نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۲۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، ص. ۲۵۲-۲۴۲

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 27, No. 3, Fall 2013, p. 242-252

شبیه‌سازی بازار آب و تحلیل اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی

ابوذر پرهیزکاری[۱]- محمود صبوحی[۲*]- سامان ضیائی[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۵
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۹/۴

چکیده

در دهه‌های اخیر به علت بروز مشکلات کم آبی، بیشتر کشورها به اتخاذ سیاست‌های نو در ارتباط با مدیریت تقاضای آب به جای مدیریت عرضه آب گرایش یافته‌اند. هدف اصلی پژوهش حاضر، شبیه‌سازی بازار آب به منظور تعیین نقش آن در ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب و بررسی اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشد. برای این منظور، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و توابع تولید منطقه‌ای محصولات کشاورزی (SWAP) استفاده شد. پس از طرح مدل، سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری متناسب با انحرافات مجاز هر یک از مناطق، در سه حالت شبیه‌سازی شد. در انتها نیز اعمال کاهش آب دردسترس تحت سه سناریوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد صورت گرفت. داده‌های مورد نیاز مربوط به سال پایه ۱۳۹۰ می‌باشد که با مراجعه مستقیم به ادارات ذی‌ربط در شهرستان قزوین جمع‌آوری شد. برای حل مدل نیز از نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۳/۹ استفاده شد. نتایج نشان داد که کاربرد سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری راهکاری مناسب برای تخصیص منابع آب در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشد. افزون بر آن، نتایج نشان داد که با تشکیل بازار آب و انجام معاملات بین مناطق مذکور، منافع اقتصادی کشاورزان افزایش می‌یابد. اعمال کاهش آب دردسترس ۱۰ تا ۳۰ درصد نیز سبب افزایش مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی از ۹ تا ۳۷ درصد شد.

واژه‌های کلیدی: اشتراک‌گذاری، الموت، بازار آب، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، کاهش آب دردسترس

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی بخش کشاورزی در اقتصاد ملی، اشتغال‌زایی و تأمین غذای جامعه، لازم است از منابع تولید در این بخش (زمین، آب، سرمایه، نیروی‌کار و ...) به بهترین نحو استفاده شود تا ضمن کاهش در مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان نیز افزایش یابد (۲). بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب تجدیدشونده کشور به شمار می‌رود (با مصرف بیش از ۷۰ درصد). به همین دلیل، میزان تولید آب پاسخگوی تقاضای رو به افزایش کشور نیست. بنابراین، هرگونه تلاشی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در این بخش می‌تواند حیاتی باشد (۷).

مسئله مهمی که در زمینه بهره‌برداری از منابع محدود آب وجود دارد، عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب، به ویژه در زمان بروز خشکسالی‌های دوره‌ای در اغلب نقاط کشور می‌باشد. عرضه و تقاضای نامتعادل آب در بخش کشاورزی به عنوان یک محدودیت اساسی، بازده تولید محصولات را با روند کاهشی در بلندمدت مواجه می‌سازد (۳). ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب کشاورزی در مدیریت اقتصادی منابع آب هر منطقه نقش مهمی را ایفا می‌کند (۱).

اقتصاددانان کشاورزی معتقدند که در صورت وجود یک سیستم حقوق مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد بازار آب سبب افزایش ضریب اطمینان دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان گردیده و به نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس می‌کند (۱۹). ایجاد بازارهای آب در بخش کشاورزی یک راه حل امیدبخش جهت افزایش کارایی اقتصادی آب می‌باشد که کشاورزان با فرصت‌های ایجاد شده در آن، برای اجاره و فروش آب اقدام نموده و در جهت تبدیل جریان‌های سطحی و نفوذهای عمیق آن در راستای تأمین آب قابل فروش در بازار تلاش خواهند نمود که این امر منجر به کاهش مصرف کشاورزان از منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود (۲۳). مکانیسم بازار برخلاف سابقه طولانی آن در مدیریت و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: Msabuhi39@yahoo.com)

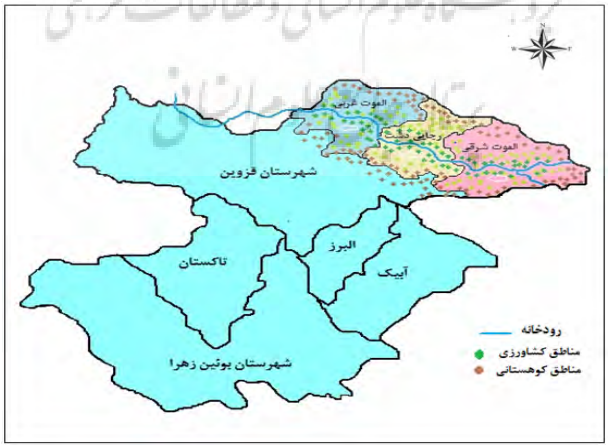
تخصیص سایر منابع، در حوضه مدیریت و تخصیص منابع آب کمتر مورد توجه برنامه‌ریزان بخش کشاورزی قرارگرفته است (۴). بهره‌برداری از منابع آب در کشور به گونه‌ای شکل گرفته که باعث شده بازار مناسبی برای این نهاده توسعه پیدا نکند که بتواند قیمت اقتصادی آب را تعیین و مبنای معامله قرار دهد. در عمل نیز تخصیص آب بین بهره‌برداران در اغلب نقاط کشور تحت مدیریت دولت بوده و به جای معیارهای اقتصادی غالباً براساس ضوابط و قوانین سیاسی و اجتماعی صورت می‌گیرد. این شکل مدیریت منابع آب منجر به تخصیص غیربهینه آن در سطح کشور شده است (۱۰).

تشکیل بازار آب و به دنبال آن اشتراک‌گذاری آب آبیاری توسط کشاورزان، متناسب با مقدار تخصیص آب در هر منطقه سبب کاهش مصرف بی‌رویه این نهاده می‌شود. وجود سهام آب برای کشاورزان در برخی مواقع سبب مصرف بی‌رویه بخشی از آب آبیاری می‌شود، درحالی که با وجود مجوز آب هر کشاورز حق برداشت حجم معینی از آب را دارد که این امر مانع از مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی می‌شود (۱۴). سیاست اشتراک‌گذاری آب در بخش کشاورزی، به عنوان یک استراتژی جدید در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب، به ویژه در شرایط کم آبی مطرح می‌شود. این استراتژی شامل مجموعه اهدافی است که افزایش بهره‌وری، بهبود حفاظت و پایداری منابع آب را در پی دارد. با توجه به اینکه بخش کشاورزی یکی از بزرگترین بخش‌های مصرف‌کننده آب می‌باشد، هرگونه افزایش در بهره‌وری آب می‌تواند از اتلاف حجم زیادی از این نهاده جلوگیری کند (۱۶).

