نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

اثربخشی تخصیص آب بر پایه مبادله مجوزهای آبی کشاورزان تحت عدم‌حتمیت (مطالعه موردی: روستای عباس‌آباد، سد وشمگیر)

پری‌ناز جانسوز[۱]، *جواد شهرکی[۲] و محمد عبدالحسینی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، [۲]دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، [۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۲/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین کارکردهای بازار آب، ایجاد فضایی رسمی و قانونی برای مبادله داد و ستد مجوزهای آبی بین کشاورزان است. سیاست مبادله آب در بخش کشاورزی به‌عنوان یک استراتژی جدید در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب به‌ویژه در شرایط کم‌آبی مطرح می‌شود. این استراتژی شامل مجموعه اهدافی است که افزایش بهره‌وری، بهبود حفاظت و پایداری منابع آب را در بردارد. بنابراین قبل از تشکیل هر بازار آب، آگاهی از اثربخشی و کارایی مبادله مجوزهای آبی می‌تواند کمک شایانی به تشکیل یا عدم‌تشکیل بازار آب نماید. بر این اساس، هدف از این پژوهش بررسی اثربخشی برنامه مبادله مجوزهای آبی به‌عنوان یک راهکار در استفاده بهینه آب در بین کشاورزان و مدیریت مزرعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به‌منظور بررسی اثربخشی برنامه مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان، دو برنامه تخصیص آب تحت سیستم عدم‌مبادله و مبادله بر اساس مدل برنامه‌ریزی تصادفی با پارامترهای بازه‌ای مدل‌سازی شد. مکانیزم اول، تخصیص منبع آب در سیستم عدم‌مبادله و مکانیزم دوم، تخصیص آب در سیستم مبادله است. سپس نتایج به‌دست آمده از دو سیستم با یکدیگر بر اساس شاخص حجم آب آزاد شده (صرفه‌جویی در مصرف آب) و میزان کاهش در کمبود آب مقایسه می‌گردد. برای این مطالعه، تعداد ۳۲ مزرعه موجود در روستای عباس‌آباد که همگی از آب سد وشمگیر واقع در شهرستان آق‌قلا تغذیه شده و با شرکت آب‌بران سد قرارداد دارند، انتخاب شدند.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که تخصیص آب، با اجرای برنامه مبادله به‌گونه‌ای تغییر خواهد کرد که طبق این برنامه، میزان کل مصرف آب برابر با [۹۸٤/۱٦,۱۱۱۲/٦۷] هزار مترمکعب و کل کمبود آب در این برنامه معادل [۲۲۸/۱٤,۳۷۷] هزار مترمکعب در [۱۸٤,۲۰۸] هکتار زمین آبیاری‌شده می‌باشد در صورتی‌که در برنامه عدم‌مبادله میزان مصرف برابر [۱۲۵۰,۱۲۹۸] هزار مترمکعب در [۲۳۳,۲٤۲] هکتار زمین آبیاری‌شده و کمبود آبی برابر با [٤٦۸/۳۲,٦۸۱/۱۹] هزار مترمکعب خواهد شد. همچنین سود کل سیستم در هر دو برنامه برابر [۱۵٤/۵٤۳,۲۲۲/٤۳۱] میلیون تومان خواهد بود.

* مسئول مکاتبه: j.shahraki@eco.usb.ac.ir

نتیجه‌گیری: با توجه به دو شاخص صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش کمبود آب به‌عنوان شاخص‌های اثربخشی، صرفه‌جویی کلی در مصرف آب با اجرای برنامه مبادله به‌میزان [۱۸۵/۳٤,۲٦٥/۰۱] هزار مترمکعب در این روستا خواهد شد. همچنین کمبود آب تحت این برنامه به‌میزان [۱۷/۲٤۰,۳٤٤/۱۷] هزار مترمکعب نسبت به برنامه عدم‌مبادله با حفظ سود کشاورزان کاهش خواهد یافت. بنابراین برنامه مبادله می‌تواند به تخصیص کاراتر و بهینه‌تر آب به‌خصوص در شرایط خشکسالی منجر شود.

واژه‌های کلیدی: مبادله، عدم‌حتمیت، برنامه‌ریزی تصادفی، سد وشمگیر، عباس‌آباد

مقدمه

در ایران تقاضا برای آب به‌دلیل رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا رو به فزونی است. در عین‌حال، عرضه منابع آب سطحی و زیرزمینی محدود و متغیر بوده و به‌طور فزاینده در معرض خطر تغییر اقلیم و تخریب زیست‌محیطی قرار دارد. این در شرایطی است که در بسیاری از مناطق، توسعه منابع آب به واسطه سیاست‌های طرف عرضه، به حداکثر پتانسیل خود رسیده و حتی در پاره‌ای از موارد، میزان استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی از محدوده‌های مجاز و پایدار برداشت نیز فراتر رفته است. توزیع نامناسب منابع آب شیرین نیز چالش مهم دیگری است به‌طوری‌که موجودی آن در برخی از نقاط فراوان اما عرضه آن در زمان‌ها و جاهایی که به آن نیاز بیش‌تری وجود دارد، محدود است.

پیامد این امر، کمیابی فزاینده منابع آب در بخش‌های بزرگی از کشور و تشدید رقابت برای آن در بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده است. افزون بر این، روز به روز روز بر اهمیت مسأله محیط زیست در برنامه‌ریزی منابع آب و تأمین حقابه‌های زیست‌محیطی و حفظ جریان‌های اکولوژیکی رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها افزوده می‌شود. در این صورت این سؤال اساسی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان آب کشور مطرح است که تقاضاهای جدید برای منابع آب ناشی از رشد جمعیت و توسعه اقتصادی-اجتماعی در شرایطی که منابع آب موجود در حداکثر مقدار پتانسیل خود تخصیص یافته‌اند، از چه راهی باید تأمین شود. توجه به این مهم، در آینده نزدیک با کاهش منابع قابل‌استحصال، بیش‌تر احساس خواهد شد. این امر، ضرورت استقرار یک نظام محوری که بتواند بسیاری از این مسائل را حل کند را نشان می‌دهد. در این زمینه و در راستای حل چالش‌ها و اعمال سیاست‌های اصلاحی، سه راهکار اساسی مطرح شده است: ۱) اصلاحات در بخش سازمانی و نظارتی مدیریت منابع آب، ۲) تقویت مدیریت، جلب مشارکت‌های اجتماعی و بخش خصوصی، ۳) تثبیت حقوق آب قابل‌مبادله و تشکیل و تقویت بازارهای آب. تاکنون نهاد مدیریتی منابع آب کشور برنامه‌هایی در خصوص دو راهکار اول داشته ولی با توجه به آماده نبودن فضای قانونی و حقوقی مناسب، از راهکار سوم استفاده مقتضی به عمل نیامده و این درک مشترک بین سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان منابع آب کشور حاصل شده است که تخصیص آب تحت سازوکارهای موجود ناکارآمد بوده و تکیه بر سازوکارهای بازاری برای تخصیص به‌طور گسترده‌ای مورد پذیرش قرار گرفته است (۷).

هم‌اکنون سازوکارهای انعطاف‌پذیر مبتنی بر بازار، نقش اندکی در تخصیص منابع آب کشور داشته و در عوض تعهدات سیاسی و ترتیبات اداری قدیمی مبنای تصمیم‌گیری در تخصیص است. پیامد این امر، استفاده

ناکارآمد و با بهره‌وری پایین از منابع آب در بخش‌های مختلف مصرف اعم از کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشد (۱۸). زیرا تشکیل بازار آب و به‌دنبال آن اشتراک‌گذاری آب آبیاری توسط کشاورزان، متناسب با مقدار تخصیص آب در هر منطقه سبب کاهش مصرف بی‌رویه این نهاده می‌شود (۲۲). وجود سهام آب برای کشاورزان در برخی مواقع سبب مصرف بی‌رویه بخشی از آب آبیاری می‌شود در حالی‌که 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 (۳). در این میان مبادله مجوزهای آب ابزاری اقتصادی است که باعث بهبود ارزش آب شده و از طریق انتقال آب به مصارف کاراتر، کارایی مصرف آب را افزایش داده و موجب توزیع مناسب و متناسب با کارایی آن میان کشاورزان می‌گردد (۱۷). در صورت وجود مبادله آب[1]، هزینه فرصت آب افزایش می‌یابد که این امر باعث می‌شود حتی کشاورزانی که به‌طور مستقیم به مبادله آب نمی‌پردازند در نتیجه مبادله آب، انگیزه کافی برای استفاده کاراتر از آب داشته باشند (۲۱). همچنین در نتیجه مبادله مصرف و تقاضای آب تعدیل خواهد شد که آن نیز به نوبه خود منجر به تغییر الگوی کشت و بهبود درآمد فعالیت‌های کشاورزی (کل درآمد کشاورزان) می‌شود (۵).

