تعیین الگوی بهینه کشت در کانال‌های آبیاری با استفاده از مدل IPM

محمد کاظم شعبانی - تورج هنر*[1]

تاریخ دریافت: ۸۶/۳/۱
تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۹

چکیده

محدودیت منابع آب و خاک به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی کشور از یک سو و ضرورت تحقق پذیری آرمان خود کفایی در امور زیربنایی از سوی دیگر، موجبات بهره برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود در سطح کشور را امری اجتناب ناپذیر می‌سازد. این تحقیق جهت حداکثر نمودن سود، تخمین آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های زمانی مختلف، بهینه کردن الگوی کشت و مدیریت آبیاری درکانال اردیبهشت در سطح زیر کشت ۷۰۰۰ هکتار از شبکه اصلی سد درودزن (استان فارس) انجام پذیرفت که برای نیل به اهداف فوق از برنامه‌ریزی خطی (LP) و الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان یک روش بهینه‌یابی تصادفی استفاده گردید. مقایسه الگوی بهینه کشت حاصل از مدل با الگوی کشت فعلی زارعین (بهره‌بردار نماینده) نشان داد که مدل ارایه شده در این تحقیق که به اختصار[2] IPM نام گذاری شد، با تصمیم‌های زارعین برای کشت گیاهان مختلف به خوبی انطباق دارد. همچنین نتایج نشان داد که الگوی بهینه کشت (در فصل اول و دوم کشت) حاصل از الگوریتم ژنتیک (GA) شبیه برنامه‌ریزی خطی (LP) می‌باشد شایان ذکر است که برای به‌دست آوردن بهترین جواب در الگوریتم ژنتیک، تعداد تکرار ۸۰۰، اندازه جمعیت ۱۰۰، احتمال تقاطع ۰/۶، احتمال جهش ۰/۰۲ در نظر گرفته شد.

واژه‌های کلیدی : مدیریت آبیاری، الگوریتم ژنتیک، الگوی بهینه کشت، استان فارس

مقدمه

آب از مهمترین منابع مورد نیاز جامعه بشری است و موضوع چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره برداری بهینه از آن، یکی از مهمترین چالش‌های قرن حاضر می‌باشد. به‌طور کلی از مجموع ۱۳۰ میلیارد متر مکعب آب‌های تجدید شونده در سطح کشور حدود ۱۰۵ میلیارد متر مکعب را جریان‌های سطحی و ۲۵ میلیارد متر مکعب را جریان‌های نفوذی به منابع آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهند. در شرایط فعلی از کل آب‌های قابل استحصال در سطح کشور (۸۷/۵ میلیارد متر مکعب)، رقمی بالغ بر ۸۲ میلیارد متر مکعب یعنی ۹۴ درصد به بخش کشاورزی اختصاص یافته است (۱). در این راستا، محدودیت منابع آب و خاک به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی کشور از یک سو و ضرورت تحقق پذیری آرمان خود کفایی در امور زیربنایی از سوی دیگر، موجبات بهره برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود در سطح کشور را امری اجتناب ناپذیر می‌سازد (۱).

۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد استادیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
* - نویسنده مسئول: Email: toorajhonar@yahoo.com
2 - Irrigation Planning Model

روش‌های مختلفی جهت بهینه‌کردن برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوی کشت مختلف وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر مدل سازی ریاضی و تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی[1] (LP)، غیرخطی[2] (NLP) و پویا[3] (DP) متکی است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوهای کشت مختلف انجام شده است (۴، ۷، ۱۲). یارن و دینار (۱۹) نشان دادند که استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی و پویا (NLP-DP) می‌تواند راه‌حلی برای تخصیص منابع آب، در الگوی کشت‌های مختلف باشد.

روش‌های کلاسیک متعددی (روش ساده[4]، روش‌های ریاضی مانند ضرایب لاگرانژ) تاکنون در زمینه بهینه‌یابی ارایه شده است. اشکال عمده روش‌های قطعی[5] این می‌باشد که به محض رسیدن به اولین نقطه بهینه موضعی متوقف شده و توانایی خروج از این نقطه و حرکت به سوی نقطه بهینه بهتری را ندارند (۱۱). بدین منظور در چند سال اخیر محققین زیادی برای رفع این مشکل رو به روش‌های هوش مصنوعی آورده‌اند (۹، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۰). از جمله این روش‌ها می‌توان به شبکه‌های عصبی[6]، منطق فازی[7] و نیز الگوریتم‌های تصادفی مانند الگوریتم شبیه‌سازی آنیل[8] و الگوریتم ژنتیک[9] اشاره نمود. روش‌های مذکور مجموعه‌ای از نقاط را در فضای طرح در نظرگرفته و در جهات مختلف برای پیدا کردن جواب بهینه مدل را سوق می‌دهند (۱۶).

الگوریتم ژنتیک ابتدا توسط جان هلند (۱۰) در دانشگاه میشیگان ارایه شد. سپس به‌صورت یک روش بهینه‌سازی قوی توسط گلدبرگ (۸) توسعه یافت. بنا به بررسی‌های صورت گرفته، تا کنون این روش در علم آبیاری و زهکشی در مباحث بهینه‌سازی آرایش، ترکیب و اندازه شبکه آبرسانی لوله‌ای در آبیاری تحت فشار (۹)، حل کردن تابع هدف چندگانه در آلودگی آب‌های زیرزمینی (۱۸)، مدل مدیریتی آب‌های زیرزمینی (۲۰) و برنامه‌ریزی آبیاری برای تخصیص بهینه الگوی کشت و آب آبیاری (۱۴ و ۱۷) مورد استفاده قرار گرفته است.

