

## مدیریت و بهره‌برداری بهینه آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی سد دز

تورج هنر و محسن احمدی بنی

به ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته رشته آباری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

### مقدمه

استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب از اهداف مهم اقتصادی و اجتماعی کشور است که در این رابطه، ایجاد تغییرات اساسی و همه جانبه در ساختار کشاورزی موجود، مشارکت گسترده نیروها و مدیریت مطلوب عوامل تولید، لازمه رشد و توسعه ملی می‌باشد. در این ارتباط طراحی و تنظیم الگوی کشت بهینه به جهت تعیین مقادیر سطوح زیر کشت و ترکیب مناسب محصولات، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و بایستی به نحوی انجام پذیرد که علاوه بر استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود و قابل دسترسی، تأمین نیازهای منطقه‌ای و ملی را نیز در نظر گرفته باشد.

الگوی بهینه کشت، تعیین یک نظام کشاورزی با مزیت اقتصادی پایدار مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی بر مبنای حفظ محیط زیست می‌باشد. در واقع میزان کشت محصولات کشاورزی در یک منطقه باید با توجه به منابع موجود، قیمت محصولات، هزینه‌های تولید، عملکرد محصول، نیاز کشور و سیاست‌های کلان اقتصادی و زیست محیطی انجام شود و تصمیم‌گیری در انتخاب گیاهان زراعی یا باغی مناطق مختلف براساس زیر ساخت‌های موجود، مسائل اجتماعی-اقتصادی و سطح تکنولوژی با حفظ منابع پایه تولید در جهت تأمین نیازهای اساسی کشور باشد.

یکی از راه کارهای مناسب جهت تخصیص و بهره‌برداری بهینه از منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک بهره‌گیری از روش‌های کم‌آبیاری می‌باشد. کم‌آبیاری باعث افزایش درآمد، کاهش مصرف آب، انرژی و سایر نهاده‌های کشاورزی می‌شود. روش برنامه‌ریزی کم‌آبیاری نوعی روش سیستمی است که طبق برنامه‌ریزی خاص، برای دوره‌ای ویژه و یا کل دوره‌های رشد، گیاه تحت تاثیر سطوح مختلف تنش آبی قرار می‌گیرد. در این برنامه‌ریزی انتظار می‌رود که کاهش محصول اتفاق بیافتد ولی مقدار آن در مقایسه با سود و عواید حاصل و میزان آب صرفه جویی شده یا ذخیره شده برای کشت و آبیاری بقیه محصولات معنی دار نباشد (انگلیش و راجا<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶).

با توجه به لزوم مدیریت بهینه منابع آب در کشور هدف از این پژوهش بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری در تخصیص بهینه آب کشاورزی در شبکه آبیاری و زهکشی دز با هدف حداکثر نمودن سود زارعین منطقه می‌باشد. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوی کشت مختلف انجام شده است (براردو<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸؛ جکسون و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۰). یارن و دینار<sup>۴</sup> (۱۹۸۲) نشان دادند که استفاده از

1- English & Raja

2- Beruardo

برنامه‌ریزی غیرخطی و دینامیکی (NLP-DP) می‌تواند راه‌حلی مناسب برای تخصیص منابع آب، برای الگوی کشت‌های مختلف باشد. یوان و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۹۱) نیز با استفاده برنامه‌ریزی غیرخطی و دینامیکی (NLP-DP) روشی را برای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری توسعه دادند. در پژوهش‌های پیشین و تمامی مدل‌هایی که مورد بررسی قرار گرفتند، سطح زیرکشت و استراتژی آبیاری بطور همزمان بهینه نشده‌اند، بنابراین در این پژوهش مدلی ارائه شد که توانایی تعیین استراتژی کم‌آبیاری و سطوح زیرکشت بهینه محصولات مختلف بطور همزمان را داراست.

