Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1336-1347

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۳۴۷-۱۳۳۶

مقاله علمی-پژوهشی

تعادل‌بخشی آبخوان با روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی مثبت ریاضی در دشت قزوین

محمدجواد بیات[۱]، سامان جوادی[۲*]، مهدی هاشمی شاهدانی[۳]، یوسف حسنی[۴]، محمد ابراهیم بنی حبیب[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۹

چکیده

برداشت بیش از حد از آبخوان‌ها برای تولید محصولات کشاورزی باعث کاهش میزان آب در سفره‌های زیرزمینی شده، به طوری‌که این کاهش مقدار عوارض جبران ناپذیری را در مناطق مختلف به دنبال داشته است. جهت کاهش معضلات ناشی از کاهش حجم آبخوان‌ها نیاز به تصمیم‌گیری در سطح کلان می‌باشد. همین امر تعادل بخشی آبخوان‌ها را به یکی از ضروری‌ترین عوامل در مدیریت منابع آب تبدیل کرده است. در این تحقیق به منظور احیای سفره‌های آب زیرزمینی و اجرای کاهش برداشت در آبخوان‌های کشور به عنوان یکی از پروژه‌های تعادل بخشی، اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت با رویکرد اقتصادی و بررسی تغییرات سود کشاورزان در سال ۱۳۹۵ با سناریوهای کاهش برداشت به مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد، با دو دیدگاه متداول صورت گرفته است. در این راستا بهینه‌سازی الگوی کشت از دو منظر تغییر الگوی کشت بوسیله‌ی بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) و کاهش سطوح زیر کشت بوسیله‌ی روش بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی مثبت ریاضی(PMP) انجام شده است. نتایج اعمال سناریوهای کاهش برداشت در دشت قزوین که دارای کسری سالانه ۳۱۶ میلیون متر مکعب می‌باشد نشان داد که به ترتیب مقادیر ۲۱/۲، ۶۳/۷ و ۱۰۶/۱ میلیون متر مکعب برداشت از آبخوان کاسته می‌شود. همچنین نتایج تحلیل دو روش برنامه‌ریزی نشان داد که مدل بهینه‌سازی غیر خطی، سود اقتصادی بیشتری نسبت به مدل PMP ایجاد خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی الگوی کشت، برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، برنامه‌ریزی مثبت ریاضی (PMP)، کاهش برداشت آبخوان

مقدمه

کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده‌ی اصلی و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در دنیا است، به‌طوری‌که برآورد شده است حدود ۷۰ درصد از مصرف آب جهان در کشاورزی و آبیاری استفاده می‌شود (Siebert et al., 2010). از سوی دیگر مطالعات در ایران نشان می‌دهد ۱۰ درصد کاهش در عرضه آب موجب کاهش ۰/۸ درصدی در تولیدات ناخالص ملی می‌شود، بر همین اساس بهبود ساختار مصرف آب در ایران از موضوعات اساسی در تصمیم‌گیری‌های بلندمدت منابع آبی برای کاهش سهم آب مصرفی بخش کشاورزی از ۹۲ درصد به ۸۷ درصد در ۲۰ سال آینده خواهد بود (هزاره و همکاران، ۱۳۹۵).

از این‌رو فراهم کردن شرایطی برای کشاورزی که پایداری منابع آب را به خطر نیندازد، نیازمند تصمیم‌گیری‌هایی است که کمترین فشار را بر بخش منابع آب و کشاورز داشته باشد (Sheikhipour et el., 2018). نگاه به بهره‌وری آب ازلحاظ فیزیکی و اقتصادی در مقیاس کلان می‌تواند منجر به تصمیمات جدید و مؤثری در زمینه کاهش برداشت آب شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶). به‌گونه‌ای که ضروری است کشت محصولات کشاورزی با سود اقتصادی بالا و مصرف آب کم به‌جای محصولات کشاورزی با سود اقتصادی پایین و مصرف آب بالا در نظر گرفته شود.

یکی از راهکارهای اساسی جهت سیاست‌گذاری‌ها و اجرایی شدن تصمیم‌های مدیریتی، انتخاب الگوی کشت بهینه مناسب منطقه با رویکرد اقتصادی و تعیین برنامه‌ای جامع جهت تخصیص آب

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
۴- کارشناس ارشد دفتر بررسی‌های اقتصادی، تعرفه و خصوصی‌سازی، شرکت مدیریت منابع آب ایران
۵- استاد گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: Javadis@ut.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

کشاورزی می‌باشد. در این راستا دو دیدگاه تصمیم‌گیری تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت وجود دارد به‌گونه‌ای که می‌توان با مصرف بهینه آب به بیشترین سود اقتصادی ممکن دست پیدا کرد.

با انتخاب سناریوهای کاهش مقدار آب در دسترس منتخب در منطقه، در دیدگاه اول (تغییر الگوی کشت) با ثابت در نظر گرفتن مجموع سطوح زیر کشت، در مدل برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP[1]) با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی نظیر سطوح زیر کشت، مقدار آب در دسترس و نیروی کار با کاهش دادن سطح زیر کشت محصولات با سود کمتر و اختصاص دادن آن به محصولات با سود اقتصادی بالاتر بهینه‌سازی الگوی کشت را انجام می‌پذیرد. در دیدگاه دوم (کاهش سطح زیر کشت) با در نظر گرفتن دوباره‌ی محدودیت‌های سطوح زیر کشت، مقدار آب در دسترس و نیروی کار در مدل برنامه‌ریزی مثبت ریاضی (PMP[2]) اقدام به کاهش سطح زیر کشت می‌شود، به‌گونه‌ای که محصولات با سود کم بیشترین کاهش را داشته باشند. به این صورت با توجه به محدودیت‌ها با کاهش سطوح محصولات باارزش اقتصادی پایین الگوی کشت بهینه با بیشترین سود ممکن به دست میاید.

در خصوص دیدگاه اول بهینه‌سازی الگوی کشت به‌منظور مدیریت منابع آب و حداکثر سازی سود مبنای تحقیقات زیادی در دنیا بوده است. به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیق عالی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) اشاره نمود. در این تحقیق جهت تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی در شهر بابل، از روش برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثر سازی سود و دستیابی به خودکفایی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در مقایسه با الگوی کشت موجود منفعت درآمدها به‌کارگیری الگوی کشت بهینه ۱۱٪ سود خالص کل را افزایش می‌دهد. همچنین سینگ، در تحقیق خود ماکزیمم سازی درآمد کشاورزان در منطقه روتاک از هاریانا، هند را شبیه‌سازی کرد. در این مدل محدودیت‌های آب‌های زیرزمینی به‌منظور حل مشکل بالا بودن آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شد، مدل نشان داد که با کاهش در سطح برنج، نخود و جو و افزایش سطح گندم، پنبه و نیشکر شرایط بهینه به وجود می‌آید و به این طریق درآمد کشاورزان به مقدار ۲۶٪ افزایش خواهد یافت (Singh, 2014). در مطالعه‌ای دیگر امین علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود با توجه به اهمیت استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی با استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی، الگوی کشت بهینه دشت مشهد–چناران را در یک دوره ۱۰ ساله با تأکید بر عدم بیلان منفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد به‌کارگیری الگوی مشخص شده در دوره برنامه‌ریزی علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه سبب کاهش کسری ذخایر آب زیرزمینی منطقه از ۳۸×۱۰^{۷} متر مکعب در سال مبدأ به صفر در سال آخر دوره برنامه می‌گردد. بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی تخصیص بهینه آب و الگوی کشت بهینه در شرایط کم‌آبی در استان‌های تهران و البرز پرداختند. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در میزان آب در دسترس، مقادیر بهینه سطح زیر کشت با روش برنامه‌ریزی غیرخطی تعیین شدند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که تغییر سطوح کشت می‌تواند سود اقتصادی فعالیت‌های کشاورزی را تا ۳۶ درصد در مقایسه با شرایط فعلی بهبود ببخشد. با توجه به بررسی مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه دیده می‌شود که در اکثر مطالعات، تعداد محدودیت‌هایی که برای انجام مطالعه در نظر شده است کم بوده و برای رسیدن به تابع هدف سایر عوامل تأثیرگذار در بخش کشاورزی به‌خوبی وارد مدل نشده‌اند.