سیاست مبادله آب در بخش کشاورزی، به‌عنوان یک استراتژی جدید در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب به‌ویژه در شرایط کم‌آبی 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 است، هرگونه افزایش در بهره‌وری آب می‌تواند از اتلاف حجم زیادی از این نهاده جلوگیری کند. تجارب برخی از کشورها نشان می‌دهد که ایجاد فضایی برای مبادله و داد و ستد آب؛ یکی از کاراترین و انعطاف‌پذیرترین روش‌ها برای غلبه بر این چالش‌هاست (۱، ۳).

در دهه‌های اخیر، برنامه‌های مختلف مبادله آب به‌دلیل کارایی آن در برخورد با مسأله کمبود آب در دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه پیدا کرده است (۲). برنامه داد و ستد و مبادله بین کشاورزان باعث شده است تا امکان استفاده از آب مازاد در مصارف با ارزش بالاتر فراهم‌شده و همچنین سیستم، آب کم‌تری را مصرف کند (۱٦). کیم (۲۰۱۳) در مقاله کتابخانه‌ای خود با نام خشکسالی و سیاست آب در استرالیا، به مطالعه مبادله آب و سازگاری اقلیم در حوضه مری دارلینگ استرالیا پرداخت. این مقاله با یادآوری خشکسالی گذشته و حال حاضر این حوضه، به منفعت و هزینه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مبادله آب به‌عنوان یک ابزار برای مقابله با خشکسالی، کمبود آب و تغییرات اقلیم در استرالیا پرداخت (۸).

لی و همکاران (۲۰۱٤) با مدل برنامه‌ریزی تصادفی فازی به مسأله تخصیص آب تحت مبادله آب در حوضه آبی زانگ در چین پرداخت. نتایج نشان داد که سیستم تخصیص تحت مبادله و داد و ستد آب در سطوح مختلف جریان رودخانه می‌تواند آب مازادی را ایجاد کند که به‌ویژه در مناطق با محدودیت آب به مصارف با ارزش بالاتر تخصیص یابد (۹). پالازا و بروزویو (۲۰۱٤) به بررسی مبادله مجوز پروانه‌های آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب با مدل برنامه‌ریزی ریاضی در تعدادی از چاه کشاورزی در استرالیا و توزیع و مقدار هزینه‌های مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان پرداختند. نتایج آن‌ها بر کارآمد بودن برنامه مبادله در مصرف بهینه‌تر آب دلالت دارد (۱٤).

1- Water Trading

پرهیزکاری و صبوحی (۲۰۱۳) به شبیه‌سازی بازار آب و تحلیل اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی با مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)[1] پرداختند. نتایج نشان داد که کاربرد سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری راه‌کاری مناسب برای تخصیص منابع آب در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشد. افزون بر آن، با تشکیل بازار آب و انجام معاملات بین مناطق مذکور، منافع اقتصادی کشاورزان افزایش نیز می‌یابد. همچنین اعمال کاهش آب در دسترس به‌میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد سبب افزایش مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی از ۹ تا ۳۷ درصد شد (۱۵). اما نکته مهم قبل از اجرای هر برنامه مبادله و به اشتراک‌گذاری مجوزهای آبی بین کشاورزان، بررسی اثربخشی و نتایج به‌دست آمده از اجرای این برنامه است (۱۱، ۲۰).

از طرفی مشکلی که کشاورزان در ارتباط با منبع تامین آب مورد نیاز خود با آن روبرو هستند وابستگی شدید این منبع به‌میزان بارندگی و برف می‌باشد، بنابراین اغلب کشاورزان با نگرانی و عدم‌حتمیت عرضه آب از منبع مورد استفاده مواجه هستند چرا که مجوزهای آبی دریافت شده توسط ایشان ارتباط مستقیم با میزان عرضه آبی منبع (چاه، سد یا رودخانه) دارد. در فرایند کشاورزی، کشاورزان باید از میزان آب تخصیص‌یافته برای فعالیت‌هایشان آگاهی داشته باشند. به‌علاوه ایشان باید بدانند چه مقدار از آب وعده داده شده به آن‌ها ممکن است تأمین نشود تا بتوانند در صورت لزوم، آب را از منبع گران‌تر تهیه کرده و یا توسعه فعالیت‌های خود را کاهش دهند. اگر مقدار وعده داده شده در آینده تخصیص یابد، سود خالص سیستم افزایش‌یافته و عدم‌تخصیص منجر به ضررده‌ی سیستم خواهد شد. بنابراین در هنگام وجود عدم‌حتمیت، مدیر باید طرحی را ایجاد کند که در آن علاوه بر تخصیص کارآمد آب، سود سیستم نیز بیشینه گردد.

این در حالی است که در اکثر پژوهش‌ها انجام شده در زمینه مدیریت آب در بخش کشاورزی، عدم‌حتمیت‌های موجود نادیده گرفته شده است. بر این اساس در نظر گرفتن عدم‌حتمیت جریان عرضه آب در تصمیم‌گیری مدیریت و تخصیص منابع آب و عملکرد برنامه مبادله آب ضروری است (۱۲). بنابراین قبل از تشکیل یک بازار رسمی، پژوهش و بررسی در مورد نتایج و اثربخشی به اشتراک‌گذاری و مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان به‌عنوان یک راهکار عملی در جهت کاهش تلفات، صرفه‌جویی در آب و بازتخصیص آب برای مصرف‌کننده با ارزش بالاتر برای آب امری ضروری است. این امر همچنین در بهبود مصرف آب و فراهم‌شدن اطمینان بیش‌تر برای کشاورزان از تامین آب به‌خصوص در شرایط خشکسالی بسیار مؤثر و ضروری می‌باشد. بنابراین با توجه به منافع داد و ستد و مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان، هدف از این پژوهش، بررسی اثربخشی مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان به‌عنوان یکی از راه‌حل‌ها تحت عدم‌حتمیت جریان آب در شرایط بحران کنونی کشور از لحاظ منابع آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

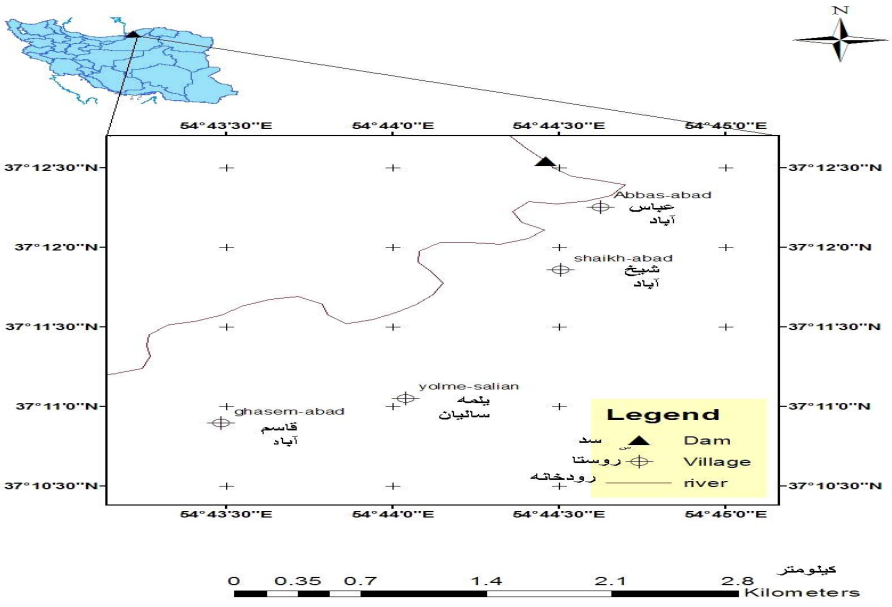
معرفی منطقه مورد مطالعه: سد وشمگیر در استان گلستان و در ٤٥ کیلومتری شمال‌شرقی آق‌قلا و حدود ٥ کیلومتری شرق شهر انبارالوم، بر روی آبراهه اصلی حوضه آبریز گرگانرود احداث گردیده است. طراحی اولیه و ظرفیت تنظیم و نیز توان عبور آب کانال‌های آبیاری شبکه سد برای ٦٠ درصد غلات و ٤٠ درصد پنبه بوده یعنی از مجموع ۲۱ هزار هکتار شبکه باید ۱۲٦۰۰ هکتار از اراضی، تحت پوشش کشت غلات و ۸٤۰۰ هکتار زیر کشت پنبه قرار گیرد.