اصلاحات مربوط به حقوق آب، حقوق صاحبان سهام و اثرات آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب از جمله مزایای سیاست اشتراک‌گذاری آب در مناطق با کشاورزی آبی می‌باشد (۲۲). در گام نخست، پیش‌بینی اثرات این سیاست بر بازده مصرف آب آبیاری در مناطقی با محصولات کشاورزی متنوع دشوار است. منافع حاصل از سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری به چگونگی تخصیص منابع آب، میزان تبادل آب آبیاری بین مناطق مختلف کشاورزی و تفاوت در بهره‌وری تاریخی استفاده از آب بستگی دارد (۲۲).

رودخانه شاهرود مهم‌ترین منبع تأمین آب در بخش شمال شرق استان قزوین می‌باشد که به واسطه مناطق رودبار الموت غربی، رجایی دشت و رودبار الموت شرقی احاطه شده است. این رودخانه از دو شاخه اصلی طالقان‌رود و الموت‌رود تشکیل شده و پس از گذشتن از سد منجیل و پیوستن به سفیدرود به دریای خزر می‌ریزد. مجموع طول رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه رودخانه شاهرود در محدوده استان قزوین حدود ۹۹۰ کیلومتر است (۵). کشاورزی آبی اغلب در فواصل عرضی نزدیک به این رودخانه صورت می‌گیرد. آب مورد نیاز برای مناطق کوهپایه‌ای اطراف نیز بوسیله سیستم‌های پمپاژ آب تأمین می‌شود. برنج، گندم، جو، لوبیا، یونجه، خلر و ماشک، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، سیر و صیفی‌جات مهم‌ترین محصولات زراعی کشت شده در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشند (۶). عدم وجود بازار آب در حوضه این رودخانه سبب شده که همه‌ساله در فصول پرآب حجم زیادی از آب آبیاری بدون استفاده از دسترس کشاورزان خارج شود. درحالی که، در فصول گرم به علت کاهش جریان آب رودخانه، اغلب کشاورزان با مسئله کمبود آب مواجه می‌باشند. موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوضه رودخانه شاهرود در شکل ۱ نشان داده شده است:

در زمینه تشکیل بازار آب در بخش کشاورزی و نقش تعیین‌کننده آن در ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب، مطالعات محدودی در داخل کشور صورت گرفته که از این جمله می‌توان به مطالعه صدر (۹) در ارتباط با بررسی ویژگی‌های بازار آب، تقاضای نهاده آب در بخش کشاورزی، عرضه آب کشاورزی، هزینه قرارداد و انتقال آب اشاره کرد. وی، تدوین و تثبیت حقوق مالکیت و دادوستد آب را یکی از شرایط لازم تشکیل بازار آب می‌داند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه شاهرود (۵)

بهلول‌وند و صدر (۴) در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضای آب و سنجش رقابت بازار آب در منطقه مجن شهرستان شاهرود پرداخته و ارزش تولید متوسط نهاده آب طی سال‌های ۸۱، ۸۲ و ۸۳ به ترتیب ۲۲۴۴، ۲۳۳۸ و ۱۸۸۷ ریال برای محصول سیب‌زمینی برآورد کردند. کیانی (۱۱) در مطالعه‌ای به برآورد توابع عرضه و تقاضای آب آبیاری در منطقه مجن شهرستان شاهرود پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که درآمد سالانه خریداران و فروشندگان آب بعد از مبادله به ترتیب ۹/۵ و ۷۲ درصد افزایش یافته و بازار آب باعث کاهش ریسک درآمدی خریداران و فروشندگان و ایجاد انگیزه سرمایه‌گذاری بخش خصوصی گردیده است. همچنین، نتایج نشان داد که جهت گسترش دامنه بازارهای آب لازم است تا هزینه‌های مبادله کاهش یابند. کیانی (۱۲) در تحقیقی پیرامون بازار آب نشان داد که مبادله آب بین زارعین در دشت ساوه باعث افزایش سود زارعین در مواقع کمبود آب، افزایش تقاضای نیروی‌کار و کاهش تبعات منفی ناشی از کمبود آب بر روی اشتغال می‌شود. کرامت‌زاده و همکاران (۱۰) با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نقش بازار آب را در تعیین ارزش اقتصادی نهاده آب در اراضی پایین دست سد شیرین دره بجنورد مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ارزش اقتصادی نهاده آب در سناریوهای مختلف نرمال و خشکسالی معادل ۴۱۶ و ۵۷۱ ریال می‌باشد. نیکویی و نجفی (۱۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان آثار رفاهی بازار آب کشاورزی در ایران به شبیه‌سازی یک بازار آب برای تحلیل جنبه‌های اقتصادی و رفاهی متأثر از کاربرد آن در شهرستان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که پس از برقراری بازار آب و امکان کاهش محدودیت آب، کشاورزان با تخصیص زمین بین محصولات مختلف، بازده برنامه‌ای خود را افزایش داده و به فروش آب مازاد و خرید آب مورد نیاز خود می‌پردازند. در این شرایط رفاه کشاورزان به طور معنی‌داری افزایش خواهد یافت.

از مطالعات خارجی انجام شده در زمینه بازار آب می‌توان به مطالعه یانگ (۲۴) درخصوص مبادلات بازاری آب اشاره کرد. وی معتقد است که مبادلات آب در بخش کشاورزی می‌تواند به صورت اختیاری یا داوطلبانه صورت گیرد. در این حالت، طرفین معامله تنها درصورتی در آن وارد خواهند شد که در مقایسه با سایر فرصت‌های موجود، برای آن‌ها بهترین نتیجه را در بر داشته باشد. علاوه بر این، چانه زدن در دادوستد آب می‌تواند به صورت فرآیندی درآید که نتایج مطلوب آن عاید هر دو طرف مبادله گردد. لاو و وان سکوالویک (۲۰) با انجام مطالعه‌ای در آفریقای جنوبی نشان دادند که هزینه‌های حاصل از انتقال مالکیت یا هزینه‌های معامله و هزینه‌های نقل و انتقال آب می‌تواند به طور معنادار و موثری بر ظرفیت هر بازار در ارتباط با کارایی عملکرد آن موثر باشد. درصورتی که بازارهای آب بخواهند توانمندی‌های بالقوه خود را بروز دهند، باید به حداقل کردن این هزینه‌ها بپردازند. گومز لیمون و مارتینز (۱۵) در اسپانیا نتیجه گرفتند که دستیابی به جنبه‌های مثبت برقراری بازار آب نیاز به یک ساختار اجتماعی و قانونی مناسب دارد. در این زمینه، استقرار بنگاه‌های نقل و انتقال آب می‌تواند مفید باشد. علاوه بر تغییرات ساختاری که برای برقراری یک بازار آب لازم است، تغییر تدریجی دیدگاه‌های کشاورزان ضروری است. در این راستا، آن‌ها باید بدانند که آب هم مانند سایر کالاهای اقتصادی، قابل نقل و انتقال و مبادله در بازار است. تنها وقتی که این شرایط فراهم گردد، می‌توان گفت که بازار آب به صورت کارآ عمل خواهد کرد. زمان و همکاران (۲۵) در ناحیه ویکوتوریای شمالی کشور استرالیا منافع اقتصادی بالقوه‌ای را در مبادله آب بین بهره‌بردان کشاورزی پیش‌بینی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که این مبادلات در بلندمدت آثار ارزشمندی در غلبه بر بحران‌هایی خشکسالی شدید برای مصرف‌کنندگان آب از جمله بهره‌برداران کشاورزی در برخواهد داشت. هوویت و همکاران (۱۸) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] به بررسی نقش بازارهای انتقال آب در کالیفرنیا پرداختند. برای این منظور، آن‌ها در مدل PMP خود از تابع هزینه نمایی[2] و تابع تولید با کشش‌های جانشینی ثابت[3] بهره گرفتند. استفاده از این نوع مدل جداگانه برای تجزیه و تحلیل سیاست ارزیابی انتقال آب بالقوه تحت شرایط خشکسالی بود. نتایج به دست آمده نشان داد که با تخصیص آب براساس مکانیزم بازار می‌توان زیان‌های درآمدی حاصل از خشکسالی را تا ۳۰ درصد کاهش داد.

