



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۷۴-۵۹

# شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس

ابوذر پرهیزکاری<sup>۱</sup>، محمود صبوچی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل - ایران

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل - ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۰۳

### چکیده

در این تحقیق، برای تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) استفاده شد. با استفاده از این مدل، ابتدا ارزش اقتصادی (قیمت سایه‌ای) آب آبیاری در هر یک از مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی برآورد شد. سپس، واکنش کشاورزان هر منطقه به سیاست کاهش آب در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد بررسی شد. برای حل مدل از داده‌های سال ۱۳۹۰-۹۱ و نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۳/۵ استفاده شد. بر پایه نتایج، ارزش اقتصادی آب آبیاری برای هر یک از مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی، به ترتیب ۸۸۲، ۷۱۶ و ۸۴۵ ریال برآورد شد و تفاوت زیادی بین ارزش اقتصادی آب آبیاری و نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان در منطقه رودبار الموت وجود داشت. با کاهش آب آبیاری در دسترس، ارزش اقتصادی آب افزایش یافت و الگوی کشت در هر یک از مناطق به نفع محصولاتی که درآمد ثابتی را به ازای مقدار کمتر آب ایجاد می‌کنند، پیش می‌رود.

**کلیدواژه‌ها:** ارزش واقعی آب، الگوی بهینه کشت، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، تابع تولید CES، رودبار الموت.

## مقدمه

در حال حاضر، قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی براساس قانون توزیع عادلانه آب و نوع محصول صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه این سیستم قیمت‌گذاری بر مبنای مقدار آب مصرفی نیست، انگیزه کافی برای تخصیص بهینه آب و صرفه‌جویی در مصرف آن وجود ندارد، از این رو ارزش اقتصادی (بازده نهایی) آب در اغلب موارد بیشتر از بهای دریافتی آن است (۱۲).

مدیریت منابع آب براساس ضوابط سیاسی-اجتماعی، موجب تخصیص غیربهینه آن در سطح کشور می‌شود. برای رهایی از این مشکل، تغییر در نحوه مدیریت منابع آب، از مدیریت بر مبنای عرضه به مدیریت بر مبنای تقاضا، با ملاک قراردادن ارزش اقتصادی آب، ضروری به نظر می‌رسد (۱). در این راستا، اصلاح نظام قیمت‌گذاری آب به‌عنوان یکی از کاراترین ابزارهای مدیریت تقاضا می‌تواند به تخصیص مطلوب‌تر آن بین فعالیت‌های مختلف و افزایش بهره‌وری این نهاد کمک کند (۱). تعیین قیمت واقعی آب، به تخصیص بهینه آن بین گیاهان مختلف و نیز به مصرف منطقی و مناسب آن، که در نهایت افزایش بازده کاربرد و بهره‌وری آب را سبب می‌شود، کمک خواهد کرد و تأثیر زیادی بر برداشت درحد توان و ظرفیت مجاز آبخوان‌های زیرزمینی و سطحی خواهد شد (۱۱). در واقع، تعیین ارزش واقعی آب، ابزاری است که احساس کمبود آب را از بلندمدت به کوتاه‌مدت تبدیل خواهد کرد (۱۰). به‌همین دلیل، مدیریت کشاورزان در مزرعه برای مصرف آب، تحت تأثیر مقدار دسترسی به آب و ارزش واقعی آن خواهد بود (۴).

نتایج تحقیقی با استفاده از روش گاردنر برای تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و کشش قیمتی تقاضای آب در اراضی زیر سد طالقان، نشان داد که متوسط نرخ هر متر مکعب آب در منطقه، حدود ۶۵ ریال است، درحالی‌که

بهره‌برداران برای هر متر مکعب آب آبیاری ۶/۵ ریال می‌پردازند (۳). نتایج تحقیقی که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای برای برآورد ارزش اقتصادی آب زیرزمینی در منطقه دشتستان استان بوشهر صورت گرفت، نشان داد که کشاورزان درصد ناچیزی از ارزش اقتصادی آب را در قالب هزینه‌های استحصال پرداخت می‌کنند. ارزش کنونی قیمت تمام‌شده هر متر مکعب آب برای کشاورزان در این تحقیق، ۸۴/۹۳ ریال و ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری در فصل بهار در بازه [۲۳۲۸، ۱۷۸]، در تابستان در بازه [۵۴۹، ۳۶۴] و در پاییز و زمستان در بازه [۱۸۰۲، ۲۱۰] ریال برآورد شد (۲). نتایج پژوهشی با روش تابع تولید برای تعیین ارزش اقتصادی آب در زراعت چغندر قند در شهرستان مرودشت، نشان داد نهاده‌های آب، نیروی کار و کود شیمیایی بر عملکرد یا تولید اثر مثبت دارند و ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب مصرفی در تولید چغندر قند بر اساس سال پایه ۱۳۸۵ در حدود ۲۱۱/۶ ریال به‌دست آمد و کشاورزان به‌ازای هر متر مکعب آب، تنها ۲۶/۸ ریال پرداخت کردند (۱۳). در تحقیقی با هدف تعیین ارزش اقتصادی آب در تولید محصول پسته در شهرستان راور استان کرمان، از روش ارزش بهره‌برداری نهایی استفاده شد و ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری معادل ۱۹۸۷ ریال برآورد شد (۸). نتایج پژوهشی درباره نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی در اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد نشان داد که ارزش اقتصادی نهاده آب در سناریوهای مختلف نرمال و خشکسالی به‌ترتیب ۴۱۶ و ۵۷۱ ریال برآورد شد و ایجاد بازار آب، رفاه کشاورزان مناطق مختلف اراضی زیر سد شیرین‌دره بجنورد را افزایش داد (۱۲). نتیجه قیمت‌گذاری آب در کالیفرنیا نشان داد که قیمت آب براساس توانایی پرداخت کشاورزان معادل ۱۷۰ دلار در ۱۰۰۰ متر مکعب بود. در صورتی‌که، آب‌بهای

## مدیریت آب و آبیاری

نفر در کیلومتر مربع، در مجموع ۳۴۶۲۳ نفر جمعیت دارد. این منطقه شامل سه بخش رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی (به ترتیب با ۴۷۱۴، ۳۴۶۶ و ۴۴۲۶ هکتار اراضی قابل کشت فاریاب) است. با توجه به شرایط آب‌وهوایی مساعد و قرارگرفتن رودخانه شاهرود در این منطقه، اغلب افراد به فعالیت کشاورزی می‌پردازند. کشاورزی آبی، بیشتر در فواصل عرضی رودخانه صورت می‌گیرد. آب لازم برای فواصل دورتر و مناطق کوهپایه‌ای اطراف نیز به کمک سیستم‌های پمپاژ آب تأمین می‌شود. برنج، گندم، جو، لوبیا، خللر و ماشک، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، یونجه و صیفی‌جات، محصولات زراعی کشت‌شدنی در این منطقه به‌شمار می‌روند (۵). نبود تشکیلاتی مانند بازار آب در حوضه رودخانه شاهرود سبب شده همه‌ساله در فصول پرآب (زمستان و بهار) حجم زیادی از آب آبیاری، بدون استفاده از دسترس کشاورزان خارج شود. در فصول گرم سال (تابستان و پاییز) نیز به‌علت کاهش جریان آب رودخانه و مصرف بی‌رویه آب در اراضی نزدیک به رودخانه، کشاورزان مناطق دوردست و کوهپایه‌ای با مشکل کمبود آب مواجهند (۶). شکل ۱، موقعیت منطقه تحقیق و حوضه رودخانه شاهرود را نشان می‌دهد.

### مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

با توجه به اینکه امکان آزمون سیاست‌های مختلف در محیط آزمایشگاهی وجود ندارد، هر سیاست‌گذاری به‌دنبال آن است که با اطمینان زیادی از نتایج اجرای سیاست‌های مورد نظر و واکنش بهره‌برداران به آنها آگاه شود (۱۶). این کار به کمک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت امکان‌پذیر شده است. به‌عبارت دیگر، پیش از سیاست‌گذاری، شبیه‌سازی واکنش احتمالی کشاورزان با به‌کارگیری برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، کمک مؤثری در تصمیم‌گیری‌های صحیح‌تر قلمداد می‌شود (۱۷).

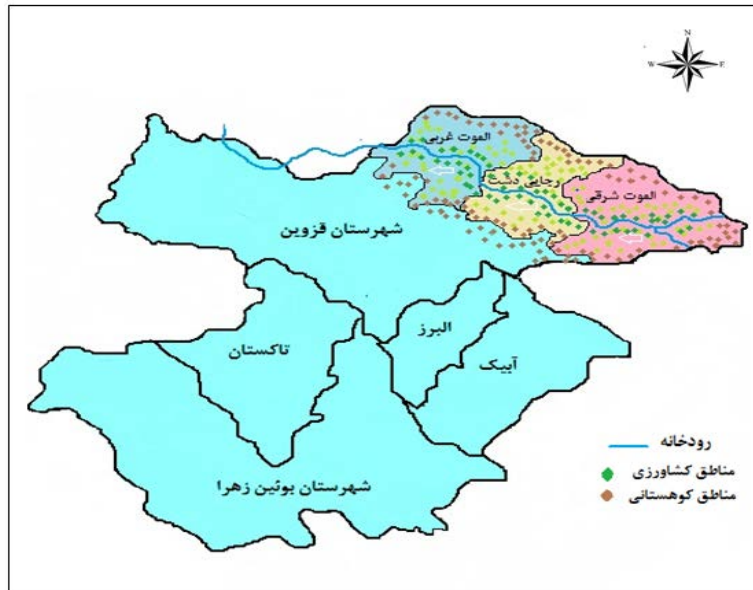
پرداختی کشاورزان ۱۲۵ دلار بود که تفاوت قیمت پرداختی آب و قیمت واقعی آن، سبب زیان‌های عملیاتی و افزایش هزینه‌های اجرایی برنامه‌ها بود (۲۴). بر پایه تحقیقی با هدف معرفی ابزاری برای بهبود کارایی مصرف آب در منطقه گجرات هند، اختلاف زیاد بین قیمت و ارزش اقتصادی آب و پیچیدگی‌های فنی و اجرایی ارزیابی قیمت واقعی آب، قیمت‌گذاری آن را به‌روشی نامناسب تبدیل کرده است (۲۳). بر اساس تحقیقی در زمینه تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی در منطقه‌ای از کشور اردن، کشاورزان به تغییر قیمت آب واکنش نشان می‌دهند (۲۲). بنابر تحقیقی با هدف افزایش بازده آبیاری از طریق مدیریت تقاضای آب با اجرای روش‌های مختلف قیمت‌گذاری آب در دره جوردان، روش‌های مختلف قیمت‌گذاری موجب تشویق کشاورزان به انتخاب و کشت محصولاتی با سازگاری بیشتر به شرایط کم‌آبی می‌شود، ولی، سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری، به‌تنهایی ابزار مناسبی برای اصلاح بازده آبیاری نیست (۲۱).

هدف اصلی این تحقیق، تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و مقایسه آن با آب‌بهای پرداختی کشاورزان سه منطقه رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی و نیز، شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش آب در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد است. برای دستیابی به اهداف یادشده، در این تحقیق از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت<sup>۱</sup> (PMP) استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

رودبار الموت منطقه‌ای در شمال شرق استان قزوین است که با ۱۸۶۷ کیلومتر مربع مساحت و تراکم جمعیت ۱۹/۸

1. Positive Mathematical Programming (PMP)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی روبرار الموت و حوضه رودخانه شاهرود (۷)

در این مرحله یک مسئله برنامه‌ریزی خطی حل شده و داده‌های استفاده‌شده برای نهاده‌ها، سطح آب مصرفی هر محصول و مقدار عملکرد به داده‌های واقعی نزدیک می‌شود (۱۴). در واقع، این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی، برای حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی است. در این مرحله پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی، مقادیر قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های منابع و واسنجی به‌دست می‌آید (۱۸). شکل ریاضی این مرحله از واسنجی مدل PMP معرفی شده را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\text{Max } \Pi = \sum_{r=1}^3 \sum_{i=1}^9 \left( p_{ri} q_{ri} - \sum_{j=1}^4 a_{jir} c_{jir} \right) x_{ri} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^9 a_{ij} x_{ri} \leq b_{jr} \quad \forall r = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\forall j = 1, 2, 3, 4 \quad [ \lambda_{ri}^j ]$$

مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) را اولین بار هویت<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ معرفی کرد. این مدل با هدف رفع کاستی‌ها و غلبه بر مشکلات مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری<sup>۲</sup> (NMP) توسعه یافت (۹). رویکرد کلی مدل PMP استفاده از اطلاعات متغیرهای دوگان محدودیت‌های واسنجی است که جواب مسئله برنامه‌ریزی خطی را به سطح فعالیت‌های موجود محدود می‌کند. در واقع مقادیر دوگان برای تصریح تابع هدف غیرخطی‌ای استفاده می‌شوند که سطح فعالیت‌های مشاهده‌شده را از طریق جواب بهینه مسئله برنامه‌ریزی جدیدی که فاقد محدودیت واسنجی است، بازسازی می‌کند (۱۷). به‌طور کلی، واسنجی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به‌کاررفته در این تحقیق در سه مرحله به‌شرح زیر صورت می‌گیرد:

مرحله اول: طرح مدل برنامه‌ریزی خطی و محاسبه قیمت‌های سایه‌ای

1. Howitt
2. Normative Mathematical Programming (NMP)

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

سیستمی و  $\lambda_{ri}^c$  در رابطه ۳، قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. رابطه ۴ نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن فعالیت‌ها است (۱۸).