در حال حاضر حداکثر توان آبیاری سد وشمگیر حدود ۱۲٤۰۰ هکتار است که عدم‌رعایت الگوی کشت (٦٠ درصد غلات و ٤٠ درصد پنبه) توسط

1- Positive Mathematical Programming

کشاورزان باعث عدم‌امکان آبیاری کامل محصولات شده و علاوه بر ایجاد درگیری و اختلال در آبیاری، موجب نقصان محصول می‌شود. تبدیل قطعات حدود ۵۰ هکتاری اولیه به قطعات حدود ۵ هکتاری، تبدیل کشاورزی اقتصادی به کشاورزی معیشتی، عدم‌پیشرفت و تحول روش‌های آبیاری در مزارع و مسائل اجتماعی و اقتصادی دیگر، مشکلات بهره‌برداری از سد وشمگیر را افزایش داده و قطب جمعیتی ساکن در منطقه را نگران نموده است (۱۹).

در این پژوهش، روستای عباس‌آباد تحت تغذیه سد وشمگیر و واقع در ساحل چپ سد برای مطالعه انتخاب شد. دلیل انتخاب این روستا درگیری شدید کشاورزان در سال‌های تحت خشکسالی و هنگام مواجه با کمبود آب می‌باشد. البته این وضعیت در روستاهای مشابه دیگر نیز وجود دارد ولی این انتخاب بر پایه گزارش درگیری شدید کشاورزان در مواجه با کم‌آبی صورت گرفته است. هر چند که روش انجام محاسبات و نتایج آن قابل‌استفاده برای روستاهای دیگر نیز خواهد بود. شکل ۱ موقعیت روستای عباس‌آباد و سد وشمگیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت سد وشمگیر و روستای عباس‌آباد.

Figure 1. The Situation of Voshmgir Dam and Abbas-Abad Village.

معرفی مدل: مدل‌های ریاضی به‌عنوان ابزاری جهت تحقق اهداف مدیران و برنامه‌ریزان سیستم‌های مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در منابع آب را با توجه به سه عامل متغیرها، دسترسی به داده‌ها، محدودیت‌ها و اهداف، به سه دسته عمده تقسیم می‌کنند: برنامه‌ریزی خطی[1] به اختصار LP شامل: الف) برنامه‌ریزی خطی با محدودیت تصادفی[2]، ب) برنامه‌ریزی خطی استوکاستیک[3] و پ) برنامه‌ریزی خطی استوکاستیک با برگشت[4]. برنامه‌ریزی پویا[5] و به اختصار DP شامل: الف) برنامه‌ریزی پویای معین[6] و استوکاستیک[7]، ب) برنامه‌ریزی پویای

1- Linear Programming

2- Chance Constrained Linear Programming
3- Stochastic Linear Programming
4- Stochastic Linear Programming With Recourse
5- Dynamic Programming
6- Deterministic DP
7- Stochastic DP

افزایشی[1]، پ) برنامه‌ریزی پویای دیفرانسیلی گسسته[2] و دیفرانسیلی استوکاستیک[3] و ت) برنامه‌ریزی افزایشی و مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی بر خلاف برنامه‌ریزی خطی و پویا به واسطه پیچیدگی ریاضی از محبوبیت چندانی در تحلیل سیستم‌های منابع آب برخوردار نیستند (۲۳). در این میان، برنامه‌ریزی خطی برای مدتی طولانی به‌عنوان یکی از بهترین و مهم‌ترین ابزارهای مدیریت و برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی مطرح بوده است. سابقه استفاده از چنین ابزاری به دهه پنج میلادی و پژوهش‌های افرادی هم‌چون کینگ (۱۹۵۳) و هیدی (۱۹۵٤) باز می‌گردد (۵، ۹).

در زمینه بهینه‌سازی نیز برنامه‌ریزی ریاضی تصادفی، چارچوبی برای مدل‌سازی مسائل بهینه‌سازی است که عدم‌قطعیت را شامل می‌شود. در حالی‌که برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط حتمیت مستلزم آن است که تمام پارامترها (داده‌های ورودی) به‌طور کامل شناخته شده و معین باشند. این فرضی دور از ذهن است چرا که در دنیای واقعی، بیش‌تر پارامترهای مورد پیش‌بینی یا اندازه‌گیری با عدم‌حتمیت همراه هستند. مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی از لحاظ روش مشابه هستند ولی استفاده از آن‌ها بر اساس این واقعیت امکان‌پذیر می‌گردد که توزیع‌های احتمال حاکم بر داده‌ها شناخته شده یا می‌تواند تخمین زده شود.

در این پژوهش به‌منظور بررسی اثربخشی برنامه مبادله مجوزهای آبی بین کشاورزان، دو برنامه تخصیص آب تحت سیستم عدم مبادله و مبادله بر اساس مدل برنامه‌ریزی تصادفی با پارامترهای بازه‌ای مدل‌سازی شد. مکانیزم اول تخصیص آب در سیستم عدم مبادله و مکانیزم دوم تخصیص آب بر پایه مبادله است. منظور از برنامه مبادله شد برنامه عدم مبادله در واقع شرایط فعلی کشاورزان است و یک کشاورز عقلایی در حالت عادی به دنبال حداکثر کردن سود خود می‌باشد. بنابراین اولین تفاوت در هدف دو برنامه است. در برنامه عدم‌مبادله کشاورز به‌دنبال ماکزیمم‌کردن سود خود می‌باشد اما در برنامه مبادله که یک برنامه مدیریتی و سیاستی است هدف به‌دلیلی محدودیت آب و بهتر مصرف‌کردن آن، مینیمم‌کردن مصرف این نهاده است. بنابراین ابتدا در برنامه عدم‌مبادله سود کل سیستم کشاورزی به‌دست می‌آید و سپس هدف برنامه عدم‌مبادله برای ایجاد شرایط یکسان در محدودیت برنامه مبادله قرار می‌گیرد. بدین مفهوم که اگر برنامه مبادله انجام شود، سود به‌دست آمده از این برنامه بیشتر یا حداقل برابر با سود کل سیستم در برنامه عدم‌مبادله شود تا سود کم نشود و سود حاصله از برنامه عدم‌مبادله در برنامه مبادله نیز تضمین شود. تفاوت دوم که مهم‌ترین تفاوت در این دو برنامه است این است که در برنامه عدم‌مبادله هر کشاورز مجوز آب خود را دارد و قادر به مصرف کردن میزان مجوز آب خود می‌باشد و نمی‌تواند از مجوز دیگری استفاده کند (که در شرایط فعلی این گونه است. هر کشاورز آبی که در اختیارش قرار می‌دهند را استفاده می‌کند) که این محدودیت در برنامه عدم‌مبادله به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$\{U_i \le X_i^{\pm} \le W_i\}$ یعنی مصرف آب هر کشاورز بین حداقل نیاز آبی و مجوز صادرشده برای او است. در حالی‌که در برنامه مبادله این محدودیت تغییر کرده و به‌صورت $\{\sum_{i=1}^{m} X_i^{\pm} \le \sum_{i=1}^{m} W_i\}$ نوشته می‌شود و این بدان مفهوم است که کشاورزان دیگر محدود به مصرف مجوز آب خود نمی‌شوند بلکه شرایطی برای به اشتراک‌گذاری و رد و بدل کردن میزان مجوز پیش می‌آید. در واقع بیان می‌کند که مصرف آب کل سیستم، دیگر توسط مجوز هر کشاورز محدود نمی‌شود بلکه به‌وسیله مجموع کل میزان مجوز داده شده به کل کشاورزان محدود می‌گردد. سپس نتایج به‌دست آمده از دو سیستم با مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای تخمین و با یکدیگر بر اساس