مطالعات مورد بررسی حاکی از آن است که تشکیل بازارهای آب، به ویژه در سطح محلی یا منطقه‌ای علاوه بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری سبب افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان شده و از هدررفت آب‌های اضافی ممانعت می‌کند. درواقع، بازار آب می‌تواند همانند هر بنگاه دیگری، با حفظ حقوق مالکیت و در پی آن، برقراری برخی ضوابط برای بهره‌برداران، اجازه‌ی مبادله داوطلبانه آب در مقابل یک پرداخت اقتصادی را به خریداران و فروشندگان آب بدهد. به طور کلی، بازار آب به عنوان یک ابزار اقتصادی امکان دستیابی به کارایی بیشتر در تخصیص آب و حداکثر شدن رفاه اجتماعی را فراهم می‌کند.

هدف اصلی مطالعه حاضر، شبیه‌سازی یک بازار آب منطقه‌ای و تحلیل سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری متناسب با تخصیص آب مجاز هر منطقه و بررسی اثرات این سیاست در حالت‌های مختلف کاهش آب دردسترس بر الگوی کشت فعلی در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشد.

1- Positive Mathematical Programming (PMP)
2- Constant Elasticity of Substitution (CES)
3- Exponential Cost Functions (ECF)

مواد و روش‌ها

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

مدل PMP، اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط هوویت[1] معرفی شد (۸). این مدل در تجزیه و تحلیل سیاست‌های کشاورزی مفید بوده و به طور گسترده‌ای برای واسنجی مدل‌های اقتصادی استفاده می‌شود. رویکرد PMP به طور معمول مستلزم تغییر تابع هدف با استفاده از مقادیر دوگان محدودیت‌های واسنجی می‌باشد، به طوری که فعالیت‌های مشاهده شده، داده‌های سال پایه را به دست دهد (۱۷). ایده کلی در مدل PMP استفاده از اطلاعات موجود در متغیرهای دوگان محدودیت‌های واسنجی است که جواب مسئله برنامه‌ریزی خطی را به سطح فعالیت‌های موجود محدود می‌کنند. این مقادیر دوگان برای تصریح تابع هدف غیرخطی‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که سطح فعالیت‌های مشاهده شده را مجدداً از طریق جواب بهینه‌ی مسئله برنامه‌ریزی جدیدی که فاقد محدودیت‌های واسنجی است، بازسازی می‌کند (۸).

تعیین سطح تجمع مکانی (فضایی)[2] برای تعریف دامنه‌ی کاری مدل PMP و تجزیه و تحلیل سیاست‌های کشاورزی حائز اهمیت است. در واقع، تعیین این سطح به جای تحلیل سیاست‌ها در یک بعد وسیع، ترکیبی از ویژگی‌های محلی یا منطقه‌ای را با مجموعه داده‌های کوچک‌تر لحاظ نموده و سیاست‌های مورد نظر را در سطح مناطق تعیین شده مورد بررسی قرار می‌دهد (۲۱). ورود توابع تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای و تأثیرات تجمیع مکانی (فضایی) در مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) مزایای زیر را به همراه دارد:

۱- مدل PMP با لحاظ نمودن توابع تولید منطقه‌ای ناتوانی‌هایی را که در مدل‌های پیشین خود داشته رفع می‌نماید و به کمک یک تابع درجه دوم به تحلیل سیاست‌ها می‌پردازد.

۲- پس از در نظرگرفتن توابع تولید محصولات کشاورزی منطقه‌ای، مدل PMP شامل کشش‌های جانشینی ثابت (CES) می‌باشد. این قابلیت به مدل PMP کمک می‌کند تا جانشینی بین نهاده‌ها را افزایش دهد.

۳- وجود تأثیرات تجمیع مکانی (فضایی) سبب ارتقاء مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) شده و این توانایی را در مدل ایجاد می‌کند که با جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات به صورت خرد یا جزئی از سطح مناطق مورد مطالعه، به پیش‌بینی تأثیر سیاست‌های کشاورزی بپردازد (۱۸).

به طور کلی، مدل PMP ارائه شده در مطالعه حاضر دارای سه مرحله به شرح زیر می‌باشد:

1- Howitt
2- Spatial Aggregation

مرحله اول: طرح مدل برنامه‌ریزی خطی و برآورد قیمت‌های سایه‌ای

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی در جهت حداکثرنمودن سود منطقه‌ای کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و محدودیت‌های واسنجی می‌باشد. در این مرحله پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی مقادیر قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های منابع و واسنجی به دست می‌آید (۱۷). شکل ریاضی این مرحله از واسنجی مدل PMP را می‌توان برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر نشان داد:

$$Max\ \prod = \sum_{r}^{3}\sum_{i}^{7}\sum_{l}^{3}\sum_{m}^{3} P_{rilm} Y_{rilm} x_{rilm} - \sum_{j}^{5}\sum_{r}^{3}\sum_{i}^{7}\sum_{l}^{3}\sum_{m}^{3} C_{jrilm} q_{jrilm} x_{rilm} \quad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{7} a_{rilm} x_{rilm} \le b_{jr} \quad \forall r, j, l, m \quad [\mu] \quad (۲)$$

$$x_{rilm} \le \tilde{x}_{rilm} + \varepsilon \quad \forall r, i, l, m \quad [\lambda] \quad (۳)$$

