

مقاله علمی-پژوهشی

تبادل بخشی آبخوان با روش های برنامه ریزی غیر خطی و برنامه ریزی 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 آبخوان ها برای تولید محصولات کشاورزی باعث کاهش میزان آب در سفره های زیرزمینی شده، به طوری که این کاهش مقدار عوارض جبران ناپذیری را در مناطق مختلف به دنبال داشته است. جهت کاهش معضلات ناشی از کاهش حجم آبخوان ها نیاز به تصمیم گیری در سطح کلان می باشد. همین امر تعادل بخشی آبخوان ها را به یکی از ضروری ترین عوامل در مدیریت منابع آب تبدیل کرده است. در این تحقیق به منظور احیای سفره های آب زیرزمینی و اجرای کاهش برداشت در آبخوان های کشور به عنوان یکی از پروژه های تعادل بخشی، اقدام به بهینه سازی 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 بهینه سازی الگوی کشت از دو منظر تغییر الگوی کشت بوسیله بهینه سازی با برنامه ریزی غیر خطی (NLP) و کاهش سطوح زیر کشت بوسیله روش بهینه سازی با برنامه ریزی مثبت ریاضی (PMP) انجام شده است. نتایج اعمال سناریوهای کاهش برداشت در دشت قزوین که دارای کسری سالانه ۳۱۶ میلیون متر مکعب می باشد نشان داد که به ترتیب مقادیر ۲/۲۱، ۷/۶۳ و ۱/۱۰۶ میلیون متر مکعب برداشت از آبخوان کاسته می شود. همچنین نتایج تحلیل دو روش برنامه ریزی نشان داد که مدل بهینه سازی غیر خطی، سود اقتصادی بیشتری نسبت به مدل PMP ایجاد خواهد نمود.

واژه های کلیدی: بهینه سازی الگوی کشت، برنامه ریزی غیر خطی (NLP)، برنامه ریزی مثبت ریاضی (PMP)، کاهش برداشت آبخوان

مقدمه

مصرف آب در ایران از موضوعات اساسی در تصمیم گیری های 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 این رو فراهم کردن شرایطی برای کشاورزی که پایداری منابع آب را به خطر نیندازد، نیازمند تصمیم گیری هایی است که کمترین فشار را بر بخش منابع آب و کشاورز داشته باشد (Sheikhipour et al., 2018). نگاه به بهره وری آب از لحاظ فیزیکی و اقتصادی در مقیاس کلان می تواند منجر به تصمیمات جدید و مؤثری در زمینه کاهش برداشت آب شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶). به گونه ای که ضروری است کشت محصولات کشاورزی با سود اقتصادی بالا و مصرف آب کم به جای محصولات کشاورزی با سود اقتصادی پایین و مصرف آب بالا در نظر گرفته شود.

یکی از راهکارهای اساسی جهت سیاست گذاری ها و اجرایی شدن تصمیم های مدیریتی، انتخاب الگوی کشت بهینه مناسب منطقه با رویکرد اقتصادی و تعیین برنامه ای جامع جهت تخصیص آب

کشاورزی به عنوان مصرف کننده اصلی و بزرگ ترین مصرف کننده آب در دنیا است، به طوری که برآورد شده است حدود ۷۰ درصد از مصرف آب جهان در کشاورزی و آبیاری استفاده می شود (Siebert et al., 2010). از سوی دیگر مطالعات در ایران نشان می دهد ۱۰ درصد کاهش در عرضه آب موجب کاهش ۸/۰ درصدی در تولیدات ناخالص ملی می شود، بر همین اساس بهبود ساختار

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 بررسی های اقتصادی، تعرفه و خصوصی سازی، شرکت مدیریت منابع آب ایران

۵- استاد گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: Javadis@ut.ac.ir)