همچنین در خصوص دیدگاه دوم بهینه‌سازی الگوی کشت با روش برنامه‌ریزی مثبت PMP به‌منظور مدیریت منابع آب و حداکثر سازی سود کارهای زیر انجام‌گرفته شده است: مادلین و همکاران با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به بررسی اثرات خشک‌سالی در سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش هزینه‌های تولید در دره‌ی مرکزی کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان دادند که حداقل ۱۶۶۰۰۰ هکتار از سطح کشاورزی کاهش می‌یابد و در نتیجه ۸۰۰ میلیون دلار از درآمد کشاورزی کاسته می‌شود (Medellín et al., 2015). آریابد و همکاران در تحقیقی با هدف سود کشاورزان و با استفاده از مدل PMP به بررسی اثرات تغییر قیمت و دسترسی به آب در الگوی کشت پرداختند. نتایج نشان داد تغییر در قیمت آب هیچ تغییری در سطح محصولات گندم، جو، چغندر و گوجه‌فرنگی ایجاد نمی‌کند، اما پنبه از الگوی کشت حذف می‌شود. همچنین کاهش آب موجود علاوه بر تغییر سطح زیر کشت باعث کاهش مصرف آب می‌شود (Ariabod et al., 2013). شرافت‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای الگوی بهینه کشت شبکه نکو آباد حوضه زاینده‌رود را با استفاده از مدل اقتصادیPMP تعیین کردند. میزان آب قابل‌دسترس در شرایط خشکسالی با استفاده از مدل منابع آبی شبیه سازی و این حجم آب بر اساس ارزش اقتصادی آب محصولات تخصیص داده‌شده است، با توجه به این تخصیص، درصد تغییرات الگوی کشت بهینه شبکه نکو آباد به‌دست‌آمده که نتیجه آن حاکی از این است که سطح کشت محصولات پیاز و جو دارای کمترین و یونجه دارای بیشترین تغییرات در شرایط خشک‌سالی می‌باشند. حسنی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به معرفی رویکرد بهره‌برداری–اقتصادی با مدل برنامه‌ریزی مثبت ریاضی به‌عنوان راهبرد جدید در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری باهدف تحویل و توزیع بهینه‌ی آب به واحدهای زراعی در شبکه آبیاری بر اساس ارزش اقتصادی محصولات واقع در الگوی کشت آن واحدهای پرداختند. شبکه آبیاری رودشت در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد محصولات

1- nonlinear programming
2- positive mathematical programming

www.SID.ir

Archive of SID

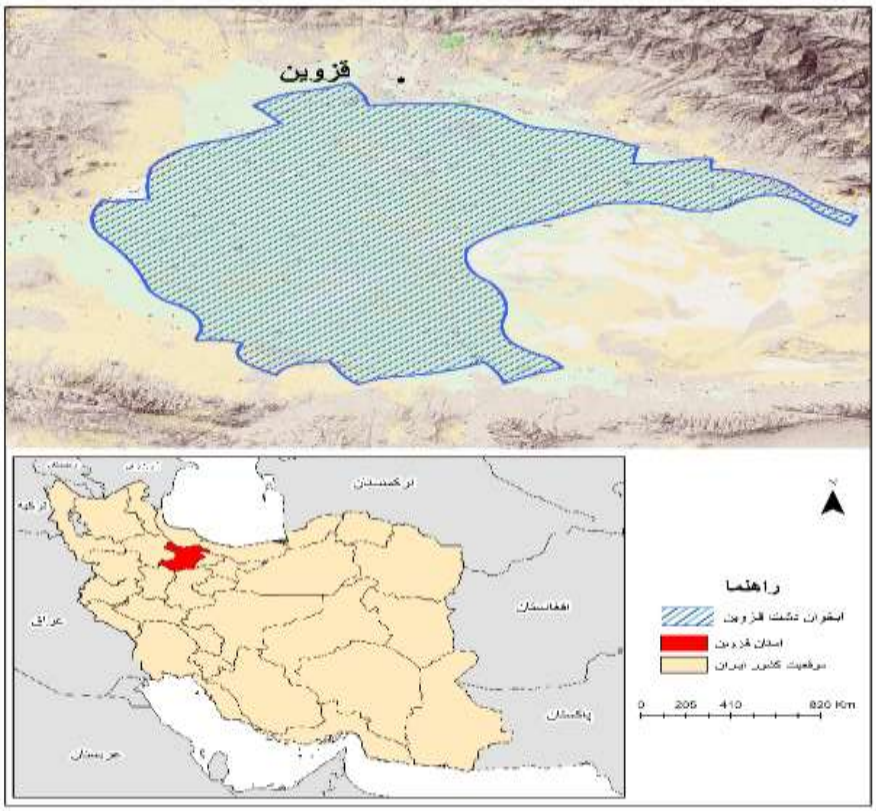
گلرنگ و یونجه با بیشترین کاهش سطح زیر کشت در دوره‌ی کم‌آبی مواجه خواهند شد. همچنین آبگیرهای ۱، ۶، ۵ و ۱۲ دارای بالاترین اولویت تحویل آب در این تحقیق مشخص شدند.

از بررسی مطالعات انجام‌گرفته شده با مدل برنامه‌ریزی مثبت ریاضی می‌توان دریافت که برای تصمیم‌گیری توابع هدف گسترده‌ای می‌توان تعریف کرد و محدودیت‌هایی بیشتری را در این مدل می‌توان به‌صورت توأمان در نظر گرفت. در این مطالعه دشت قزوین به علت افت شدید سطح آب زیرزمینی براثر بهره‌برداری بیش‌ازحد، بهره‌وری، تعرفه‌ی آب و راندمان پایین آب کشاورزی و الگوی کشت نامناسب به‌عنوان مورد مطالعاتی این تحقیق انتخاب‌شده است. برای بهبود وضعیت بحرانی این دشت، ضرورت دارد برای ایجاد تعادل در آبخوان این دشت اقدام به کاهش دسترسی به منابع آب زیرزمینی و بهینه-سازی الگوی کشت با رویکرد اقتصادی شود. به‌کارگیری، تحلیل و مقایسه‌ی سود کشاورزی در دو روش بهینه‌سازی الگوی کشت با مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و برنامه‌ریزی مثبت ریاضی (PMP) برای اولین بار در این مطالعه مطرح شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دشت قزوین است که در تقسیمات کشوری، بخشی از استان قزوین را شامل می‌شود و در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شمال غربی تهران قرارگرفته است. این منطقه بین طول‌های شرقی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه جغرافیایی قرارگرفته است و ارتفاع آن حداکثر برابر ۲۹۷۱ و حداقل ۱۱۰۰ متر و متوسط حدود ۱۲۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان بارش متوسط سالیانه قزوین حدود ۳۱۸ میلی‌متر و دمای متوسط درازمدت هوا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. دشت قزوین با وسعت حدود ۴۴۰ هزار هکتار بخشی از استان قزوین را شامل می‌شود که محدوده آن از طرف شمال به دامنه کوه‌های البرز، از مشرق به رودخانه زیاران، از طرف مغرب به رشته‌کوه‌های زاگرس و بالاخره از طرف جنوب به شوره‌زارهای جنوب کشیده می‌شود که شیب آن از شمال غرب به سمت جنوب شرق امتداد دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- سطح زیر کشت محصولات، سود خالص، میزان آب مصرفی در سال ۱۳۹۵