$$x_{rilm} \ge 0 \quad \forall r, i, l, m \quad (۴)$$

رابطه ۱، به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثرکردن مجموع سود منطقه‌ای کشاورزان می‌باشد. در این رابطه $\prod$ بیانگر سود کشاورزان، r بیانگر مناطق (r=۱،۲،۳)، i بیانگر محصولات هر منطقه (i=۱،۲،...،۷) و j بیانگر نهاده‌ها یا عوامل تولید (j=۱،۲،...،۵)، l بیانگر نوع زمین از لحاظ تأمین آب (زمین‌های دارای حقابه، زمین‌های بدون حقابه با سیستم‌های پمپاژ آب و زمین‌های بدون سیستم پمپاژ آب)، m بیانگر نوع روش آبیاری مورد استفاده در اراضی (روش غلام گردشی، جوی و پشته‌ای و غرقابی یا کرتی) می‌باشد. P_{rilm} ، Y_{rilm} ، C_{rilm} ، x_{rilm} و q_{jrilm} نیز به ترتیب قیمت، عملکرد، هزینه، سطح زیرکشت و مقدار مصرف نهاده‌ها برای محصول i که در منطقه r با روش آبیاری m در زمین نوع l کشت می‌شود را نشان می‌دهد. a_{irlm} بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده‌ی هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه ($a_{irlm} = \tilde{x}_{irlm} / \tilde{x}_{irlm,\ land}$) به دست می‌آید. در واقع، a_{irlm} بیانگر ضرایب فنی منابع مورد استفاده در هر منطقه می‌باشد.

رابطه ۲، محدودیت منابع را در هر منطقه نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، سرمایه (شامل بذر، کود و مواد شیمیایی)، نیروی کار و ماشین‌آلات تعریف می‌شود. در این رابطه b_{jr} کل منابع

دردسترس نهاده j در منطقه r می‌باشد. رابطه ۳، محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن $\tilde{x}_{rilm}$ مقدار مشاهده شده فعالیت مورد استفاده در سال پایه و ε مقدار مثبت کوچکی را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که به ازای هر محصول یک محدودیت واسنجی به مدل اضافه می‌شود. (۲۱). اضافه‌کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که جواب بهینه برنامه‌ریزی خطی دقیقاً سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد. μ در رابطه ۲، قیمت سایه‌ای محدودیت سیستمی و λ در رابطه ۳، قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. رابطه ۴، نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن فعالیت‌ها است (۱۸).

مرحله دوم: تخمین تابع هزینه غیرخطی و تابع تولید CES

در این مرحله، مدل PMP مقادیر دوگان به دست آمده از مرحله اول را برای واسنجی تابع هزینه غیرخطی در بر می‌گیرد. پس از برآورد ضرایب تابع هزینه، تابع تولید منطقه‌ای محصولات کشاورزی با توجه به ثابت بودن کشش جانشینی بین نهاده‌ها تخمین زده می‌شود. تابع هزینه درجه دو به صورت زیر می‌باشد (۱۷).

$$TC_{rilm} = \alpha_{il} x_{rilm} + \frac{1}{2}\gamma_{rilm} x_{rilm}^{2} \qquad (۵)$$

در رابطه بالا، TC_{rilm} کل هزینه تولید محصول i در منطقه r با روش آبیاری m در زمین نوع l، α_{il} پارامتری برای نشان‌دادن هزینه متوسط (پارامتر رهگیری) و γ_{rilm} پارامتری تابع ارزش‌های دوگان محدودیت‌های واسنجی (پارامتر گاما) می‌باشد. هر یک از این پارامترهای فوق به کمک روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند (۱۷).

$$\alpha_{il} = \sum_{j}^{5} C_{jrilm}\, q_{jirlm} \qquad \forall r,i,l,m \qquad (۶)$$

$$\gamma_{rilm} = \frac{\lambda_{rilm}}{\tilde{x}_{rilm}} \qquad \forall r,i,l,m \qquad (۷)$$

تابع تولید CES این امکان را ایجاد می‌کند که یک نرخ جانشینی ثابت بین نهاده‌های تولید و ضرایب لئونتیف (با نسبتی ثابت) و ضرایب تابع کاب داگلاس (با جایگزینی واحد) به وجود آید. این تابع به کمک روش توسعه یافته هوویت (۲۰۰۹) برای هر منطقه و محصول به صورت زیر قابل تخمین می‌باشد:

$$Y_{rilm} = \tau_{rilm}\,[\,\beta_{rill1} w_{ril1}^{\rho_i} + \beta_{rill2} w_{ri2}^{\rho_i} + \beta_{rill3} w_{ri3}^{\rho_i} + \ldots + \beta_{rilj} w_{rilj}^{\rho_i}\,]^{\upsilon/\rho_i} \qquad (۸)$$

در رابطه ۸، Y_{rilm} میزان تولید محصول i در منطقه r با روش آبیاری m در زمین نوع l، h_{rilj} عامل تولید j برای محصول i در زمین نوع l و در منطقه r است. τ_{rilm} پارامتر مقیاس است و به کمک رابطه ۱۳، محاسبه می‌شود. β_{rilj} پارامتر تولید است که نسبت استفاده از عوامل تولید را نشان می‌دهد. υ ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس می‌باشد و تابع CES مستلزم آن است که این ضریب برابر با یک شود. ρ_i متغیری است که بر حسب کشش جانشینی محصولات (σ_i) تعریف و برای محاسبه آن از رابطه $\rho_i = (\sigma - 1)/\sigma$ استفاده می‌شود (۱۸). پس از تخمین تابع تولید و گرفتن مشتق اول از آن، پارامترهای β_{rilj} به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$\sum_{j=1}^{5} \beta_j = 1 \qquad (۹)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{1 + \frac{w_1^{(-1/\sigma)}}{c_1}\left(\sum_L \frac{c_L}{w_L^{(-1/\sigma)}}\right)} \qquad (۱۰)$$

$$\beta_L = \frac{1}{1 + \frac{w_1^{(-1/\sigma)}}{c_1}\left(\sum_L \frac{c_L}{w_L^{(-1/\sigma)}}\right)} \qquad (۱۱)$$

$$\times \frac{c_L w_1^{-1/\sigma}}{c_1 w_L^{-1/\sigma}}$$

$$\beta_L = \frac{c_L\, w_1^{(-1/\sigma)}}{c_1\, w_L^{(-1/\sigma)}} \cdot \beta_1 \qquad (۱۲)$$

در روابط فوق، w_L میزان نهاده یا عامل تولید Lام و C_L هزینه نهاده یا عامل تولید Lام می‌باشد. با استفاده از تعریف تابع تولید CES، می‌توان پارامتر مقیاس را برای هر منطقه و محصول محاسبه و هر یک را در سطح پایه ارزیابی نمود. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\tau_{rilm} = \frac{\left(\frac{q_i}{x_i}\right) \cdot \tilde{x}_i}{\left[\sum_{j=1}^{5} \beta_j w_j^{\rho}\right]^{\upsilon/\rho_i}} \qquad (۱۳)$$

مراحل تخمین بالا برای تمام محصولات و مناطق قابل تعمیم است. قابلیت مدل واسنجی شده در مطالعه حاضر در این است که روند تخمین پارامترها در آن برای تمام محصولات و مناطق به طور خودکار انجام می‌شود (۱۸).