کیو و همکاران (۱۴) در تحقیقی از الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی آبیاری در سطح مزرعه استفاده کردند. طرح آنان در دو منطقه Delta و Utah به وسعت ۳۹۴/۶ هکتار به این ترتیب انجام شد که با استفاده از داده‌های آب و هوا، نیاز آبی روزانه گیاهان را شبیه‌سازی کردند و در نهایت عملکرد نسبی را برای هفت گیاه را در دومنطقه به‌دست آوردند. در این تحقیق با استفاده از عملکرد نسبی و نیاز آبی در الگوریتم ژنتیک، تابع هدف را براساس حداکثر درآمد طرح بهینه و الگوی بهینه کشت را برای مناطق مورد مطالعه به‌دست آوردند.

کومار و همکاران (۱۳) در تحقیقی جهت بهینه‌کردن عملکرد مخزن سد یک منظوره Malaprabha برای آبیاری گیاهان زراعی از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. تابع هدف ارایه شده شامل مجموع حداکثر عملکرد نسبی برای کل گیاهان در مناطق تحت آبیاری بود. در مدل آنان جریان ورودی به مخزن، بارندگی بر روی سطوح آبیاری شده، رقابت درون فصلی[10] برای آب میان گیاهان مختلف زراعی، میزان رطوبت موجود در خاک، غیریکنواختی خاک‌ها و ضریب حساسیت گیاه به‌کار گرفته شده بود. نتایج آن‌ها نشان داد عملکرد بهینه به‌دست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) شبیه عملکرد بهینه به‌دست آمده با استفاده از

1 - Linear Programming
2 - Nonlinear Programing
3 - Dynamic Programing
4 - Simplex
5 - Deterministic
6 - Neural Network
7 - Fuzzy Logic
8 - Simulated Annealing
9 - Genetic Algorithm
10 - Intraseasonal

برنامه‌ریزی خطی (LP) می‌باشد.

تاکنون مدل‌هایی که توسط محققین مختلف ارائه شده بیشتر الگوی بهینه کشت را در سطح وسیع مثل اراضی پایین دست یک سد ارایه کرده‌اند (۷ و ۱۳). در صورتی که در شبکه‌های آبیاری بزرگ مثل شبکه‌های آبیاری سد درودزن در استان فارس که شبکه اصلی آن به سه کانال درجه ۱ که هر کدام سطح وسیعی را تحت پوشش قرار می‌دهند مدل‌های ذکر شده توانایی کمتری در تخمین الگوی کشت در این نوع از شبکه‌ها دارند (۷، ۱۳). بنابراین مدیران شبکه در این خصوص با مشکل بزرگی مواجه می‌باشند. در این مواقع قراردادهای سطح زیرکشت بین کشاورزان منطقه و شرکت بهره‌برداری از اصول علمی کمتری برخوردار می‌باشد به‌طوری که انعقاد قراردادهای سطوح زیر کشت بیشتر از حالت بهینه، کشاورزان منطقه را با کمبود آب آبیاری در دوره‌های مختلف رشد مواجه ساخته است. در این تحقیق سعی شده با تخمین حداکثر امکانات آبی موجود در کانال‌های مختلف یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت حداکثر کردن میزان سود و تعیین الگوی بهینه کشت در زیر مجموعه شبکه‌های آبیاری با استفاده از برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری ارایه گردد (IPM[1]) . در این راستا از برنامه‌ریزی خطی (LP) و الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان یک روش بهینه‌یابی تصادفی استفاده گردید و در نهایت نتایج دو روش با یک‌دیگر مورد مقایسه و ارزیابی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی زیر دست شبکه‌های آبیاری سد درودزن (استان فارس) می‌باشد. سد درودزن بر روی رودخانه کر در منطقه درودزن در ۶۵ کیلومتری شهرستان مرودشت (استان فارس) به منظور تجمع سیلاب‌ها و رها نمودن منظم آب در کانال‌های جهت آبیاری و تامین آب شرب شیراز بنا گردیده است. سد درودزن شامل یک کانال اصلی و سه کانال درجه یک شامل کانال سمت چپ اولیه، کانال سمت راست اولیه (اردیبهشت) و کانال سمت راست ثانویه (هامون) می‌باشد. آب مورد نیاز اراضی در این منطقه بیشتر از طریق شبکه‌های آبیاری سد درودزن تامین می‌گردد.

بررسی موردی: منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شامل کانال اردیبهشت سد درودزن می‌باشد که از ۱۰ کانال درجه ۳ تشکیل گردیده است (شکل ۱). آمار و اطلاعات مورد نیاز تحقیق به طرق مختلف از جمله، تکمیل پرسشنامه (شامل اطلاعاتی از قبیل مساحت مزرعه، الگوی کشت، عملکرد، ساعات آبیاری، امکانات نیروی انسانی و مالی موجود مزرعه) جهت زارعین و همچنین از ادارات و سازمان‌های مربوطه در استان فارس به‌دست آمده است. همچنین جهت تخصیص بهینه آب و زمین از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی استفاده شد.