### تئوری و روش پژوهش

تابع هدف پروژه بر اساس بیشینه نمودن سود زارعین شبکه آبیاری و زهکشی سد دز بصورت زیر بیان می‌شود:

$$Z = \sum_{i=1}^{ncrop} [Y_{pi} \times P_{ci} \times \prod_{j=1}^{k=5} F_j(X_{IR}) - C_i] A_i - P_w \sum_{i=1}^{ncrop} \sum_{j=1}^5 IR_{pj} (1 - X_{IR}) A_i \quad (1)$$

که در آن:  $n$ : تعداد محصولات،  $Y_{pi}$ : مقدار حداکثر محصول حسب کیلوگرم بر هکتار،  $P_{ci}$ : قیمت محصول حسب ریال بر کیلوگرم،  $C_i$ : هزینه ثابت حسب ریال بر هکتار،  $X_{IR}$ : مقدار کم‌آبیاری،  $F_j(X_{IR})$ : تابع کاهش تولید محصول به ازای کم‌آبیاری در دوره رشد  $j$ ،  $Z$ : سودخالص سطح زیرکشت حسب ریال،  $IR_{pj}$ : نیاز ناخالص آبیاری کامل در دوره رشد  $j$  حسب متر مکعب بر هکتار،  $A_i$ : سطح زیر کشت گیاه  $i$ ام و  $P_w$ : قیمت آب آبیاری حسب ریال بر مترمکعب می‌باشد.

اما تابع هدف این پژوهش با در نظرگرفتن دو محدودیت آب و زمین که به قرار زیر است بیشینه شده است:

$$\sum_{i=1}^{ncrop} A_i \leq A_{Total} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{ncrop} \sum_{j=1}^5 IR_{pj} (1 - X_{IR}) A_i \leq V_{Total} \quad (3)$$

که در آن:  $V_{Total}$ : حجم آب موجود حسب مترمکعب و  $A_{Total}$ : کل زمین قابل کشت می‌باشد.

تعیین الگوی کشت و حد کم‌آبیاری بهینه در دوره‌های رشد مختلف گیاه دارای حل تحلیلی نمی‌باشد. این مسئله بعلا متغیرهای زیاد و غیرخطی بودن بسادگی قابل حل نیست. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک طراحی شده در نرم‌افزار MATLAB 7.0 اقدام به حل مسئله شد. این الگوریتم به علت تولید جمعیت بصورت تصادفی جواب‌های بسیار دور از انتظاری را ارائه کرد. از معایب دیگر این الگوریتم عدم توانایی کاربر در تغییر توابع جریمه، تولید نسل و برخی دیگر از پارامترهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد که بصورت پیش‌فرض

3- Jackson et al.

4- Yaron & Dinar

5- Yuan et al.

در این بسته نرم‌افزاری طراحی شده است. از این رو با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و استفاده از جعبه‌ابزار بهینه‌سازی نرم‌افزار MATLAB و بکارگیری تابع کمینه‌ساز Fmincon که بر اساس روش برنامه‌ریزی غیرخطی و حل آن توسط ضرایب لاگرانژ طراحی شده است، مدل غیرخطی حاضر بهینه‌یابی شد. اما استفاده از این روش نیازمند بکارگیری جواب اولیه مناسب می‌باشد. استفاده از یک جواب بهینه نامناسب می‌تواند الگوریتم را در یک بهینه محلی متوقف نماید. از این رو در این پژوهش رویکرد دیگری مورد توجه قرار گرفت و یک الگوریتم ژنتیک با استفاده از یک جمعیت اولیه مناسب که در برگیرنده جواب‌های اولیه مناسب باشد طراحی شد و از پاسخ تعیین شده توسط الگوریتم ژنتیک پیوسته طراحی شده، بعنوان جواب اولیه تابع بهینه‌سازی غیرخطی بهره‌برده شد. در این پژوهش با رویکردی جدید و استفاده تلفیقی از الگوریتم ژنتیک پیوسته و برنامه‌ریزی غیرخطی الگوی بهینه کشت تعیین شد.

مقدار بهینه کم‌آبیاری و سطوح زیرکشت با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و در نظر گرفتن محدودیت آب و زمین برای اراضی شبکه آبیاری و زهکشی سد دز تعیین شد. همچنین مقدار سطح بهینه زیرکشت با در نظر گرفتن استراتژی کم‌آبیاری یکنواخت در کل فصل رشد و در نظر گرفتن استراتژی آبیاری کامل با استفاده برنامه‌ریزی خطی (LP) تعیین و با مدل اعمال کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف رشد مقایسه شد.