مرحله سوم: ساختن مدل برنامه‌ریزی نهایی

در مرحله‌ی سوم PMP، با استفاده از تابع هزینه‌ی غیرخطی واسنجی شده، تابع تولید منطقه‌ای محصولات کشاورزی تخمین زده شده و محدودیت‌های منابع (آب، زمین، سرمایه، نیروی‌کار و ماشین‌آلات)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

$$Max\ \prod = \sum_{r}\sum_{i}\sum_{l}\sum_{m} P_{rilm}\,\tau_{rilm}\left[\beta_{ril1} w_{ril1}^{\rho} + \beta_{ril2} w_{ril2}^{\rho} + \ldots + \beta_{ril5} w_{ril5}^{\rho}\right]^{\frac{\upsilon}{\rho}} x_{rilm} - \sum_{j}\sum_{r}\sum_{i}\sum_{l}\sum_{m} C_{jrilm}\, q_{jrilm}\, x_{rilm} - \frac{1}{2}\sum_{r}\sum_{i}\sum_{l}\sum_{m} \gamma_{rilm}\, x_{rilm}^{2} \qquad (۱۴)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{7} x_{irilm} \le \overline{R}_{irlm} \qquad \forall r,l,m \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{7}\sum_{m=1}^{3} x_{rim} \le \sum_{m=1}^{3} \overline{R}_{rlm} \qquad \forall r \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^{7}\sum_{m=1}^{3} ET\, x_{rim}\, .x_{rilm} \le \overline{R}_{water} \qquad \forall r \qquad (۱۷)$$

$$W_{LOSS} - SL_{r} - \sum_{r=1}^{3} TS_{1,2,3} + \sum_{r=1}^{3} TB_{1,2,3} + W_{RAIN} \ge \overline{R}_{water} \qquad (۱۸)$$

$$W_{LOSS} + \sum_{r=1}^{3} TB_{1,2,3} \le TW_{TRADED} \qquad (۱۹)$$

$$TS_{1,2,3} \times TB_{1,2,3} = 0 \qquad (۲۰)$$

$$x_{rilm}\ , x_{rim} \ge 0 \qquad \forall r,i,l,m \qquad (۲۱)$$

رابطه ۱۴، تابع هدف غیرخطی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) را نشان می‌دهد که خود شامل تابع تولید منطقه‌ای محصولات زراعی، تابع هزینه غیرخطی می‌باشد.

رابطه ۱۵، محدودیت مربوط به نهاده زمین است و در این رابطه، $\overline{R}_{lrlm}$ بیانگر کل اراضی دردسترس می‌باشد.

رابطه ۱۶، محدودیت مربوط به اراضی با روش‌های مختلف آبیاری است و نشان می‌دهد که سطح زیرکشت اختصاص داده شده به محصولاتی که با روش‌های متنوع آبیاری می‌شوند، از کل اراضی دردسترس قابل آبیاری، تجاوز نمی‌کند. در این رابطه، x_{rim} بیانگر اراضی‌ای است که برای آبیاری محصولات در آن از روش‌های جوی و پشته‌ای، کرتی و غلام گردشی استفاده می‌شود.

رابطه ۱۷، محدودیت مربوط به میزان تلاف آب به صورت تبخیر و تعرق در هر یک از روش‌های آبیاری است. ETx_{rim} بیانگر میزان تبخیر و تعرق اراضی آبیاری‌شده با روش‌های نامبرده و $\overline{R}_{water}$ میزان کل آب قابل دسترس می‌باشد.

در رابطه ۱۸، W_{LOSS} میزان آب خارج شده از مناطق آبیاری، SL_{r} میزان بارش از دست رفته در مناطق آبیاری، $TS_{1,2,3}$ میزان آب فروخته‌شده در بین مناطق، $TB_{1,2,3}$ میزان آب خریداری شده در بین مناطق و W_{RAIN} میزان آب حاصل از بارش می‌باشد.

رابطه ۱۹، محدودیت مربوط به مبادله آب است و نشان می‌دهد که حجم آب تعیین شده برای مبادله براساس حقابه مجاز از حجم کل مبادلات آب صورت گرفته بین مناطق آبیاری (TW_{TRADED}) تجاوز نمی‌کند.

رابطه ۲۰، بیانگر آن است که یک منطقه نمی‌تواند به صورت هم‌زمان به خرید و فرش توأم آب بپردازد.

رابطه ۲۱ نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌های زراعی و یا محدودیت غیرمنفی بودن اراضی زیرکشت می‌باشد.

روش جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های موردنیاز برای انجام پژوهش حاضر مربوط به سال زراعی ۱۳۹۰ (سال پایه) است که با مراجعه مستقیم به ادارات ذی‌ربط (داده‌های مربوط به محصولات زراعی با مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی و داده‌های مربوط به آب آبیاری با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای) در شهرستان قزوین جمع‌آوری شد.

جدول شماره ۱، سطح زیرکشت محصولات عمده کشاورزی و سهم هر یک از آن‌ها را در الگوی کشت فعلی مناطق مورد مطالعه (رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی) نشان می‌دهد:

همان‌گونه که اشاره شد، آبیاری محصولات زراعی در مناطق رودبار الموت غربی، رجایی‌دشت و رودبار الموت شرقی با روش‌های کرتی یا غرقابی، غلام‌گردشی و جوی و پشته‌ای صورت می‌گیرد.

جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات عمده کشاورزی در حوضه رودخانه شاهرود در سال زراعی ۱۳۹۰

محصولات	رودبار الموت شرقی		رجایی دشت		رودبار الموت غربی	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
برنج	۱۶۵۰	۳۷/۲۸	۱۲۸۰	۳۶/۹۳	۱۸۳۰	۳۸/۸
گندم	۹۸۰	۲۲/۱۴	۷۴۵	۲۱/۴۹	۹۵۰	۲۰/۱۵
جو	۶۸۵	۱۵/۴۷	۵۱۸	۱۴/۹۵	۷۴۹	۱۵/۸۸
لوبیا	۲۳۰	۵/۲۰	۱۸۷	۵/۳۹	۲۴۶	۵/۳۳
یونجه	۲۳۷	۵/۳۵	۲۰۴	۵/۸۸	۲۵۰	۵/۲۱
خلر و ماشک	۲۰۰	۴/۵۲	۱۸۴	۵/۳۲	۲۳۲	۴/۹۲
گوجه فرنگی	۱۰۵	۲/۳۸	۹۶	۲/۷۶	۱۲۶	۲/۶۷
سیب زمینی	۱۱۵	۲/۶۰	۸۹	۲/۵۶	۱۰۵	۲/۲۳
صیفی‌جات	۱۴۲	۳/۲۱	۱۲۰	۳/۴۷	۱۵۸	۳/۳۶
سیر	۸۲	۱/۸۵	۴۳	۱/۲۵	۶۸	۱/۴۵
مجموع اراضی	۴۴۲۶	۱۰۰	۳۴۶۶	۱۰۰	۴۷۱۴	۱۰۰