1- Incremental DP
2- Discrete Differential DP
3- Stochastic Differential DP

شاخص مازاد آب رها شده و میزان کاهش در کمبود آب به‌عنوان شاخص اثربخشی مقایسه می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای (TSP) از تکنیک‌های پیشرفته‌تری است که در مدیریت منابع آب به‌کار می‌رود (۲۲). مدل برنامه‌ریزی خطی دومرحله‌ای، دارای دو قسمت است. ابتدا قسمت اول مدل حل‌شده و سپس قسمت دوم، با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای مرحله اول حل می‌گردد. در واقع مدل به نوعی صبر می‌کند تا ابتدا تصمیمات مربوط به مرحله اول گرفته شود و با توجه به نتایج آن، قسمت دوم بررسی شود (٦). در این مطالعه ابتدا مسأله تخصیص آب برای مکانیزم بدون‌مبادله با یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای (TSP) به‌صورت زیر مدل‌سازی شد:

الف) مدل‌سازی برنامه عدم‌مبادله

$$Max\ imiz \quad J^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} Bi^{\pm} Xi^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjCi^{\pm} Yij^{\pm}$$

$$Subject \quad to:$$

$$Ui \le Xi^{\pm} \le Wi$$

$$0 \le Xi^{\pm} - Yij^{\pm} \le Xi\max$$

$$Xi^{\pm} - Yij^{\pm} = WiQj^{\pm} / \sum_{i=1}^{m} Wi, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \ge Qj^{\pm}$$

$$\sum_{i=1}^{m} (Xi^{\pm} - Yij^{\pm}) \le Qj^{\pm}, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \prec Qj^{\pm}$$

$$0 \le Yij^{\pm}$$

که تفکیک حد پایین مدل به‌صورت زیر است:

$$MaxJ^{-} = \sum_{i=1}^{m} Bi^{-} Xi^{-} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjCi^{+} Yij^{+}$$

$$St:$$

$$Ui \le Xi^{-} \le Wi$$

$$0 \le Xi^{-} - Yij^{+} \le Xi\max$$

$$Xi^{-} - Yij^{+} = WiQj^{-} / \sum_{i=1}^{m} Wi, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \ge Qj^{-}$$

$$\sum_{i=1}^{m} (Xi^{-} - Yij^{+}) \le Qj^{-}, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \prec Qj^{-}$$

$$0 \le Yij^{+}$$

حد بالای مدل نیز به صورت زیر می‌باشد.

$$MaxJ^{+} = \sum_{i=1}^{m} Bi^{+} Xi^{+} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjCi^{-} Yij^{-}$$

$$St:$$

$$Ui \le Xi^{+} \le Wi$$

$$0 \le Xi^{+} - Yij^{-} \le Xi\max$$

$$Xi^{+} - Yij^{+} = WiQj^{+} / \sum_{i=1}^{m} Wi, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \ge Qj^{+}$$

$$\sum_{i=1}^{m} (Xi^{+} - Yij^{-}) \le Qj^{+}, iff \sum_{i=1}^{m} Wi \prec Qj^{+}$$

$$0 \le Yij^{-}$$

که در این مدل تابع هدف یعنی J عبارت است از سود خالص کل سیستم که حداکثر می‌شود، B_i سود خالص هر کشاورز به‌ازای هر واحد آب تخصیص یافته، X_i مصرف آب سالانه هدف برای هر کاربر، U_i حداقل نیاز آبی سالانه برای کاربر i ام، W_i مجوز آب سالانه برای کاربر i ام، $X_i\max$ حداکثر نیاز آبی سالانه برای کاربر i ام، Q_j کل دسترسی سالانه سیستم به آب تحت احتمال P_j، Y_{ij} کمبود آب سالانه که متغیر X_i تأمین نشده است وقتی دسترسی کل سیستم به آب برابر Q_j می‌باشد.

این مدل مرحله اول برنامه‌ریزی تصادفی می‌باشد که سیستم بدون‌مبادله آب را با توجه به محدودیت‌های مدل در نظر می‌گیرد. محدودیت اول مدل در برنامه عدم‌مبادله بیان می‌کند که مصرف آب هر کشاورز به مجوز آب او محدود می‌شود. محدودیت دوم مدل نیز بیان می‌کند که مصرف آب هر کشاورز از حداکثر نیاز آبی او کم‌تر یا با آن مساوی است. محدویت سوم مدل، برنامه تخصیص آب را در صورت عدم‌مبادله انعکاس می‌دهد. زیرا هر کشاورز فقط حق استفاده از مجوز آبی خود را دارد. محدویت چهارم بیان می‌کند که کل دسترسی سیستم به آب به کل دسترسی آب سیستم در برنامه عدم‌مبادله محدود می‌شود.

ب) مدل‌سازی برنامه مبادله

$$Minimiz \quad Z^{\pm} = \sum_{i=1}^{m}(Xi^{\pm} - \sum_{j=1}^{n} PjYij^{\pm})$$

$$Subject \quad to:$$

$$\sum_{i=1}^{m} Bi^{\pm} Xi^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjC\, i^{\pm} Yij^{\pm} \geq Jopt^{\pm}$$

$$\sum_{i=1}^{m} Xi^{\pm} \leq \sum_{i=1}^{m} Wi$$

$$\sum_{i=1}^{m}(Xi^{\pm} - Yij^{\pm}) \leq Qj^{\pm}$$

$$0 \leq Xi^{\pm} - Yij^{\pm} \leq Xi\max$$

$$Ui \leq Xi^{\pm}$$

$$0 \leq Yij^{\pm}$$

که برای درک بهتر تفکیک حد پایین برنامه مبادله به‌صورت زیر است:

$$MinZ^{+} = \sum_{i=1}^{m}(Xi^{+} - \sum_{j=1}^{n} PjYij^{-})$$

$$St:$$

$$\sum_{i=1}^{m} Bi^{+} Xi^{+} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjCi^{-} Yij^{-} \geq Jopt^{+}$$

$$\sum_{i=1}^{m} Xi^{+} \leq \sum_{i=1}^{m} Wi$$

$$\sum_{i=1}^{m}(Xi^{+} - Yij^{-}) \leq Qj^{+}$$

$$0 \leq Xi^{+} - Yij^{-} \leq Xi\max$$

$$Ui \leq Xi^{+}$$

$$0 \leq Yij^{-}$$

همچنین حد بالای بازه در برنامه مبادله به‌صورت زیر تفکیک می‌شود:

$$MinZ^{-} = \sum_{i=1}^{m}(Xi^{-} - \sum_{j=1}^{n} PjYij^{+})$$

$$St:$$

$$\sum_{i=1}^{m} Bi^{-} Xi^{-} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} PjC\, i^{+} Yij^{+} \geq Jopt^{-}$$

$$\sum_{i=1}^{m} Xi^{-} \leq \sum_{i=1}^{m} Wi$$

$$\sum_{i=1}^{m}(Xi^{-} - Yij^{+}) \leq Qj^{-}$$

$$0 \leq Xi^{-} - Yij^{+} \leq Xi\max$$

$$Ui \leq Xi^{-}$$

$$0 \leq Yij^{+}$$

هدف در برنامه مبادله، به‌صورت حداقل کردن Z یا حجم کل مصرف آب سالانه سیستم می‌باشد. محدودیت اول بیان می‌کند که سود کل سیستم تحت برنامه مبادله بزرگ‌تر یا حداقل مساوی ماکزیمم سود بهینه سیستم تحت برنامه عدم‌مبادله باشد، $Jopt$ که مقدار آن از حل تابع هدف بهینه‌شده در حالت عدم‌مبادله به‌دست می‌آید. محدودیت دوم بیان می‌کند که مصرف آب کل سیستم، دیگر توسط مجوز هر کشاورز محدود نمی‌شود بلکه به‌وسیله کل میزان مجوز داده‌شده به کل کشاورزان محدود می‌گردد. محدودیت سوم بیان می‌کند که کل دسترسی سیستم به آب به کل دسترسی آب سیستم در برنامه مبادله محدود می‌شود.

