

مدیریت منابع آب و امنیت غذایی حوضه زاینده رود: کاربرد روش تحلیل یکپارچه حوضه آبریز رودخانه

علیرضا نیکوئی^{۱*} - منصور زیبایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۹

چکیده

کشاورزی فاریاب، مساعدت مهمی به افزایش عرضه مواد غذایی داخلی در کشورهای در حال توسعه داشته و نقش اصلی را در امنیت غذایی این کشورها بازی می‌کند. طراحی خوب سیاستهای مدیریت منابع آب پتانسیل ویژه ای برای بهبود کارایی تخصیص و استفاده از آب و همچنین مساعدتی به اهداف امنیت غذایی خواهد داشت. مطالعه جاری، یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادی- هیدرولوژیکی یکپارچه در مقیاس حوضه آبریز رودخانه را به منظور استفاده پایدار از منابع آب و پاسخگویی به اهداف امنیت غذایی، ارائه می‌کند. هدف این الگو حداکثر کردن ارزش حال خالص منافع اقتصادی و زیست محیطی برای یک دوره ۱۰ ساله مشروط به ساختارهای هیدرولوژیکی، آگرونومیکی، نهادی و اقتصادی حوضه بود. از طریق این الگو، سیاست تخصیص و استفاده بهینه از آب در مقابل سیاست پایه برای دو سناریوی عرضه آب نرمال و خشکسالی در حوضه زاینده رود در مرکز ایران به عنوان محدوده مطالعاتی ارزیابی شد. داده‌های مورد نیاز این الگو به سه شیوه تحقیق پیمایشی، مطالعات و گزارشات اسنادی و استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان، جمع آوری شد. نتایج نشان داد که کاربرد چنین برنامه‌های نه تنها راندمان مصرف آب در حوضه را بهبود می‌بخشد، بلکه ارتقای امنیت غذایی از طریق افزایش سهم مناطق پائین دست رودخانه در تولید محصولات غذایی پایه در شرایط کاهش عرضه آب را نیز به همراه دارد. روش مورد استفاده و نتایج به دست آمده می‌توانند در کشف سیاستهای مناسب برای مدیریت منابع آب تحت شرایط کم آبی، به کار برده شوند. این روش می‌تواند موجب بهبود ابتکار عمل در مدیریت پایدار منابع آب و همچنین تامین امنیت غذایی نسلهای فعلی و آینده شود.

واژه های کلیدی: مدیریت منابع آب، الگوی یکپارچه حوضه آبریز، امنیت غذایی، زاینده رود

طبقه بندی JEL : C6/Q25

مقدمه

زیادی را در مقابل برنامه‌ریزان کشورها جهت استفاده پایدار از منابع آب، حفظ محیط زیست و تولید مواد غذایی کافی، قرار داده و این امر منجر به یک بحران جهانی شده است (۳۶، ۳۹ و ۴۲). در چنین شرایطی کشورهای مختلف، با چالش تولید غذایی بیشتر با آب کمتر و در راستای تامین اهداف امنیت غذایی روبرو هستند (۳۴). از این روست که استفاده پایدار از منابع آب، چالش قرن بویژه در کشورهای خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید (۴۳).

ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۳۰۰ میلیمتر در پهنه بندی خشک و نیمه خشک جهانی قرار دارد (۱۱ و ۱۸). با وجودی که این میانگین در حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی است، افزایش تقاضای آبی کشور را می‌توان به صورت افزایش میزان اراضی در چرخه تولیدات کشاورزی آبی، تقلیل آیش گذاری آبی، تغییرات الگوی کشت به سمت محصولات با نیاز آبی بالا، و افزایش چشمگیر محصولات کشت دوم به خوبی مشاهده کرد (۶). افزون بر این، پیش بینی می‌شود که جمعیت کشور از حدود ۷۴ میلیون نفر در سال ۱۳۹۰

امنیت غذایی به معنای دست رسی مستمر تمام مردم یک جامعه در تمام اوقات به غذایی کافی به منظور یک زندگی سالم و فعال است (۳). در این راستا، تولید غذای کافی و درآمد مناسب در کشورهای در حال توسعه به شکلی که بتواند تغذیه بهتری برای فقرا فراهم آورده و رنج آنها را کاهش دهد، چالشی بزرگ در برابر سیاستگذاران بخش کشاورزی می‌باشد (۳۴). توجه به بخش کشاورزی هدف ویژه برنامه- های امنیت غذایی در بسیاری از کشورها می‌باشد (۲۵). با این وجود، خشکسالی‌های شدید و تغییرات اقلیمی^۳ در دهه اخیر، چالشهای

۲۰۱- دانشجوی دکتری و استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شیراز

(* - نویسنده مسئول:

(Email: anikooie@yahoo.com

3 - Climate changes

برنامه‌ریزی و مدیریت نماید که ساختار مصرف آب با استفاده از روش‌های مدیریت تقاضای آب کشاورزی از جمله الگوی مصرف بهینه آب کشاورزی، اصلاح شود (۳۲). در چارچوب این راهبرد، چالش موجود در بخش کشاورزی آن است که کاهش تقاضای آب نباید به گونه‌ای باشد که بر تولیدات بخش کشاورزی و درآمد زارعین اثر منفی گذاشته و حتی‌الامکان با افزایش بهره‌وری آب، تولیدات بخش کشاورزی و درآمد زارعین در جهت حفظ امنیت غذایی افزایش یابد (۵).

حوضه آبریز رودخانه زاینده رود به عنوان یکی از مهمترین مناطق تولید کشاورزی در مرکز ایران، از جمله مناطقی است که با چالش‌های یاد شده مواجه بوده است. بررسی پیشینه مطالعات صورت گرفته در رابطه با این حوضه (۲، ۱۹، ۲۰، ۲۷، ۳۸ و ۴۴) نشان داد که این منطقه نیازمند برنامه‌ای جهت مقابله با این چالش‌ها می‌باشد. مطالعه جاری به طراحی و توسعه الگوی جامع برنامه‌ریزی عرضه و تقاضای آب در سطح یک حوضه آبریز جهت پاسخگویی به اهداف امنیت غذایی و در چارچوب یک مدیریت جامع منابع آب در حوضه زاینده رود پرداخت. اهداف خاص این مطالعه در استفاده از این الگو و منطقه مورد مطالعه عبارت از: (الف) طراحی برنامه بلند مدت و بهینه تخصیص (عرضه) و استفاده از آب (تقاضا) با تاکید بر حفظ امنیت غذایی و (ب) برآورد و مقایسه اثرات خشکسالی در شرایط پایه (موجود) با گزینه‌ی سیاستی جایگزین، بود.

مواد و روش‌ها

تحقق اهداف این مطالعه در راستای تجزیه و تحلیل گزینه‌های سیاستی، با استفاده از توسعه یک الگوی جامع برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادی-هیدرولوژیکی در سطح حوضه رودخانه که قادر به برقراری پیوندی یکپارچه بین اجزاء هیدرولوژیکی، گیاهی، اقتصادی، و نهادی می‌باشد، صورت پذیرفت (شکل ۱). ساختار اصلی این الگو، مبتنی بر مطالعات اخیر صورت گرفته در خصوص تجزیه و تحلیل حوضه رودخانه می‌باشد (برای نمونه: ۲۲، ۲۹ و ۳۷). این ساختار، بر اساس مشخصات و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، اصلاح و توسعه داده شد (به بخش ضمیمه مراجعه شود).

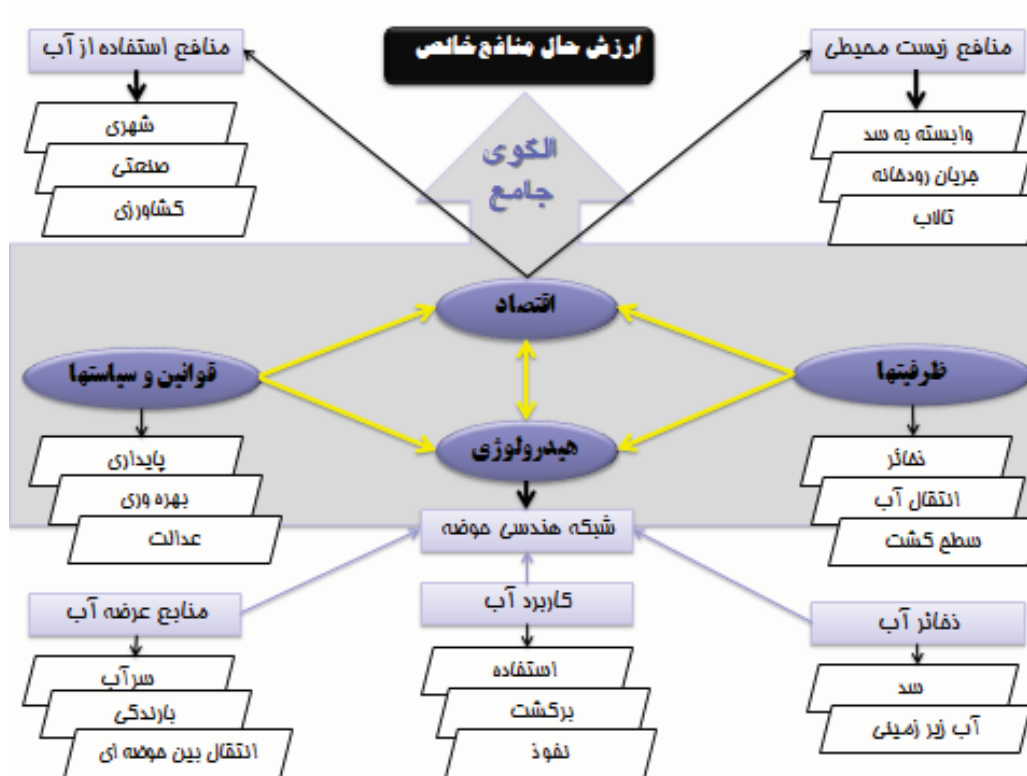
هدف الگو

هدف الگو، حداکثر کردن ارزش حال خالص تنزیل شده^۲ مربوط به جمع ارزش اقتصادی استفاده و عدم استفاده از آب در طول یک دوره مشخص زمانی (در این مطالعه ۱۰ سال)، مشروط به محدودیت‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی از جمله مقادیر اولیه ای برای ذخایر سدها و آبهای زیر زمینی است. حل بهینه تابع هدف منجر به مشخص شدن مقادیر بهینه سطح زمین (هکتار) و حجم آب (متر مکعب) می‌شود.