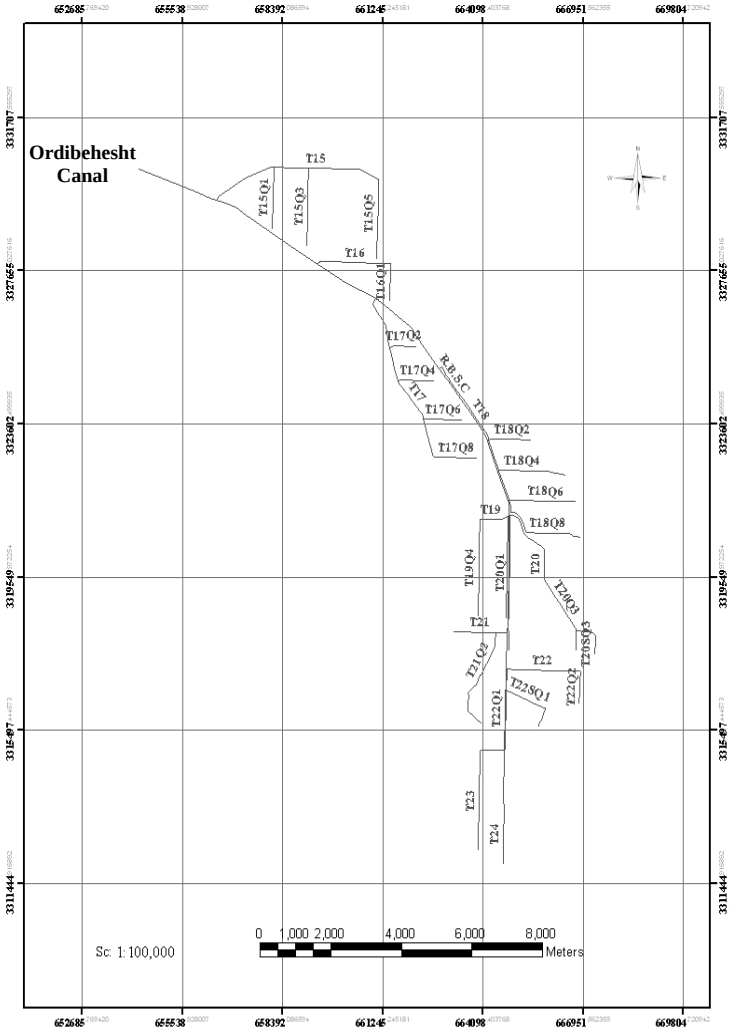
مدل‌های بهینه سازی: یک سال زراعی براساس امکانات آبی موجود و تاریخ‌های آبیاری در طراحی مدل برنامه‌ریزی آبیاری (IPM)، به صورت (جدول ۱) تقسیم گردید. که در آن تاریخ کشت گیاهان مختلف (براساس الگوی کشت غالب) در منطقه لحاظ شده است.

به‌طور کلی مدل‌های تخصیص آب و زمین از دو بخش تابع هدف و محدودیت‌ها تشکیل شده‌اند که تابع هدف براساس هدف مورد نظر در مساله حداکثر و یا حداقل می‌گردد. در این مقاله تابع هدف به صورت زیر ارایه شده است.

(۱)

$$Z = \sum_{i=1}^{ncanal} \sum_{j=1}^{ncrop} (P_{c_{i,j}} Y_{i,j} - C_{i,j}) A_{i,j} - P_w \sum_{i=1}^{ncanal} \sum_{j=1}^{ncrop} IR_{i,j}$$

1 - Irrigation Planning Model



(شکل ۱) - کانال اردیبهشت و کانال های فرعی آن واقع در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

(جدول ۱) - تاریخ کشت گیاهان مختلف در منطقه براساس تاریخ های آبیاری

نام گیاه	آبان			آذر			دی			بهمن			اسفند			فروردین			اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد			شهریور			مهر		
دهه	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
گندم	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓															
جو	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓															
چغندرقند																✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت دانه‌ای																						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت علوفه‌ای																						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
برنج																						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

که در آن، Z: سود خالص، $P_{c_{i,j}}$: قیمت محصول برای گیاه jام در کانال iام (Rial/kg)، $Y_{i,j}$: عملکرد واقعی محصول در هکتار برای گیاه jام در کانال iام (kg/ha)، $A_{i,j}$: سطح زیر کشت گیاه jام در کانال iام (ha)، $C_{i,j}$: هزینه کشت گیاه jام در کانال iام (Rial /ha)، P_w: قیمت آب آبیاری (Rial /m^3)، $IR_{i,j}$: مقدار آب آبیاری گیاه jام در کانال iام (m^3)، i: معرف کانال‌های مختلف می‌باشد.

عملکرد واقعی محصول در هکتار ($Y_{i,j}$) می‌تواند از طریق تابع تولید زیر به‌دست آید (۱۵).

$$\frac{Y_{i,j}}{Y_p} = \prod_{k=1}^{n}\left(1 - Ky_k\left(1 - \frac{W_a}{W_p}\right)_k\right) \qquad (۲)$$