محصول	سطح زیر کشت٪	سود خالص(میلیون تومان بر هکتار)	مصرف آب(مترمکعب بر هکتار)	نیروی کار (نفر روز در هکتار)	محصول	سطح زیر کشت٪	سود خالص(میلیون تومان بر هکتار)	مصرف آب(مترمکعب بر هکتار)	نیروی کار (نفر-روز در هکتار)
انگور	۱۴,۲	۶,۷۱	۸۳۱۵	۲۶	شلتوک	۱,۴	۵,۸۲	۱۵۷۵۵	۵۸,۲۵
بادام	۱,۹	۱,۱۲	۱۴۲۲۵	۳۸	فندق	۱,۵	۳,۴۲	۸۹۲۱	۵۰
پسته	۱,۷	۹,۹۲	۱۶۹۰۲	۴۵	کلزا	۰,۸	۳,۱۷	۶۰۵۳	۲
جو	۱۴,۵	۲,۰۴	۳۷۴۴	۱۳,۶۹	گردو	۲,۶	۱۱,۶۳	۱۵۴۲۰	۲۵
چغندرقند	۱,۴	۱,۲۲	۱۳۵۰۹	۶۹,۴۷	گندم	۲۲,۲	۲,۳۳	۴۵۷۲	۱۷,۰۶
خربزه	۱,۲	۱۱,۴۶	۷۶۳۰	۲۵	گوجه‌فرنگی	۴,۷	۳,۶۳	۱۱۹۶۳	۱۱۴,۷۷
ذرت دانه‌ای	۳,۰	۴,۳۹	۱۰۱۹۵	۲۵	گیلاس	۱,۶	۲,۵۹	۱۳۶۳۶	۷۵
ذرت علوفه‌ای	۱۰,۰	۲,۷۵	۱۰۸۹۶	۱۶	لوبیا	۰,۶	۹,۸۱	۷۲۰۰	۴۹,۵۷
زیتون	۴,۱	۴,۰۹	۹۶۲۲	۳۹	یونجه	۱۱,۳	۱,۵۳	۱۳۳۱۷	۳۳
سیب	۱,۵	۵,۲۵	۱۴۱۶۲	۱۸					

دشت قزوین ازجمله دشت‌های ممنوعه ایران است (کبیری و همکاران، ۱۳۹۶). میزان سطح آب‌های زیرزمینی در این دشت در حال کاهش پیدا کردن است و هرسال به میزان یک متر از آن کاسته می‌شود، همچنین بزرگ‌ترین منبع تأمین آب کشاورزی در این دشت آب زیرزمینی با تأمین ۱۳۶۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که همین امر نشان‌دهنده آینده خطرناکی برای دشت قزوین می‌باشد. در این مطالعه تلاش بر آن شده است که برای بهبود وضعیت آبخوان دشت قزوین با اجرایی کردن طرح کاهش برداشت، نسبت به تعادل بخشی آبخوان اقدام گردد. این کاهش برداشت در سه سناریوی کاهش ۱، ۳ و ۵ درصدی برداشت از آب زیرزمینی (بر اساس برنامه-های آب منطقه‌ای قزوین) بررسی خواهد شد. شایان‌ذکر است ۱۹ محصول انتخاب شده به‌عنوان الگوی کشت، تقریباً ۹۰ درصد سطوح زیر کشت منطقه به مقدار ۱۵۷۱۳۱ هکتار را پوشش می‌دهد (جدول ۱). سود خالص محاسبه‌شده بر مبنای حاصل تفاضل قیمت فروش محصولات از هزینه‌های تولید محصولات می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). از این رو در مجموع سود خاص کشاورزان ۶۳۱/۵۲ میلیارد تومان در سال ۱۳۹۵ برآورد شده است. با توجه به جدول ۱ گندم، جو و انگور سه محصول با بیشترین سطح زیر کشت (بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت) با مصرف ۳۱٪ از کل آب ۴۴٪ از سود کل مجموعه را داشته‌اند درحالی‌که محصولاتی مانند بادام، چغندرقند، یونجه و ذرت علوفه‌ای با مصرف ۳۵٪ از آب تنها ۱۲٪ از سود مجموعه را تأمین کرده‌اند. همچنین محصولات مانند خربزه، گردو و پسته محصولات با سود بالا و محصول گندم با بیشترین سطح زیرکشت در سال ۱۳۹۵ بوده‌اند.

روش تحقیق

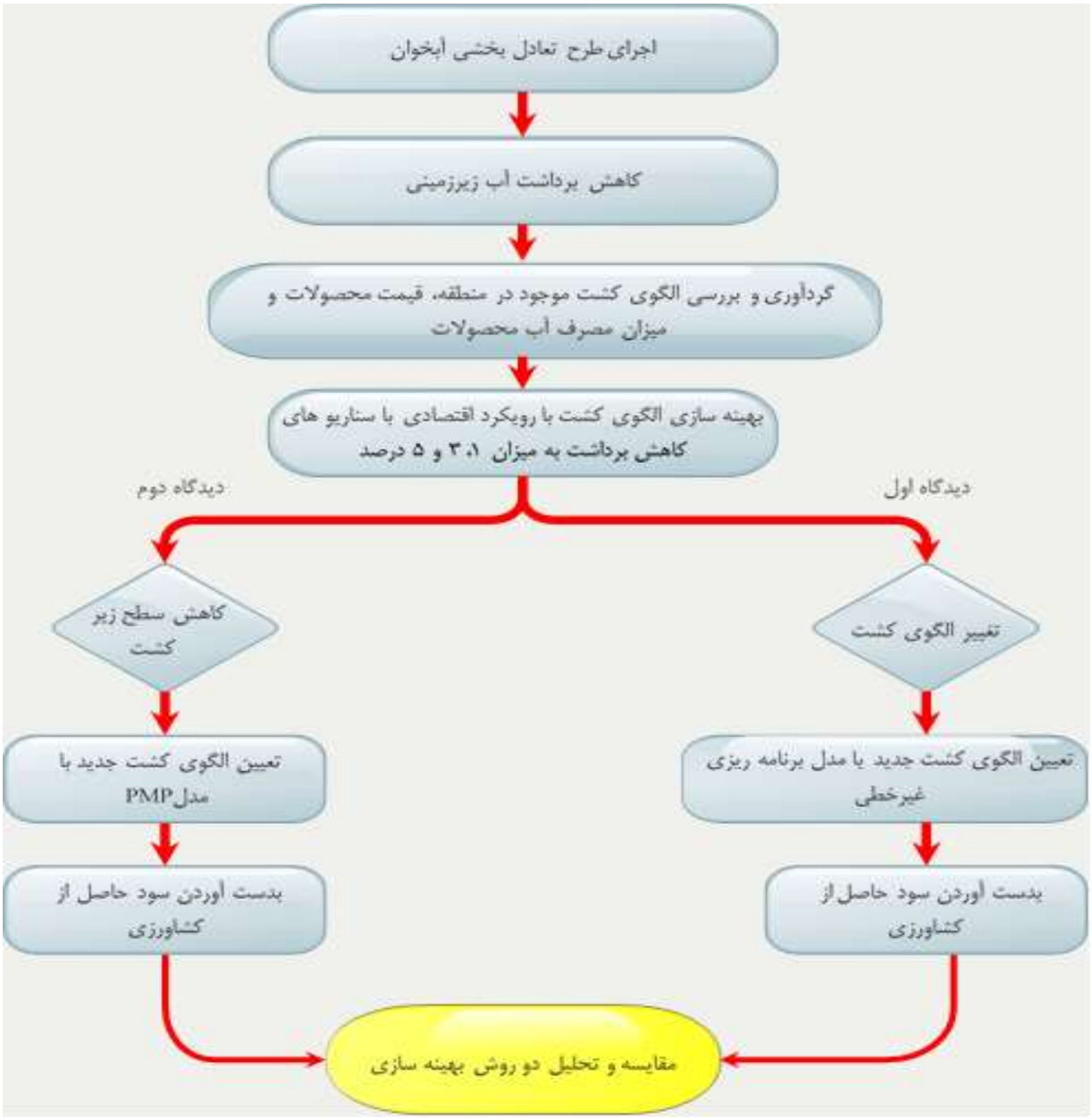
در این تحقیق به‌منظور کاهش آب در دسترس در قالب سناریوهای کاهش برداشت به میزان ۱، ۳ و ۵ درصد و تعیین الگوی کشت بهینه با رویکرد اقتصادی از دو روش بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی غیرخطی با دیدگاه تغییر الگوی کشت و مدل بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی مثبت ریاضی (PMP) با دیدگاه کاهش سطح زیر کشت استفاده شده است. شکل ۲ مراحل اجرای سناریوهای کاهش برداشت در راستای تعادل بخشی آبخوان در قالب دو دیدگاه تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت را نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که ابتدا با به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز از منطقه‌ی مورد مطالعاتی و سپس اعمال سناریوهای کاهش برداشت در ورودی‌های دو مدل بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی غیرخطی و مدلPMP اقدام به بدست آوردن سطوح کشت جدید می‌شود، پس از آن با اطلاعات قیمت‌های محصولات اقدام به محاسبه‌ی سود کشاورزان می‌شود. و در آخر با مقایسه و تحلیل دو روش استفاده شده در مدل مطالعه به پایان می‌رسد.

مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با برنامه‌ریزی غیرخطی

برنامه‌ریزی غیرخطی روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع روی یک چندضلعی محدب می‌پردازد. این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعادله روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده‌تر به‌وسیله برنامه‌سازی غیرخطی می‌توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط خاص و با محدودیت‌های خاص به دست آورد(استیلی، ۱۳۹۴).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- شماتیک مراحل تحقیق

به‌منظور تغییر الگوی کشت کنونی و تعیین الگوی کشت بهینه روش برنامه‌ریزی غیرخطی، که هدف آن حداکثر سازی سود خالص کشاورزان است انتخاب شده است. همچنین سناریوهای کاهش آب در دسترس، به میزان ۱، ۳ و ۵ درصد وضعیت کنونی به‌عنوان راهکار تعادل‌بخشی آبخوان مدنظر قرارگرفته شده است. در تدوین بهینه‌سازی الگوی کشت در این روش، فرض بر آن است که محدودیت‌های سطح زیر کشت، مقدار آب در دسترس و نیروی کار در بهینه‌سازی الگوی کشت مدنظر در این تحقیق تأثیرگذارند.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورداستفاده در این تحقیق به شرح رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

$$\text{Max NB}=\sum_{i=1}^{n}\left[\left(BE_i\times A_i\right)-\left(CA_i\times A_i\right)\right] \quad (۱)$$

رابطه‌ی (۱) با توجه به محدودیت‌های زیر حل گردیده است:

$$WU=\sum_{i=1}^{n}\left(W_i\times A_i\right) \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n}A_i=T_{Aria} \quad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{i=1}^{n} L_i \times A_i \le T_{labor} \quad (۴)$$

در رابطه‌ی ۱ MAX NB حداکثر درآمد ناشی از فروش محصولات، BE_i درآمد خالص به ازای هر یک از محصولات، CA_i هزینه‌های تولید هر یک از محصولات و A_i سطح زیر کشت هر یک از محصولات هستند. به‌طورکلی تابع هدف به‌صورت بیشینه‌ترین حالتِ کسر مجموع هزینه‌هایی که جهت تولید صرف می‌شود از مجموع درآمدی که از فروش محصولات مختلف کشاورزی به دست می‌آید تعریف گردیده است.

در روابط ۲ تا ۴ پارامتر WU، کل آب در دسترس (برحسب متر مکعب) می‌باشد. این رابطه گویای میزان محدودیت مصرف آب می‌باشد، به این صورت که مجموع مصرف آب کل محصولات دشت قزوین را در سال نشان می‌دهد. همچنین برای اعمال سناریوهای آب در دسترس، مقادیر کاهش ۱، ۳ و ۵ درصد در این محدودیت اعمال می‌شود. همچنین پارامتر T_{Aria} (برحسب هکتار) کل مساحت دشت قزوین است که در سال مبنا زیر کشت رفته است. با توجه به فرمول ارائه‌شده محدودیت سطح زیر کشت مشخص برای اجرای مدل در نظر گرفته می‌شود. با اعمال این محدودیت مدل مکلف می‌گردد تولید محصولات دشت قزوین را طوری بهینه‌سازی نماید که مجموع سطوح زیر کشت با مجموع سطوح کشت در سال ۱۳۹۵یکسان باشد. همچنین پارامتر L_i مقادیر نیروی انسانی برحسب نفر ساعت برای محصولات و T_{Labor} ظرفیت کلی نیروی انسانی در منطقه می‌باشد. برای رسیدن به پاسخ‌های صحیح و با توجه به تابع هدف که در راستای حداکثر سازی سود حوضه دشت قزوین می‌باشد، اگر محدوده‌ای برای تولید محصولات در نظر گرفته نشود، تابع هدف در راستای حداکثر سازی سود اقدام به افزایش تولید محصولات پرسود و با مصرف کم آب می‌کند و سطح محصولات کم سود را به صفر می‌رساند که این امر مدل را از صحت و نزدیکی به واقعیت دور می‌سازد، بنابراین محدوده‌بندی و گذاردن حد بالا و پایین برای محصولات امری مهم و ضروری است. جدول ۲ محدودیت سطح اعمال شده برای محصولات مختلف محدوده دشت قزوین را که طبق نظر کارشناسی برآورد گردیده است نشان می‌دهد.

جدول ۲- محدودیت سطح اعمال‌شده و دلایل آن برای تمامی محصولات موردبررسی در دشت قزوین در سال ۱۳۹۵

محصولات	محدودیت اعمال‌شده نسبت به سال مبنا	توضیحات
گندم، جو، محصولات علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای	۱/۲ > محصول > ۰/۹	به علت استراتژیک بودن گندم، جو و محصولات علوفه‌ای این بازه در نظر گفته شد.
برنج	۱ > محصول > ۰/۷	در دشت قزوین بنا به صلاح نبودن کشت بهتر است کشت رو به کاهش باشد.
چغندرقند، محصولات جالیزی، سیب، دانه‌های روغنی، گوجه‌فرنگی، حبوبات، فندق، گیلاس انگور، گردو، بادام و پسته	۲ > محصول > ۰/۵	به علت کشش تولید محصول، این بازه برای محصولات مذکور لحاظ گردید.

مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

مدل دیگر بهینه‌سازی با رویکرد اقتصادی که در این تحقیق از آن استفاده‌شده است مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) می‌باشد. این مدل با دیدگاه کاهش سطح کشت درازای کاهش آب در دسترس به میزان ۱، ۳ و ۵ درصد وضعیت کنونی مراحل مدل‌سازی را انجام می‌دهد که در ادامه شرح داده شده است. همچنین روند انجام برنامه‌ریزی اثباتی از مرحله ورود اطلاعات و شبیه‌سازی مدل اقتصادی و استخراج نتایج در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است.

مدل PMP در راستای رسیدن به ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی و الگوی کشت بهینه موجود در محدوده مطالعاتی مراحل زیر را طی می‌کند.

مرحله اول مدل اقتصادی

در این مرحله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی با در نظر گرفتن محدودیت‌های حجم آب، زمین، نیروی کار و نیز محدودیت‌های واسنجی، به‌منظور شبیه‌سازی شرایط موجود کشاورزی در محدوده مطالعاتی ارائه شده است. مدل برنامه‌ریزی مذکور باهدف حداکثر سازی در سود به شرح زیر می‌باشد: (Howitt., 1995)

$$\max \sum_i p_i \, \bar{y}_i x_i - \sum_i w_j \, a_{ij} x_i \quad (۵)$$

$$\text{land:} \sum_i X_i \le B_i \quad (۶)$$

$$\text{Labor:} \sum_i a_{fi} X_i \le B_{fl} \quad (۷)$$

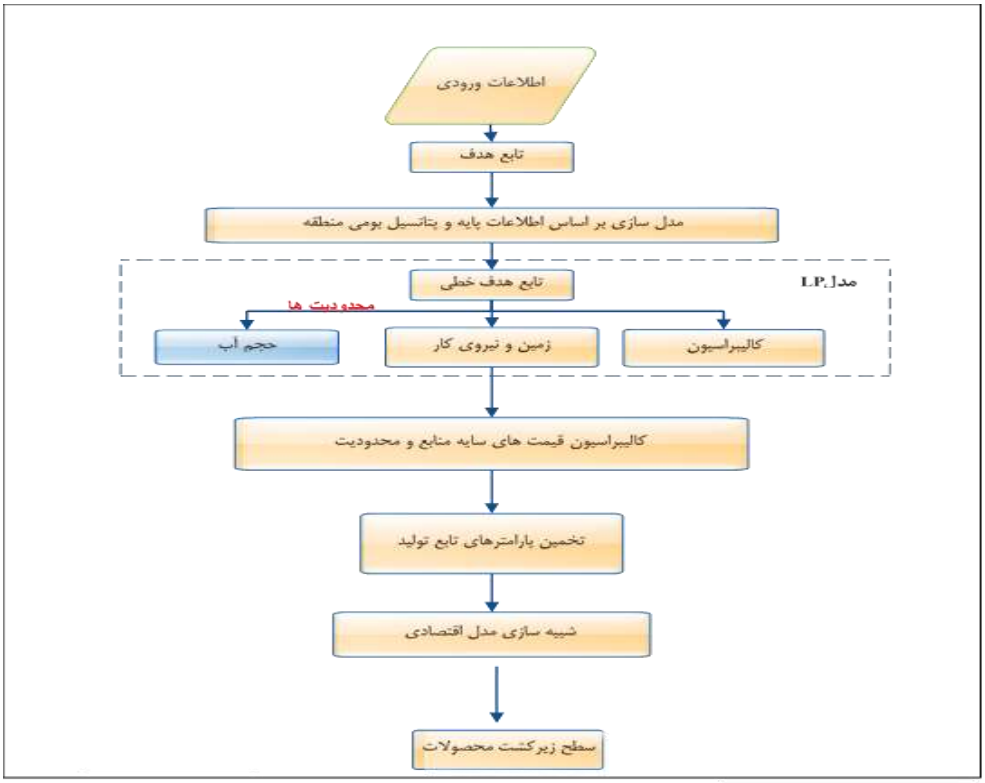
$$\text{available Water:} \sum_i X_{iswm} \le B_{swm} \quad (۸)$$

$$X_i \le \hat{X}_i \quad (۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در معادله (۵)، p_i قیمت محصول i ام، $\bar{Y}_i$ محصول در هکتار، X_i زمین تخصیص داده شده به محصول i، w_j هزینه هر واحد از نهاده j مورد استفاده در تولید محصول i و a_{ij} نهاده‌های مورد استفاده در واحد هکتار می‌باشند. B_i و B_{fi} به ترتیب بازتاب کل زمین و نیروی کار در دسترس و a_{fi} مقدار نیروی کار برحسب نفر ساعت برای محصول i در معادلات ۶ و ۷ می‌باشند.



شکل ۳- مراحل مدل‌سازی مدل اقتصادی PMP

معادله‌ی (۸) تضمین می‌کند که مقدار کل آب‌های در دسترس مورداستفاده X_{iswm} در ماه یا سال m مساوی میزان کل آب در دسترس B_{swm} برای آبیاری محصولات کشاورزی در همان ماه و یا سال می‌باشد که با استفاده ضریب گیاهی، محاسبه تبخیر-تعرق برای هر محصولات کشاورزی در هرسال محاسبه می‌گردد. در معادله (۹)، $\hat{X}_i$ عبارت است از مساحت زمین تخصیص داده شده به محصول زراعی i که توسط محقق مشاهده گردیده است. این محدودیت باعث حفظ الگوی کشت مشاهده شده در منطقه و استفاده از اطلاعات آن جهت تخمین قیمت‌های سایه‌ای منابع غیر بازاری و محدود می‌گردد.

مرحله دوم مدل اقتصادی

در این مرحله پارامترهای تابع تولید از نوع کشش جانشینی ثابت با استفاده از قیمت‌های سایه نهاده‌های تولید (منابع محدود و محدودیت‌های واسنجی) به دست آمده از مرحله اول تخمین زده می‌شود. شایان ذکر است که تابع تولید مذکور برای محصولات کشاورزی آبی بوده و به صورت زیر می‌باشد(معادله ۱۰):

$$q_i^{ir} = A_i\left[\sum_i b_{(ih-1)} X_{(ih-1)}^{y} + b_w (X_i + P_i^a)\right]^{\frac{\varepsilon_i}{y}} \quad (۱۰)$$

در این رابطه توان ir در q_i^{ir}، مخفف تابع تولید آبی می‌باشد که مشخص است. مقدار A_i، y و ε_i از مقالات مرجع در نظر گرفته شده است، که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۵، ۱ و ۱ لحاظ شده است. b_{ih-1} پارامترهای تابع تولید می‌باشد که توسط خروجی مرحله اول مدل اقتصادی (قیمت‌های سایه‌ای نهاده‌های تولید) محاسبه شده است. b_w سهم آب در دسترس یا بارش P_i^a از اطلاعات اخذ شده در منطقه مورد مطالعه به دست آمده است.