محدودیت چهارم مدل نیز بیان می‌دارد که مصرف آب هر کشاورز نیز در برنامه مبادله از حداکثر نیاز آبی او کم‌تر یا با آن مساوی است. فرض می‌شود که راه‌حل عدم‌مبادله مدل (الف) به‌صورت $\{Jopt, X_i opt, Y_{ij} opt\}$ که به‌ترتیب بیانگر سود خالص بهینه سیستم، مصرف آب سالانه بهینه برای هر کشاورز و کمبود آب سالانه هر کشاورز در سال خشک، نرمال و تر باشد. همچنین اگر فرض شود که راه‌حل برنامه مبادله، معادله (ب) برابر با $\{Zopt, X_i^* opt, Y_{ij}^* opt\}$ باشد که به‌ترتیب بیانگر کل مصرف آب سیستم تحت برنامه مبادله، مصرف بهینه آب سالانه برای هر کشاورز و کمبود آب سالانه هر کشاورز در سال خشک، نرمال و تر می‌باشد.

همچنین متغیر A_i عبارتند از مصرف واقعی آب هر کشاورز که از خروجی مدل از کسر دو متغیر مصرف هدف و متغیر کمبود آب هر کشاورز به‌دست می‌آید و برابر است با: $\{A_i = X_i - Y_i\}$ حال اگر حجم آب سالانه‌ای که سیستم در حالت عدم‌مبادله مصرف می‌کند برابر باشد با $\{Zopt = \sum_{i=1}^{m}(X_i - \sum_{j=1}^{n} P_j Y_{ij})\}$ و اگر کل مصرف آب سیستم تحت برنامه مبادله برابر با $Zopt$ باشد، در این‌صورت اثربخشی یا میزان

تفاوت آب مازاد و در واقع صرفه‌جویی مورد انتظار از مصرف آب تحت برنامه مبادله برابر با $\{\Delta Zopt = \psi opt - Zopt\}$ می‌باشد (۱۰). این شاخص در واقع میزان آب مازاد در حالت مبادله را با عدم‌مبادله مقایسه کرده و نشان می‌دهد که در صورت داشتن مازاد آب رهاشده سیستم تحت مکانیزم مبادله، می‌توان به کارآمدتر بودن تخصیص بر پایه مبادله در منطقه مورد مطالعه پی برد.

همچنین برای به‌دست آوردن احتمال وقوع خشکسالی، حالت نرمال و ترسالی بر اساس داده‌های بارندگی سی سال گذشته از شاخص بارندگی استاندارد[1]، درصد سال‌های خشک، نرمال و تر را محاسبه می‌کنیم (۱۳). مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای در دو سیستم عدم‌مبادله و مبادله تحت شرایط عدم‌اطمینان با استفاده از نرم‌افزار GAMS نوشته و حل شده است. الگوریتم‌های ریاضی الگوی برنامه‌ریزی منطقه‌ای مورد استفاده در محیط بسته نرم‌افزاری GAMS توسعه داده شد. روش بهینه‌سازی انتخاب شده CONOPT3 براساس روش گرادیان کاهش‌یافته عمومی (GRG)[2] عمل‌نموده و در نرم‌افزار GAMS توسط شرکت مشاوره و توسعه ARKI در کشور دانمارک راه‌اندازی و توسعه داده شده است (٤). همچنین، برای مقایسه دو برنامه مبادله و عدم‌مبادله، فلوچارت این دو برنامه برای درک بهتر در شکل ۲ رسم شده است.

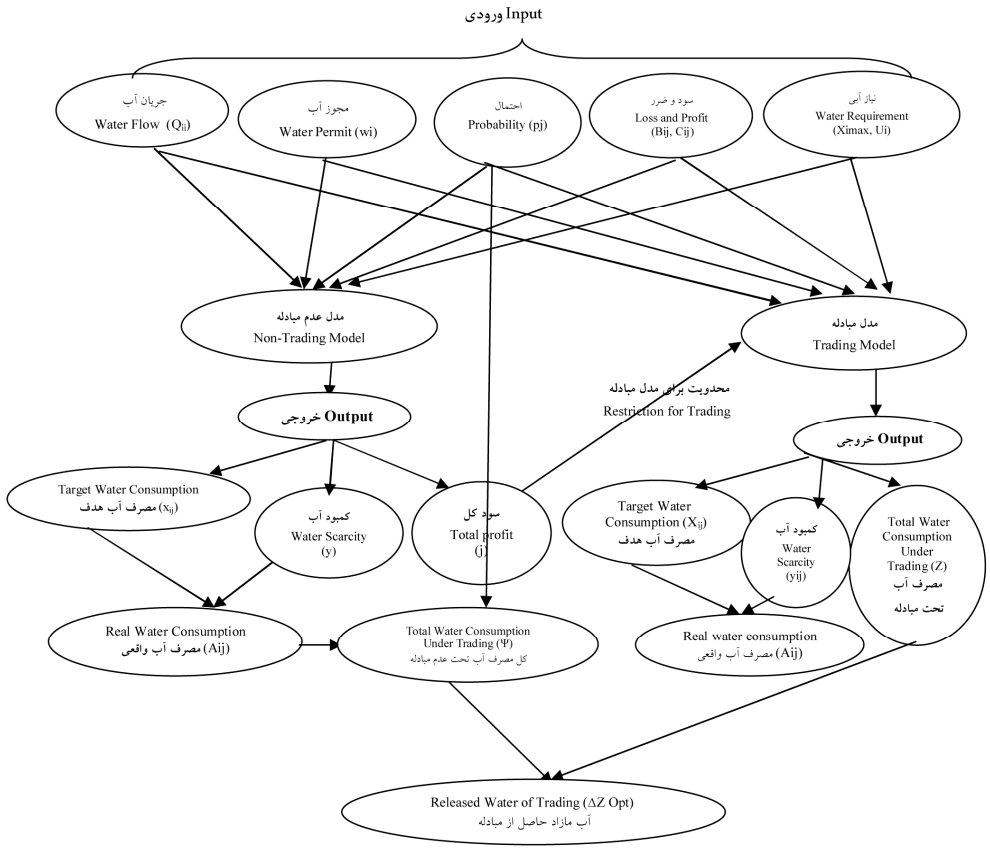
نتایج و بحث

کشت غالب در میان کشاورزان منطقه، گندم آبی، جو آبی و پنبه آبی است. مسئولین آب‌بران سد با توجه به نوع کشت و نیاز آبی هر محصول و میزان زمین زراعی قابل‌کشت کشاورز، مجوز آبی به هر کدام از کشاورزان می‌دهند و در واقع تقسیم آب بر طبق این مجوز انجام می‌شود. بدین‌ترتیب هر کشاورز طبق قرارداد با شرکت آب‌بران سد، دارای دفترچه کشتی است. با در نظر گرفتن مجوز آبی هر کشاورز و ماکزیمم و مینیمم نیاز آبی او با توجه به نوع و سطح زیر کشت و نیز با توجه به احتمال رخداد سال آبی خشک، نرمال و مرطوب (میزان احتمال روبه‌رویی با سال خشک ۲۳ درصد، سال نرمال ٦۲ درصد و سال مرطوب ۱۵ درصد)، میزان جریان در دسترس توسط مدل برنامه‌ریزی ریاضی در دو سیستم مبادله و عدم‌مبادله تحت عدم‌اطمینان جریان تخمین زده شد. جدول ۱ راه‌حل‌های به‌دست آمده از برنام عدم‌مبادله را نشان می‌دهد. در این جدول، مقادیر مصرف آب برای هر کشاورز، میزان کمبود آب پیش‌روی هر کشاورز در مواجهه با سال‌های خشک، نرمال و مرطوب تحت احتمال معین و مصارف واقعی آب هر کشاورز با کسر از کمبود آب پیش‌روی او تحت برنامه عدم‌مبادله بر حسب هزار مترمکعب در هکتار ارائه شده است. برای مثال مصرف آب هدف در کشاورز دوم که گندم و پنبه آبی در مجموع به‌میزان ۳ هکتار می‌کارد تحت این برنامه برابر ۲۰ هزار مترمکعب است. با توجه به احتمال رخداد سال‌های خشک، نرمال و مرطوب، اگر این کشاورز با فصل خشک مواجه شود در بیش‌ترین حالت، میزان ۹/٦۹ و در کم‌ترین حالت میزان ٦/٦۷ هزار مترمکعب کمبود آب خواهد داشت اما در صورت مواجه با سال‌های نرمال و مرطوب کمبود آبی را تجربه نخواهد کرد. بنابراین مصرف واقعی آب در فصل خشک برای این کشاورز در کم‌ترین میزان ۱۰/۳۱ و در بالاترین حالت در سال خشک برابر با ۱۳/۳۳ هزار مترمکعب می‌باشد و در فصل نرمال و مرطوب چون کمبود آبی نخواهد داشت مصرف او برابر با ۲۰ هزار مترمکعب است. این تحلیل برای سایر کشاورزان در برنامه عدم‌مبادله مصداق دارد. در کل، سیستم تحت برنامه عدم‌مبادله به‌میزان [۱۲۵۰ ,۱۲۹۸] میلیون مترمکعب مصرف آب خواهد داشت. همچنین کل مزارع در برنامه عدم‌مبادله در طی فصل خشک با کمبـود آبی معادل [٤٦٨/۳۲,٦۸۱/۱۹]