(۱۶)، به حدود ۹۰ میلیون نفر در سال ۱۴۰۰ هجری شمسی افزایش یابد، در حالی که سرانه منابع آب تجدید شونده در ایران یک چهارم سرانه جهانی است (۱۱). اگر به چالش‌های یاد شده، پدیده تغییرات اقلیمی، که در جهان و همچنین در ایران رو به گسترش است، نیز اضافه گردد (۱۷ و ۱۸)، مشخص خواهد شد که رقابت کنونی مصارف آب در بخش‌های شرب شهری و روستائی، کشاورزی، صنعت، و محیط زیست، روبه فزونی خواهد گذاشت که این امر، عدم تعادل بین منابع و مصارف را در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، رقم خواهد زد.

تحولات اقلیمی و جمعیتی ایران در کنار شرایط حاکم بر دنیا باعث شده است که برقراری امنیت غذایی در برنامه‌های توسعه و سند چشم انداز کشور مورد توجه قرار گیرد (۳ و ۱۳). محدودیت شدید حاکم بر منابع آب موجود و پیش بینی خشکسالی در آینده، احتمال به خطر افتادن معاش و رفاه اقتصادی کشاورزان را بالا برده است. طراحی خوب سیاست‌های مدیریت منابع آب، پتانسیل ویژه‌ای برای بهبود تخصیص‌های آب به مصارف مختلف بوجود خواهد آورد. ضمن اینکه می‌تواند بر اهداف امنیت غذایی ایران و فقر زدائی در کنار رفع سوء تغذیه، که به طور نسبی در ایران بویژه در مناطق روستائی بالا است (۴۰)، اثر گذار باشد. یک نظام مدیریت آب کارآمد که بتواند پاسخگوی اهداف برنامه یاد شده باشد، بایستی در برگیرنده هر دو جنبه ارتقاء کارایی در اداره منابع آب موجود به جای ایجاد منابع جدید (مدیریت عرضه) و حفاظت بهتر از آب در دسترس (مدیریت تقاضا) باشد (۹، ۳۱ و ۳۵). با آگاهی از اینکه آب به عنوان بخش جدایی ناپذیر اکوسیستم، یک منبع طبیعی و همچنین، یک کالای اقتصادی و اجتماعی به حساب می‌آید، مدیریت عرضه و تقاضائی که بتواند پاسخگوی اهداف سیاستی مورد نظر باشد بایستی بر پایه مدیریت یکپارچه منابع آب^۱ طراحی شود (۲۱). این شیوه مدیریت به عنوان نظام مدیریتی منابع آب در قرن ۲۱ مورد قبول قرار گرفته است (۳۳).

در خصوص ره یافته‌های اصلاح الگوی مصرف آب در ایران، اعتقاد بر آن است که این اصلاحات مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی بایستی به شکلی باشد که علاوه بر کاهش مصرف، کارائی مصرف آب با بهبود راندمان آبیاری و استفاده آب برای محصولات کشاورزی با ارزش اقتصادی بالاتر را نیز ارتقاء دهد (۱۲ و ۳۲). اصلاح الگوی کشت محصولات به سمت الگوی بهینه، از جمله سیاست‌هایی است که در جهت مدیریت تقاضای آب به منظور حفاظت، ارتقاء کارائی اقتصادی و بهبود بهره‌وری استفاده از آب، مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱، ۸ و ۱۴). بر اساس ماده ۱۴۳ و ۱۴۵ قانون برنامه توسعه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳) و تبصره ۶ ماده ۶ و ماده ۲۶ قانون ارتقاء بهره‌وری بخش کشاورزی (۱۲) نیز دولت مکلف است، منابع آب کشور را با نگرش مدیریت جامع و توأمان عرضه و تقاضا در کل چرخه آب با رویکرد توسعه پایدار در واحدهای طبیعی حوزه‌های آبریز به گونه‌ای



شکل ۱- عملکرد الگوی یکپارچه اقتصادی-هیدرولوژیکی حوضه رودخانه

اقتصاد

هر دو منافع اقتصادی و زیست محیطی آب در منافع کل الگو به حساب آورده می شوند. از بعد منافع اقتصادی، ارزش استفاده از آب در بخشهای کشاورزی، شرب و صنعت مشخص می گردند. در این خصوص، منافع کل با جمع ارزش تمایل به پرداخت برای مصارف اقتصادی تعریف می شود (۲۹). هزینه کل شامل هزینه های انرژی، بهره برداری و نگهداری، تصفیه آب، و برداشت آب (بوسیله پمپاژ و یا انحراف آبهای سطحی) در هر گرهی مصرف کننده آب، می باشد (۲۲). منافع زیست محیطی حاصل از رودخانه نیز بوسیله تمایل به پرداخت برای استفاده از خدمات تفریحی و زیست محیطی مرتبط با آب توسط بازدیدکنندگان از سایت های زیست محیطی و یا علاقه مندان محیط زیست برای حفظ و یا بهبود خدمات تفریحی از قبیل ماهیگیری، قایقرانی، تماشای منظره رودخانه، پیک نیک، تماشای پرندگان و غیره، اندازه گیری می شود (۳۰).

هیدرولوژی

هیدرولوژی حوضه از قاعده توازن آب^۱ برای هر دو جریانهای سالانه و ذخایر آب استفاده می کند (۴۱). جریانهای سالانه به صورت

منابع عرضه هیدرولوژیکی، ذخائر آب، روابط عملکردی و جغرافیائی جریان رودخانه و آب برداشت شده جهت مصارف مختلف، تعریف می شوند. جریانهای بوجود آمده بوسیله سیلاب حاصل از بارندگی و آب شدن برفها، عرضه های هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می دهند. عرضه ها به درون رودخانه شامل دو منبع جریانهای سطحی و انتقال بین حوضه ای آب به وسیله لوله، کانالها و یا تونل داخل کوهها می باشند. این جریانها به عنوان جریان ورودی کل در واحدهای هیدرولوژیکی مختلف به حساب می آیند.

به منظور مشخص شدن روابط جغرافیائی بین منابع و مصارف مختلف آب موجود در حوضه، قبل از هر چیز ترسیم نقشه شماتیک روابط بین آنها (شبه گرهها) در حوضه ضروری است. با استفاده از چنین نقشه ای، ارتباط جغرافیائی بین گره های اصلی موجود در حوضه بر اساس قاعده توازن آب به الگو معرفی می شود. آب می تواند به دو شیوه برداشت سطحی از جریان رودخانه و پمپاژ به مصرف تبدیل شود. از طرف دیگر بخشی از آب برداشتی، مورد مصرف قرار گرفته، بخش دیگر به زمین نفوذ کرده و مابقی به صورت جریان برگشتی به رودخانه باز می گردد (۲۴). سدها و سفره های آب زیر زمینی به عنوان دو منبع بالقوه ذخیره آب به شمار می روند. ذخیره سالانه آب سدها، پارامترهایی شامل ذخیره سال قبل آن، تبخیر از سطح منبع، و خالص ورودی- خروجی از سدها را، به یکدیگر پیوند می زند. پارامترهایی که

1 -Mass balance

استخراج نتایجی از الگوی بهینه تخصیص و استفاده از آب مورد آزمون قرار گرفت. مبنای در نظر گرفته شده برای انجام تحلیل سیاستی چنین الگوی بهینه‌ای تامین امنیت غذایی بود. امنیت غذایی بر پایه این فرض بنا نهاده شد که الگوی تخصیص و استفاده از آب در حوضه زاینده رود بایستی تامین کننده حداقل نیازهای تولیدی به محصولات استراتژیک شامل گندم، جو، علوفه، سیب زمینی و دانه‌های روغنی باشد.

سناریوهای عرضه آب

این سناریوها بر اساس داده‌های تاریخی حاصل از جریانهای عرضه آب در حوضه، در نظر گرفته شد. دوره برنامه‌ریزی هر سناریو یک دوره ۱۰ ساله بود که به شرح زیر برای تجزیه و تحلیل گزینه‌های سیاستی مطالعه جاری در نظر گرفته شد:

سناریو عرضه آب نرمال: ۱۰۰ درصد میانگین متحرک وزنی عرضه بلند مدت آب در گذشته، برای این سناریو لحاظ شد.

راهبرد عرضه آب خشکسالی: بر اساس راهبرد کمیابی آب، برابر با ۵۰ درصد میانگین متحرک وزنی عرضه بلند مدت آب لحاظ شد.