منطقه از ۲۸×۱۰^۷ متر مکعب در سال مبدأ به صفر در سال آخر دوره برنامه می گردد. بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی تخصیص بهینه آب و الگوی کشت بهینه در شرایط کم آبی در استان - های تهران و البرز پرداختند. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در میزان آب در دسترس، مقادیر بهینه سطح زیر کشت با روش برنامه ریزی غیرخطی تعیین شدند. نتایج حاصل از بهینه سازی نشان داد که تغییر سطوح کشت می تواند سود اقتصادی فعالیت های کشاورزی را تا ۳۶ درصد در مقایسه با شرایط فعلی بهبود بخشد. با توجه به بررسی مطالعات انجام گرفته در این زمینه دیده می شود که در اکثر مطالعات، تعداد محدودیت هایی که برای انجام مطالعه در نظر شده است کم بوده و برای رسیدن به تابع هدف سایر عوامل تأثیرگذار در بخش کشاورزی به خوبی وارد مدل نشده اند.

همچنین در خصوص دیدگاه دوم بهینه سازی الگوی کشت با روش برنامه ریزی مثبت PMP به منظور مدیریت منابع آب و حداکثر سازی سود کارهای زیر انجام گرفته شده است: مادلین و همکاران با استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP) به بررسی اثرات خشک سالی در سطح آب های زیرزمینی و افزایش هزینه های تولید در دره مرکزی کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان دادند که حداقل ۱۶۶۰۰۰ هکتار از سطح کشاورزی کاهش می یابد و در نتیجه ۸۰۰ میلیون دلار از درآمد کشاورزی کاسته می شود (Medellín et al., 2015). آریاباد 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 گوجه فرنگی ایجاد نمی کند، اما پنبه از الگوی کشت حذف می شود. همچنین کاهش آب موجود علاوه بر تغییر سطح زیر کشت باعث کاهش مصرف آب می شود (Ariabod et al., 2013). شرافت پور و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه ای الگوی بهینه کشت شبکه نکو آباد حوضه زاینده رود را با استفاده از مدل اقتصادی PMP تعیین کردند. میزان آب قابل دسترس در شرایط خشک سالی با استفاده از مدل منابع آبی شبیه سازی و این حجم آب بر اساس ارزش اقتصادی آب محصولات تخصیص داده شده است، با توجه به این تخصیص، درصد تغییرات الگوی کشت بهینه شبکه نکو آباد به دست آمده که نتیجه آن حاکی از این است که سطح کشت محصولات پیاز و جو دارای کمترین و یونجه دارای بیشترین تغییرات در شرایط خشک سالی می باشند. حسنی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به معرفی رویکرد بهره برداری - اقتصادی با مدل برنامه ریزی مثبت ریاضی به عنوان راهبرد جدید در بهره برداری شبکه های آبیاری باهدف تحویل و توزیع بهینه ی 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

کشاورزی می باشد. در این راستا دو دیدگاه تصمیم گیری تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت وجود دارد به گونه ای که می توان 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 برنامه ریزی غیرخطی (NLP) با در نظر گرفتن محدودیت هایی 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 بهینه سازی الگوی کشت را انجام می پذیرد. در دیدگاه دوم (کاهش سطح زیر کشت) با در نظر گرفتن دوباره ی محدودیت های سطوح زیر کشت، مقدار آب در دسترس و نیروی کار در مدل برنامه ریزی مثبت ریاضی (PMP) اقدام به کاهش سطح زیر کشت می شود، به گونه ای که محصولات با سود کم بیشترین کاهش را داشته باشند. به این صورت با توجه به محدودیت ها با کاهش سطوح محصولات با ارزش اقتصادی پایین الگوی کشت بهینه با بیشترین سود ممکن به دست می آید.