که در آن، Y_p: حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، $Y_{i,j}$: مقدار محصول تولیدی در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)، k : مرحله مشخص از رشد، n : تعداد مراحل رشد، Ky_k: ضریب حساسیت گیاه به کم آبی در مرحله رشد k. باتوجه به اینکه در این مقاله کم آبیاری اعمال نگردیده است و فرض شده نیاز آبی گیاهان به‌طور کامل تامین شود. بنابراین $Y_{i,j} = Y_p$ به‌دست می‌آید. Y_p از طریق یک نمونه ۶۰ نفری از کشاورزان منطقه به‌دست آمده است. W_{p_k} : حداکثر آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد و W_{a_k} : مقدار آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد که مقدار آن از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید (۶):

$$W_{a_k} = (1-x)W_{p_k} \qquad (۳)$$

که در آن، x کسر کاهش آب آبیاری می‌باشد. در نهایت تابع هدف با توجه به محدودیت‌های مورد نظر حداکثر می‌گردد. محدودیت‌هایی که در مسائل تخصیص بهینه منابع حائز اهمیت می‌باشد یکی محدودیت زمین و دیگری محدودیت امکانات آبی می‌باشد. محدودیت زمین برای کشت گیاهان مختلف بصورت زیر بیان می‌گردد (۱۴):

$$\sum_{i=1}^{ncanal}\sum_{j=1}^{ncrop} A_{i,j} \le A_{Total} \qquad (۴)$$

که در آن، $A_{i,j}$ سطح زیر کشت گیاه jام در کانال iام (ha)، A_{Total}: کل سطح زمین موجود برای کشت گیاهان مختلف (ha)، محدودیت امکانات آبی برای کشت گیاهان مختلف در دوره‌های زمانی مختلف به‌صورت زیر می‌باشد (۱۴):

$$\sum_{i=1}^{ncanal}\sum_{j=1}^{ncrop} W_{a_{i,j}} \le q_{Total} \qquad (۵)$$

که در آن، q_{Total}: حداکثر امکانات آبی موجود (m^3/ha-10day)، $W_{a_{i,j}}$: مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه jام در کانال iام (m^3/ha-10day) که مقدار آن از طریق $W_{p_{i,j}}$ در رابطه زیر به‌دست می‌آید (۱۴):

$$W_{p_{i,j}} = \frac{IN_j}{Ea} \times A_{i,j} \times 10 \qquad (۶)$$

که در آن، IN_j: مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه jام (mm/10day)، Ea: راندمان کاربرد آب در مزرعه (اعشار)، عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر(mm) به مترمکعب در هکتار (m^3/ha) می‌باشد. مقدار IN_j با توجه به رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$IN_j = ET_{crop_j} - P_e \qquad (۷)$$

P_e : بارندگی موثر در ماه iام، که مقدار آن با استفاده از نرم افزار CROPWAT، از روش USDA برای ماه‌هایی که در آن بارندگی اتفاق می‌افتد، به‌دست می‌آید. ET_{crop_j}: تبخیر - تعرق گیاه jام (mm/10day) از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$ET_{crop_j} = k_c \cdot ET_0 \qquad (۸)$$

که در آن، ET_0: تبخیر – تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع (mm/10day)، K_c: ضریب گیاهی. در این تحقیق تبخیر – تعرق سطوح گیاهی مرجع به روش پنمن – فائو (۵)، با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه مرجع کوشککک محاسبه گردید و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی سازمان خوار و بار جهانی ارایه شده توسط آلن و همکاران (۲، ۳) مقادیر تبخیر – تعرق بالقوه گیاهان زراعی محاسبه گردید.

روش‌های هوش مصنوعی، از جمله الگوریتم ژنتیک قادر به بهینه نمودن مسائل نامقید[1] می‌باشند، لذا می‌بایست توسط یکی از روش‌های نامقیدسازی، مسأله را تبدیل به یک مسأله نامقید نمود (۱۱). روش‌های تابع جریمه[2] از جمله روش‌های نامقیدسازی می‌باشد. برای اعمال محدودیت‌های فوق از روش تابع جریمه استفاده می‌شود. ایده روش تابع جریمه این است که به جای تابع هدف $F(x)$، تابعی مانند F_i حداکثر می‌گردد و به‌صورت زیر نوشته می‌شود (۱۳):

$$F_i = F(x) + \in \sum_{j=1}^{k} \delta_j \left(\phi_j\right)^2 \qquad (۹)$$

که در آن، F_i: مقدار برازندگی، $F(x)$: مقدار تابع هدف، k: تعداد محدودیت‌ها، $\in$: برای حالت حداکثر کردن تابع هدف مقدار آن ۱- و در حالت حداقل کردن تابع هدف مقدار آن ۱+، δ_j: ضریب تابع جریمه، ϕ_j: مقدار خطا می‌باشد.

نتایج و بحث

(شکل۲) روندنما مدل (IPM) را نشان می‌دهد. برای تعیین الگوی بهینه کشت در این مدل دو روش استفاده شد:

۱- روش برنامه ریزی خطی (LP)

۲- روش الگوریتم ژنتیک (GA)، در این روش پارامترهای مورد نیاز جهت نیل به بهترین جواب، به این صورت که تعداد تکرارها[3] ۸۰۰، اندازه جمعیت[4] ۱۰۰، احتمال تقاطع[5] (P_c) ۰/۶، احتمال جهش[6] (P_m) ۰/۰۲ در نظر گرفته شد.