جمع آوری اطلاعات

به طور کلی روش مورد استفاده برای جمع آوری داده‌های این پژوهش بر سه شیوه تحقیق پیمایشی^۱، مطالعات اسنادی^۲ و استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان^۳ بنا نهاده شد. محدوده‌های مطالعاتی کشاورزی شامل ۶ واحد هیدرولوژیک منطبق با تقسیم بندی صورت گرفته برای حوضه‌های آبریز کشور، حوضه آبخیز زاینده رود در نظر گرفته شد. این واحدها عبارت از ناحیه بن و سامان (BSD)، مبارکه و سمیرم سفلی (MSD)، نجف آباد (NAD)، مهیار شمالی (NMD)، اصفهان-برخوار (EBD)، و کوهپایه سگزی (KSD) بودند. مجموعه اطلاعات جمع آوری شده برای این محدوده‌ها و سایر مناطق حوضه، داده‌های ورودی به الگوی برنامه‌ریزی مطالعه جاری جهت دستیابی به اهداف تعیین شده را، تشکیل دادند. بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد استفاده در مطالعه جاری بر مبنای اطلاعات اسنادی موجود بود. منابع اصلی این اطلاعات عبارت از داده‌های سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان (۷)، شرکت آب منطقه ای اصفهان (۱۰) و مرکز آمار ایران (۱۵ و ۱۶) بودند. این داده‌ها به علاوه سایر اطلاعات مورد نیاز برای استفاده در الگوی تحلیل یکپارچه اقتصادی-هیدرولوژیکی حوضه رودخانه در سه گروه داده‌های اقتصادی، هیدرولوژیکی و نهادی قابل تقسیم بودند.

منابع آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می دهند، پیچیده تر از سد هستند. ویژگی یکپارچگی و کامل بودن مقیاس الگوی این مطالعه اجازه داد تا از روش ارائه شده توسط وارد و همکاران (۴۱) در مطالعه جاری برای به دست آوردن این پارامترها استفاده گردد.

ظرفیتها

جمع سطح زیر کشت تولید محصولات محصولات زراعی و باغی در هر گره کشاورزی، از کل زمین موجود به تفکیک موقعیت گره و زمان مورد نظر، نمی‌تواند بیشتر باشد. در این مطالعه حداکثر زمین قابل دسترس برای هر گره کشاورزی به عنوان محدودیت بالایی زمین قابل دسترس لحاظ شد. علاوه بر این، با برقراری محدودیت‌های بالایی بر روی گره‌های انتقال آب به مناطق مورد مصرف، ظرفیت انتقال آب در الگو مد نظر قرار گرفت. حداکثر ظرفیت منابع ذخیره آب نیز به همین شیوه در الگو دخالت داده شد.

قوانین (نهادها) و سیاستها

محدودیت‌های نهادی بر اساس حقوق آب و قوانین موجود در حوضه رودخانه که توسط شرکت توزیع آب لحاظ می شود، تعریف می‌گردند. حقوق آب عبارت از توافقی است که درباره توزیع یک مقدار مشخص آب به مصرف کنندگان موجود در حوضه و از طریق زمان بندی، صورت گرفته و یا خواهد گرفت. این توافق براساس یک نظامنامه با پیشینه تاریخی شبیه نظامنامه توزیع آب زاینده رود براساس طومار شیخ بهائی (۴)، و یا قرارداد منعقد شده فی مابین شرکت توزیع منابع آب با بهره‌برداران برای واگذاری حق اشتراک شبکه‌های آبیاری جدید، صورت می‌پذیرد. این حق ممکن است که در زمانهای خشکسالی‌های دوره‌ای یا بلند مدت تحت تأثیر قرار گیرد. برای دخالت دادن این قواعد در الگوی مطالعه جاری، محدودیت‌های بیشینه یا کمینه بر روی آب برداشتی و یا حتی بر روی میزان برداشت سطحی یا زیرزمینی آب در گره‌های مورد مطالعه بر قرار شد. شبیه همین محدودیتها، بر روی منابع ذخیره آب از جمله سدها و سفره‌های آب زیرزمینی جهت استفاده پایدار از این منابع برقرار گردید.

گزینه‌های سیاستی

در مطالعه جاری گزینه‌های سیاستی به شرح زیر مورد آزمون قرار گرفت:

سیاست پایه: این سیاست بر مبنای الگوی کشت جاری مناطق کشاورزی مورد مطالعه بود. هیچگونه محدودیتی برای تامین امنیت غذایی تحت این سیاست اعمال نشد.

برنامه ریزی تخصیص و استفاده بهینه از آب: در این سیاست الگوی برنامه‌ریزی یکپارچه اقتصادی-هیدرولوژیکی، به منظور

1- Survey research
2- Documentary study
3- Experts knowledge

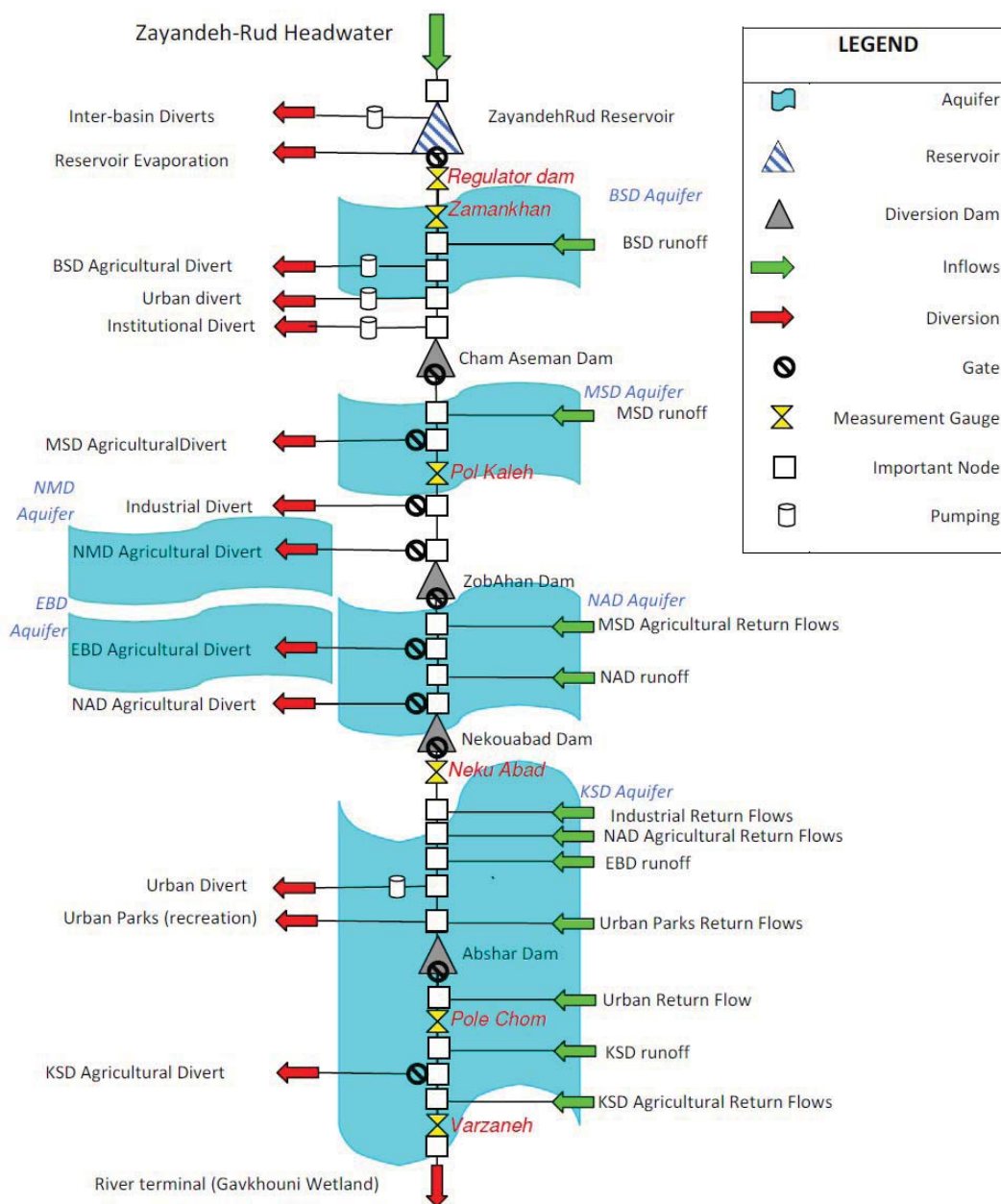
حل الگو

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده، الگوریتم های لازم برای رسیدن به الگوی برنامه ریزی تحلیل یکپارچه حوضه رودخانه در چارچوب برنامه ریزی ریاضی، در بسته نرم افزار GAMS نوشته شد (۲۳). سپس، به روش حل CONOPT موجود در این بسته نرم افزار مربوط به الگوهای برنامه ریزی غیر خطی پویا برای هر گزینه سیاستی و هر راهبرد عرضه آب به صورت جداگانه اجرا شد و

نتایج مورد نظر به دست آمد.

نتایج و بحث

از آنجا که اساس تجزیه و تحلیل نتایج الگوی این مطالعه بایستی بر اساس سناریوهای عرضه آب نرمال و خشکسالی صورت می گرفت، یک سال نرمال آبی به عنوان سال پایه مد نظر قرار گرفت.



شکل ۲- شبکه گره ها و جریانهای ورودی / خروجی به/از رودخانه زاینده رود

پایه در درجه اول واحدهای مطالعاتی نجف آباد (۲۰۸۷۶ هکتار)، سپس اصفهان-برخوار (۷۴۳۷ هکتار) داشته و سایر نواحی، در مکانهای بعدی قرار دارند.