مرحله دوم: برآورد تابع تولید CES<sup>۱</sup> و تابع هزینه درجه دوم

در این مرحله، تابع تولید و هزینه‌ای که برای واسنجی در مرحله سوم مدل PMP در تابع هدف وارد می‌شوند، تخمین زده می‌شود. فرم کلی تابع تولید CES را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

(۵)

$$Y_{ri} = \tau_{ri} \left[ \sum_j \beta_{rij} h_{rij}^{\rho_i} \right]^{\frac{1}{\rho_i}}$$

در این رابطه،  $Y_{ri}$  مقدار تولید محصول  $i$  در منطقه  $r$  (بر حسب تن) و  $h_{rij}$  عامل تولید  $j$  برای محصول  $i$  در منطقه  $r$  است.  $\tau_{ri}$  پارامتر مقیاس است که به کمک رابطه ۹ محاسبه می‌شود و  $\beta_{rij}$  پارامتر تولید است که نسبت استفاده از عوامل تولید را نشان می‌دهد. در واقع، این پارامتر سهم نهاده  $j$  برای تولید محصول  $i$  در منطقه  $r$  را نشان می‌دهد. ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس است و تابع CES مستلزم آن است که این ضریب برابر یک شود.  $\rho_i$  نیز متغیری است که بر حسب کشش جانشینی محصولات ( $\sigma_i$ ) تعریف می‌شود و برای محاسبه آن از رابطه  $\rho_i = (\sigma_i - 1) / \sigma_i$  استفاده می‌شود (۱۸).

تابع تولید CES به کاررفته در تحقیق حاضر با توجه به نهاده‌های زمین، آب، نیروی کار و سرمایه به صورت زیر است:

$$Y_{ri} = \tau_{ri} \left[ \beta_{ri1} h_{ri1}^{\rho_i} + \beta_{ri2} h_{ri2}^{\rho_i} + \beta_{ri3} h_{ri3}^{\rho_i} + \beta_{ri4} h_{ri4}^{\rho_i} \right]^{\frac{1}{\rho_i}} \quad (۶)$$

1. Constant Elasticity of Substitution (CES)

$$x_{ri} \leq \bar{x}_{ri} + \varepsilon \quad \forall r=1,2,3 \quad (۳)$$

$$\forall i=1,2,\dots,9 \quad [\lambda_{ri}^c] \quad (۴)$$

$$x_{ri} \geq 0 \quad \forall r=1,2,3 \quad \forall i=1,2,\dots,9$$

رابطه ۱ به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثرسازی مجموع سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه،  $\Pi$  مجموع سود ناخالص کشاورزان،  $r$  مناطق تحت مطالعه (۱، ۲، ۳)،  $i$  محصولات (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹)،  $j$  نهاده‌ها یا عوامل تولید (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹)،  $p_{ri}$  قیمت بازاری محصول  $i$  در منطقه  $r$ ،  $q_{ri}$  عملکرد محصول  $i$  در منطقه  $r$ ،  $C_{rij}$  هزینه نهاده  $j$  برای محصول  $i$  در منطقه  $r$  در واحد سطح (هکتار) و  $x_{ri}$  سطح زیر کشت محصول  $i$  در منطقه  $r$  است.  $a_{rij}$  بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه ( $a_{ijr} = \tilde{x}_{ijr} / \tilde{x}_{ir, land}$ ) به دست می‌آید. در واقع  $a_{ijr}$  بیانگر ضرایب فنی منابع به کاررفته در هر منطقه است (۱۹).

رابطه ۲ محدودیت منابع را در هر منطقه نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، نیروی کار و سرمایه تعریف می‌شود. در این رابطه،  $b_{jr}$  کل منابع در دسترس برای تولید محصولات در هر منطقه است. رابطه ۳ محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن  $\tilde{x}_{ri}$  مقدار مشاهده شده فعالیت  $i$  در منطقه  $r$  در سال پایه و  $\varepsilon$  مقدار مثبت کوچکی را نشان می‌دهد (۲۰). اضافه کردن محدودیت واسنجی به مدل سبب می‌شود جواب بهینه برنامه‌ریزی خطی، به طور دقیق، سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد (۱۶). پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین قیمت سایه‌ای مجموعه محدودیت‌های مدل، مقادیر دوگان تعریف می‌شوند.  $\lambda_{ri}^j$  در رابطه ۲، قیمت سایه‌ای محدودیت

غیرخطی با این شرط که هزینه متغیر نهایی فعالیت‌ها با مجموع هزینه حسابداری فعالیت‌ها (c) و متغیر دوگان محدودیت واسنجی ( $\lambda$ ) برابر باشد، به دست می‌آید. بنابراین، فراسنجه‌های تابع هزینه باید با شرط زیر محاسبه شوند:

$$MC^v = \frac{\partial C^v(x^0)}{\partial x} = d + Qx^0 = c + \lambda \quad (11)$$

در رابطه بالا باید n فراسنجه برای بردار d و به علت متقارن بودن Q، n(n+1)/2 فراسنجه برای Q محاسبه شود، یعنی در کل باید مقدار عددی n(n+1)/2 فراسنجه به دست آید، اما فقط n معادله (برای هر محصول یک معادله) در این رابطه وجود دارد. به چنین مسائلی که تعداد فراسنجه‌های محاسبه شده بیشتر از تعداد معادلات است، مسائل بدفرم<sup>۱</sup> گفته می‌شود. برای رفع مسئله بدفرمی می‌توان از روش هزینه متوسط استفاده کرد. در این روش، بردار مشاهده شده هزینه هر واحد فعالیت برابر با هزینه متوسط، تابع هزینه متغیر است و برای محاسبه ضرایب تابع هزینه درجه دوم از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود (۱۵).

$$d_{ij} = c_{ij} - \lambda_{ij} \quad \forall i=1,2,3,\dots,9 \quad (12)$$

$$\forall r=1,2,3 \quad \forall j=1,2,3,4$$

$$q_{ij} = \frac{2\lambda_{ij}}{x_{ij}^0} \quad \forall i=1,2,3,\dots,9 \quad (13)$$

$$\forall r=1,2,3 \quad \forall j=1,2,3,4$$

### مرحله سوم: تبیین مدل PMP واسنجی شده با استفاده از یک تابع هدف غیر خطی

در این مرحله، مدل برنامه‌ریزی غیرخطی واسنجی شده به طور صحیح سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های سیستمی را بازسازی می‌کند. برای مدل تجربی به کاررفته در این مطالعه با استفاده از تابع

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + \frac{h_1^{(-1/\sigma)}}{c_1} \left( \sum_L \frac{C_L}{h_L^{(-1/\sigma)}} \right)} \quad (7)$$