شبکه آبیاری و زهکشی دز در ۴۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۴ طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۰ ثانیه عرض شمالی، به لحاظ جغرافیایی واقع شده است. با توجه به این که ارگان‌های وزارت جهاد کشاورزی، سازمان آب، سازمان هواشناسی و شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی شمال خوزستان در زمینه شبکه آبیاری و زهکشی سد دز فعالیت می‌کنند، بنابراین اطلاعات و آمار مورد نیاز پژوهش از این سازمان‌ها استخراج شد. داده‌های روزانه هواشناسی شامل: میانگین دمای روزانه، حداکثر و حداقل روزانه، ساعت آفتابی، میانگین سرعت باد روزانه و درصد رطوبت نسبی میانگین و حداقل روزانه آن برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دزفول از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد و همچنین داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی شبکه آبیاری و زهکشی سد دز از سازمان هواشناسی دریافت گردید. اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت در شبکه آبیاری، حجم آب دریافتی شبکه در فصول مختلف کشت و قیمت آب محصولات مختلف از شرکت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دریافت شد. داده‌ها و آمار برداشت آب زیرزمینی از سازمان آب استان خوزستان دریافت گردید.

محصولات غالب شبکه آبیاری و زهکشی دز برای فصل زمستان، گندم، ذرت علوفه‌ای، پیاز، هویج و کاهو و برای فصل تابستان ماش، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و هندوانه می‌باشد. مقدار ضرایب  $K_y$  برای هیچ یک از محصولات در منطقه بصورت محلی وجود ندارد. از این رو در کشت‌های هویج و کاهو به دلیل نبودن ضرایب حساسیت گیاهی، این دو محصول با استراتژی آبیاری کامل وارد مدل شدند. مقادیر  $K_y$  دیگر کشت‌ها برای هر دوره رشد و کل دوره رشد از نشریه فائو ۳۳ استخراج شد. با تحلیل مقادیر میانگین دبی ورودی و خروجی به شبکه آبیاری و زهکشی دز که توسط صادقی‌عطار (۱۳۷۴) ارائه گردیده است، راندمان کل شبکه آبیاری و زهکشی بطور متوسط ۴۱ درصد می‌باشد. بنابراین با فرض راندمان کاربرد آب در مزرعه به مقدار ۶۰

درصد می‌توان راندمان کلی انتقال در شبکه آبیاری و زهکشی سد دز را در حدود ۷۱ درصد در نظر گرفت. اطلاعات مقدار آب دریافتی شبکه که به مصرف کشاورزی منطقه می‌رسد بصورت ماهانه از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شد.

صادقی‌عطار (۱۳۷۴) مقدار مصرف آب کشاورزی و سطح زیر کشت باغ‌ها، مراکز پرورش آبی، مصارف غیرکشاورزی و کشت و صنعت‌های شهید رجایی، شهید بهشتی و هفت‌تپه خوزستان را گزارش نمود. با توجه به مقادیر ارائه شده در گزارش صادقی‌عطار (۱۳۷۴) مقدار آب مصرفی و سطح زیرکشت باغ‌های منطقه و کشت‌ها و صنعت‌ها از کل آب دریافتی و سطح قابل کشت در شبکه آبیاری و زهکشی کم گردید و تخصیص بهینه آب و تنظیم الگوی بهینه کشت در مابقی سطح زیرکشت شبکه ارائه گردید.

صادقی‌عطار (۱۳۷۴) مقدار نیاز آب مخارکردن (مقدار آبی که برای شخم زدن و آماده کردن زمین قبل کشت به زمین داده می‌شود) زمین‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی دز را برای دو فصل تابستان و زمستان گزارش نمود. با توجه به داده‌های ارائه شده توسط صادقی‌عطار (۱۳۷۴) مقدار نیاز آبیاری برای مخارکردن زمین در فصل زمستان ۷۰۰ و در فصل تابستان ۱۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد. بنابراین با توجه به این که مخار نمودن زمین قبل از شروع فصل کشت و انجام شخم زمین انجام می‌شود، رطوبت ثابت در شروع کشت در فصل تابستان ۰/۷۵ و در فصل زمستان ۰/۸۵ رطوبت ظرفیت زراعی (FC) فرض شد.