در سناریوی کاهش عرضه آب به مقدار ۵۰ درصد شرایط نرمال، امکان افزایش سطح زیر کشت محصولات استراتژیک تا بیش از ۳/۶ برابر سطح آنها در شرایط پایه عرضه کاهش یافته آب، در صورت کاربرد توصیه‌های الگوی این مطالعه وجود دارد. این امکان طبق توصیه الگو به شرط کاهش ۲۳ درصدی در سطح سایر محصولات اتفاق می‌افتد. نکته جالب توجه در این میان آن است که واحد کوهپایه- سگری سهمی در حدود ۵۶ درصد از کل افزایش سطح محصولات مناطق مورد مطالعه را به عهده می‌گیرد. سایر مناطق به ترتیب اولویت عبارتند از برخوار و میمه (۱۶/۵ درصد)، مبارکه و سمیرم سفلی (۱۰ درصد)، مهیار شمالی (۶/۵ درصد) و بن و سامان (۳/۵ درصد).

امنیت غذایی

بر اساس توصیه الگوی برنامه‌ریزی مورد بررسی (جدول ۲)، در شرایط عرضه نرمال آب، امکان افزایش ۱۷ درصدی در میزان تولید محصولات استراتژیک در راستای امنیت غذایی وجود دارد. در عین حال می‌توان تولید محصولات دیگر را نیز بیش از ۸۰ درصد شرایط پایه افزایش داد.

بر پایه اطلاعات حاصل از بررسی آمار دراز مدت ورودی جریانهای آب به سد زاینده رود (به عنوان منبع اصلی عرضه هیدرولوژیکی حوضه زاینده رود) سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ به عنوان آخرین سال نرمال آبی در دوره بررسی ۳۰ ساله منتهی به سال ۸۸-۱۳۸۷ بود. این سال به عنوان سال پایه در نظر گرفته شد و سایر اطلاعات (به جز اطلاعات قیمتی و هزینه ای) بر مبنای آن جمع آوری شد. شکل ۲، نقشه شماتیک جریانهای آب در حوضه زاینده رود را نشان می‌دهد. با استفاده از این نقشه، روابط هیدرولوژیک موجود در حوضه در الگو دخالت داده شد. در ادامه به بحث و تحلیل گزینه سیاستی پایه شامل ادامه اتخاذ استراتژیهای عرضه و تقاضای جاری، در مقابل گزینه‌ی جایگزین شامل تخصیص و استفاده بهینه از آب جهت تامین امنیت غذایی، پرداخته می‌شود.

سطح زیر کشت

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که الگوی برنامه‌ریزی این مطالعه، نسخه متفاوتی را برای مناطق مختلف در راستای تامین امنیت غذایی و ارتقای کارایی اقتصادی تجویز می‌کند. بر اساس نتایج این الگو در جدول ۱، امکان افزایش سطح زیر کشت محصولات غذایی پایه تا نزدیک ۲۰ درصد بیش از شرایط پایه وجود دارد. در عین حال سطح زیر کشت سایر محصولات نیز در این شرایط در حدود ۲۳ درصد ارتقاء پیدا می‌کند. بیشترین مساعدت را به افزایش سطح محصولات

جدول ۱- سطح زیر کشت محصولات به تفکیک سناریوهای عرضه آب و گزینه‌ی سیاستی در حوضه زاینده رود (هکتار در سال)

منطقه	نوع محصول	کل		تغییرات نسبت به پایه	
		نرمال	خشکسالی	نرمال	خشکسالی
بن و سامان	غذائی اساسی*	۸۰۳	۱۵۸	۸۹۰	۲۷۴
	سایر محصولات	۱۲۷۳	۹۷۶	-۲۴۸	-۷۳
مبارکه و سمیرم سفلی	غذائی اساسی	۱۲۶۵۰	۸۰۶	۱۰۷۹	۷۷۴۴
	سایر محصولات	۱۲۱۶۱	۶۵۵۸	۱۲۵۵۹	-۴۰۰۴
مهیار شمالی	غذائی اساسی	۶۲۰۵	۳	۶۸۳	۵۱۶۳
	سایر محصولات	۴۵۶	۱۸۲	-۴۴۵	-۱۸۲
نجف آباد	غذائی اساسی	۱۴۳۶۳	۳۳۲۶	۲۰۸۷۶	۸۸۷۲
	سایر محصولات	۲۴۹۷۷	۱۷۷۴۴	-۱۳۵۸۱	-۱۴۰۱۴
اصفهان و برخوار	غذائی اساسی	۱۹۰۰۹	۶۶۴۰	۷۴۳۷	۱۳۱۶۱
	سایر محصولات	۹۵۰۰	۵۵۱۸	۴۸۱۹	۴۸۷۶-
کوهپایه و سگری	غذائی اساسی	۵۳۲۶۰	۱۰۹۸۰	-۹۶۴۵	۴۴۶۶۶
	سایر محصولات	۱۰۵۱۹	۴۳۷۵	۱۰۲۰۶	-۴۱۰۴
کل	غذائی اساسی	۱۰۶،۲۸۹	۲۱،۹۱۳	۲۱،۳۲۰	۷۹،۸۸۱
	سایر محصولات	۵۸،۸۸۷	۳۵،۳۵۳	۱۳،۳۱۰	-۲۷،۲۵۲
	کل	۱۶۵،۱۷۶	۵۷،۲۶۶	۳۴،۶۳۰	۵۲،۶۲۹

* محصولات غذایی اساسی عبارتند از: گندم، جو، دانه های روغنی، سیب زمینی و تولیدات علوفه ای

۸۹۸ میلیون مترمکعب کاهش یابد. این درحالی است که حجم آب مصرف شده افزایشی ۴۷ میلیون مترمکعبی را نشان می‌دهد. این نتیجه حکایت از بهبود راندمان آبیاری به مقدار قابل توجهی دارد. کاهش حجم آب آبیاری برآیند کاهش حجم آبیاری در مناطق مبارکه و سمیرم سفلی، نجف آباد، اصفهان-برخوار و تا حدودی مهیار شمالی و بن و سامان و در عین حال افزایش حجم آب آبیاری در واحد مطالعاتی کوهپایه-سگزی است. در هر صورت نگاهی به تغییرات ایجاد شده در حجم آب مصرفی و حجم آب آبیاری در جدول ۳ حکایت از افزایش راندمان آبیاری در همه مناطق دارد.

اتخاذ سیاست استراتژی بهینه در شرایط کم آبی، می‌تواند کاهش حجم آب آبیاری و افزایش حجم آب مصرف شده را به همراه داشته باشد. در این خصوص با اجرای یک برنامه‌ریزی یکپارچه می‌توان حجم آب آبیاری کل مناطق را تا ۳۴۹ میلیون مترمکعب کاهش داد در حالی که مصرف آب را فقط ۵ میلیون کم کرد.

این نکته حکایت از امکان افزایش راندمان مصرف آب در مناطق مورد مطالعه دارد. بیشترین مساعدت را در این خصوص واحد نجف آباد می‌کند، در عین حال مساعدت ایجاد شده توسط واحد نجف آباد به واحد کوهپایه و سگزی که در پایین دست قرار دارد این امکان را می‌دهد که حجم آب آبیاری را در شرایط خشکسالی افزایش دهد.

مقدار افزایش تولید این گروه محصولات تحت این برنامه در همه نواحی اتفاق می‌افتد ولی سهم دو ناحیه کوهپایه-سگزی و نجف‌آباد به ترتیب با ۴۸ و ۴۳ درصد از کل تولید، نسبت به سایر مناطق بیشتر است. الگوی برنامه ریزی مورد استفاده همچنین افزایش ۲ برابری را برای تولید محصولات استراتژیک در ناحیه کوهپایه-سگزی در راستای تأمین اهداف امنیت غذایی در شرایط عرضه کاهش یافته آب به مقدار ۵۰ درصد شرایط نرمال (خشکسالی) ترتیب می‌دهد. علاوه بر این تولید محصولات پایه در سایر مناطق نیز در این سناریوی عرضه آب افزایش می‌یابد به شکلی که نهایتاً کل تولید چنین محصولاتی در نواحی مورد مطالعه نزدیک به ۱/۵ برابر شرایط پایه خشکسالی می‌گردد. این افزایش تولید، همچنین به بهای کاهش تولید سایر محصولات به مقدار ۲۳ درصد کمتر از شرایط پایه خواهد بود.

هیدرولوژی

اتخاذ استراتژی بهینه مسلماً اثرات قابل توجهی بر استفاده از آب در بخش کشاورزی خواهد داشت. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که براساس برنامه‌ریزی یکپارچه صورت گرفته تحت اتخاذ سیاست تأمین امنیت غذایی، تغییرات ایجاد شده در الگوی کشت بر اساس بهینه سازی صورت گرفته باعث می‌شود تا حجم کل آب آبیاری به میزان

جدول ۲- تولید کل محصولات کشاورزی به تفکیک سناریوهای عرضه آب و گزینه‌ی سیاستی در حوضه زاینده رود (تن در سال)

منطقه	نوع محصول	کل تغییرات نسبت به پایه		
		سنا ریوی عرضه آب	نرمال	خشکسالی
بن و سامان	غذائی اساسی	گزینه سیاستی	پایه	پایه
		کاهش	افزایش	کاهش
بن و سامان	غذائی اساسی	۴,۱۷۳	۱,۴۲۹	۸,۴۳۵
	سایر محصولات	۵,۹۳۹	۵,۰۴۶	۱۲,۷۴۲
مبارکه و سمیرم سفلی	غذائی اساسی	۷۵,۵۵۲	۹,۶۹۷	۱,۷۷۵
	سایر محصولات	۱۰۳,۴۲۱	۷۴,۵۷۷	۶۱۷,۰۸۶
مهیار شمالی	غذائی اساسی	۳۲,۴۲۵	۴	۲۲۹
	سایر محصولات	۸,۱۳۷	۳,۷۰۶	-۷,۷۸۶
نجف آباد	غذائی اساسی	۲۱۲,۰۷۵	۱۰۸,۵۵۳	۷۵,۰۲۷
	سایر محصولات	۳۹۹,۱۱۷	۳۳۱,۰۸۷	-۱۱۷,۴۰۹
اصفهان و برخوار	غذائی اساسی	۱۵۲,۲۵۴	۵۵,۵۳۴	۵,۱۲۰
	سایر محصولات	۱۴۶,۵۲۳	۱۰۰,۴۹۰	۲۲۵,۹۸۰
کوهپایه و سگزی	غذائی اساسی	۵۷۹,۰۸۶	۱۴۴,۱۵۵	۸۴,۷۹۸
	سایر محصولات	۱۹۱,۶۸۶	۱۲۶,۱۸۴	-۴۲,۳۰۴
کل	غذائی اساسی	۱,۰۵۵,۵۶۵	۳۱۹,۳۷۲	۱۷۵,۳۸۵
	سایر محصولات	۸۵۴,۸۲۳	۶۴۱,۰۹۰	۶۸۹,۸۵۳