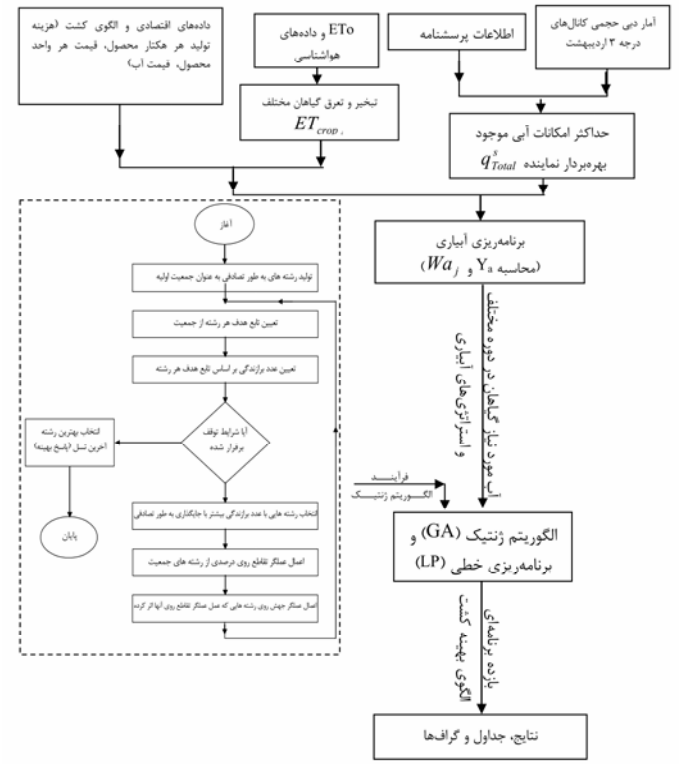
الگوی بهینه کشت حاصل از هر دو روش الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی به‌صورت (جدول ۲) تعیین گردید. مطابق (جدول ۲) مشاهده می‌شود که در هر دو روش، فعالیت‌های بهینه به‌دست آمده در مدل (IPM) در کشت اول سال زراعی، گندم و در کشت دوم سال زراعی، ذرت دانه‌ای می‌باشد.

علت این امر، بازده برنامه‌ای بیشتر گندم و ذرت دانه‌ای در فصل اول و دوم می‌باشد. البته شایان ذکر است که بازده برنامه‌ای برنج در فصل دوم بیشتر از ذرت دانه‌ای می‌باشد ولی به دلیل محدودیت منابع آب و نیاز آبی زیاد برنج نسبت به ذرت دانه‌ای مدل سطح زیر کشت بیشتری را به گیاه ذرت اختصاص داده است. نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد که مقادیر سطح زیر کشت حاصل از هر دو روش بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشد. در روش الگوریتم ژنتیک به علت این که از مقادیر تصادفی اولیه استفاده می‌کند همه متغیرهای تصمیم دارای یک مقدار اولیه می‌باشند ولی در روش برنامه‌ریزی خطی (LP) بعضی متغیرها سطح زیر کشت آن‌ها صفر می‌باشد.

(شکل ۳) مقادیر برازندگی برای تعداد تکرارهای مختلف با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک را در کانال T15 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل عملکرد بسیار خوبی نشان می‌دهد، به‌طوری که از تکرار ۲۰۰ به بعد مدل به سمت یک مقدار حداکثر همگرا می‌گردد. همچنین در سایر کانال‌ها نیز این نمودار به همین صورت تغییر پیدا می‌کند.

1 - Unconstriant Problem
2- Penalty Function Method

3 - Generation
4 - Population
5 - Crossover
6 - Mution

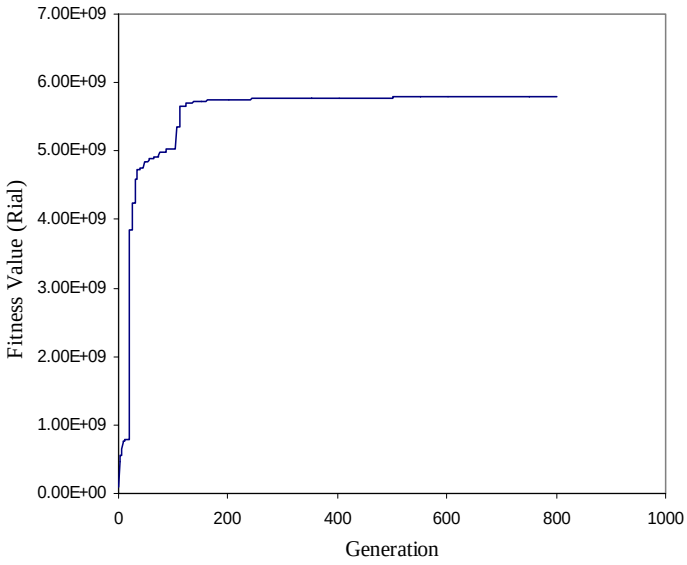


(شکل۲) – روندنما مدل برنامه‌ریزی آبیاری (IPM)

(جدول ۲) – الگوی بهینه کشت (هکتار) در کانال‌های مختلف با استفاده از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی*