در رابطه ۷،  $h_L$  عامل تولید L ام و  $C_L$  هزینه عامل تولید L ام است. پس از محاسبه اولین پارامتر تابع تولید، برای تخمین سایر پارامترهای این تابع می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\beta_L = \frac{c_L h_1^{(-1/\sigma)}}{c_1 h_L^{(-1/\sigma)}} \cdot \beta_1 \quad (8)$$

با استفاده از تعریف تابع تولید CES، می‌توان پارامتر مقیاس را برای هر منطقه و محصول به صورت زیر نوشت:

$$\tau_{ri} = \frac{\left( \frac{Y_i}{x_i} \right) \cdot \tilde{x}_i}{\left[ \sum_{j=1}^4 \beta_j h_j^p \right]^{v/\rho_i}} \quad (9)$$

$$\forall r = 1, 2, 3, \quad \forall i = 1, 2, \dots, 9$$

مراحل تخمین بالا به توابع تولید تمام مناطق و محصولات تعمیم پذیر است. قابلیت مدل واسنجی شده در تحقیق حاضر در این است که روند تخمین پارامترها در آن برای تمام محصولات و مناطق به طور خودکار انجام می‌گیرد (۱۸).

در مرحله دوم PMP، مقادیر متغیرهای دوگان برای به دست آوردن یک تابع هزینه متغیر غیرخطی به کار گرفته می‌شوند. برای آسانی محاسبه و به دلیل نبود دلایل قوی برای انتخاب توابع دیگر، از تابع هزینه متغیر درجه دوم زیر استفاده می‌شود (۱۵):

$$C^v = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \quad (10)$$

در رابطه بالا،  $C^v$  هزینه متغیر، d یک بردار (n×1) از فراسنجه‌های مربوط به جزء خطی تابع هزینه، و Q یک ماتریس متقارن مثبت معین (n×n) از فراسنجه‌های مربوط به جزء درجه دوم تابع هزینه است. تابع هزینه متغیر

سیستم‌های مدل‌سازی سطح بالا برای برنامه‌نویسی در روش برنامه‌ریزی ریاضی<sup>۲</sup> (MP) است. این برنامه شامل یک کامپایلر زبان<sup>۳</sup> (نرم‌افزاری که برنامه کدگذاری شده را به زبان ماشین تبدیل می‌کند) و یک مجموعه از حل‌کننده‌های<sup>۴</sup> جامع با توان اجرایی زیاد است و برای ساخت مدل‌های پیچیده و در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود. در واقع، این نرم‌افزار برای حل مسائلی که در آنها تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با تعیین مقدار برای یک مجموعه از متغیرها، بعضی از معیارهای مطلوبیت را بهینه کند، کاربرد دارد. اجزای اصلی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی در نرم‌افزار GAMS شامل تعریف مجموعه‌ها (Sets)، معرفی داده‌ها (Data)، معرفی متغیرها (Variables)، مشخص کردن ساختار معادلات (Equations) و حل مدل (Solve) است. تعریف هر یک از موارد یادشده، دستورهای خاص خود را دارد. برای مثال وارد کردن داده‌ها در متن برنامه، با استفاده از سه دستور Scalar (برای مقادیر و اعداد)، Parameter (برای بردارها) و Table (برای ماتریس‌ها) صورت می‌گیرد.

### نتایج و بحث

در جدول ۱، سطح زیر کشت محصولات زراعی، درصد سهم هر یک از محصولات در الگوی کشت و مجموع اراضی آبی کشت‌شدنی در هر یک از مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی در سال پایه (۱۳۹۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، محصول برنج با ۱۸۳۰، ۱۶۵۰ و ۱۲۸۰ هکتار دارای بیشترین سطح زیر کشت و با ۳۸/۹۲، ۳۷/۳ و ۳۶/۹۷ درصد دارای بیشترین سهم در الگوی کشت فعلی مناطق تحت بررسی است. محصولات گوجه‌فرنگی و

هزینه<sup>۵</sup> درجه دوم واسنجی شده و محدودیت منابع (زمین، آب، سرمایه و نیروی کار)، مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت رابطه‌های زیر ساخته شد:

$$\text{Max } \Pi = \sum_{r=1}^3 \sum_{i=1}^9 p_{ri} Y_{ri} - \quad (14)$$

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{i=1}^9 \sum_j^4 (c_{rij} - \lambda_{rij}) x_{rij} + \frac{1}{2} q_{rij} x_{rij}^2$$

Subject to:

$$(15)$$

$$\sum_{i=1}^9 x_{ri} \leq A_{jr} \quad \forall r=1,2,3, \quad \forall i=1,2,\dots,9$$

$$(16)$$

$$x_{ri} \geq 0 \quad \forall r=1,2,3, \quad \forall i=1,2,\dots,9$$

رابطه ۱۴ به عنوان تابع هدف غیرخطی مدل، شامل تابع تولید منطقه‌ای و تابع هزینه غیرخطی است و  $Y_{ri}$  در آن، تولید محصول  $i$  در منطقه  $r$  است که در رابطه ۶ مطرح شده است. رابطه ۱۵، محدودیت منابع (آب، زمین، نیروی کار و سرمایه) را در مناطق بررسی شده نشان می‌دهد. رابطه ۱۶ نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌هاست.

پس از معرفی مدل بالا، برای تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری در سطح منطقه‌ای و مقایسه آن با نرخ آب‌بهای فعلی، از قیمت‌های سایه‌ای به دست آمده در مرحله اول مدل PMP استفاده شد. سپس، واکنش کشاورزان رودبار الموت شرقی، رجایی‌دشت و رودبار الموت غربی نسبت به سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد شبیه‌سازی شد. پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف، مقدار تغییرات الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان در هر منطقه محاسبه و بررسی شد. مدل معرفی شده در این تحقیق، در محیط نرم‌افزاری GAMS<sup>۱</sup> (نسخه ۲۳/۵) حل شد. نرم‌افزار GAMS یکی از

2. Mathematical Programming (MP)

3. Language Compiler

4. Solvers

1. General Algebraic Modeling System (GAMS)

ابوذر پرهیزکاری و محمود صبوحی

سیب‌زمینی نیز در مقایسه با دیگر محصولات، کمترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند. در جدول ۲، مقدار عملکرد (برحسب کیلوگرم در هکتار) و نیاز آبی خالص (برحسب مترمکعب در هکتار) محصولات زراعی مناطق بررسی شده در سال پایه (۱۳۹۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی در مقایسه با دیگر محصولات، بیشترین عملکرد و لویبا، کمترین عملکرد در واحد سطح (هکتار) را دارند. از نظر مقدار آب مصرفی نیز یونجه و جو آبی، به‌ترتیب بیشترین و کمترین نیاز آبی خالص در منطقه را دارند.