1- Standardized Precipitation Index
2- Generalized Reduced Gradient

هزار مترمکعب مواجه خواهند شد. همچنین میزان تابع هدف، سود کل سیستم تحت برنامه عدم‌مبادله [۱۵٤/٥٤۳,۲۲۲/٤۳۱] میلیون تومان خواهد بود.

جدول ۲ راه‌حل‌های مربوط به مدل ریاضی تحت برنامه مبادله و به اشتراک‌گذاری مجوزهای آبی بین کشاورزان را در حالت عدم‌حتمیت نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که سیستم تحت این برنامه، تخصیص آب را تغییر داده است. طبق این برنامه برای مثال میزان مصرف آب کشاورز دوم که محصول پنبه و گندم می‌کارد، با حفظ سود در برنامه مبادله برابر با ۱۳/۹۲ هزار مترمکعب می‌باشد. همچنین اگر این کشاورز تحت احتمال معین با فصل خشک مواجه شود، کمبود آبی در فصل خشک تحت برنامه مبادله نخواهد داشت. از مقایسه میزان مصرف آب این مزرعه تحت این برنامه و میزان مصرف آب این مزرعه تحت برنامه عدم‌مبادله که برابر با ۲۰ هزار مترمکعب است نتیجه می‌شود که میزان مصرف آب در این مزرعه تحت برنامه مبادله کاهش یافته است. اما در مقابل، برای مثال مصرف آب برای کشاورز پانزدهم نسبت به برنامه عدم‌مبادله از ۳۷/۵۰ به ۳۹/۱۵ هزار مترمکعب در برنامه مبادله افزایش یافته است. همچنین با توجه به هدف برنامه مبادله (مدل ریاضی ۲) که حداقل‌کردن مصرف آب کل سیستم می‌باشد، مصرف کل آب سیستم با حفظ سود برنامه عدم‌مبادله، برابر با [۹۸٤/۱٦,۱۱۱۲/٦۷] هزار مترمکعب خواهد شد و کل کمبود آب سیستم کشاورزی در این برنامه معادل [۲۲۸/۱٤,۳۷۷/۰۱] هزار مترمکعب خواهد بود. راه‌حل‌های مدل مبادله مجوزهای آبی را می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد.



شکل ۲- فلوچارت برنامه مبادله و عدم‌مبادله.

Figure 2. The Diagram of Trading and Non-Trading Programm.

جدول ۱- تخصیص آب تحت برنامه عدم‌مبادله (هزار مترمکعب).

Table 1. Water allocation under non-trading scheme (10^3 m^3).

i	Crop	محصول	area (ha) سطح	Xi (Target Water) مصرف آب هدف	Y_i - (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	Y_i + (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	$Y_i^{\pm}$ (Water Scarcity) کمبود آب (Normal) نرمال	$Yi^{\pm}$ (Water Scarcity) کمبود آب (Wet) تر	A_i - Real Water مصرف آب واقعی (Dry) خشک	A_i + (Real Water) مصرف آب واقعی (Dry) خشک	$A_i^{\pm}$ (Real Water) مصرف آب واقعی (Normal) نرمال	$A_i^{\pm}$ (Real Water) مصرف آب واقعی (Wet) تر
1	Wheat-Barley	گندم- جو	4	19.20	6.40	9.30	0	0	9.904	12.80	19.20	19.20
2	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	3	20.00	6.67	9.69	0	0	10.31	13.33	20.00	20.00
3	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	20	120.0	40.0	58.14	0	0	61.86	79.98	120.0	120.0
4	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	3.5	22.50	7.50	10.90	0	0	11.60	15.00	22.50	22.50
5	Wheat-Barley	گندم- جو	11	51.80	17.28	25.10	0	0	26.70	34.52	51.80	51.80
6	Wheat	گندم	5	25.00	8.340	12.11	0	0	12.89	16.66	25.00	25.00
7	Wheat	گندم	6	30.00	10.00	14.54	0	0	15.46	20.00	30.00	30.00
8	Cotton	پنبه	3	22.50	7.500	10.90	0	0	11.60	15.00	22.50	22.50
9	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	6	35.00	11.67	16.96	0	0	18.04	23.33	35.00	35.00
10	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	4	26.25	8.75	12.72	0	0	13.53	17.50	26.25	26.25
11	Wheat	گندم	8	40.00	13.34	19.38	0	0	20.62	26.66	40.00	40.00
12	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	4	22.50	7.500	10.90	0	0	11.60	15.00	22.50	22.50
13	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	8	55.00	18.34	26.65	0	0	28.35	36.66	55.00	55.00
14	Wheat-Barley	گندم- جو	10	45.20	15.07	21.90	0	0	23.30	30.13	45.20	45.20
15	Wheat	گندم	7.5	37.50	12.51	18.17	0	0	19.33	24.99	37.50	37.50
16	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	16	95.00	31.68	46.03	0	0	48.97	63.32	95.00	95.00
17	Cotton	پنبه	1.5	11.25	3.750	5.450	0	0	5.800	7.500	11.25	11.25

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

i	Crop	محصول	area (ha) سطح	Xi (Target Water) مصرف آب هدف	Y_i^- (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	Y_i^+ (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	$Yi^{\pm}$ (Water Scarcity) کمبود آب (Wet) تر	$Y_i^{\pm}$ (Water Scarcity) کمبود آب (Normal) نرمال	A_i - Real Water مصرف آب واقعی (Dry) خشک	A_i + (Real Water) مصرف آب واقعی (Dry) خشک	$A_i^{\pm}$ (Real Water) مصرف آب واقعی (Normal) نرمال	$A_i^{\pm}$ (Real Water) مصرف آب واقعی (Wet) تر
18	Wheat-Barley	گندم- جو	4.1	18.90	6.300	9.160	0	0	9.740	12.60	18.90	18.90
19	Barley	جو	14	58.80	19.61	28.49	0	0	30.31	39.19	58.80	58.80
20	Wheat	گندم	7	35.00	11.67	16.96	0	0	18.04	23.33	35.00	35.00
21	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	6	40.00	13.34	19.38	0	0	20.62	26.66	40.00	40.00
22	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	10	57.60	19.21	27.91	0	0	29.69	38.39	57.60	57.60
23	Wheat	گندم	8	40.00	13.34	19.38	0	0	20.62	26.66	40.00	40.00
24	Wheat	گندم	3.3	16.50	5.50	7.990	0	0	8.510	11.00	16.50	16.50
25	Wheat	گندم	6.4	32.00	10.67	15.51	0	0	16.49	21.33	32.00	32.00
26	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	4	25.00	8.34	12.11	0	0	12.89	16.66	25.00	25.00
27	Wheat-Barley	گندم- جو	13	61.00	20.34	29.56	0	0	31.44	40.66	61.00	61.00
28	Cotton	پنبه	5.7	42.75	14.26	20.71	0	0	22.04	28.49	42.75	42.75
29	Barley	جو	38	159.6	53.23	77.33	0	0	82.27	106.37	159.6	159.6
30	Wheat	گندم	5	25.00	8.34	12.11	0	0	12.89	16.66	25.00	25.00
31	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	5	35.00	11.67	16.96	0	0	18.04	23.33	35.00	35.00
32	Wheat-Cotton	گندم- پنبه	13	80.00	26.68	38.76	0	0	41.24	53.32	80.00	80.00

$\psi = [1250, 1298] \times 10^3\ m^3$ کل مصرف آب (Total Water Use)

$Y = [468.85, 681.18] \times 10^3\ m^3$ کل کمبود آب (Total Water Scarcity)

$J = [154.543, 222.431] \times 10^6$ Toman کل سود (Total Profit)

جدول ۲- تخصیص آب تحت برنامه مبادله (هزار مترمکعب).