مآخذ: سازمان جهادکشاورزی استان قزوین

با توجه به گزارشات سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین، راندمان استفاده از آب آبیاری در حوضه رودخانه شاهرود در روش کرتی ۳۲ درصد، در روش جوی و پشته‌ای ۴۱ درصد و در روش غلام گردشی ۳۷ درصد است. روش‌های نوین آبیاری (آبیاری تحت فشار، آبیاری قطره‌ای و آبیاری زیرزمینی) در مناطق نامبرده اغلب برای آبیاری باغات میوه استفاده می‌شود و کاربرد آن در آبیاری محصولات زراعی رایج نیست. جدول شماره ۲، سهم استفاده از روش‌های کرتی یا غرقابی (A)، غلام‌گردشی (B) و جوی و پشته‌ای (C) را در آبیاری اراضی حوضه رودخانه شاهرود نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳، مقدار حقابه مجاز و حجم آب تقاضاشده برای هر یک از مناطق رودبار الموت شرقی، رجایی‌دشت و رودبار الموت غربی را طی سه دوره زمانی متفاوت (سال پایه، سال ماقبل آن و میانگین پنج سال گذشته) نشان می‌دهد:

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با توجه به انحرافات مجاز آب در سه حالت سال پایه، سال ماقبل آن و میانگین پنج سال گذشته پس از اعمال کاهش آب دردسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در جدول ۴ نشان داده شده است. برای دستیابی به نتایج کاربردی، سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری متناسب با تخصیص مجاز و انحرافات آب برای هر یک از مناطق، به صورت زیر تعبیه شد:

جدول ۲- درصد استفاده از روش‌های متنوع آبیاری محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه شاهرود در سال زراعی ۱۳۹۰

محصولات	رودبار الموت شرقی			رجایی دشت			رودبار الموت غربی		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
برنج	۸۷	۱۳	۰	۹۰	۱۰	۰	۸۵	۱۵	۰
گندم	۱۲	۶۵	۲۳	۱۴	۶۸	۱۸	۹	۷۵	۱۶
جو	۱۰	۵۷	۳۳	۰	۷۴	۲۶	۸	۷۰	۲۲
لوبیا	۰	۶۴	۳۶	۰	۷۰	۳۰	۰	۶۰	۴۰
یونجه	۸۲	۱۸	۰	۸۵	۱۵	۰	۷۸	۲۲	۰
خللروماشک	۶۸	۲۸	۴	۷۳	۲۷	۰	۷۰	۲۳	۷
گوجه‌فرنگی	۶	۴۵	۴۹	۳	۵۴	۴۳	۰	۶۰	۴۰
سیب زمینی	۰	۲۲	۷۸	۵	۲۱	۷۴	۳	۱۸	۷۹
صیفی‌جات	۳۰	۳۵	۳۵	۲۴	۴۲	۴۴	۲۷	۴۱	۳۲
سیر	۷۲	۱۸	۱۰	۸۳	۱۷	۰	۷۸	۱۶	۶

مآخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- حجم آب تقاضاشده در حوضه رودخانه شاهرود طی سه دوره متفاوت (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

حجم آب تقاضا شده	رودبارالموت شرقی	رجایی دشت	رودبارالموت غربی	مجموع آب تقاضا شده
حداکثر حقابه مجاز در هر منطقه	۵۴/۱۸	۴۳/۲۸	۶۰/۱۴	۱۵۷/۶
حجم آب تقاضاشده در سال پایه (۱۳۹۰)	۳۱/۲۵	۲۵/۹۷	۳۶/۲۴	۹۳/۴۶
حجم آب تقاضا شده در سال ۱۳۸۹	۳۷/۴۳	۳۶/۰۸	۳۰/۹۷	۱۰۴/۴۸
میانگین آب تقاضا شده در ۹۰- ۱۳۸۵	۴۱/۶۰	۲۹/۶۷	۴۵/۲۳	۱۱۶/۵

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین

۱- انحراف آب نسبت به تخصیص مجاز آب در سال پایه (۱۳۹۰) کاهش یابد (RRA). ۲- انحراف آب نسبت به تخصیص مجاز آب در سال قبلی (۱۳۸۹) کاهش یابد (RRB). ۳- انحراف آب نسبت به تخصیص مجاز آب و میانگین انحرافات پنج سال گذشته کاهش یابد (RRC).

اعمال کاهش آب دردسترس هر منطقه تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد صورت گرفت و اثرات آن بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان بررسی شد.

با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود که با اعمال سناریوهای کاهش آب دردسترس ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد طی دوره رشد محصولات زراعی در حوضه رودخانه شاهرود، آب تقاضاشده در سال پایه به ترتیب به میزان ۸۴/۱۲، ۷۴/۷۷ و ۶۵/۴۲ میلیون مترمکعب در سال تغییر می‌کند. علاوه بر این، جدول شماره ۴، میزان آب تخصیص یافته در هر منطقه را با توجه به انحرافات موجود به وضوح نشان می‌دهد. با اعمال کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد، میزان داد و ستد آب آبیاری در مناطق رودبار الموت شرقی، رجایی دشت و رودبار الموت غربی به ترتیب ۲۵/۶۲، ۱۷/۲۰ و ۴۱/۳۰ میلیون مترمکعب است. درحالیکه، با اعمال کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد میزان داد و ستد آب در این مناطق به ترتیب ۱۸/۸۶، ۲۴/۱۳ و ۲۲/۴۳ میلیون مترمکعب بوده که نشان از کاهش داد وستد آب در رودبار الموت غربی و رودبار الموت شرقی و افزایش داد و ستد آب در رجایی دشت می‌باشد.