جدول ۳- حجم آب به تفکیک منطقه، آبیاری و مصرفی، سناریوهای عرضه آب و گزینه‌ی سیاستی در حوضه زاینده رود (میلیون متر مکعب در سال)

منطقه	حجم آب	سناریوی عرضه آب		کل		تغییرات نسبت به پایه		
		آبیاری	مصرفی	نرمال	خشکسالی	نرمال	خشکسالی	گزینه سیاستی
بن و سامان	آبیاری	۳۹	۱۱	۲۴	۷	-۸	۰	
	مصرفی	۱۱	۷	۲	۰	-۱۳	۰	
مبارکه و سمیرم سفلی	آبیاری	۵۸۴	۱۸۰	۲۳۸	۷۵	-۲۶۵	-۹۳	
	مصرفی	۱۸۰	۷۵	۲۳	۱۹	۲۳	-۱۹	
مهیار شمالی	آبیاری	۱۰۴	۳۶	۵	۲	-۳۶	۴۶	
	مصرفی	۳۶	۲	۱۳	۱۶	-۱۳	۱۶	
نجف آباد	آبیاری	۱۰۱۳۰	۳۳۵	۶۵۹	۲۰۱	-۵۰۴	-۴۶۹	
	مصرفی	۳۳۵	۲۰۱	۵۹	۱۱۵	-۵۹	-۱۱۵	
اصفهان و برخوار	آبیاری	۵۳۵	۱۹۲	۲۱۴	۷۹	-۱۶۳	-۱۲	
	مصرفی	۱۹۲	۷۹	۵	۱	۵	-۱	
کوهپایه و سگزی	آبیاری	۱۰۲۲۶	۴۳۱	۲۵۸	۹۶	۷۷	۱۹۳	
	مصرفی	۴۳۱	۹۶	۸۹	۱۱۵	۸۹	۱۱۵	
کل	آبیاری	۳۶۱۸	۱۰۱۸۵	۱۰۳۹۹	۴۶۱	-۸۹۸	-۳۴۹	
	مصرفی	۱۰۱۸۵	۴۶۱	۴۶۱	۵	۴۷	-۵	
	کل	۴۰۸۰۳	۱۰۶۵۰	۱۰۶۵۰	۸۵۱	-۸۵۱	-۳۵۴	

منافع کنونی در این شرایط وجود دارد، این در حالی است که منافع هر یک از نواحی نیز به طور جداگانه افزایش می‌یابد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در تحلیل‌های صورت گرفته برای مطالعه جاری، رسالت برنامه‌ی پیشنهادی در احاطه بر چالش تامین امنیت غذایی از طریق منابع تولید داخلی، در شرایط نرمال عرضه آب و همچنین خشکسالی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا، سیاست ترویج الگوی کشت بهینه، سیاستی بود که مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فراهم آوردن شرایط برای برقراری چنین برنامه ریزی مساعدت قابل توجهی به ارتقاء کارایی اقتصادی استفاده از آب خواهد کرد. این نتیجه گیری، با نتایج سایر مطالعات صورت گرفته در ایران در خصوص الگوی بهینه کشت مطابقت دارد (برای نمونه: ۱، ۸ و ۱۴). اتخاذ این برنامه، امکان افزایش کل سطح زیرکشت محصولات را به مقدار قابل توجهی، فراهم می‌نماید.

نتیجه گیری مهم دیگر آن است که با اتخاذ چنین استراتژی، مساعدت ویژه‌ای از طرف مناطق بالا دست رودخانه (در این مطالعه، واحد مطالعاتی نجف آباد) به افزایش حجم آب آبیاری مناطق پائین دست آن (در این مطالعه، واحد مطالعاتی کوهپایه و سگزی) در شرایط خشکسالی بوجود خواهد آمد.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با اتخاذ استراتژی بهینه در شرایط عرضه نرمال آب تحت الگوی این مطالعه، نه تنها می‌توان کل مصارف آبهای سطحی را کاهش داد، بلکه این برنامه قادر به کاهش مصرف آبهای زیر زمینی نیز می‌باشد. در این خصوص به جز ناحیه کوهپایه-سگزی و تا حدودی مهیارشمالی که بر اساس الگوی بهینه در جهت افزایش مصارف زیر زمینی حرکت می‌کند، سایر مناطق، مصرف از هر دو منبع را کاهش می‌دهند. نکته قابل توجه آن است که این برنامه نه تنها باعث کاهش مصارف از منابع سطحی و زیر زمینی می‌شود بلکه مساعدت قابل توجهی به مصرف در بخش محیط زیست به مقدار ۱۷۵ میلیون متر مکعب دارد.

اقتصاد

نگاهی کلی به نتایج حاصل از پیاده سازی استراتژی بهینه تحت الگوهای برنامه‌ریزی یکپارچه و سناریوهای عرضه آب نرمال و خشکسالی در جدول ۵، نشان می‌دهد که به طور کلی ارزش خالص منافع سالانه با اتخاذ چنین استراتژی در همه موارد قابل افزایش است. در این خصوص در شرایط عرضه نرمال آب امکان افزایش منافع خالص سالانه به بیش از ۱۴/۵ درصد، وجود دارد. بیشترین مساعدت را در این خصوص بخش کشاورزی می‌نماید. علاوه بر این تحت سناریوی خشکسالی نیز امکان افزایش منافع سالانه نسبت به

جدول ۴- حجم آب به تفکیک مصارف، منابع تامین، سناریوهای عرضه آب و گزینه‌ی سیاستی در حوضه زاینده رود

(میلیون متر مکعب در سال)

سناریوی عرضه آب		کل		تغییرات نسبت به پایه	
		نرمال	خشکسالی	نرمال	خشکسالی
مصرف کننده	منبع تامین	پایه	پایه	بهبینه	بهبینه
		شرب	سطحی	۳۳۰	۳۲۷
صنعت	سطحی	۱۰۴	۱۰۳	-۱	-۲۵
محیط زیست	سطحی	۲۵۸	۹۱	۱۷۵	۷۵
انتقال بین حوضه ای	سطحی	۱۵۶	۱۵۶	۰	۰
کشاورزی					
بن و سامان	سطحی	۰	۰	۰	۰
	زیرزمینی	۳۹	۲۴	-۸	-۱۳
مبارکه و سمیرم سفلی	سطحی	۱۷۱	۳۲	-۸۹	-۳۲
	زیرزمینی	۴۱۴	۲۰۶	-۱۷۵	-۶۱
مهیار شمالی	سطحی	۷۵	۱	-۴۷	۲۰
	زیرزمینی	۲۹	۴	۱۰	۲۵
نجف آباد	سطحی	۳۰۵	۱۸۸	-۸۶	-۱۳۵
	زیرزمینی	۸۲۵	۴۷۱	-۴۱۸	-۳۳۴
اصفهان و برخوار	سطحی	۸۰	۲۶	۰	-۷
	زیرزمینی	۴۵۵	۱۸۸	-۱۶۳	-۵
کوهپایه و سگری	سطحی	۵۶۵	۸۷	-۴۲	۱۰۲
	زیرزمینی	۶۶۰	۱۷۲	۱۱۹	۹۲
کل	سطحی	۲۰۴۵	۱۰۱۱	-۹۷	-۳۲
	زیرزمینی	۲۴۲۲	۱۰۶۵	-۶۳۴	-۲۹۶
	کل	۴۴۶۶	۲۰۷۶	-۷۳۱	-۳۲۸

جدول ۵- ارزش خالص سالانه منافع به تفکیک مصارف، سناریوهای عرضه آب و گزینه‌ی سیاستی در حوضه زاینده رود

(میلیارد ریال در سال)

سناریوی عرضه آب		کل		تغییرات نسبت به پایه	
		نرمال	خشکسالی	نرمال	خشکسالی
مصرف کننده	گزینه سیاستی	پایه	پایه	بهبینه	بهبینه
		شرب		۲۱،۹۸۰	۲۱،۹۷۷
صنعت		۱۳،۷۲۲	۱۳،۷۲۱	-۲	-۷۸۳
محیط زیست وابسته سد		۸۰	۷۹	-۱	۰
محیط زیست وابسته جریان آب		۲۱۲	۸۷	۷	۲۹
کشاورزی		۳،۵۹۷	۲،۵۷۷	۵،۸۳۵	۱،۴۱۱
بن و سامان		۳۴	۲۹	۵۶۲	۵۷۴
مبارکه و سمیرم سفلی		۴۴۶	۳۰۹	۴۵۶	۲۲۸
مهیار شمالی		۳۰	۷	۱۵	۲۸۸
نجف آباد		۱،۷۹۰	۱،۵۱۷	۸۳	۲۲
برخوار و میمه		۴۷۹	۳۲۲	۱۴۹	۲۱
کوهپایه و سگری		۸۱۷	۳۹۴	۱۷۱	۲۸
کل منافع خالص سالانه		۳۹،۵۹۱	۳۸،۴۴۱	۵،۸۳۰	۴۴۱

۱- مقادیر مشخص شده با علامت + نشان دهنده منافع، مقادیر با علامت منفی نشاندهنده هزینه‌ها

هم قرار دادن مباحث مختلف اقتصادی و هیدرولوژیکی، پیشنهاد می-شود که چنین الگویی برای سایر حوضه های آبریز کشور، جهت ایجاد ابتکار عمل برای مدیران مربوطه، به کار برده شود.