کانال	گندم	جو	ذرت دانه‌ای	ذرت علوفه‌ای	چغندرقند	برنج
T15	۴۹۷/۵۷۳	۰/۰۳۷	۴۴/۳۹۹	۳/۶۳۷	۱/۲۶۴	۱۲/۱۹۵
	(۴۹۷/۶۱۴)	(۰/۰۰۰)	(۴۷/۰۰۰)	(۷/۳۷۰)	(۰/۰۰۰)	(۱۰/۸۸۰)
T16	۱۶۰/۸۴۴	۱/۴۳۷	۴۷/۳۶۱	۰/۱۲۹	۵/۳۸۰	۱۲/۶۰۵
	(۱۶۲/۳۰۴)	(۰/۰۰۰)	(۵۲/۶۴۹)	(۸/۲۵۷)	(۰/۰۰۰)	(۱۲/۱۸۹)
T17	۱۳۵/۷۲۸	۰/۷۰۲	۶/۶۱۶	۰/۰۷۵	۰/۱۰۳	۴/۳۴۷
	(۱۳۶/۴۴۳)	(۰/۰۰۰)	(۱۰/۳۸۲)	(۱/۶۲۸)	(۰/۰۰۰)	(۲/۴۰۳)
T18	۶۵۶/۳۴۰	۰/۰۱۱	۴۶/۱۴۴	۰/۰۲۵	۳۹/۵۰۳	۵۰/۰۰۰
	(۶۵۳/۷۲۸)	(۲/۵۹۳)	(۴۵/۲۹۴)	(۰/۰۰۰)	(۴۳/۷۱۰)	(۴۷/۰۰۰)
T19	۲۲۵/۹۵۷	۰/۵۰۹	۳۲/۷۹۲	۰/۲۲۵	۰/۷۹۹	۱۸/۱۰۵
	(۲۲۶/۵۱۲)	(۰/۰۰۰)	(۴۶/۶۶۸)	(۷/۳۱۹)	(۰/۰۰۰)	(۱۰/۸۰۳)
T20	۶۹۱/۳۲۲	۲/۴۳۹	۲۰۴/۹۷۳	۰/۳۰۸	۲۵/۲۸۴	۵۲/۹۳۶
	(۶۹۳/۸۰۵)	(۰/۰۰۰)	(۲۲۷/۹۰۰)	(۳۵/۷۳۹)	(۰/۰۰۰)	(۵۲/۷۶۰)
T21	۱۷۵/۷۲۷	۱/۷۰۴	۵۶/۶۵۹	۶/۷۰۴	۴/۹۸۹	۱۰/۳۷۸
	(۱۷۷/۴۶۴)	(۰/۰۰۰)	(۵۷/۸۴۰)	(۹/۰۷۰)	(۰/۰۰۰)	(۱۳/۳۹۰)
T22	۳۲۱/۴۵۳	۰/۴۲۳	۱۱۷/۴۶۲	۳/۱۰۴	۳/۵۱۰	۳۸/۰۸۳
	(۳۲۱/۹۳۶)	(۰/۰۰۰)	(۱۲۹/۴۹۸)	(۲۰/۳۰۷)	(۰/۰۰۰)	(۲۹/۹۷۹)
T23	۳۲۳/۱۵۸	۴/۰۶۸	۹۸/۳۹۰	۰/۶۲۱	۲۴/۳۸۸	۱۳/۲۴۰
	(۳۲۷/۲۸۴)	(۰/۰۰۰)	(۱۰۷/۹۰۳)	(۱۵/۸۵۵)	(۱۰/۴۲۹)	(۱۶/۰۰۰)
T24	۲۶۱/۸۶۶	۰/۲۷۸	۴۳/۴۲۱	۰/۰۵۹	۶/۲۶۸	۱۴/۳۲۸
	(۲۶۲/۱۸۴)	(۰/۰۰۰)	(۵۴/۰۸۴)	(۸/۴۸۱)	(۰/۰۰۰)	(۱۲/۵۲۰)

* اعداد داخل پرانتز مقادیر به‌دست آمده توسط برنامه‌ریزی خطی می‌باشد.



(شکل ۳) - نمایش همگرایی روش الگوریتم ژنتیک در کانال

(جدول ۳) سطح زیر کشت گیاهان مختلف منطقه مورد مطالعه را در سال ۸۳-۸۴ را نشان می‌دهد. در این جدول ستون ۶ شامل گیاهان یونجه، کلزا، گوجه، خیار، ارزن و کنجد می‌باشد که به دلیل سطح زیر کشت کم در یک ستون آورده شده است. لازم به ذکر است در مدل (IPM) الگوی کشت غالب منطقه (جدول ۲) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مقایسه (جدول ۲ و ۳) نشان می‌دهد که سطح زیرکشت گیاهان مختلف در (جدول ۳) بیشتر از (جدول ۲) (الگوی بهینه حاصل از دو روش) می‌باشد این امر باعث می‌شود که کشاورزان در مقاطعی از زمان با کمبود آب مواجه شوند.

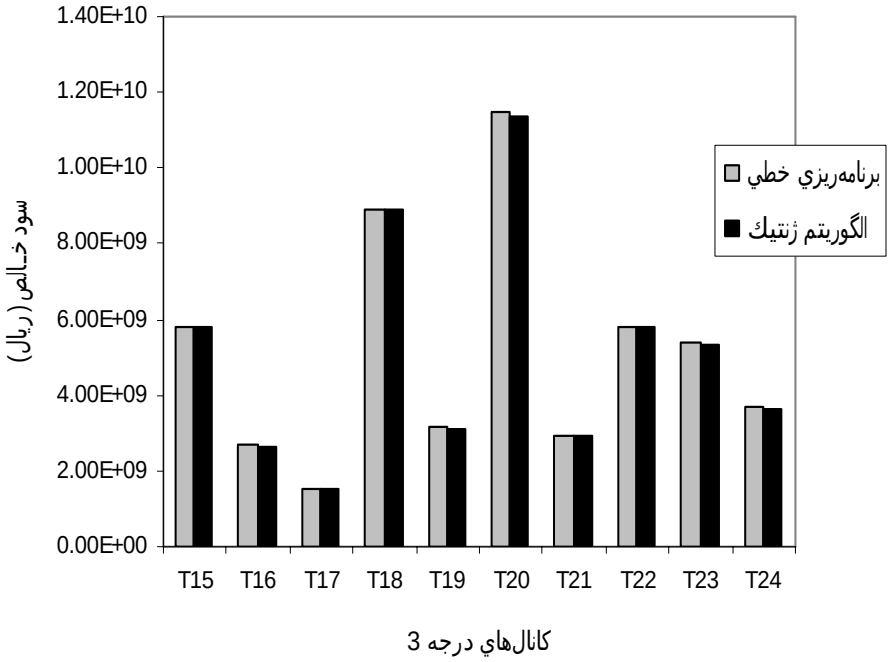
(جدول ۳) - سطح زیر کشت گیاهان مختلف (هکتار) در سال ۸۴-۸۳*