جدول ٤- تخصیص آب آبیاری در حوضه رودخانه شاهرود با توجه به انحرافات مجاز آب تحت شرایط کاهش آب دردسترس (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

تخصیص آب براساس سناریوهای کاهش آب دردسترس	رودبارالموت شرقی	رجایی دشت	رودبارالموت غربی	مجموع آب تخصیص داده شده
۱۰ درصد				
تخصیص براساس سال پایه	۲۱/۷۴	۱۹/۳۴	۴۳/۰۴	۸۴/۱۲
RRA	۲۸/۱۸	۲۳/۴۲	۳۲/۵۲	۸۴/۱۲
RRB	۳۱/۶۸	۲۹/۴۷	۲۲/۹۷	۸۴/۱۲
RRC	۳۵/۱۳	۲۵/۰۷	۲۳/۹۲	۸۴/۱۲
داد و ستد کوتاه مدت	۲۵/۶۲	۱۷/۲۰	۴۱/۳۰	۸۴/۱۲
۲۰ درصد				
تخصیص براساس سال پایه	۱۶/۵۴	۲۸/۱۳	۳۰/۱۰	۷۴/۷۷
RRA	۲۴/۶۱	۲۲/۹۲	۲۷/۲۴	۷۴/۷۷
RRB	۲۶/۳۲	۲۴/۸۱	۲۳/۶۴	۷۴/۷۷
RRC	۲۸/۲۸	۲۶/۰۶	۲۰/۴۳	۷۴/۷۷
داد و ستد کوتاه مدت	۲۳/۹۳	۲۵/۳۰	۲۵/۵۴	۷۴/۷۷
۳۰ درصد				
تخصیص براساس سال پایه	۱۰/۴۷	۲۸/۸۰	۲۶/۱۵	۶۵/۴۲
RRA	۲۱/۹۰	۱۸/۱۵	۲۵/۳۷	۶۵/۴۲
RRB	۲۲/۲۷	۲۰/۱۵	۲۳/۰۰	۶۵/۴۲
RRC	۲۶/۱۲	۲۳/۷۶	۱۵/۵۴	۶۵/۴۲
داد و ستد کوتاه مدت	۱۸/۸۶	۲۴/۱۳	۲۲/۴۳	۶۵/۴۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵- میزان خرید و فروش آب بین مناطق حوضه رودخانه شاهرود پس از اشتراک‌گذاری آب آبیاری تحت سناریوهای کاهش آب دردسترس (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

اعمال سناریوهای کاهش آب دردسترس در حالات مختلف اشتراک‌گذاری آب	میزان داد و ستد در مناطق با کشاورزی آبی		
	رودبارالموت شرقی	رجایی دشت	رودبارالموت غربی
تخصیص آب براساس سال پایه			
کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد	۳/۸۸	−۲/۱۴	−۱/۷۴
کاهش آب دردسترس ۲۰ درصد	۷/۳۹	−۲/۸۳	−۴/۵۶
کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد	۸/۳۹	−۴/۶۷	−۳/۷۲
تخصیص آب بر اساس RRA			
کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد	−۲/۵۶	−۶/۲۲	۸/۷۸
کاهش آب دردسترس ۲۰ درصد	−۰/۶۸	۲/۳۸	−۱/۷
کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد	−۳/۰۴	۵/۹۸	−۲/۹۴
تخصیص آب براساس RRB			
کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد	−۶/۰۶	−۱۲/۲۷	۱۸/۳۳
کاهش آب دردسترس ۲۰ درصد	−۲/۳۹	۰/۴۹	۱/۹
کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد	−۳/۴۱	۳/۹۸	−۰/۵۷
تخصیص آب براساس RRC			
کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد	−۹/۵۱	−۷/۸۷	۱۷/۳۸
کاهش آب دردسترس ۲۰ درصد	−۴/۳۵	−۰/۷۶	۵/۱۱
کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد	−۷/۲۶	۰/۳۷	۶/۸۹

مآخذ: یافته‌های تحقیق

جدول شماره ۵، میزان داد و ستد آب بین مناطق حوضه رودخانه شاهرود را بر اساس سال پایه و با توجه به انحرافات مجاز هر منطقه تحت سناریوهای کاهش آب دردسترس ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نشان می‌دهد. مقادیر عدی کوچکتر از صفر (منفی) در این جدول بیانگر میزان آب به فروش رسیده و مقادیر بزرگتر از صفر (مثبت) میزان آب خریداری شده توسط هر یک از مناطق رودبار الموت شرقی، رجایی دشت و رودبار الموت غربی را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۵، ملاحظه می‌شود که با اعمال سناریوی کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد، منطقه رودبار الموت شرقی نیاز خود به آب را (۳/۸۸ میلیون مترمکعب) با خرید ۲/۱۴ و ۱/۷۴ میلیون مترمکعب از منطقه رجایی دشت و رودبار الموت غربی تأمین می‌کند، درحالی این منطقه با اعمال کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد در شرایطی که انحرافات آب کمتر از تخصیص مجاز آب باشد (RRC) با مازاد آب آبیاری مواجه بوده و ۹/۵۱ میلیون مترمکعب آب را سالانه به منطقه رودبار الموت غربی می‌فروشد. میزان داد و ستد آب بین سایر مناطق در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود.

جدول شماره ۶، درصد تغییرات اراضی زیرکشت را برای حالات مختلف سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری (RRA، RRB و RRC) تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب دردسترس نشان می‌دهد. مقادیر عددی کمتر از صفر (منفی) درصد کاهش سطح زیرکشت و مقادیر بزرگتر از صفر (مثبت) درصد افزایش سطح زیرکشت هر یک از محصولات را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۶، ملاحظه می‌شود که با اعمال کاهش آب دردسترس ۱۰ تا ۳۰ درصد مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی از ۹ تا ۳۷ درصد تغییر می‌کند. کمترین تغییرات سطح زیرکشت یک درصد بوده که با کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد درحالتی که انحرافات آب نسبت به تخصیص مجاز آب در سال قبلی (۱۳۸۹) کاهش یافته، اتفاق می‌افتد. بیشترین تغییرات سطح زیرکشت نیز ۱۴ درصد بوده که با کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد درحالتی که انحرافات آب نسبت به تخصیص مجاز آب و میانگین انحرافات پنج سال گذشته کاهش یافته، اتفاق می‌افتد. تغییرات سطح زیرکشت در زراعت محصولات عمده حوضه رودخانه شاهرود نشان می‌دهد که کاهش آب دردسترس تنها برای برخی از محصولات سبب افزایش آب آبیاری شده است. از جمله این محصولات خلر و ماشک می‌باشد. تغییرات سطح زیرکشت این محصول در حالت‌های مختلف کاهش آب دردسترس مقادیر مثبتی را شامل می‌شود و از ۲ تا ۱۳ درصد متغیر می‌باشد. افزون بر آن، سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی با اعمال سناریوی کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد به میزان ۷ تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد که نیاز این محصول به آب را در سطح زیرکشت اضافه شده، بیشتر می‌کند.