جدول ۱. سطح زیر کشت (برحسب هکتار) و سهم هر یک از محصولات زراعی (درصد)

در منطقه رودبار الموت در سال پایه (۱۳۹۱)

محصولات	رودبار الموت شرقی		رجایی دشت		رودبار الموت غربی	
	هکتار	سهم	هکتار	سهم	هکتار	سهم
برنج	۱۶۵۰	۳۷/۳٪	۱۲۸۰	۲۶/۹۷٪	۱۸۳۰	۳۸/۹۲٪
گندم آبی	۹۸۰	۲۲/۱۵٪	۷۴۵	۲۱/۵۲٪	۹۵۰	۲۰/۱۹٪
جو آبی	۶۸۵	۱۵/۴۹٪	۵۱۸	۱۴/۹۸٪	۷۴۹	۱۵/۹۳٪
لویبا	۲۳۰	۵/۲۴٪	۱۸۷	۵/۴۳٪	۲۴۶	۵/۳۸٪
یونجه	۲۳۷	۵/۳۸٪	۲۰۴	۵/۹۱٪	۲۵۰	۵/۲۶٪
خللر و ماشک	۲۰۰	۴/۵۹٪	۱۸۴	۵/۳۷٪	۲۳۲	۴/۹۸٪
گوجه فرنگی	۱۰۵	۲/۴۳٪	۹۶	۲/۸۲٪	۱۲۶	۲/۷۴٪
سیب زمینی	۱۱۵	۲/۶۵٪	۸۹	۲/۶۱٪	۱۰۵	۲/۳۱٪
صیفی جات	۱۴۲	۳/۲۸٪	۱۲۰	۳/۵۲٪	۱۵۸	۳/۴۰٪
مجموع اراضی	۴۴۲۶	۱۰۰٪	۳۴۶۶	۱۰۰٪	۴۷۱۴	۱۰۰٪

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین

جدول ۲. مقدار عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و نیاز آبی خالص (متر مکعب در هکتار) محصولات

زراعی منطقه رودبار الموت در سال پایه (۱۳۹۱)

محصولات	رودبار الموت شرقی		رجایی دشت		رودبار الموت غربی	
	عملکرد	نیاز آبی	عملکرد	نیاز آبی	عملکرد	نیاز آبی
برنج	۵۱۵۲	۶۲۸۰	۵۱۰۰	۶۳۲۵	۵۱۴۵	۶۲۱۰
گندم آبی	۴۶۵۳	۴۳۶۰	۴۸۰۰	۴۳۵۵	۴۷۲۵	۴۳۶۰
جو آبی	۴۳۰۰	۳۷۵۸	۴۲۰۵	۳۸۰۰	۴۲۵۰	۳۷۳۰
لویبا	۱۹۲۵	۴۷۱۰	۱۸۶۸	۴۹۰۰	۱۹۷۶	۴۹۲۰
یونجه	۱۳۵۸۰	۱۰۲۶۰	۱۴۱۰۸	۹۸۲۵	۱۳۹۰۰	۱۰۳۳۰
خللر و ماشک	۹۶۳۰	۵۳۴۰	۹۵۱۰	۵۳۸۰	۹۸۰۰	۵۳۶۰
گوجه فرنگی	۱۵۶۵۳	۷۷۱۰	۱۶۲۵۰	۸۰۰۰	۱۵۸۶۰	۷۸۶۳
سیب زمینی	۱۸۲۵۰	۴۵۰۰	۱۹۰۲۰	۴۴۳۰	۱۸۵۷۰	۴۳۸۰
صیفی جات	۱۲۲۸۰	۶۰۴۸	۱۲۷۱۴	۶۲۷۰	۱۲۶۰۰	۶۱۴۰

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲



### برآورد ارزش اقتصادی آب آبیاری در سطح منطقه‌ای

جدول ۳، آب‌بهای پرداختی کشاورزان و ارزش اقتصادی (قیمت سایه‌ای) هر متر مکعب نهاده آب را پس از حل مدل PMP معرفی شده، در سطح مناطق تحت بررسی و در سال پایه (۱۳۹۱) نشان می‌دهد.

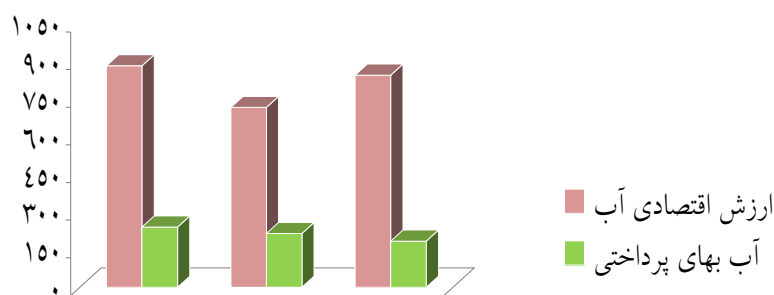
با توجه به جدول ۳، ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری در رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی معادل ۸۸۲، ۷۱۶ و ۸۴۵ ریال برآورد شد. در حالی که، آب‌بهای پرداختی کشاورزان در این مناطق به ترتیب معادل ۲۴۰، ۲۱۴ و ۱۸۴ ریال است. نتایج نشان

می‌دهد که کشاورزان رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی به ترتیب ۲۷، ۳۰ و ۲۲ درصد از کل ارزش اقتصادی آب آبیاری را پرداخت می‌کنند که این میزان، تنها درصد ناچیزی از ارزش اقتصادی آب در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال است. شکل ۱ به‌طور مقایسه‌ای نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین ارزش اقتصادی آب آبیاری و نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان در سال پایه (۱۳۹۱)، در مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی وجود دارد.

جدول ۳. مقایسه آب‌بهای پرداختی کشاورزان رودبار الموت و ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری در سال پایه (۱۳۹۱)

مشخصات مناطق بررسی شده	رودبار الموت غربی	رجایی‌دشت	رودبار الموت شرقی
تعداد بهره‌بردار با حقا به مجاز (نفر)	۳۲۲۵	۲۶۸۰	۳۵۴۳
کل آب در دسترس (میلیون مترمکعب)	۵۲/۷	۴۹/۵	۵۶/۳
آب‌بهای پرداختی کشاورزان (ریال)	۲۴۰	۲۱۴	۱۸۴
ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب (ریال)	۸۸۲	۷۱۶	۸۴۵
درصد پرداختی از ارزش اقتصادی آب	٪۲۷	٪۳۰	٪۲۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۱. مقایسه ارزش اقتصادی آب آبیاری و آب‌بهای پرداختی کشاورزان منطقه رودبار الموت در سال پایه (۱۳۹۱)

مدیریت آب و آبیاری  
دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

الموت غربی، سطح زیر کشت محصول برنج نسبت به سال پایه کاهش یافت و از ۱۸۲۰ به ۱۸۲۹ هکتار رسید. سطح زیر کشت محصولات گندم و جو آبی با کاهش آب آبیاری در دسترس به مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد، نسبت به سال پایه کاهش و با اعمال سناریوی ۴۰ درصد نسبت به سال پایه افزایش یافت. سطح زیر کشت محصولات خللر و ماشک، لوبیا و یونجه به صورت محسوس نسبت به سال پایه افزایش یافت، اما برای گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و صیفی‌جات افزایش سطح زیر کشت نسبت به سال پایه نامحسوس و جزئی بود. سود ناخالص کشاورزان، با اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس و تغییرات به‌وجودآمده در سطح زیر کشت محصولات الگو، نسبت به سال پایه افزایش یافت، اما با اعمال سناریوی ۴۰ درصد، نسبت به سال پایه کاهش پیدا کرد. ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری نیز در منطقه الموت غربی با اعمال سناریوی ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، افزایش یافت و از ۸۶۹ ریال به ۸۹۴ ریال رسید. شکل ۲، تابع تقاضای آب آبیاری را پس از اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس در منطقه رودبار الموت غربی نشان می‌دهد.