ضمیمه - الگوی یکپارچه تحلیل حوضه زاینده رود

الگوی برنامه ریزی ریاضی این مطالعه قادر به برقراری روابط متقابل فیزیکی بین مصارف مختلف (آبیاری، شهری، صنعتی، تفریحی و زیست محیطی)، ذخائر (سدها و سفره های آب زیر زمینی)، جریانها (انحراف، پمپاژ، برداشت، مصرف و بازگشت آب) و ضایعات (در سطح کرت یک مزرعه، انتقال و تبخیر از سطح سدها) در سطح حوضه رودخانه می باشد. این الگو شامل قسمتهای تابع هدف، اقتصاد، هیدرولوژی، ظرفیتها (تخصیص زمین و انتقال آب)، و نهادها (قوانین) به شرح زیر می باشد:

تابع هدف

با معرفی $DNPV$ به عنوان ارزش حال خالص تنزیل شده در طول زمان NB_u t به عنوان منافع خالص استفاده از آب، NBe به عنوان منافع زیست محیطی آب و r به عنوان نرخ تنزیل، تابع هدف الگو به صورت زیر است:

$$Max_{L, X} DNPV^{s,p} = \sum_u \sum_t \frac{NB_{u,t}^{s,p}}{(1+r_u)^t} + \sum_e \sum_t \frac{NBe_{e,t}^{s,p}}{(1+r_e)^t} \quad (1)$$

که در اینجا Max هدف نهایی مدل که بیشینه سازی $DNPV$ است را بیان می کند. زیر نویسهای L و X به ترتیب متغیرهای تصمیم آبی و زمین را نشان داده و اشاره به آن دارد که حل بهینه تابع هدف منجر به مشخص شدن مقادیر بهینه سطح زمین (هکتار) و حجم آب (متر مکعب) خواهد بود. بالانویسهای s و p نیز به ترتیب سناریوهای عرضه آب و گزینه های سیاستی (پایه و جایگزین) را مشخص کرده و نشان می دهد که مدل به صورت جداگانه برای ترکیب سناریو و سیاستهای در نظر گرفته شده حل می گردد. اندیس u به عنوان مناطق (گره های) وابسته به مصرف آب و اندیس e به عنوان گره های زیست محیطی، اشاره به آن دارند که هر دو منافع اقتصادی و زیست محیطی آب در منافع کل به حساب آورده می شوند.

اقتصاد

روابط زیر منافع خالص مصارف کشاورزی، شرب و صنعت که به ترتیب با اندیسهای ind و urb agr مشخص می شوند، را نشان می دهند.

بر اساس این الگو، امکان افزایش سطح زیر کشت محصولات استراتژیک، از چند درصد در شرایط خشکسالی تا چند برابر در شرایط نرمال، نسبت به سطح پایه نیز وجود دارد. بر این اساس، سهم مناطق پائین دست رودخانه در افزایش سطح زیر کشت و مقدار تولید محصولات غذایی پایه، و در راستای آن، امنیت غذایی به مقدار قابل ملاحظه ای توسعه می یابد. نتایج این مطالعه همچنین نشان می دهد که اتخاذ استراتژی بهینه، تغییر نسبت حجم آب آبیاری به حجم آب مصرف شده در تمامی مناطق را به همراه دارد. بنابراین بهینه سازی صورت گرفته باعث می شود تا حجم کل آب آبیاری در حوضه به میزان بسیار قابل توجهی نسبت شرایط پایه، و حجم آب مصرف به نسبت بسیار کمتری افزایش یابد. با توجه به اینکه بخش کشاورزی در حدود ۸۰ درصد از منابع محدوده مطالعاتی را مصرف می کند، می توان نتیجه گرفت که چنین الگویی بهبود راندمان مصرف آب در حوضه را، به مقدار قابل توجهی افزایش داده و شرایط پایدارتری را، از نظر مصرف منابع آب، برقرار می کند. نکته دیگر آن است که این برنامه نه تنها کل مصارف آبهای سطحی را نسبت به شرایط پایه کاهش می دهد، بلکه قادر به کاهش مصرف آبهای زیر زمینی نیز می باشد که از این حیث نیز بر پایداری استفاده از منابع آب موثر است. این نتایج، ادعای مطالعات گذشته در زمینه استفاده از الگوهای برنامه ریزی یکپارچه در سطح حوضه آبریز (برای نمونه: ۲۲، ۲۹ و ۳۷) در خصوص اینکه این روش می تواند موجب بهبود ابتکار عمل در مدیریت پایدار منابع آب و همچنین تامین امنیت غذایی نسلهای فعلی و آینده شود را نسبت به سایر روشهای مورد استفاده (برای نمونه: ۱۹، ۲۶، ۲۸ و ۴۴) تأیید می کند. بر اساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می شود که:

استراتژی بهینه مورد آزمون در مطالعه جاری، که نه تنها منافع منطقه ای را بهبود می بخشد، بلکه باعث ارتقاء کارایی اقتصادی کل حوضه و رفع مشکل محدودیت آب در مناطق پائین دست رودخانه می شود، توسط مسئولین سازمان جهاد کشاورزی اصفهان، مورد ترویج قرار گیرد.

بر اساس ماده ۱۴۳ و ۱۴۵ قانون برنامه پنجم توسعه و همچنین تبصره ۶ ماده ۶ و ماده ۲۶ قانون ارتقاء بهره وری کشاورزی، نیازهای قانونی اجرای چنین برنامه ای موجود است. پیشنهاد می شود که بسته های حمایتی، فرهنگ سازی، و آموزشهای لازم در جهت اجرای برنامه بهینه این مطالعه برای راهبردهای مختلف عرضه آب، به ویژه در شرایط خشکسالی به منظور ارتقاء کارایی اقتصادی و اطمینان از امنیت غذایی، توسط دو وزارتخانه نیرو و جهاد کشاورزی، فراهم شود.

با توجه به توانمندی های الگوی اقتصادی-هیدرولوژیکی یکپارچه در مقیاس حوضه آبریز مورد استفاده در مطالعه جاری، برای آزمون سیاستها و پوشش اهداف کلان ملی-منطقه ای و همچنین، در کنار

شوند) و آب انحرافی برای صنایع بزرگ تعلق نمی‌گیرد. منافع زیست محیطی در الگوی مطالعه جاری با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$NBe_{e,t}^{s,p} = \beta_e^{intercept} + \beta_e^{linear} X_{e,t}^{s,p} + \beta_e^{quadratic} (X_{e,t}^{s,p})^2 \quad (8)$$

$\forall e \in res, env, wet$

که در اینجا، اندیسهای *res*، *env* و *wet* به ترتیب برای خدمات زیست محیطی حاصل از سد، جریان رودخانه و تالاب، می‌باشند. همچنین، X_e گره های زیست محیطی در محدوده مطالعاتی و β پارامترهای عرض از مبدا، خطی و درجه دوم تابع می‌باشند.

هیدرولوژی

جریانهای سالانه به صورت منابع عرضه آب، ذخائر آب، روابط عملکردی و جغرافیائی جریان رودخانه و آب برداشت شده جهت مصارف مختلف، تعریف می‌شوند. رابطه زیر کل جریان ورودی الگو را در گره های داده شده اندازه گیری می‌کند:

$$X_{inflow,t}^s = Source_{inflow} PCT^s \quad (9)$$

که در اینجا زیر نویس *inflow* گره های عرضه آب و *source* حجم آب به متر مکعب عرضه شده بوسیله منابع مختلف آب می‌باشند. همچنین PCT^s عبارت از درصد تامین آب نسبت به میانگین وزنی بلند مدت جریانهای عرضه آب ورودی، در راهبرد عرضه آب *s* ام، می‌باشد. روابط زیر ارتباط جغرافیایی بین گره‌های اصلی موجود در حوضه را بر اساس قاعده توازن آب به الگو معرفی می‌کند:

$$X_{gauge,t}^{s,p} = \sum_i \Delta_{gauge,i} X_{i,t}^{s,p} \quad (10)$$

$$X_{divert,t}^{s,p} = \sum_i \Delta_{divert,i} X_{i,t}^{s,p} \quad (11)$$

$\forall i \in inflow, gauge, divert, return, gwriver, rivergw, rel$
 که در اینجا Δ_{gauge} و Δ_{divert} عناصر ماتریسهایی هستند که موقعیت جغرافیایی جریان آب در گره *i* را به ترتیب به گره های درجه اندازه گیری (*gauge*) و برداشت آب سطحی (*divert*) متصل می‌کنند. عناصر ماتریس Δ می‌تواند +۱ (جایی که گره جریان های ورودی بلافاصله در بالای *gauge* یا *divert* قرار دارند)، -۱ (جایی که گره جریان های برداشت آب بلافاصله در بالای *gauge* یا *divert* قرار دارند) و یا صفر (جایی که گره بالا و پایین هیچ تأثیری روی *gauge* یا *divert* مورد نظر ندارند) باشند. سایر جریانهای در نظر گرفته شده در الگو شامل، جریان آب برگشتی از هر گره آب برداشتی (*return*)، جریان سر ریز سفره‌های آب زیر زمینی به رودخانه (*gwriver*)، جریان تغذیه سفره‌های آب زیر زمینی توسط رودخانه (*rivergw*) و خالص ورودی و خروجی از سد (*rel*) می‌باشد.

$$NBu_{u,t}^{s,p} = TBu_{u,t}^{s,p} - TCu_{u,t}^{s,p} \quad \forall u \in agr, urb, ind \quad (2)$$

که در اینجا TBU_u و TCU_u منافع و هزینه‌های کل حاصل از تحویل آب به این مصارف می‌باشند.