در خصوص دیدگاه اول بهینه سازی الگوی کشت به منظور مدیریت منابع آب و حداکثر سازی سود مبنای تحقیقات زیادی در دنیا بوده است. به عنوان نمونه می توان به تحقیق عالی نژاد و همکاران (۱۳۹۴) اشاره نمود. در این تحقیق جهت تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی در شهر بابل، از روش برنامه ریزی خطی با هدف حداکثر سازی سود و دستیابی به خودکفایی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در مقایسه با الگوی کشت موجود منفعت درآمدها به کارگیری الگوی کشت بهینه ۱۱٪ سود خالص کل را افزایش می دهد. همچنین سینگ، در تحقیق خود ماکزیمم سازی درآمد کشاورزان در منطقه روتاگ از هاریانا، هند را شبیه سازی کرد. در این مدل محدودیت های آب های زیرزمینی به منظور حل مشکل بالا بودن آب های 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 می آید و به این طریق درآمد کشاورزان به مقدار ۲۶٪ افزایش خواهد یافت (Singh, 2014). در مطالعه ای دیگر امین عزیزاده و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود با توجه به اهمیت استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی با استفاده از بهینه سازی غیرخطی، الگوی کشت بهینه دشت مشهد - چناران را در یک دوره ۱۰ ساله با تأکید بر عدم بیابان منفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد به کارگیری الگوی مشخص شده در دوره برنامه ریزی علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه سبب کاهش کسری ذخایر آب زیرزمینی

- 1- nonlinear programming
- 2- positive mathematical programming

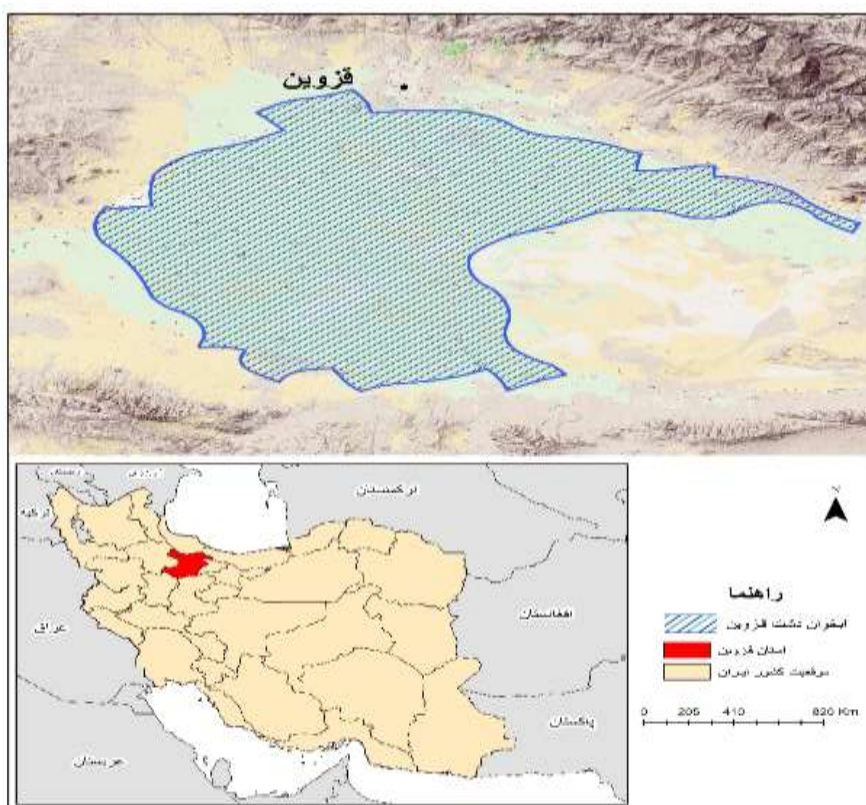
مواد و روش‌ها

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 قرار گرفته 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 قرار گرفته 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 رشته کوه‌های 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).