در جدول ۶، تغییرات سطح زیر کشت، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در منطقه رجایی‌دشت نشان داده شده است.

## نحوه اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در

### دسترس

برای شبیه‌سازی رفتار کشاورزان منطقه رودبار الموت نسبت به اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، در هر مرحله، درصدی (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰) از کل آب در دسترس نسبت به سال پایه کاهش یافت و نتایج، پس از حل مدل PMP، بررسی و تحلیل شد. با توجه به جدول ۳، در سال پایه، مقدار کل آب آبیاری در دسترس در منطقه رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی به ترتیب ۵۲/۷، ۴۹/۵ و ۵۶/۳ میلیون مترمکعب است. برای اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، باید کل آب در دسترس در هر منطقه به اندازه ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش یابد. این کار به شکل ساده نوشتاری یا با استفاده از برنامه Loop<sup>۱</sup> در نرم‌افزار GAMS صورت می‌گیرد. در جدول ۴، میزان آب در دسترس هر منطقه پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف نشان داده شده است.

### نتایج سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس

در جدول ۵، مقدار تغییرات سطح، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در منطقه رودبار الموت غربی نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه شد، پس از اعمال سناریوهای ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس در رودبار

۱. برنامه Loop در نرم‌افزار GAMS برای اعمال سیاست استفاده می‌شود.

شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس

جدول ۴. مقدار آب در دسترس پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس (برحسب میلیون متر مکعب)

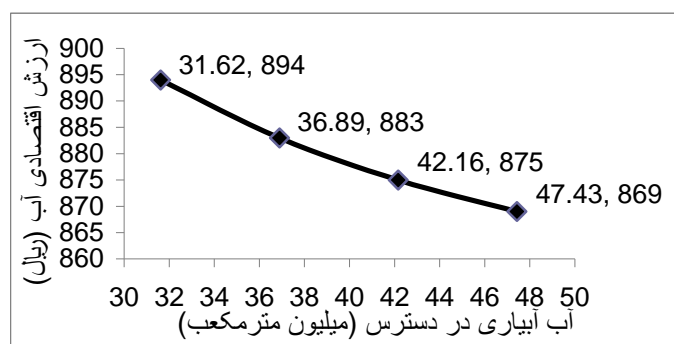
منطقه مورد مطالعه	آب در دسترس در سال پایه			
	٪۴۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰
رودبار الموت غربی	۳۱/۶۲	۳۶/۸۹	۴۲/۱۶	۴۷/۴۳
رجایی‌دشت	۲۹/۷	۳۴/۶۵	۳۹/۶	۴۴/۵۵
رودبار الموت شرقی	۳۳/۷۸	۳۹/۴۱	۴۵/۰۴	۵۰/۶۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. تأثیرات کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب در منطقه رودبار الموت غربی

محصولات	الگوی کشت سال پایه	سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف			
		٪۴۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰
برنج (هکتار)	۱۸۳۰	۱۸۲۹	۱۸۲۵	۱۸۲۳	۱۸۲۰
گندم آبی (هکتار)	۹۵۰	۹۵۹	۹۴۷	۹۳۷	۹۲۸
جو آبی (هکتار)	۷۴۹	۷۶۰	۷۴۸	۷۳۷	۷۲۷
لوبیا (هکتار)	۲۴۶	۲۶۶	۲۶۴	۲۶۳	۲۶۱
یونجه (هکتار)	۲۵۰	۲۵۴	۳۰۰	۳۳۹	۳۷۵
خللر و ماشک (هکتار)	۲۳۲	۲۹۰	۲۷۵	۲۶۳	۲۵۱
گوجه‌فرنگی (هکتار)	۱۲۶	۱۵۴	۱۵۳	۱۵۳	۱۵۲
سیب‌زمینی (هکتار)	۱۰۵	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۱	۱۲۱
صیفی‌جات (هکتار)	۱۵۸	۱۸۱	۱۸۰	۱۷۹	۱۷۹
ارزش واقعی آب (ریال)	۸۸۲	۸۹۴	۸۸۳	۸۷۵	۸۶۹
سود ناخالص (هزار ریال)	۳۷۲۱۷۱۹۵	۳۶۹۰۹۴۰۶	۳۷۳۴۶۳۱۳	۳۷۷۷۸۶۳۷	۳۸۲۰۷۴۲۱

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲. تابع تقاضای آب آبیاری در منطقه رودبار الموت غربی

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

جدول ۶. تأثیرات کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب در منطقه رجایی‌دشت

محصولات	الگوی کشت	سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف			
		سال پایه	%۱۰	%۲۰	%۳۰
برنج (هکتار)	۱۲۸۰	۱۲۷۴	۱۲۷۶	۱۲۷۸	۱۲۸۱
گندم آبی (هکتار)	۷۴۵	۷۲۸	۷۳۵	۷۴۶	۷۵۶
جو آبی (هکتار)	۵۱۸	۵۰۵	۵۱۳	۵۲۳	۵۳۳
لوبیا (هکتار)	۱۸۷	۲۰۰	۲۰۱	۲۰۳	۲۰۵
یونجه (هکتار)	۲۰۴	۲۱۴	۲۲۶	۲۳۹	۲۵۲
خللر و ماشک (هکتار)	۱۸۴	۲۹۶	۲۶۲	۲۲۵	۱۸۶
گوجه‌فرنگی (هکتار)	۹۶	۱۱۵	۱۱۶	۱۱۶	۱۱۷
سیب‌زمینی (هکتار)	۸۹	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱
صیفی‌جات (هکتار)	۱۲۰	۱۳۴	۱۳۵	۱۳۶	۱۳۶
ارزش واقعی آب (ریال)	۷۱۶	۷۰۴	۷۱۰	۷۲۱	۷۳۲
سود ناخالص (۱۰۰۰ریال)	۲۶۷۵۹۷۰۱	۲۷۳۱۱۲۶۰	۲۶۹۳۴۳۷۴	۲۶۵۵۳۴۹۶	۲۶۱۶۷۰۲۳

منبع: یافته‌های تحقیق

نسبت به سال پایه کاهش یافت. ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری با اعمال سناریوی ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، افزایش یافت و از ۷۱۶ ریال به ۷۳۲ ریال رسید. شکل ۳، تابع تقاضای آب آبیاری منطقه رجایی‌دشت را پس از اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس نشان می‌دهد.