Table 2. Water allocation under trading scheme (10^3 m^3).

A_i± (Real Water) مصرف آب واقعی (Wet) تر	Ai ± (Real Water) مصرف آب واقعی (Normal) نرمال	Ai + (Real Water) مصرف آب واقعی (Dry) خشک	Ai - (Real Water) مصرف واقعی (Dry) خشک	Yi ± (Water Scarcity) کمبود آب (Wet) تر	Yi ± (Water Scarcity) کمبود آب (Normal) نرمال	Yi + (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	Yi - (Water Scarcity) کمبود اب (Dry) خشک	Xi + (Target Water) مصرف آب هدف	Xi – (Target Water) مصرف اب هدف	area سطح (ha)	i
20.22	13.48	20.22	0.00	0	0	13.48	0	20.22	13.48	4	1
13.92	13.92	13.92	13.92	0	0	0	0	13.92	13.92	3	2
83.52	83.52	83.52	83.52	0	0	0	0	83.52	83.52	20	3
15.66	15.66	15.66	15.66	0	0	0	0	15.66	15.66	3.5	4
54.78	36.52	54.78	0.00	0	0	36.52	0	54.78	36.52	11	5
26.10	26.10	26.10	26.10	0	0	0	0	26.11	26.11	5	6
31.32	31.32	31.32	31.32	0	0	0	0	31.32	31.32	6	7
23.49	15.66	23.49	15.66	0	0	0	0	23.49	15.66	3	8
24.36	24.36	24.36	24.36	0	0	0	0	24.36	24.36	6	9
18.27	18.27	18.27	18.27	0	0	0	0	18.27	18.27	4	10
41.76	41.76	41.76	41.76	0	0	0	0	41.76	41.76	8	11
23.49	15.66	23.49	15.66	0	0	0	0	23.49	15.66	4	12
38.28	38.28	38.28	38.28	0	0	0	0	38.28	38.28	8	13
43.64	32.16	11.48	0.00	0	0	32.16	32.16	43.64	32.16	10	14
39.15	39.15	39.15	39.15	0	0	0	0	39.15	39.15	7.5	15
66.12	66.12	66.12	66.12	0	0	0	0	66.12	66.12	16	16
7.830	7.83	7.83	7.83	0	0	0	0	7.83	7.830	1.5	17

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

$A_i\pm$ (Real Water) مصرف آب واقعی (Wet) تر	Ai ± (Real Water) مصرف آب واقعی (Normal) نرمال	Ai + (Real Water) مصرف آب واقعی (Dry) خشک	Ai - (Real Water) مصرف واقعی (Dry) خشک	Yi ± (Water Scarcity) کمبود آب (Wet) تر	Yi ± (Water Scarcity) کمبود آب (Normal) نرمال	Yi + (Water Scarcity) کمبود آب (Dry) خشک	Yi - (Water Scarcity) کمبود اب (Dry) خشک	Xi + (Target Water) مصرف آب هدف	Xi – (Target Water) مصرف اب هدف	area سطح (ha)	i
20.08	13.39	6.69	0.00	0	0	13.38	13.38	20.08	13.38	4.1	18
42.56	42.56	0.00	0.00	0	0	42.56	42.56	42.56	42.56	14	19
36.54	36.54	36.54	36.54	0	0	0	0	36.54	36.54	7	20
27.84	27.84	27.84	27.84	0	0	0	0	27.84	27.84	6	21
40.44	40.44	40.44	0.09	0	0	40.34	0	40.44	40.44	10	22
41.76	41.76	41.76	41.76	0	0	0	0	41.76	41.76	8	23
17.23	13.95	17.23	13.95	0	0	0	0	17.22	13.95	3.3	24
33.41	22.27	33.41	22.27	0	0	0	0	33.40	22.27	6.4	25
17.40	17.40	17.40	17.40	0	0	0	0	17.4	17.4	4	26
64.56	43.04	40.05	0.00	0	0	43.04	24.51	64.56	43.04	13	27
29.75	29.75	29.75	29.75	0	0	0	0	29.75	29.75	5.7	28
115.5	115.5	0.00	0.00	0	0	115.5	115.5	115.5	115.5	38	29
26.10	17.40	26.10	17.40	0	0	0	0	26.1	17.4	5	30
24.36	24.36	24.36	24.36	0	0	0	0	24.36	24.36	5	31
55.68	55.68	55.68	55.68	0	0	13.48	0	55.68	55.68	13	32
	$J = [154.543, 222.431] \times 10^6$ Toman کل سود (Total Profit)				$Y = [228.14, 337.01] \times 10^3\ m^3$ کل کمبود آب (Total Water Scarcity)				$Z = [984.16, 1112.67] \times 10^3\ m^3$ کل مصرف آب (Total Water Consumption)		

نتیجه‌گیری کلی

یکی از مهم‌ترین کارکرد بازار آب ایجاد فضایی رسمی و قانونی برای مبادله و داد و ستد مجوزهای آبی بین کشاورزان می باشد. بنابراین قبل از تشکیل هر بازار آب، آگاهی از اثربخشی و کارایی مبادله مجوزهای آبی می تواند به تشکیل یا عدم‌تشکیل بازار آب کمک شایانی نماید. در واقع اثربخشی برنامه مبادله با دو معیار ذخیره یا صرفه‌جویی در مصرف آب کل سیستم و معیار کاهش کمبود آب سنجیده می‌شود (۱۰). بر طبق این دو شاخص می‌توان به کارا بودن برنامه مبادله در کاهش مصرف آب و همچنین کاهش کمبود آب در فصل خشک با حفظ سود سیستم پی برد. همچنین نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند با پژوهش لو و همکاران (۲۰۰۷) مقایسه شوند، آن‌ها به اثربخشی برنامه مبادله در مزارع با کاشت محصولات عمده گندم، جو، آفتابگردان و لوبیا تحت تغذیه سد دانکین در حوضه رودخانه سوئیفت کانادا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد سیستم تحت برنامه عدم‌مبادله مصرف آبی برابر با [۹۵۱,۹۵۹] هزار مترمکعب با سودی برابر با [۱۵/۸,۱۷/۹] میلیون دلار کانادا، در حالی‌که با حفظ سود سیستم در برنامه مبادله، مصرف آبی برابر با [۷۳٦,۷۸۷] هزار مترمکعب دارد. آن‌ها نتیجه گرفتند برنامه مبادله منجر به مازاد آبی برابر با [۱۷۳,۲۱۵] هزار مترمکعب می‌شود (۱۱). همچنین لی و همکاران (۲۰۱٤)، در مطالعه خود با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی فازی در سیستم کشاورزی در حوضه رودخانه ژانگ چین که کاشت عمده محصولات ذرت، پنبه و گندم است. به این نتیجه رسیدند که تحت برنامه عدم‌مبادله، سیستم به میزان [۹۰٦۳۱ ,۹۹۸۷٦] هزار مترمکعب آب مصرف می‌کند و سودی معادل [۲۲۰۵٦ ,۵٦۷۲] هزار دلار امریکا در [۲۷۸۱۲,٤۳٤۷۱] هکتار را دارد، در حالی‌که در تحت برنامه مبادله مصرف سیستم مصرف آبی برابر [۷۳۱۳۱ ,۸۱٦۳۷] هزار مت‌مکعب با حفظ همان سود، در [۲٦۲٤۹,۳۸۰۰٦] هکتار را داراست. بنابرای آن‌ها نتیجه گرفتند، مبادله تحت این شرایط، منجر به مازاد آبی معادل با [۲٦۷۵٤ ,۸۹۹٤] هزار مترمکعب می‌شود (۱۰). در این پژوهش نیز، از مقایسه راه‌حل‌های به‌دست آمده برنامه عدم‌مبادله و برنامه مبادله این نتیجه حاصل شد که مصرف آب در کل سیستم تحت برنامه عدم‌مبادله برابر با [۱۲۵۰,۱۲۹۸] هزار مترمکعب در [۲۳۳,۲٤۲] هکتار می‌باشد. همچنین کل کمبود آب نیز در این برنامه معادل با [٦۸۱/۱۹ ,٤٦۸/۳۲] هزار مترمکعب می‌باشد. در حالی‌که در برنامه مبادله میزان مصرف کل آب برابر با [۹۸٤/۱٦,۱۱۱۲/٦۷] در [۱۸٤,۲۰۸] هکتار می‌باشد. کل کمبود آب نیز تحت این برنامه معادل [۲۲۸/۱٤,۳۷۷/۰۱] هزار مترمکعب می‌باشد. در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به برنامه عدم‌مبادله با حفظ سود سیستم، برابر با [۱۸۵/۳٤ ,۲٦۵/۰۱] هزار مترمکعب و همچنین کاهش در کمبود آب در مواجه با خشکسالی برابر با [۲٤۰/۱۷ ,۳٤٤/۱۷] هزار مترمکعب خواهد بود. این دو نتیجه نشان می‌دهد برنامه مبادله و به اشتراک‌گزاری مجوزهای آبی کشاورزان به‌خصوص در فصل خشک کمبود آب را تا میزان قابل‌توجهی جبران خواهد کرد به‌طوری‌که از سود سیستم کاسته نشود و در صرفه‌جویی در مصرف آب و تخصیص کاراتر، اثربخش خواهد بود.