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

از بررسی مطالعات انجام گرفته 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 بر اثر بهره‌برداری بیش‌ازحد، بهره‌وری، تعرفه‌ی آب و راندمان پایین آب کشاورزی و الگوی کشت نامناسب به‌عنوان مورد مطالعاتی این تحقیق انتخاب شده 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 بهینه‌سازی 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.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

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	شلوک	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
چغندر قند	۱,۴	۱,۲۲	۱۳۵۰۹	۶۹,۴۷	گندم	۲۲,۲	۲,۳۳	۴۵۷۲	۱۷,۰۶
خریزه	۱,۲	۱۱,۴۶	۷۶۳۰	۲۵	گوجه فرنگی	۴,۷	۳,۶۳	۱۱۹۶۳	۱۱۴,۷۷
ذرت دانه ای	۳,۰	۴,۳۹	۱۰۱۹۵	۲۵	گیلاس	۱,۶	۲,۵۹	۱۳۶۳۶	۷۵
ذرت علوفه ای	۱۰,۰	۲,۷۵	۱۰۸۹۶	۱۶	لویا	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					

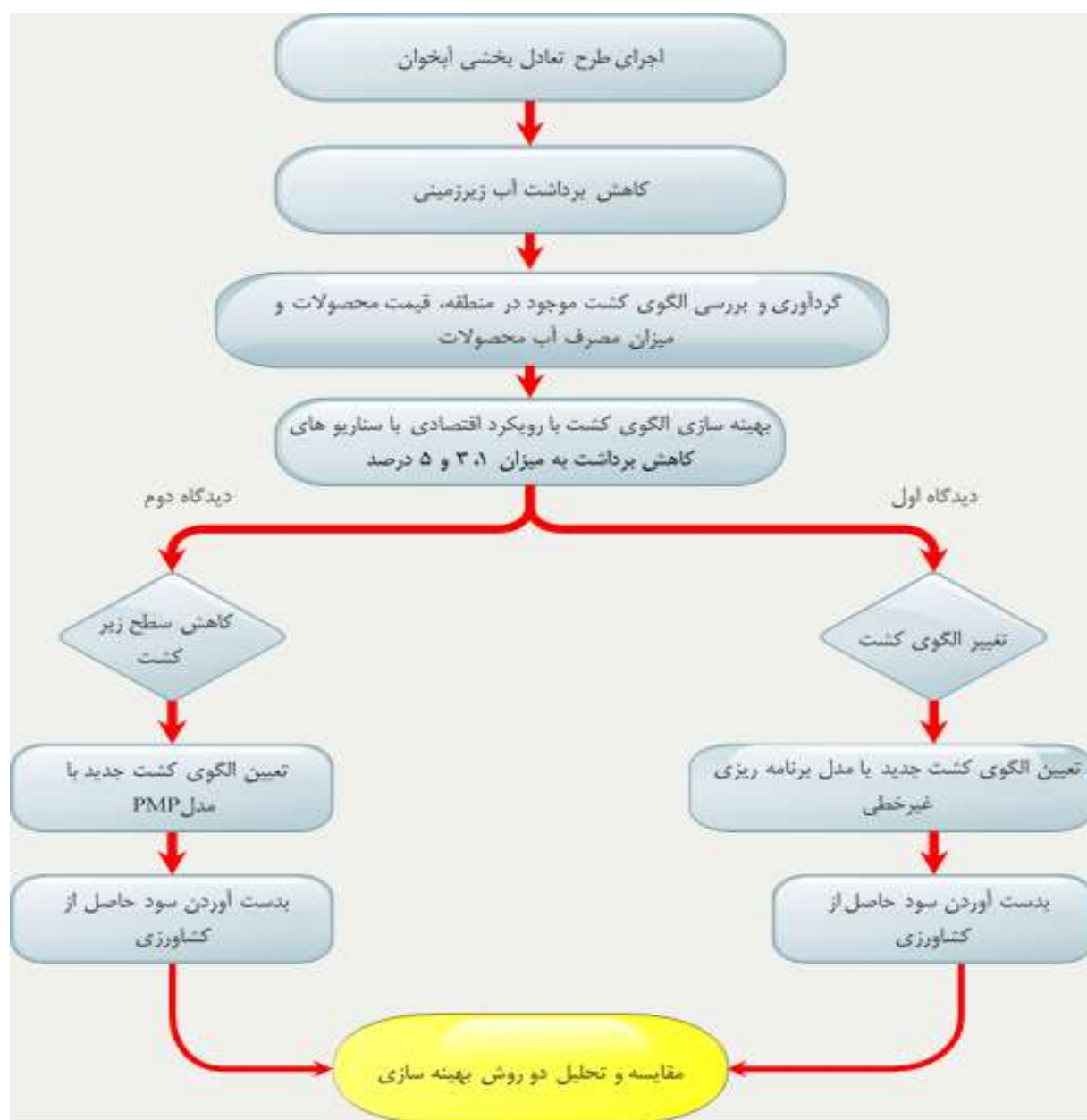
روش تحقیق

در این تحقیق به منظور 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 بهینه سازی با برنامه ریزی غیرخطی با دیدگاه تغییر الگوی کشت و مدل بهینه سازی با برنامه ریزی 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 می دهد. به گونه ای که ابتدا با به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز از منطقه ای مورد مطالعاتی و سپس اعمال سناریوهای کاهش برداشت در ورودی های دو مدل بهینه سازی با برنامه ریزی غیرخطی و مدل PMP اقدام به بدست آوردن سطوح کشت جدید می شود، پس از آن با اطلاعات قیمت های محصولات اقدام به محاسبه سود کشاورزان می شود. و در آخر با مقایسه و تحلیل دو روش استفاده شده در مدل مطالعه به پایان می رسد.

مدل بهینه سازی الگوی کشت با برنامه ریزی غیرخطی