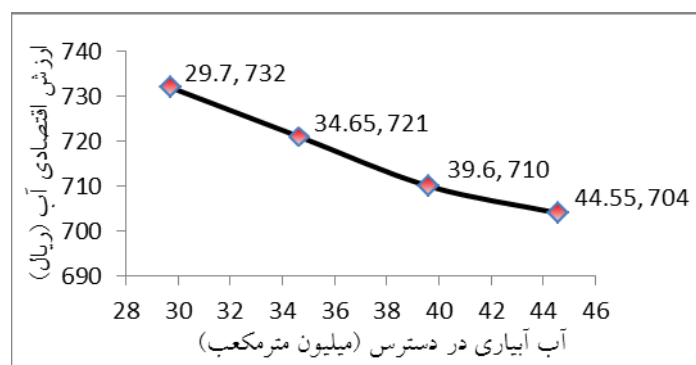
در جدول ۷، تغییرات سطح زیر کشت، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری پس از اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در منطقه رودبار الموت شرقی نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه شد، با اعمال سناریوهای ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس در منطقه رجایی‌دشت، سطح زیر کشت محصول یونجه نسبت به سال پایه افزایش یافت و از ۲۱۴ به ۲۵۲ هکتار رسید، اما سطح زیر کشت محصول خللر و ماشک در سطحی بالاتر از سال پایه کاهش یافت و از ۲۹۶ به ۱۸۶ هکتار رسید. سطح زیر کشت گندم و جو آبی با اعمال سناریوهای ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، نسبت به سال پایه کاهش و با اعمال سناریوهای ۳۰ و ۴۰ درصد، نسبت به سال پایه افزایش یافت. سود ناخالص کشاورزان با اعمال سناریوهای ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس افزایش و با اعمال سناریوی ۳۰ و ۴۰ درصد،

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست کاهش منابع آب در دسترس



شکل ۳. تابع تقاضای آب آبیاری در منطقه رجایی دشت

جدول ۷. تأثیرات کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف بر الگوی کشت،

سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب در منطقه رودبار الموت شرقی

سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای مختلف				الگوی کشت سال پایه	محصولات
٪۴۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰		
۱۶۴۹	۱۶۴۷	۱۶۴۵	۱۶۴۳	۱۶۵۰	برنج (هکتار)
۹۸۴	۹۷۵	۹۶۷	۹۶۱	۹۸۰	گندم آبی (هکتار)
۶۹۵	۶۸۴	۶۷۸	۶۷۲	۶۸۵	جو آبی (هکتار)
۲۴۸	۲۴۷	۲۴۶	۲۴۵	۲۳۰	لوبیا (هکتار)
۲۲۵	۲۹۳	۳۵۲	۴۰۶	۲۳۷	یونجه (هکتار)
۲۲۲	۱۷۷	۱۳۷	۱۰۰	۲۰۰	خللر و ماشک (هکتار)
۱۳۵	۱۳۵	۱۳۴	۱۳۴	۱۰۵	گوجه‌فرنگی (هکتار)
۱۳۱	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۹	۱۱۵	سیب‌زمینی (هکتار)
۱۶۴	۱۶۳	۱۶۳	۱۶۲	۱۴۲	صیفی جات (هکتار)
۸۵۲	۸۴۵	۸۳۹	۸۳۴	۸۴۵	ارزش واقعی آب (ریال)
۳۴۳۴۷۶۲۴	۳۴۷۹۴۹۶۱	۳۵۲۳۸۸۷۲	۳۵۶۸۰۱۳۲	۳۴۹۴۰۰۹۷	سود ناخالص (۱۰۰۰ ریال)

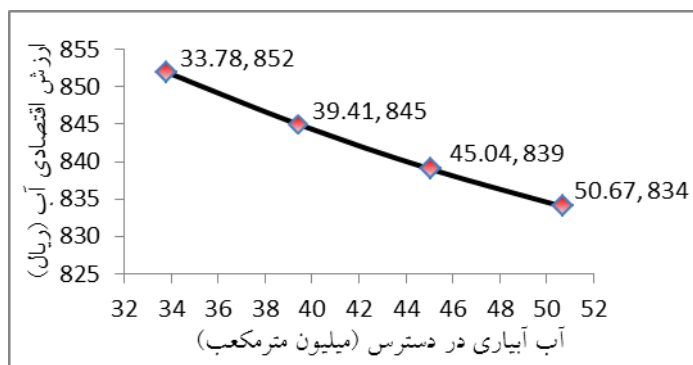
منبع: یافته‌های تحقیق

دسترس، نسبت به سال پایه کاهش و با اعمال سناریوی ۴۰ درصد، نسبت به سال پایه افزایش یافت. برای گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و صیفی‌جات، افزایش سطح زیر کشت نسبت به سال پایه پس از اعمال سناریوهای ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، نامحسوس و جزئی بود.

همان‌گونه که ملاحظه شد، با اعمال سناریوهای ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس در منطقه رودبار الموت شرقی، سطح زیر کشت برنج در سطحی پایین‌تر از سال پایه افزایش یافت و از ۱۶۴۳ به ۱۶۴۹ هکتار رسید. سطح زیر کشت گندم، جو و خللر و ماشک با اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب آبیاری در

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲



شکل ۴. تابع تقاضای آب آبیاری در منطقه رودبار الموت شرقی

معرفی شده با گنجاندن تابع هزینه درجه دو و تابع تولید محصولات زراعی در یک تابع هدف غیرخطی واسنجی شد. برای حل مدل از داده‌های سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و نرم‌افزار GAMS استفاده شد. پس از محاسبه مقادیر دوگان یا قیمت سایه‌ای نهاده آب (ارزش اقتصادی آب) در مرحله اول مدل PMP، مقایسه‌ای بین آب‌بهای پرداختی و ارزش اقتصادی آب در هر یک از مناطق تحت بررسی صورت گرفت. نتایج نشان داد که تفاوت زیادی بین آب‌بهای پرداختی کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری وجود دارد و کشاورزان منطقه رودبار الموت تنها بخشی از ارزش اقتصادی آب را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال پرداخت می‌کنند. پس از تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری، واکنش کشاورزان هر منطقه نسبت به اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، الگوی کشت در هر یک از مناطق مورد مطالعه به نفع محصولاتی که درآمد ثابتی را به‌زای مقدار کمتر آب (یا درآمد بیشتری را به‌زای مقدار ثابت آب) ایجاد می‌کنند، پیش می‌رود. نتایج حاصل از توابع تقاضای آب آبیاری نیز نشان داد که با کاهش منابع آب در دسترس در مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی، ارزش