مرحله سوم مدل اقتصادی

در مرحله آخر با استفاده از تابع تولید تخمینی مرحله دوم و لحاظ آن در تابع هدف مرحله اول (معادله (۵)) مدل برنامه‌ریزی جدیدی با همان محدودیت‌های مدل مرحله اول و با حذف محدودیت‌های واسنجی جهت دستیابی به مجموعه بهینه از نهادهای حداکثرکننده

www.SID.ir

Archive of SID

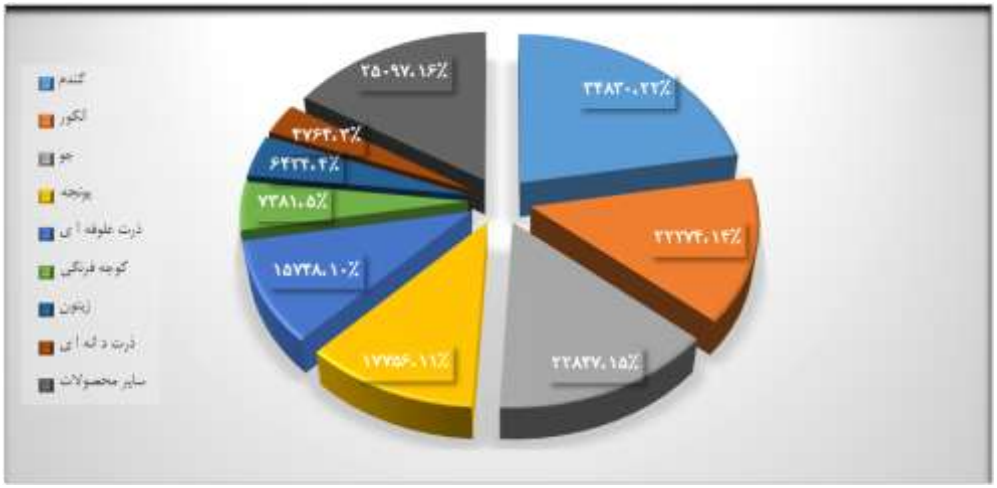
درآمد خالص و ارزش اقتصادی آن‌ها ارائه شده است.

نتایج و بحث

طبق طرح کاهش برداشت از آبخوان به منظور تعادل‌بخشی آبخوان با اعمال سناریوهای کاهش برداشت طراحی شده به میزان ۱، ۳ و ۵ درصد به ترتیب به میزان ۲۱/۲، ۶۳/۷ و ۱۰۶/۱ میلیون مترمکعب برداشت از آب زیرزمینی کاسته می‌شود. همین امر باعث بهبود وضعیت آبخوان دشت قزوین نسبت به وضعیت کنونی خواهد شد. درصد تغییرات سطوح زیر کشت در دو مدل بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی غیرخطی (دیدگاه تغییر الگوی کشت) و مدل PMP (دیدگاه کاهش سطوح زیر کشت) در جدول ۳ و شکل‌های (۴، ۵ و۶) به ازای کاهش برداشت به مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد ارائه شده است.

جدول ۳- درصد تغییرات سطوح زیر کشت محصولات در دو مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و مدل PMP

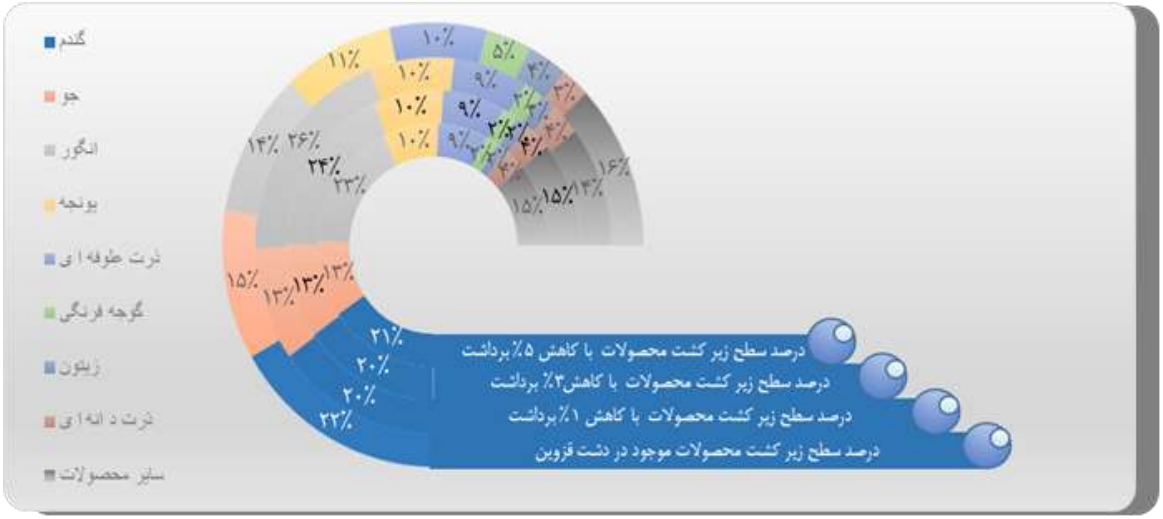
محصول	مدل برنامه‌ریزی غیرخطی			مدل برنامه‌ریزی PMP		
	۱%	۳%	۵%	۱%	۳%	۵%
انگور	۸۳	۶۹/۵	۵۷/۹	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۶
بادام	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۰/۸	-۱/۳	-۱/۸
پسته	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۹
جو	-۱۰	-۱۰	-۱۰	-۱۲/۲	-۲۳	-۲۸
چغندرقند	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۱۰	-۲۵/۴	-۳۲
خربزه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-۱۱/۲	-۱۳	-۱۷
ذرت دانه‌ای	۲۰	۲۰	۲۰	-۱۳/۶	-۱۸/۷	-۳۱
ذرت علوفه‌ای	-۱۰	-۱۰	-۱۰	-۱۴	-۲۱/۳	-۳۴
زیتون	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۰/۷	-۱/۹	-۲/۳
سیب	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۳/۲	-۶/۷	-۸
شلتوک	-۳۰	-۳۰	-۳۰	-۵/۲	-۸/۷	-۱۱
فندق	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۲/۳	-۴/۵	-۸
کلزا	۲۰/۱	۱۰۰	۱۰۰	-۷	-۱۱	-۱۷
گردو	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۱/۴	-۲/۹	-۵/۳
گندم	-۱۰	-۱۰	-۱۰	-۶/۸	-۱۲	-۱۶
گوجه‌فرنگی	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۸/۳	-۹/۲	-۱۲/۳
گیلاس	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-۳/۱	-۵	-۷
لوبیا	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-۶	-۱۰	-۱۳
یونجه	-۱۰	-۱۰	-۱۰	-۱۳	-۲۷	-۳۸



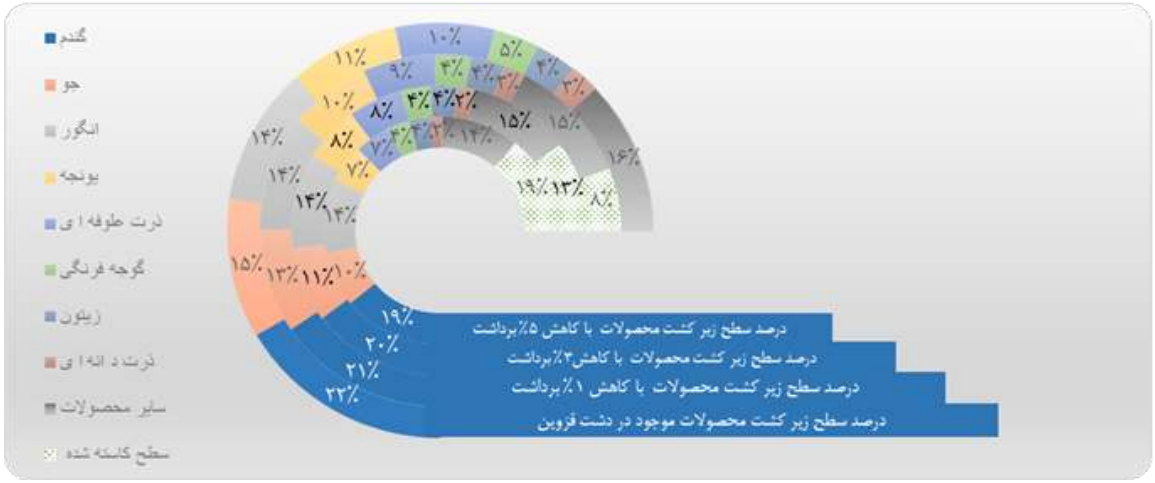
شکل ٤- مقدار و درصد سطح زیر کشت محصولات موجود در دشت قزوین