کانال	شتوی(گندم و جو) (۱)	ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای) (۲)	چغندرقند (۳)	برنج (۴)	سایر گیاهان (۵)
T15	۵۵۸	۱۵	۲۸	۱۱/۴	۲۱
T16	۱۸۲	۳۴/۵	۴۵/۵	۱۳/۵	۱۲/۵
T17	۱۵۳	۶	۰	۱۵	۰
T18	۷۳۶	۱۲۵	۵/۵	۴۷/۹	۶
T19	۲۵۴	۲۰	۲۳	۴۲/۴	۹
T20	۷۷۸	۲۴۸/۵	۵۲	۹۶/۵	۶۴
T21	۱۹۹	۶۶	۳۴	۱۲	۵
T22	۳۶۱	۱۵۹	۶۰/۵	۳۷/۵	۴/۹۵
T23	۳۶۷	۱۶۹/۵	۰	۰	۴۸
T24	۲۹۴	۹۰/۵	۱۸/۹	۰	۰

* شرکت بهره‌برداری آب شهرستان مرودشت

همچنین مشخص است که کشاورزان منطقه نیز قسمت اعظم زمین خود را به گندم و ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای

اختصاص می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت که مدل با تصمیمات زارعین جهت کشت گیاهان مختلف تقریبا انطباق دارد. در (شکل ۴) مقدار سود خالص کل را در هریک از کانال‌های درجه ۳ با توجه به الگوی بهینه به‌دست آمده، ترسیم گردیده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای در کانال T20 بیشتر از سایر کانال‌ها می‌باشد. که علت این امر به دلیل سطح زیر کشت بیشتر در این کانال می‌باشد، همچنین نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد در این کانال بهره‌بردارن بیشتر از آب سطحی استفاده می‌کنند همچنین نتایج دو روش بسیار نزدیک به هم می‌باشد. به‌طور مثال در دو کانال درجه ۳، T23 و T24 روش برنامه‌ریزی خطی سود خالص بیشتری را نسبت به الگوریتم ژنتیک تخمین زده است علت امر این است که در الگوریتم ژنتیک برای گیاهانی که حتی بهینه نیستند یک مقدار اولیه در نظر می‌گیرد در صورتی که در برنامه‌ریزی خطی برای این گیاهان مقدار صفر را در نظر می‌گیرد.



(شکل ۴) - مقایسه حداکثر سود حاصل از الگوی بهینه کشت در کانال‌های مختلف با توجه به روش LP و GA

این امر نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک گیاهان متنوع‌تری را به عنوان الگوی بهینه انتخاب می‌کند بنابراین حالت واقعی‌تری نسبت به برنامه‌ریزی خطی دارد و با تصمیمات کشاورزان جهت کشت گیاهان مختلف انطباق بیشتری دارد. بنابراین مدل (IPM) می‌تواند پارامترهایی مثل عملکرد حداکثر گیاهان مختلف، قیمت محصولات، قیمت آب مصرفی، هزینه کشت گیاهان مختلف در هکتار و حداکثر امکانات آبی را در دوره‌های زمانی مختلف را به عنوان ورودی بگیرد و الگوی بهینه را برای کانال‌های مختلف تخمین بزند.

نتیجه

در این تحقیق یک مدل (IPM) برای برنامه‌ریزی آبیاری در سطح مزرعه طراحی گردید تا بتوان مدیریت بهتری بر روی الگوی بهینه کشت و برنامه‌ریزی آبیاری در سطح

مزرعه داشت. مدل (IPM) براساس حداکثر بازده برنامه‌ای الگوی بهینه کشت را برای هر شبکه آبیاری تعیین می‌کند. پارامترهای مناسب برای الگوریتم ژنتیک به این صورت که تعداد تکرار ۸۰۰، اندازه جمعیت ۱۰۰، احتمال تقاطع (P_c) ۰/۶، احتمال جهش (P_m) ۰/۰۲ به‌دست آمده است. نتایج مدل (IPM) نشان می‌دهد که در کشت اول سال زراعی گندم و در کشت دوم سال زراعی ذرت دانه‌ای به علت داشتن بازده برنامه‌ای بیشتر به عنوان الگوی بهینه می‌باشند و سایر گیاهان به میزان کمتری وارد برنامه بهینه می‌شوند.

نتایج مقایسه دو روش برنامه‌ریزی خطی (LP) و الگوریتم ژنتیک (GA) نشان داد که در توابع خطی نتایج این دو روش بسیار نزدیک به هم می‌باشد. با این تفاوت که در روش GA مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا مدل اجرا شود در صورتی که در روش برنامه‌ریزی خطی مدت زمان کمتری نیاز به اجرای مدل دارد. بنابراین می‌توان گفت که روش برنامه‌ریزی خطی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد. از طرف دیگر روش الگوریتم ژنتیک به دلیل اینکه گیاهان بیشتری را به عنوان الگوی بهینه انتخاب می‌کند حالت واقعی‌تری دارد. بنابراین کشاورزان می‌توانند الگوی متنوع‌تری را انتخاب کنند.