در مصارف کشاورزی، منافع کل برای اراضی آبیاری شده بوسیله مساعدتی که آب روی درآمد خالص مزارع دارد، به صورت روابط زیر در الگو وارد می‌شوند.

$$TBu_{agr,t}^{s,p} = \sum_j \sum_k GM_{apply_{agr,j,k,t}}^{s,p} L_{apply_{agr,j,k,t}}^{s,p} \quad (3)$$

$$GM_{apply_{agr,j,k,t}}^{s,p} = Price_j Yield_{apply_{agr,j,k,t}} - Cost_{apply_{agr,j,k,t}} \quad (4)$$

که در اینجا، محصولات با اندیس *j* و تکنولوژی آبیاری مورد استفاده برای هر محصول با اندیس *k* مشخص می‌شود. همچنین، *GM* بازده ناخالص (ریال)، *Price* قیمت واحد محصول (ریال بر هر کیلو گرم)، *Yield* عملکرد محصول (کیلو گرم در هکتار)، و *Cost* هزینه‌های محاسباتی تولید (ریال در هکتار) است. منافع آب شهری نیز با استفاده از فرم تابع درجه دوم به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$TBu_{urb,t}^{s,p} = \beta_{urb}^{intercept} + \beta_{urb}^{linear} X_{apply_{urb,t}}^{s,p} + \beta_{urb}^{quadratic} (X_{apply_{urb,t}}^{s,p})^2 \quad (5)$$

که در اینجا β ها پارامترها و بالانویسه‌های آنها به ترتیب جزء ثابت (*Intercept*)، خطی (*Linear*) و درجه دوم (*quadratic*) را برای استفاده منفعت آور آب در هر گره مصرف آب شرب (*apply_urb*) در زمان *t* را نشان می‌دهد. یک تابع منفعت سالانه آب صنعت نیز، به شکل زیر در الگوی مطالعه جاری در نظر گرفته می‌شود:

$$TBu_{ind,t}^{s,p} = \beta_{ind}^{intercept} + \beta_{ind}^{linear} X_{apply_{ind,t}}^{s,p} + \beta_{ind}^{quadratic} (X_{apply_{ind,t}}^{s,p})^2 \quad (6)$$

که تمام اندیسها و پارامترها، قبلاً تعریف شده اند.

هزینه کل شامل هزینه‌های انرژی، بهره‌برداری و نگهداری، تصفیه آب، و برداشت آب (بوسیله پمپاژ و یا انحراف آبهای سطحی) در هر گره مصرف کننده آب، می‌باشد (۳۷ و ۴۱). این هزینه برای تحویل آب به مصرف کنندگان یاد شده با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$TCu_{u,t}^{s,p} = \sum_{pump} (\delta ue_{pump,u}^p + \delta ut_{pump,u}^p) X_{pump,u,t}^{s,p} + \sum_{divert} (\delta ue_{divert,u}^p + \delta ut_{divert,u}^p) X_{divert,u,t}^{s,p} \quad (7)$$

که در آن *pump* گره پمپاژ از سفره‌های آب زیر زمینی و *divert* گره برداشت آب سطحی را در گره های کاربرد آب نشان می‌دهند. همچنین، δue هزینه انرژی، بهره‌برداری و نگهداری آب و δut به عنوان هزینه تصفیه آب برای هر واحد برداشت آب سطحی یا پمپاژ آب زیر زمینی (ریال بر متر مکعب) می‌باشد. لازم به ذکر است که تحویل آب شهری نیازمند هزینه‌های زیادی برای تصفیه جهت سالم سازی آن برای مصارف انسانی است در حالی که این هزینه‌ها به مصارف آب شهری (و صنایعی که از شبکه آب شهری تغذیه می‌-

$$X_{divert,t}^{s,p} \leq \bar{X}_{divert,t}^{capacity} \quad (18)$$

برای کشاورزی فاریاب کل زمین بکار گرفته شده در تولید محصول به صورت زیر بیان می شود:

$$\sum_j \sum_k L_{apply_{agr,j,k,t}}^{s,p} \leq L_{apply_{agr,t}}^{RHS} \quad (19)$$

این رابطه بیان می کند که جمع سطح زیر کشت تولید محصولات محصولات زراعی و باغی در هر گره، از کل ظرفیت زمین موجود به تفکیک موقعیت مناطق کشاورزی و زمان مورد نظر، نمی تواند بیشتر باشد. در این مطالعه حداکثر زمین قابل دسترس برای هر گره کشاورزی فاریاب به عنوان محدودیت بالایی زمین قابل دسترس لحاظ می شود.

قوانین و نهادها

برای دخالت دادن قوانین و نهادها در الگوی مطالعه جاری، محدودیتهای بیشینه یا کمینه بر روی آب برداشتی و یا بر روی میزان برداشت سطحی یا زیرزمینی آب در گره های مورد مطالعه برقرار می شود. این روابط به صورت زیر تعریف می شوند.

$$X_{i,t}^{s,p} \leq \bar{X}_{i,t}^{ins_{upper}} \quad (20)$$

$$X_{i,t}^{s,p} \geq \bar{X}_{i,t}^{ins_{lower}} \quad (21)$$

$$\forall i \in apply_u, pump_u, divert_u, gauge$$

که در اینجا \bar{X} عبارت از یک حجم آب ثابت است که به صورت برون زا و بر اساس حقوق و قوائد توزیع آب موجود، به مدل معرفی می شود. شبیه همین محدودیتهای، بر روی منابع ذخیره آب از جمله سدها و سفره های آب زیرزمینی جهت استفاده پایدار از این منابع به شکل زیر برقرار می شود:

$$Z_{q,t}^{s,p} \leq \bar{Z}_{q,t}^{ins_{upper}} \quad (22)$$

$$Z_{q,t}^{s,p} \geq \bar{Z}_{q,t}^{ins_{lower}} \quad (23)$$

$$\forall q \in res, gws$$

که در اینجا، \bar{Z} عبارت از یک حجم ثابت ذخیره آب است که می تواند با توابع تضمین کننده عملکرد پایدار منابع ذخیره آب جایگزین شود.

مجموع کل آب برداشت شده در الگو عبارت است از:

$$X_{apply,t}^{s,p} = \sum_{divert} \Delta_{divert,apply} X_{divert,t}^{s,p} + \sum_{pump} \Delta_{pump,apply} X_{pump,t}^{s,p} \quad (12)$$

که در اینجا $apply$ بیانگر گره برداشت آب، و پارامترهایی که اینجا و در روابط بعدی با علامت Δ مشخص شده اند عبارت از ماتریس واحدی است که گره های مشخص شده با زیرنویس خود را به یکدیگر متصل می کنند. رابطه زیر ارتباط اجزاء آب برداشت شده را نشان می دهد.

$$X_{apply,t}^{s,p} = \sum_{use} \Delta_{use,apply} X_{use,t}^{s,p} + \sum_{seepage} \Delta_{seepage,apply} X_{seepage,t}^{s,p} + \sum_{return} \Delta_{return,apply} X_{return,t}^{s,p} \quad (13)$$

که در آن، use معرف مصرف، $seepage$ معرف نفوذ و $return$ معرف جریان برگشتی آب به رودخانه می باشد.

ذخیره سالانه آب سدها ($Z_{res,t}$)، پارامترهایی شامل، ذخیره سال قبل آن ($Z_{res,t-1}$)، تبخیر از سطح منبع (evp)، و خالص ورودی - خروجی از سدها (rel) را، به یکدیگر به شکل زیر پیوند می زند:

$$Z_{res,t}^{s,p} = Z_{res,t-1}^{s,p} - \sum_{rel} \Delta_{res,rel} X_{rel,t}^{s,p} - \sum_{evp} \Delta_{res,evp} X_{evp,t}^{s,p} \quad (14)$$

توازن آب برای منابع آب زیر زمینی، Z_{gws} ، بوسیله رابطه زیر به دست می آید:

$$Z_{gws,t}^{s,p} = Z_{gws,t-1}^{s,p} + \sum_{addaq} \Delta_{addaq,gws} X_{addaq,t}^{s,p} \quad (15)$$

که در اینجا جزء اول سمت راست، رابطه ذخیره منابع آب با یک سال تأخیر نسبت به سال t می باشد به شکلی که در شروع (سال صفر)، $Z_{gws,0}^{s,p}$ وضعیت نقطه شروع منبع را مشخص می کند. متغیر $X_{addaq,t}^{s,p}$ نیز حجم آب سالانه اضافه شده به سفره های زیر زمینی در سال t را نشان می دهد.

ظرفیتهای

در الگوی مطالعه جاری، محدودیت بالایی و پایینی^۱ بر روی ذخایر آب منبع سد به شکل زیر برقرار می گردد.

$$Z_{res,t}^{s,p} \leq UZ_{res} \quad (16)$$

$$Z_{res,t}^{s,p} \geq LZ_{res} \quad (17)$$

این روابط تضمین می کنند که میزان موجودی واقعی منبع سد در هر دوره از ظرفیت واقعی آن که به صورت محدودیت بالایی UZ یا محدودیت پایین LZ تعریف می شوند، تجاوز نکرده و یا کمتر نشود. حداکثر ظرفیت انتقال آب از طریق تجهیزات مربوط شامل کانالهای اصلی و فرعی آبیاری، لوله ها و غیره از طریق رابطه زیر به الگوی مطالعه جاری معرفی شد.