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- درصد تغییرات سطوح زیر کشت با اعمال سناریوهای کاهش برداشت در مدل بهینه‌سازی غیرخطی



شکل ٦- درصد تغییرات سطوح زیر کشت با اعمال سناریوهای کاهش برداشت در مدل بهینه‌سازی PMP

با توجه به جدول ۱، محصولاتی همچون گیلاس، خربزه، لوبیا پرسودترین و بادام، چغندرقند و یونجه کم سودترین محصولات می‌باشند. همچنین محصولاتی هم چون پسته، شلتوک، بادام و چغندرقند جزء محصولات با مصرف بالای آب هستند. حال بر اساس اطلاعات جدول ۱ و نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان به مقایسه‌ی دو مدل پرداخت. با تغییرات ایجاد شده الگوی کشت منطقه در مدل بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی غیرخطی مشاهده می‌شود، سطح زیر کشت محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی، چغندرقند، بادام و ... به علت سود کشاورزی پایین و مصرف آب بالاتر نسبت به سایر محصولات کاهش‌یافته و همان سطوح زیر کشت به محصولاتی مانند گیلاس، لوبیا، خربزه و انگور که سود اقتصادی بالاتر و مصرف آب پایین‌تری در مقایسه با سایر محصولات دارند اختصاص داده‌شده است.

با توجه به جدول ۳ و شکل ۵ محصول انگور بیشترین تغییرات در سطح زیر کشت را داشته و به‌عنوان محصولی که حد وسط سوددهی و آب مصرفی را دارد در سناریوهای مختلف نقش اصلی را ایفا نموده است؛ به‌گونه‌ای که ابتدا تمامی محصولات با نیاز آبی کمتر و سود بالاتر با توجه به محدودیت‌های اعمالی در مدل به بیشترین سطح زیر کشت خود رسیده، سپس محصولات با نیاز آبی بالا و سود نسبی کمتر به کمترین حد مجاز خود در مدل تغییر سطح پیدا می‌کند و در مرحله بعد محصول انگور که از لحاظ مصرف آب و سوددهی در میانه الگوی کشت می‌باشد با توجه به محدودیت‌ها و سناریوهای کاهش برداشت، سطح زیر کشتش در مدل مشخص می‌شود. همچنین با توجه به جدول ۳ و شکل ۶ تغییرات سطوح در مدل PMP مشاهده می‌شود. به علت این‌که در این مدل بیش‌ازحد به پارامتری تمرکز نمی‌شود و دارای قابلیت کالیبراسیون می‌باشد. همه‌ی محصولات با اعمال سناریوهای کاهش برداشت، سطوح زیر کشتشان با شیب

www.SID.ir

Archive of SID

ملایمی کاهش پیدا می‌کند. باوجود کاهش سطح زیر کشت همه‌ی محصولات سطوح زیر کشت محصولاتی همانند یونجه، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندرقند به علت مصرف آب زیاد و سود اقتصادی نسبتاً پایین، بیشترین کاهش سطوح کشت را دارا می‌باشند. بااین‌وجود محصولاتی همچون انگور، گیلاس، پسته و در کل محصولات باغی کمترین تغییرات سطوح کشت را در این مدل دارا می‌باشند. با اعمال کاهش دسترسی به میزان ۱٪، ۳٪ و ۵٪ به منابع آب در دو مدل ذکرشده سود کشاورزان به میزان‌های ۱/۰۱، ۳/۲۳ و ۵/۴۹ درصد در مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و ۵/۳، ۸/۹ و ۱۲/۵ درصد در مدل PMP کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین در مدل PMP کاهش کلی سطوح زیر کشت به مقدار ۷/۶، ۱۳/۴ و ۱۸/۶ درصد رخ‌داده است ولی در مدل برنامه‌ریزی غیرخطی سطوح زیر کشت محصولات با یکدیگر جابه‌جاشده‌اند.

در انتخاب و اصلاح الگوی کشت در یک منطقه چند نکته قابل ملاحظه می‌باشد:

۱) به علت تنوع خاک و آب‌وهوای منطقه و ماشین‌آلات منحصربه‌فرد تولید هر محصول نمی‌توان سطوح محصولاتی همچون گردو را با گندم جابه‌جا کرد.
۲) تغییرات در سطوح باغاتی که چندین سال برای به ثمر آمدن آن تلاش شده است امری دشوار است برای مثال نمی‌توان نیمی از باغات پسته را حذف کرد و محصولی همچون انگور را جایگزین آن کرد.
۳) به علت نداشتن تجربه و تخصص نمی‌توان از کشاورزی که سال‌ها یک محصول را کشت کرده است انتظار داشت سطح زیر کشتش را تغییر داده و محصول دیگری را جایگزین محصول قبلی بکند. این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها در سطح منطقه باعث به وجود آمدن مناقشات اجتماعی خواهد شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به عوامل دخیل در کشاورزی، پارامترهایی زیادی به‌عنوان محدودیت به‌حساب می‌آیند که برای تصمیم‌گیری بهتر، لازم است این محدودیت‌ها نیز در مدل تصمیم‌گیری در نظر گرفته شوند. اما به دلیل عددی نبودن برخی از عوامل و همچنین در دسترس نبودن همه‌ی اطلاعات، می‌توان رفتار کنونی و الگوی کشت کنونی کشاورزان را به‌عنوان مناسب‌ترین حالت در منطقه توصیف کرد. در روش برنامه‌ریزی غیرخطی، علا رقم کاهش کمتر سود کشاورزی نسبت به مدل دیگر، مدل برای رسیدن به هدف خود از تمام محدودیت‌هایی که در مدل ارائه شده است استفاده می‌کند و شبیه‌سازی عوامل نام‌برده در این روش وجود ندارد. برنامه‌ریزی PMP یک روش تحلیل تجربی است و از تمام اطلاعات فارغ از آن‌که به چه میزان در تابع هدف دخیل هستند استفاده می‌کند و با اطلاعات میدانی در منطقه کالیبره می‌گردد، از این‌رو در این روش تجربه‌ی کشاورز اضافه بر محدودیت‌های زمین، نیروی کار و آب در دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرد. همین امر باعث می‌شود مدل به‌دست‌آمده بسیار نزدیک به واقعیت و شرایط موجودی باشد که خود کشاورزان طی چندین سال سعی و خطا به آن رسیده‌اند. در نتیجه اعمال سناریوهای مدیریتی در این مدل به علت داشتن توانایی بازتولید شرایط نزدیک به حالت موجود بسیار مورداطمینان‌تر است. بااین‌حال در این مدل با کاهش آب در دسترس سطوح زیر کشت در منطقه کاهش پیدا می‌کند و زمین‌های کشاورزی بلااستفاده باقی می‌مانند که همین امر به‌مرورزمان باعث تغییر کاربری اراضی کشاورزی خواهد شد. و از طرفی تغییر سود کشاورزان بیشتر از مدل غیرخطی قابل‌ملاحظه خواهد بود که همین امر مشارکت کشاورزان با این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها را کم‌تر و عملی کردن طرح‌ها را دشوارتر می‌کند.