در مطالعات گذشته (۷، ۱۳) عموما الگوی بهینه کشت در سطح وسیعی مانند اراضی پایین دست یک سد مثل سد ارایه شده بود. نتایج این مطالعات برای مدیریت شبکه‌های بزرگ مانند سد درودزن کارایی کمتری خواهد داشت در صورتی که در مدل (IPM) با تعیین حداکثر امکانات آبی موجود در هر شبکه می‌توان الگوی بهینه کشت را برای هر شبکه آبیاری ارائه کرد و در واقع از انعقاد قرارداد بیشتر بین شرکت بهره‌برداری و بهره‌برداران منطقه جلوگیری به عمل آورد. البته لازم به ذکر است که این مدل می‌تواند برای تعیین الگوی بهینه کشت در سطح وسیع‌تری نیز توسعه پیدا نماید.

قدردانی

از مسؤلان محترم سازمان آب منطقه ای فارس و شرکت بهره برداری آب به جهت مساعدت ها و پشتیبانی های همه جانبه آنها در اجرای این طرح تحقیقاتی سپاسگزاری می شود.

منابع

۱- بی نام. ۱۳۸۲. چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شیراز. صفحه الف.

2- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, & M. Smith, 1998, Crop evapotranspiration, Irrigation and Drainage Paper, No. 56. FAO. United Nations, Rome, Italy. 310p.

3- Allen, R. G., H. Smith, L. S. Pereira, & W. D. Pruitt, 1997, Proposed revision to the FAO Procedure for estimating evapotranspiration, The second Iranian Congress on Soil and Water Hssues, Feb.15-18, Tehran I.R. Iran.

4- Beruardo, D. J., 1988, Irrigation optimization under water supply, Transactions of the ASAE, Vol. 31(3): 712-719.

5- Doorenbos, J., & W. o. Pruitt, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage paper, No. 24. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy, 156p.

6- Ghahraman, B., and A. R. Sepaskhah. 1997. Optimum deficit irrigation of cotton and potato fields in a semi-arid region. Iran. J. Sci. & Tech. 21(4): 395-405.

7- Ghahraman, B., & A. R. Sepaskhah, 2002, Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple, Irrig. Sci., Vol. 21: 127-137.

8- Goldeberg, D. E, 1989, Genetic algorithm in search, optimization and machine learning, New York. Addison, Wesley.
9- Goldeberg, D. E. & C. H. Kuo, 1993, Genetic algorithm in pipeline optimization, J. Comp. Civ. Engrg., Vol. 1(2): 128-141.
10- Holland, J. H, 1970, Genetic algorithm and the optimal allocation of trial, SIAM J. of Computing, Vol. 2(2):88-105.
11- http://www.aic.nrl. navy.mil/galist/
12- Jackson, B. S., T. J. Gerik, & D. F. Wanjura, 1990, Use of COTTAM for scheduling limited irrigation, J. Prod. Agric., Vol. 3(4): 420-425.
13- Kumar, D. N., k. S. Raju, & B. Ashok, 2006, Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using genetic algorithms, Journal of irrigation and drainage engineering. ASCE, Vol. 132(2):123-129.
14- Kuo, S-F, G. P. Merkley, & C-W. Liu, 2000, Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm, Agricultural Water Management, Vol. 45:243-266.
15- Meyer, S. J., K. G. Hubbard. & D. A. Wilhite, 1993, A crop – specific drought index for corn : I. Model development and validation, Agron. J., Vol. 85, pp: 388-395.
16- Michalewicz, z, 1992, Genetic Algorithm+Data-Structures=Evaluation Programs, Springer-Verlag. Berlin.
17- Raju. K. S., and D. N. Kumar. 2004. Irrigation planing using genetic algorithms. Water Resour. Manage. 18(2): 163-176.
18- Ritzel, B. J., J. W. Eheart, & S. Ranjithan, 1994, Using Genetic alogorithms to solve a multipe objective groundwater remediation problem, Water Resource Research, Vol. 30(5): 1581-1603.
19- Yaron, D., & A. Dinar, 1982, Optimal allacation of water on a farm during feed season, J. Agric. Econ, Vol. 64: 452-458.
20- Yoon, J. H., & C. A. Shiemaker, 1999, Comparison of optimization methods for groundwater bioremediation, J. Water Resource Planning and Management. Vol. 125(1):64-83.

Determining the optimal cropping patterns of farmlands using irrigation planning model (IPM)

M.K.Shaabani – T.Honar[1*]

Abstract

Due to limitation of available water and soil resources in Iran, the challenge of optimizing the utilization of these resources has become more significant. In this study it was attempted to maximize the project benefit, estimating crop water requirements at different growth stages, and optimizing the cropping pattern and irrigation management. In order to achieve these objectives mathematical model was solved with simple genetic algorithm (GA) and linear programming (LP) methods. The proposed model was applied to an irrigation project with 7000 ha of farmland irrigated by the main canal network of Doroodzan dam (Fars province). Comparing the optimal cropping pattern proposed by this model (IPM) with those practiced by the farmers showed that the model had a good consistency with farmers' decisions for cultivating different crops. The results of this model also indicated that optimal planting pattern (in the 1st and 2nd growing season) was the same for GA and LP models. To find the best response from GA in this study the number of generations of 800, population size of 100, probability of crossover of 0.6, and probability of mutation of 0.02 was considered.

Key words: Genetic algorithm, linear programming, Cropping pattern, Optimizing, Fars province, Irrigation planning model (IPM)

*- Corresponding author Email: toorajhonar@yahoo.com

[1] - Contribution from College of Agriculture , shiraz University