برای تکمیل اطلاعات و بررسی برخی از محدودیت‌های اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و فنی اقدام به طراحی پرسش‌نامه برای اشراف بر منطقه و آشنایی با نحوه کشت و کار زارعین منطقه شد.

با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی و بکارگیری الگوریتم ژنتیک ارائه شده در این پژوهش، الگوی بهینه کشت با لحاظ نمودن استراتژی کم‌آبیاری متغیر در فصل رشد تعیین شد. احتمال وقوع آب ورودی به شبکه با احتمال وقوع ۷۵٪ و احتمال وقوع آبیاری کامل ۲۵٪ در نظر گرفته شد. الگوی بهینه کشت در استراتژی کم‌آبیاری متغیر در دوره‌های رشد مختلف برای فصل زمستان و تابستان بترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. حد کم‌آبیاری بهینه تعیین شده توسط مدل نیز در جدول ۳ آورده شده است.

مقدار سودخالص در فصل زمستان با استراتژی کم‌آبیاری متغیر، ۵۶۳ میلیارد ریال بدست آمد. نتایج مدل در فصل زمستان نشان می‌دهد که مدل بیشترین سطح زیر کشت را به گندم اختصاص داده است و مابقی محصولات نیز با توجه به آب مصرفی در مدل وارد شده‌اند. بر خلاف استراتژی کم‌آبیاری یکسان در کل دوره رشد و آبیاری کامل در استراتژی کم‌آبیاری متغیر در دوره‌های رشد مختلف ذرت علوفه‌ای نیز در الگوی بهینه کشت وارد شده است. نتایج این مدل همچنین نشان داد که در برخی از محصولات کم‌آبیاری تقریباً بصورت یکسان اعمال شده است. اما در پیاز این کم‌آبیاری بصورت متغیر است و مقدار کم‌آبیاری در سه مرحله ابتدایی رشد مناسب تشخیص داده نشده است. مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در فصل زمستان با این روش ۱۷۱۳ ریال بر مترمکعب محاسبه گردید. نتایج این روش مقدار بهره‌وری اقتصادی آب را در مقایسه با استراتژی آبیاری کامل و استراتژی کم‌آبیاری در کل فصل رشد بترتیب ۱۰ و ۱ درصد افزایش می‌دهد. علت افزایش ناچیز بهره‌وری نسبت به استراتژی کم‌آبیاری یکسان در کل فصل رشد در ضرایب حساسیت گیاه

نهفته است. ضرایب حساسیت گیاه به کم‌آبی در هر دوره رشد بصورت اعمال آبیاری کامل در دوره‌های دیگر رشد و اعمال کم‌آبیاری در دوره مورد نظر تعیین شده است. از این رو استفاده از کم‌آبیاری یکسان با استفاده از این ضرایب در هر دوره رشد که منجر به یکسان شدن این استراتژی با کم‌آبیاری در کل فصل رشد می‌شود، سبب کاهش شدیدتری نسبت به استفاده از ضرایب حساسیت به کم‌آبی در کل دوره رشد می‌گردد. این مسئله با یک ضرب ساده و در نظر گرفتن یک کم‌آبیاری فرضی نیز به سادگی نمایان می‌شود. علت این تفاوت را می‌توان به این صورت توجیه نمود که اگر گیاه از ابتدا مورد کم‌آبیاری قرار گیرد تحت تاثیر سازگاری با تنش آبی قرار گرفته بنابراین اثر تنش بر کاهش محصول شدت کمتری از شرایط اعمال کم‌آبیاری بصورت ناگهانی در یک دوره خاص به دنبال دارد. اما در استراتژی‌های بهینه بدست آمده در این پژوهش در گندم و ذرت علوفه‌ای، گیاه از ابتدا مورد کم‌آبیاری قرار می‌گیرد، بنابراین اگر گیاه از ابتدا تحت تاثیر سازگاری با تنش آبی باشد این امر باعث کاهش شدت تنش آبی در کاهش محصول می‌گردد. بنابراین اثرات متقابل در کم‌آبیاری در دوره‌های رشد مختلف سبب کاهش بیشتر محصول در اعمال یک استراتژی یکسان در مقایسه با کم‌آبیاری در کل فصل رشد می‌شود.