به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان بیان کرد که طرح کاهش برداشت به‌عنوان یکی از طرح‌های تعادل بخشی آبخوان یک گزینه‌ی مناسب در دشت قزوین برآورد شد، که در سه سناریو بررسی گردید و حجم قابل‌توجهی از برداشت‌ها با استفاده از این طرح کاسته شد. همچنین در بحث بهینه‌سازی الگوی کشت با رویکرد اقتصادی مزیت‌ها و معایب دو دیدگاه اجرایی در منطقه در این مطالعه بررسی شد، و از نتایج به‌دست‌آمده استنباط شد که مدل بهینه‌سازی غیرخطی با توجه به سود اقتصادی بیشتری که به دست می‌آورد، در عملی بودن سناریوها دارای ضعف در برابر مدل PMP می‌باشد، و مدل PMP با توانایی در نظر گرفتن شرایط حال قادر به بهینه‌سازی عملی‌تری نسبت به مدل بهینه‌سازی غیرخطی می‌باشد.

و در پایان به‌عنوان پیشنهاد می‌توان به نقش تأثیرگذار دولت‌ها و تصمیم‌گیران در بخش کشاورزی در این زمینه اشاره نمود، به‌گونه‌ای که این افراد می‌توانند با اتخاذ تصمیم‌هایی از قبیل بیمه کردن سود و حمایت کردن کشاورزان در ازاء عمل کردن به این‌گونه طرح‌ها، کمک قابل‌توجهی جهت اجراء هر چه بهتر این‌گونه پروژه‌ها بکنند.

منابع

احمدی،ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵. جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

استیلی، ح. ۱۳۹۴. مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی(ترجمه). انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.

بنی حبیب، م.، حسین‌زاده، م. و اولاد قره‌گوز، م. ۱۳۹۴. تدوین مدل

www.SID.ir

Archive of SID

برنامه‌ریزی غیرخطی تخصیص آب و الگوی کشت در شرایط کم آبیاری (بررسی موردی: استان‌های تهران و البرز). مجله پـژوهش آب ایران. ۹(۴): ۱۵۹-۱۶۳.

حسنی، ی.، هاشمی شاهدانی، م. و زهرائی، ب. ۱۳۹۹. توسعه ساختار جدید بهره‌برداری- اقتصادی در شـبکه‌هـای آبیـاری فاقـد بـازار آب. نشریه علوم آب و خـاک (علـوم و فنـون کشـاورزی و منـابع طبیعی). ۲۴ (۱): ۲۷-۴۳.

شرافت‌پور، ز.، روزبهانی، ع. و حسنی، ی. ۱۳۹۵. تخصیص بهینـه آب به شبکه آبیاری نکوآباد در حوضه زاینده رود با رویکرد اقتصـادی در شرایط خشکسالی. سومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، انجمـن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.

عالی‌نژاد، م.، جـولایی، ر. و شـیرانی بیـد آبـادی، ف . ۱۳۹۴. تعیـین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی شهرستان بابل با استفاده از برنامه‌ریزی خطـی. سـومین همـایش ملـی انجمـن‌هـای علمـی دانشجویی رشته‌های کشاورزی و منـابع طبیعـی، کـرج، پـردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

علیـــزاده، ا.، مجیـــدی، ن.، قربـــانی، م. و محمـــدیان، ف. ۱۳۹۱. بهینه‌سـازی الگـوی کشـت بـا هـدف تعـادل بخشـی منـابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد - چناران). مجله آبیـاری و زهکشی ایران. ۶ (۱): ۵۵-۶۸

کبیری, ش.، پویا، ح. و یونسی، م. ۱۳۹۶. بررسی میزان و دلایل افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت قـزوین بـا اسـتفاده از سیسـتم اطلاعات جغرافیایی (GIS). دومین کنفرانس ملـی هیـدرولوژی ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد. انجمن هیدرولوژی ایران.

هاشمی شاهدانی، م.، حسنی، ی. و هرمزی، م. ۱۳۹۶. توزیع و تحویل بهینه آب در کانـال اصـلی آبیـاری از نظـر اقتصـادی در شـرایط کم‌آبی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۳): ۳۳-۴۲.

هـــزاره، ر.، حســـنی، ی. و شـــایان مهـــر، س. ۱۳۹۵. ارزیـــابی آثـــار سیاست‌های مختلف بخش کشاورزی بر شاخص‌هـای بهـره‌وری آن در دشت قزوین. پژوهش آب ایران. ۱۰(۲۳): ۷۳-۸۳.

Ariabod, A., Karbasi, A. and Tabasi, H.G. 2013. Analyzing the effects of changes in price and water supply on cropping pattern in Mashhad, Nishabur and Torbat Heydarieh in Iran. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4(3): 464-471.

Howitt, R.E. 1995. Positive mathematical programming. American journal of agricultural economics. 77(2): 329-342.

Medellín-Azuara, J., MacEwan, D., Howitt, R.E., Koruakos, G., Dogrul, E.C., Brush, C.F., Kadir, T.N., Harter, T., Melton, F. and Lund, J.R. 2015. Hydro-economic analysis of groundwater pumping for irrigated agriculture in California's Central Valley, USA. Hydrogeology Journal. 23(6): 1205-1216.

Sheikhipour, B., Javadi, S., Banihabib, M.E. 2018. A hybrid multiple criteria decision-making model for the sustainable management of aquifers. Environmental Earth Sciences, 77(19), 712.

Siebert, S., Burke, J., Faures, J.M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. and Portmann, F.T. 2010. Groundwater use for irrigation—a global inventory. Hydrology and earth system sciences, 14(10): 1863-1880.

Singh, A. 2014. Optimizing the use of land and water resources for maximizing farm income by mitigating the hydrological imbalances. Journal of Hydrologic Engineering. 19(7): 1447-1451.

www.SID.ir

Archive of SID
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1336-1347

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۳۴۷-۱۳۳۶

Aquifer Remediation Using Nonlinear Programming and Positive Mathematical Programming in Qazvin Plain

M.J. Bayat[1], S. Javadi[2]*, M. Hashemy Shahdany[3], Y. Hasani[4], M.E. Banihabib[5]
Recived: Apr.25, 2020 Accepted: Jul.09, 2020

Abstract

Excessive extraction of aquifers to produce agricultural products is reduced the amount of water in groundwater sources, in the manner that this amount decreasing follows irreversible effects in various areas. In order to decreasing difficulties resulting from decrease in amount of aquifer deciding in considerable level is needed. This matter has made balancing of aquifers as one of the important factors in water resources management. In this study, in order to recovery of groundwater sources and implementing extraction reduction in country's aquifers, as one of the equilibrium projects, optimization the cultivation pattern with economical approach and investigation changes farmer's profit with exploitation reduction scenarios to 1%, 3% and 5% From two popular perspectives and analytical comparisons between them is done in 1395. For optimize the cropping pattern, two perspectives of changing the cropping pattern have been used by NLP method and reduction of cultivated subspecies, and using PMP optimization method. Results of using extraction reduction scenarios in Qazvin plain's aquifer, which has yearly deficiency to the value of 376 MCM showed that in the scenarios of groundwater extraction, the values of 21.2, 63.7 & 106.6 MCM of extraction are reduced from the aquifer of the case study. Also, the results of the analysis of the two planning methods showed that the NLP optimization model, gaining more economical profits than the PMP model.

Keywords: Nonlinear programing (NLP), Optimization of cropping pattern, Positive mathematical programing (PMP), Reduction of Aquifer exploitation

1- M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran
2- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran
3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran
4- Researcher, Water Productivity and Economic Affairs, Iran Water Resources Management Co., Ministry of Energy, Tehran, Iran
5- Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: javadis@ut.ac.ir)

www.SID.ir