran water Resources*
 20. Ghahraman, B. and A.R. Sepaskhah. 2002 Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping patterns. *Irrigation Project With pre- determined multiple cropping patterns. Irrig. Sci.* 21:127-137.
 21. Ghahraman, B. and A. R. Sepaskhah. 2002 Optimal allocation of water from a single reservoir to an irrigation project with predetermined multiple cropping patterns. *Journal of irrigation science*, 21:127-137
 22. Georgiou, P.E .and D.M. Papamichai. 2008. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Journal of irrigation Science*, 26:487-504.
 23. Goldberg, D. E. 1989. Genetic algorithm in search optimization and machine learning. Massachusetts, Addison-Wesley. Lewis Publishers. Classification. IEEE Int. Conference on Neural Networks, pp.1612-1616.
 24. Jensen, M.E. 1968. Water consumption by agricultural plants. in T.T.Kozlowski(ed). *Water Deficit and plant Growth*, Vol.11, Academic press ,New York.
 25. Khanjari Sadati, S. Speelman, M. Sabouhi, M. Gitizadeh and B. Ghahraman. 2014. Optimal Irrigation Water Allocation Using a Genetic Algorithm under Various Weather Conditions, 6, 3068-3084.
 26. Kumar, D.N. and J. Reddy. 2007. Multiuse reservoir operation using particle swarm optimization. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 133(3):192-201.
 27. Moghaddasi, M., Morid, S., Araghinejad, S. and M. AghaAlikhani. 2008. ASSESSMENT OF Irrigation Water allocation Based on Optimization and Equitable Water Reduction Zayandeh rud Irrigation System(Iran). Accepted in

- Journal of Irrigation and Drainag.*
28. Papamichai, D.M., Georgiou, P.E., vougioukas, S.G. 2008. Optimal model irrigation reservoir operation and simultaneous multi-crop cultivation area selection using single reservoir operation and simulated annealing. *Journal of irrigation and Drainage*, 55:129-144.
 29. Raes, D., Sudhindra, P.N. and N.D. Kumar. 2000. Chart for guiding irrigation in real time. *Journal or Irrigation Drainage System*, 14:343-352.
 30. Vedula, S.; Mujumdar, P.P. 1992. Optimal reservoir operation for irrigation multiple crops. *J. Water.Res. Res.* 28, 1-9.
 31. Wright, J.L. 1981 Crop Coefficients for estimates of daily crop evapotranspiration Irrigation scheduling for Water and energy Conservation in the 80 s, *ASAE, St joseph, Mich.*, 18-26.
 32. Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients, *Journal of Irrigation and Drinage Dvision*, 108(1):57-47.