منابع

- ۱- اسدی ه. و سلطانی غ. ۱۳۷۹. بررسی واکنش مصرف کنندگان آب خانگی و کشاورزی نسبت به نرخ آب. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۸(۳۲): ۱۶۷-۱۸۶.
- ۲- جمالی س.، ابریشمچی ا. و تجریشی م. ۱۳۸۶. ساخت مدل های پیش بینی جریان رودخانه و بهره برداری از مخزن سد زاینده رود با استفاده از سیستم استنباط فازی. آب و فاضلاب، ۱۸(۴): ۲۵-۳۴.
- ۳- خالدی ک. و فریادرس و. ۱۳۹۰. شبیه سازی امنیت غذایی بر مبنای تغییر منابع تولید و سیاست های تجاری. اقتصاد کشاورزی، ۵(۱): ۶۷-۷۹.
- ۴- حسینی ابری س.ح. ۱۳۸۸. رابطه طومار شیخ بهایی با تقسیم سنتی آب زاینده رود؟ جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱(۲): ۱۴-۵.
- ۵- زیبایی م.، ملک ورنوسفاد رانی م.، و شهسواری ز. ۱۳۹۲. اثر بخشی سیاستهای مدیریت تقاضای آب با تاکید بر نقش بازار آب. مجله اقتصاد کشاورزی، زیر چاپ.
- ۶- زیبایی م.، سلطانی غ. و بخشوده م. ۱۳۸۴. مدیریت تقاضای آب کشاورزی در سطح مزرعه، مطالعه موردی: دشت فیروزآباد، پنجمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران - دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- ۷- سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان. ۱۳۸۹. اطلاعات مربوطه به عملکردها، هزینه‌ها، قیمتها، و سطح زیر کشت محصولات، اداره آمار و فن آوری اطلاعات، سازمان جهاد کشاورزی، اصفهان.
- ۸- سلطانی غ. و صبحی م. ۱۳۸۷. بهینه سازی الگوهای کشت در سطح حوضه آبریز با تاکید بر منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی: مطالعه موردی منطقه خراسان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۳): ۳۱۳-۲۹۷.
- ۹- شجری ش. ۱۳۸۸. ارائه یک رویکرد سیستمی برای تجزیه و تحلیل گزینه‌های سیاستی آب در راستای بهبود مدیریت تقاضای آب آبیاری در اراضی کشاورزی زیر سد درود زن. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
- ۱۰- شرکت آب منطقه ای اصفهان. ۱۳۸۹. اطلاعات مربوط به منابع آب سطحی و زیر زمینی در حوضه زاینده رود. معاونت برنامه ریزی، شرکت آب منطقه ای، اصفهان.
- ۱۱- کاووسی ا. و مشکاتی س.م. ۱۳۸۶. پهنه بندی و تحلیل فضایی بارش اقلیمی ایران. محیط شناسی، ۳۳(۴۳): ۴۰-۳۱.
- ۱۲- مجلس شورای اسلامی. ۱۳۸۹. قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب ۸۹/۴/۲۳.
- ۱۳- مجلس شورای اسلامی. ۱۳۸۹. قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران مصوب ۸۹/۱۰/۱۵.
- ۱۴- محسنی ا. و زیبایی م. ۱۳۸۸. تحلیل پیامدهای افزایش سطح زیر کشت کلزا در دشت نمدان استان فارس: کاربرد مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۴۷): ۷۸۴-۷۷۳.
- ۱۵- مرکز آمار ایران. ۱۳۸۹. اطلاعات اقتصادی. از سایت http://www.cbi.ir/default_en.aspx (دسترسی در تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۲۰).
- ۱۶- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. اطلاعات منتخب جمعیت خانوارهای شهری و روستائی. از سایت <http://www.amar.org.ir/default.aspx?tabid=52> (دسترسی در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۲۰).
- ۱۷- مساح بوانی ع. و مرید س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان، تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱): ۴۷-۴۰.
- ۱۸- ناظم السادات س.م.ج.، سامانی ن.، باری ا. و مولایی نیکو م. ۱۳۸۵. نیروی موثر پدیده النینو - نوسانات جنوبی (ENSO) بر ایجاد تغییر اقلیم در ایران: با استفاده از تحلیل داده های بارش. مجله ایرانی علوم و تکنولوژی، ۳۰(۴): ۵۶۵-۵۵۵.
- ۱۹- نیکوئی ع.، ترکمانی ج. و مامن پوش ع. ۱۳۸۹. مدیریت مصرف آب در سطوح متفاوت شوری در راستای تحقق اهداف چندگانه کشاورزان حوضه زاینده رود. مجله آبیاری و زهکشی، ۴(۱): ۱۵۵-۱۴۳.
- ۲۰- وردی نژاد و.، سهرابی ملایوسف ت.، حیدری ن.، عراقی نژاد ش. و مامن پوش ع. ۱۳۸۸. بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده رود مطالعه موردی: شبکه آبیاری سمت راست آبشار. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۲): ۹۹-۸۸.
- 21- Al Radif A. 1999. Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises. Desalination, 124(1-3): 145-153.
- 22- Brinegar H.R., and Ward F.A. 2009. Basin impacts of irrigation water conservation policy. Ecological Economics, 69(2), 414-426.
- 23- Brooke A., Kendrick D., and Meeraus A. 1988. GAMS: A Users's Guide. The Scientific Press.
- 24- Cai X. 2008. Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin

- management- Reflective experiences. *Environmental Modelling and Software*, 23: 2-18.
- 25- FAO. 2006. Food security strategies: The Asian experience [Electronic Version]. FAO Agricultural Policy and Economic Development Series, 3. Available at <http://www.fao.org/docrep/W7442E/W7442E00.htm> (visited 21 February 2011).
- 26- Farhadi Bansouleh B. 2009. Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar & Meymeh district, Iran. *Production ecology and resource Conservation*. Wageningen, the Netherlands., Wageningen.
- 27- Ganji A., Khalili D., Karamouz M., Ponnambalam K., and Javan M. 2008. A fuzzy stochastic dynamic nash game analysis of policies for managing water allocation in a Reservoir System. *Water Resour Manage*, 22: 51-66.
- 28- Ganji A., Karamouz M., and Khalili D. 2007. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation II. The value of players' information availability and cooperative behaviors. *Advances in Water Resources*, 30: 157-168.
- 29- Gürlük S., and Ward F.A. 2009. Integrated basin management: Water and food policy options for Turkey. *Ecological Economics*, 68, 2666-2678.
- 30- Haab T.C., and McConnell K.E. 2002. Valuing environmental and natural resources : the econometrics of non-market valuation. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- 31- Harou J.J., Pulido-Velazquez M., Rosenberg D.E., Medellin-Azuara J., Lund J.R., and Howitt R.E. 2009. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, 375(3-4): 627-643.
- 32- Iranian Ministry of Energy. 2003. Long-Term Development Strategies for Iran's Water resources. Available at <http://www.wrm.ir/en/files/Development.pdf> (visited 21 July 2011).
- 33- Jonker L. 2007. Integrated water resources management: The theory-praxis-nexus, a South African perspective. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15-18): 1257-1263.
- 34- Kijne J.W., Barker R., and Molden D. (Editors), 2003. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. 1. CABI Publishing In association with the International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, London, UK.
- 35- Letcher R.A., Croke B.F.W., and Jakeman A.J. 2007. Integrated assessment modelling for water resource allocation and management: A generalised conceptual framework." *Environmental Modelling & Software*, 22(5): 733-742.
- 36- OECD, Ed. 2006. *Water and Agriculture Sustainability, Markets and Policies*, OECD Publishing.
- 37- Pulido-Velazquez M., Andreu J., Sahuquillo A., and Pulido-Velazquez D. 2008. Hydro-economic river basin modelling: The application of a holistic surface-groundwater model to assess opportunity costs of water use in Spain. *Ecological Economics*, 66(1): 51-65.
- 38- Salemi H.R., Mamanpoush A., Miranzadeh M., Akbari M., Torabi M., Toomanian N., Murray-Rust H., Droogers P., and Sally H. 2000. *Water management for sustainable irrigated agriculture in the Zayandeh Rud Basin, Esfahan Province, Iran, Reports 1*, Iranian Agricultural Engineering Research Institute, Esfahan Agricultural Research Center and International Water Management Institute.
- 39- Stakhiv E.Z. 1998. Policy implications of climate change impacts on water resources management. *Water Policy*, 1(2): 159-175.
- 40- Ul Hassan M., Qureshi A.S., and Heydari N. 2007. *A Proposed Framework for Irrigation Management Transfer in Iran: Lessons from Asia and Iran*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI Working Paper 118).
- 41- Ward F.A., Booker J.F., and Michelsen A.M. 2006. Integrated economic, hydrologic, and institutional analysis of policy responses to Mitigate Drought Impacts in Rio Grande Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(6): 488-502.
- 42- Wilhite D.A., Ed. 2005. *Drought and Water Crises Science, Technology, and Management Issues*, CRC Press, Taylor & Francis Group, USA.
- 43- Wilson A., and Tyrchniewicz A. 1995. *Agriculture and sustainable development: policy analysis on the Great Plains*. Manitoba, Canada, International Institute for Sustainable Development (IISD).
- 44- Zahraie B., and Hosseini M. 2009. Development of reservoir operation policies considering variable agricultural water demands. *Expert Systems with Applications*, 36(3): 4980-4987.