سود ناخالص کشاورزان با اعمال سناریوهای ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، نسبت به سال پایه افزایش و با اعمال سناریوهای ۳۰ و ۴۰ درصد، نسبت به سال پایه کاهش یافت. ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری نیز در منطقه رودبار الموت شرقی با اعمال سناریوی ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس، افزایش یافت و از ۸۳۴ ریال به ۸۵۲ ریال رسید. شکل ۴ تابع تقاضای آب آبیاری منطقه رودبار الموت شرقی را پس از اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش آب آبیاری در دسترس نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر، برای تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و شبیه‌سازی رفتار کشاورزان نسبت به سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس در منطقه رودبار الموت از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) استفاده شد. واسنجی مدل معرفی شده در سه مرحله پیاپی انجام گرفت. در مرحله اول، برای رسیدن به داده‌های سال پایه و محاسبه قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی خطی حل شد. در مرحله دوم، ضرایب تابع هزینه درجه دو و تابع تولید با کشش جانشینی ثابت برای هر یک از محصولات زراعی تخمین زده شد. در مرحله سوم، مدل

- اقتصادی هر متر مکعب آب آبیاری افزایش می‌یابد. با توجه نتایج، پیشنهادهای زیر مطرح شد:
۱. تحقیق حاضر به صورت تجمیعی یا منطقه‌ای در حوضه رودخانه شاهرود (که کشاورزان برای کشاورزی از آب‌های سطحی استفاده می‌کنند) به تعیین ارزش اقتصادی آب و تحلیل سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس پرداخت. بر این اساس پیشنهاد می‌شود این کار در مناطقی که کشاورزان علاوه بر آب‌های سطحی از آب‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌کنند بررسی شود.
  ۲. به منظور جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی، نرخ آب‌بهای پرداختی برای کشاورزان با توجه به روند تغییرات ارزش اقتصادی آب تعیین شود. کم بودن نرخ آب‌بها در مقایسه با ارزش اقتصادی آب، سبب رایگان تلقی شدن نهاده آب و مصرف بی‌رویه آن در سطح مزارع خواهد شد؛
  ۳. به کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، کشاورزان را به مدیریت صحیح منابع آب تشویق می‌کند. از این رو، پیشنهاد می‌شود این سیاست در کنار تشکیلاتی چون بازار آب برای ذخیره منابع آب در فصول پرآب و رفع نیازهای فصول کم‌آب استفاده شود.
- منابع**
۱. احسانی م. دشتی ق. حیاتی ب. و قهرمان زاده م (۱۳۸۹) برآورد ارزش اقتصادی آب شبکه آبیاری دشت قزوین: کاربرد رهیافت دوگان. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲): ۲۳۷-۲۴۵.
  ۲. احمد پور م. و صبوحی م (۱۳۸۸) قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای: مطالعه موردی منطقه دشتستان. مجله اقتصاد کشاورزی، ۳(۳): ۱۴۱-۱۲۱.
  ۳. اسدی، ه. سلطانی غ. و ترکمانی ج (۱۳۸۶) قیمت‌گذاری آب کشاورزی در ایران: مطالعه موردی اراضی زیر سد طالقان. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵۸ (۱۵): ۶۱-۹۰.
  ۴. بهبهانی م (۱۳۷۳) دیدگاه‌های مدیریت تقاضای آب در مزرعه. مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ص ۱-۱۱.
  ۵. پرهیزکاری ا. و صبوحی م (۱۳۹۱) مدیریت بهره‌برداری و تخصیص بهینه منابع آب جهت تعیین الگوی مناسب کشت. سومین کنفرانس مدیریت جامع منابع آب، دانشکده منابع طبیعی ساری.
  ۶. سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین، دفتر مطالعات پایه منابع آب (۱۳۸۹).
  ۷. سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین (۱۳۹۰).
  ۸. شرزه‌ای غ. و امیرتیموری س (۱۳۹۰) تعیین ارزش اقتصادی آب‌های زیرزمینی: مطالعه موردی شهرستان راور (استان کرمان). مجله تحقیقات اقتصادی، ۹۸: ۱۱۳-۱۲۸.
  ۹. صبوحی م. سلطانی غ. زیبایی م. و ترکمانی ج (۱۳۸۵) تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثر سازی منافع اجتماعی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵۶: ۱۶۷-۲۰۲.
  ۱۰. عبدلهی عزت‌آبادی م. و جوانشاه ا (۱۳۸۴) بررسی اقتصادی امکان استفاده از روش‌های نوین عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی، نشریه پژوهش و سازندگی، ۷۵: ۱۱۳-۱۲۶.
  ۱۱. غفاری شیروان ج (۱۳۷۷) مروری بر وضعیت بهره‌برداری منابع آب ایران. مجموعه مقالات نهمین

- (2010) Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. *Science of the total environment*, 408: 5639–5648.
20. Medellan-Azuara J, Harou J.J, Howitt R.E (2011) Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of the agricultural water management*, 108: 73–82.
21. Molle F, Venot J.P and Youssef Hassan A (2008) Irrigation in the Jordan Valley: are water pricing policies overly optimistic?
22. Salman A and Al-Karablieh E (2004) Measuring the willingness of farmers to pay for groundwater in the highland areas of Jordan. *Agricultural Water Management*, 68(1): 61–76.
23. Singh K (2007) rational pricing of water as an instrument of improving water use efficiency in the agricultural sector: A case study in Gujarat, India. *International Journal of Water Resources Development* 23: 679 – 690.
24. Teerink J.R and Nakashima M (1993) Water allocation, rights and pricing: examples for Japan and the United States, World Bank technical paper, No.198.68pp.
- همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ص ۳۹۵-۴۰۵.
۱۲. کرامت‌زاده ع. چیدری ا. و شرزه‌ای غ (۱۳۹۰) نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (مطالعه موردی: اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد). *مجله تحقیقات و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۴۲(۱): ۲۹-۴۴.
۱۳. محمدی م (۱۳۸۹) تعیین ارزش اقتصادی آب در زراعت چغندر قند در شهرستان مرودشت. *مجله چغندر قند*، ۲۶(۱): ۹۳-۱۰۳.
14. Edwards B. K, Howitt R.E and Flaim S. J (1996) Fuel, crop, and water substitution in irrigated agriculture. *Resource and Energy Economics*, 18: 311-331.
15. Heckeleei T (2002) Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis, University of Bonn, 159p.
16. He L, Tyner W.E, Doukkali R and Siam G (2006) Policy options to improve water allocation efficiency: analysis on Egypt and Morocco. *Water International*, 31: 320–337.
17. Howitt R.E (2005) PMP based production models- development and integration. The future of rural Europe in the global agricultural food system, Denmark, NO: 23-21.
18. Howitt R. E, Medellin-Azuara J, MacEwan D and Lund R (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the environmental modeling and software*, 38: 244-258.
19. Medellan-Azuara J, Harou J.J, Howitt R.E