منابع

1.Dosi, C., and Easter, W.K. 2000. Water scarcity: Institutional Change, Water Markets and Privatization, Nota Diilavoro. Pp: 135-167.

2.Dragun, A.K., and Gleeson, V. 1999. From water law to transferability in New South Wales. Natur. Resour. J. 29:4. 645-661.

3.Droitsch, D., and 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.watermatters.org/docs/share-the-water.pdf.

4.GAMS/CONOPT3. 2010. Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark: ARKI Consulting and Development. Available at https://www.gams.com/docs/conopt3.pdf.

5.Heady, E.O. 1954. Simplified presentation and logical aspects of linear programming technique. J. Farm Econ. 36: 1035-1050.

6.Huang, G.H., and Loucks, D.P. 2000. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineering and Environmental Systems. 17: 95-118.

7.Jafari, A. 2003. Water market approach and its implications. J. Agric. Econ. Dev. 12:48. 120-75. (In Persian)

8.Kiem, A.S. 2013. Drought and water policy in Australia: Challenges for the future illustrated by the issues associated with water trading and climate change adaptation in the Murray-Darling Basin. Global Environmental Change. 23: 1615-1626.

9.King, R.A. 1953. Some applications of activity analysis in agricultural economics. J. Farm Econ. 25: 823-833.

10.Li, Y.P., Liu, J., and Hung, G.H. 2014. A hybrid fuzzy-stochastic programming method for water trading within an agricultural system. Agricultural Systems. 123: 71-83.

11.Luo, B., Hang, G.H., Zou, Y., and Yin, Y.Y. 2007. Toward Quantifying The Effectiveness Of Water Trading Under Uncertainty. J. Environ. Manage. 83: 181-190.

12.Luo, B., Maqsood, I., Yin, Y.Y., Huang, G.H., and Cohen, S.J. 2003. Adaptation to climate change through water trading under uncertainty an inexact two-stage nonlinear programming approach. J. Environ. Inf. 2: 58-68.

13.Najafi Hajivar, M., Kohpeima, A., and Tahmasbi, A. 2006. Indices of drought in the province of Chahar Mahal and Bakhtiari. The 1st Regional conf. of Exploitation of Water Resources and Basins of Karun Zayanderood, Shahrekord University. (In Persian)

14.Palazzo, A., and Brozovi, N. 2014. The role of groundwater trading in spatial water management. Agricultural Water Management. 3: 1-11.

15.Parhiskari, A., Sabouhi, M., and Ziayi, S. 2013. Simulation of the water market and analyzing effects of irrigation water sharing on crops pattern under drought conditions. J. Agric. Econ. Dev. 27: 3. 242-252. (In Persian)

16.Pujol, J., Raggi, M., and Viaggi, D. 2006. The potential impact of markets for irrigation water in Italy and Spain: a comparison of two study areas. Agricultural and Resource Economics. 50: 3. 361-380.

17.Rosegrant, M.W., and Binswanger, H.P. 1994. Markets in tradable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation. World Development. 22: 1613-1625.

18.Sadr, K., and Bohlolvand, A. 2007. Assess of competition in the Mojen water market. J. Agric. Econ. 2: 1-35. (In Persian)

19.Water Authority of Golestan Region. 2014. Gorgan. Statistics and Information of Dams. (In Persian)

20.Yeh, W.W.G. 1985. Reservoir managmentand operations Models: a state-of-the-art. Review Water Resources Research, 21: 12. 1797-1818.

21.Zeitouni, N., Berher, N., and Shechter, M. 1994. Models of water market mechanisms and an illustrative application to the Middle East. Resources and Energy Economics. 16: 4. 303-319.
22.Zekri, S., and Easter, K.W. 2005. Estimating the Potential Gains from Water Markets: a Case Study from Tunisia, Agricultural water management. 2: 3. 161-175.
23.Zhao, G. 2001. A log-barrier method with benders decomposition for solving two-stage stochastic linear Programs. Mathematical Programming. 3: 90. 507-513.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Effectiveness of water allocation based on water permits trading of farmers under uncertainty (Case study: Abbas-Abad village, Voshmgir dam)

P. Jansouz[1], *J. Shahraki[2] and M. Abdolhosseini[3]

[1]Ph.D. Student, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan,
[2]Associate Prof., Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan,
[3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 03/08/2016; Accepted: 12/25/2016

Abstract

Background and Objectives: One of the most important performance of the water market is creation of the legal and formal space for water permits trading among farmers. Water trading policy arises in the agricultural sector as a new strategy on issues related to water resources management, particularly in drought conditions. The strategy includes a set of goals increase productivity, improve conservation and sustainability of water resources. Therefore before of the formation any water market, awareness of the effectiveness and efficiency of water permits trading can be a great help to the formation or Non-formation of water market. The aim of this study is Assessment the effectiveness of the water permits trading program as a solution in optimal use of water among farmers and farm management.

Materials and Methods: In this study for assessment of the effectiveness of the water permits trading among farmers, two water allocation programs under non-trading and trading systems is designed based on Interval-Parameter Two-Stage Stochastic Program model. The first mechanism is water allocation in non-trading system and the second mechanism is water allocation in trading system and then the obtained results of two systems is compared with each other based on water volume is released through trading and decreasing in water scarcity. 32 farmers from Abbas-Abad village were selected that all of them use water of Voshmgir dam located in Aq Qala city.

Results: The results showed that water allocation with the implementation of the trading program will change so that under this program, the total amount of water consumption is [984.16, 1112.67] $\times 10^3$ m^3 with [184, 208] ha and the total of water scarcity in this program is [228.14, 377.01] $\times$ 10^3 m^3. Whereas in non-trading program the consumption is [1250, 1298] $\times 10^3$ m^3 with irrigated land of [233, 242] ha and water scarcity equals to [468.32, 681.19]$\times$ 10^3 m^3. Also the total profit of two systems in both of two programs is [154.543, 222.431] million toman.

Conclusion: With attention to the two indexes, saving in water consumption and decreasing in water scarcity as effectiveness indexes, in total, saving in water consumption with the implementation of the trading program is [185.34, 265.01] $\times$ 10^3 m^3 in this village, also under this program water scarcity will be reduced to [240.17, 344.17] $\times$ 10^3 m^3 in compared to non-trading program in the dry season with protection the profits of farms. Therefore, water trading can lead to more effective and more optimal water allocation especially in drought conditions.

Keywords: Trading, Uncertainty, Stochastic programming, Abbas-Abad, Voshmgir dam

* Corresponding Author; Email: j.shahraki@eco.usb.ac.ir