جدول ٦- درصد تغییرات الگوی کشت متناسب با سیاست اشتراک‌گذاری آب تحت شرایط کاهش آب دردسترس

محصولات	کاهش آب دردسترس ۱۰ درصد			کاهش آب دردسترس ۲۰ درصد			کاهش آب دردسترس ۳۰ درصد		
	RRA	RRB	RRC	RRA	RRB	RRC	RRA	RRB	RRC
برنج	-۲	۰	-۱	۳	۷	-۶	۲	-۵	۷
گندم	۶	۴	-۲	-۱	۵	۹	-۳	۶	-۱
جو	-۷	۹	۸	-۲	-۴	-۸	۴	۳	۰
لوبیا	۲	-۳	-۴	۱	-۳	۰	-۲	-۱	۶
یونجه	-۴	-۶	۰	-۵	۱۱	۸	۴	-۱۱	-۷
خلروماشک	۲	۷	۳	۴	۷	۱۳	۵	۸	۶
گوجه‌فرنگی	۱۴	-۱۲	-۲	۸	-۱۳	-۳	۴	۰	-۸
سیب زمینی	۰	-۵	۷	۹	-۸	۴	۷	۱۰	۹
صیفی‌جات	-۸	۲	-۳	-۶	۵	-۸	-۶	۷	۵
سیر	۲	۵	-۱	-۲	۳	-۱	-۴	-۵	-۳
مجموع تغییرات	۳	۱	۵	۹	۱۰	۸	۱۱	۱۲	۱۴

مآخذ: یافته‌های تحقیق

به طور کلی، نتایج حاکی از آن است که اعمال کاهش آب دردسترس برای اغلب محصولات زراعی در مناطق حوضه رودخانه شاهرود سبب کاهش آب آبیاری شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر به منظور استفاده توأم از دو راهکار تشکیل بازار آب و کاهش آب دردسترس، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و توابع تولید منطقه‌ای محصولات کشاورزی استفاده شد. مدل PMP ارائه شده با توجه به قابلیت بالای آن در تحلیل سیاست‌های کشاورزی، با گنجاندن توابع تولید منطقه‌ای و تابع هزینه غیرخطی در سه مرحله پیاپی حل شد. نتایج نشان داد که با تشکیل بازار آب و داد و ستد بین مناطق مورد مطالعه، از هدررفت آب آبیاری در فصول ترسالی جلوگیری می‌شود و در فصول گرم سال نیز با کاهش منابع آب موجود، هر منطقه می‌تواند آب موردنیاز خود را با داد و ستد تأمین نماید. همچنین، نتایج نشان داد که اعمال کاهش آب دردسترس توأم با تشکیل بازار آب، سبب کاهش تقاضای آب توسط هر یک از مناطق رودبار الموت شرقی، رجایی دشت و رودبار الموت غربی می‌شود. افزون بر آن، با اعمال سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش آب دردسترس، مجموع سطح زیرکشت محصولات حوضه رودخانه شاهرود به ترتیب ۹، ۲۷ و ۳۷ درصد افزایش یافت.

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، ۲۵(۲): ۲۴۵-۲۳۷.

۲- باقریان س.، صالح ا. و پیکانی غ.ر. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی الگوی کشت در کازرون با روش برنامه‌ریزی خطی، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مشهد.

۳- باریکانی ا. و خلیلیان ص. ۱۳۹۰. مدیریت پویای سفره آب زیرزمینی در بخش کشاورزی: مطالعه موردی دشت قزوین. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

۴- بهلول‌وند ع. و صدر ک. ۱۳۸۶. نقش و اهمیت تشکل‌های آب‌بران در تشکیل بازارهای آب، مطالعه موردی، بازار آب مجن. مجله اقتصاد کشاورزی، ۱(۲): ۸۰- ۶۳.

۵- سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین. ۱۳۸۹. دفتر مطالعات پایه منابع آب.

۶- سازمان کل مطالعات و بررسی‌های اقتصادی. ۱۳۹۰. خلاصه سیمای آب و هوا و منابع آب استان قزوین.

۷- حیدری ن.، قدمی ع. و کانونی ا. ۱۳۸۵. کارایی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف کشور (کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان)، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.

۸- صبوحی م. ۱۳۸۵. بهینه سازی الگوهای کشت با توجه به مزیت نسبی حوضه آبریز در تولید محصولات زراعی: مطالعه موردی استان خراسان. پایان نامه دکتری. دانشگاه شیراز.

۹- صدر ک .۱۳۸۲. نقش نهاد بازار و بخش عمومی در مدیریت و توسعه پایدار منابع آب. دفتر اقتصاد آب وزارت نیرو.

۱۰- کرامت‌زاده ع.، چیذری ا. و شرزه‌ای غ. ۱۳۹۰. نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) (مطالعه موردی: اراضی پایین دست سد شیرین دره بجنورد). مجله تحقیقات و توسعه کشاورزی ایران، ۲-۴۲(۱): ۲۹-۴۴.

۱۱- کیانی غ. ۱۳۸۸. نقش بازار در تخصیص منابع آب (مطالعه موردی: بازار آب مجن). پایان نامه دکتری، دانشگاه تهران.

۱۲- کیانی غ. ۱۳۸۹. منافع بالقوه تشکیل بازارهای آب، مطالعه موردی منطقه ساوه. نشریه علوم محیطی، ۶ (۴): ۷۲- ۶۵.

۱۳- نیکوئی ع. و نجفی ب. ۱۳۹۰. آثار رفاهی برقراری بازار آب کشاورزی در ایران، مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری اصفهان. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال نوزدهم، شماره ۷۶، زمستان ۱۳۹۰.

14- Droitsch D., Robinson B. 2009. Share the water: building a secure water future for Alberta, published jointly by can more: water matters society of Alberta, and Vancouver: eco justice, AB. www.water-matters.org/docs/share-the-water.pdf.

15- Gomez-Limon J.A. and Martinez Y. 2006. Multi-criteria modeling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study, European journal of operational research, 173(1): 313-336.

16- Grafton R.Q., Landry C., Libecap G.D. and O'Brien J.R. 2009. Water markets: Australia's murray-darling basin and the U.S. Southwest. International center economic research working paper series, ICER, and Turin Italy.

17- Howitt R.E., Medellin-Azuara J. and MacEwan D. 2009. Estimating the economic impacts of agricultural yield related changes for California. Final Paper, a Paper from California Climate Change Center, 29P.

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- Johansson R. 2002. Pricing irrigation water: a literature survey. The World Bank working paper, Washington. D.C.

20- Louw D. and Van Schalkwyk H. 2002. Efficiency of water allocation in South Africa: water markets as an alternative. Paper presented at the conference irrigation water policies: micro and macro considerations, Agadir, Morocco, June 15-17.

21- Medellan-Azuara J., Harou J.J. and Howitt R.E. 2010. Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. 408: 5639–5648.

22- Wheeler S., Bjornlund H., Shanahan M. and Zuo A. 2009. Who trades water allocations? Evidence of the characteristics of early adopters in the goulburn Murray irrigation district, Australia, agricultural economics 40, 631–643.

23- Wichelns D. 1999. An economic model of water logging and salinization in arid regions, ecological economics, 30: 475- 491.

24- Young R. 1986. Why are there so few transactions among water users, American journal of agricultural economics? 68(5): 1143-1151.

25- Zaman A.M., Malano H.M. and Avidson B.D. 2009. An integrated water trading–allocation model, applied to a water market in Australia, agricultural water management, 96: 149 –159.