مقدار سود خالص در فصل تابستان با استفاده از استراتژی کم‌آبیاری متغیر در هر دوره رشد، ۴۷۲ میلیارد ریال بدست آمد. بنابراین مقدار بهره‌وری اقتصادی هر متر مکعب در این شرایط ۱۰۸۷ ریال بر مترمکعب محاسبه شد. نتایج الگوی بهینه کشت در فصل تابستان نشان می‌دهد که مقدار بهره‌وری اقتصادی آب در این شرایط کمتر از بکارگیری استراتژی کم‌آبیاری یکسان و بیشتر از استراتژی آبیاری کامل می‌باشد. علت کم بودن بهره‌وری، سودخالص و سطح زیر کشت در فصل تابستان در مقایسه با استراتژی کم‌آبیاری یکسان در کل فصل رشد، عدم تطابق در کاهش محصول در کم‌آبیاری متغیر و یکسان در کل فصل رشد می‌باشد که ناشی از ضرایب حساسیت گیاه به کم‌آبی است. این تغییرات مانع از مقایسه کارآمد و دقیق بین کم‌آبیاری یکسان و متغیر در فصل رشد می‌شود.

جدول ۱: الگوی بهینه کشت در استراتژی کم‌آبیاری متغیر در دوره‌های رشد (کشت زمستان)

نام محصول	سطح زیر کشت حسب هکتار
گندم	۴۵۰۶۴
ذرت علوفه‌ای	۳۷۷۳
پیاز	۱۴۵۰
هویج	۱۵۰۰
کاهو	۱۳۰۰

جدول ۲: الگوی بهینه کشت در استراتژی کم آبیاری متغیر در دوره‌های رشد (کشت تابستان)

نام محصول	سطح زیر کشت حسب هکتار
ذرت دانه‌ای	۳۰۰۹۱
گوجه‌فرنگی	۵۰۰۰
هندوانه	۱۲۵۰
ماش	.

جدول ۳: کم آبیاری بهینه محصولات مختلف در استراتژی کم آبیاری متغیر در دوره‌های رشد حسب درصد

نام محصول	فصل رشد			
	رویشی	گلدهی	زایشی	انتهایی
	کم آبیاری بهینه حسب درصد			
گندم	۸	۸	۸	۱۰
ذرت علوفه‌ای	۸	۸	۹	۱۰
پیاز	۰	۰	۸	۸
هویج	۰	۰	۰	۰
کاهو	۰	۰	۰	۰
ذرت دانه‌ای	۲۶	۱۱	۱۲	۱۴
گوجه‌فرنگی	۱۴	۸	۹	۸
هندوانه	۱۰	۱۰	۱۲	۱۱
ماش	-----	-----	-----	-----

نتایج این پژوهش نشان داد که کم آبیاری با افزایش سطح زیر کشت سبب افزایش درآمد و بهره‌وری آب در تمام حالات می‌شود و استفاده از استراتژی کم آبیاری یکسان در کل دوره رشد نسبت به کم آبیاری متغیر در دوره‌های رشد سودخالص بیشتری دارد و علاوه بر آن به لحاظ اجرایی کاربردی‌تر از اجرای کم آبیاری متغیر در دوره‌های رشد مختلف می‌باشد. اما در بعضی از شرایط ممکن است که استراتژی کم آبیاری متغیر در دوره‌های رشد دارای سود بیشتری از استراتژی کم آبیاری یکسان در کل دوره رشد باشد که این اختلاف ناچیز است.

**کلمات کلیدی:** الگوی کشت، الگوریتم ژنتیک، شبکه آبیاری و زهکشی دز