برنامه ریزی غیرخطی روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع روی یک چندضلعی محدب می پردازد. این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعادله روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده تر به وسیله برنامه سازی غیرخطی می توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط خاص و با محدودیت های خاص به دست آورد (استیلی، ۱۳۹۴).

دشت قزوین از جمله دشت های ممنوعه ایران است (کبیری و همکاران، ۱۳۹۶). میزان سطح آب های زیرزمینی در این دشت در حال کاهش پیدا کردن است و هر سال به میزان یک متر از آن کاسته می شود، همچنین بزرگ ترین منبع تأمین آب کشاورزی در این دشت آب زیرزمینی با تأمین ۱۳۶۵ میلیون مترمکعب در سال می باشد که همین امر نشان دهنده آینده خطرناکی برای دشت قزوین می باشد. 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 منطقه ای قزوین) بررسی خواهد شد. شایان ذکر است ۱۹ محصول انتخاب شده به عنوان الگوی کشت، تقریباً ۹۰ درصد سطوح زیر کشت منطقه به مقدار ۱۵۷۱۳۱ هکتار را پوشش می دهد (جدول ۱). سود خالص محاسبه شده بر مبنای حاصل تفاضل قیمت فروش محصولات از هزینه های تولید محصولات می باشد (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 داشته اند در حالی که محصولات مانند بادام، چغندر قند، یونجه و ذرت علوفه ای با مصرف ۳۵٪ از آب تنها ۱۲٪ از سود مجموعه را تأمین کرده اند. همچنین محصولات مانند خربزه، گردو و پسته محصولات با سود بالا و محصول گندم با بیشترین سطح زیر کشت در سال ۱۳۹۵ بوده اند.



شکل ۲- شماتیک مراحل تحقیق

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

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

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

$$WU = \sum_{i=1}^n (W_i \times A_i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n A_i = T_{\text{Aria}} \quad (3)$$

به منظور تغییر الگوی کشت کنونی و تعیین الگوی کشت بهینه روش برنامه ریزی 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 به عنوان راهکار تعادل بخشی آبخوان مدنظر قرار گرفته شده است. در تدوین بهینه سازی الگوی کشت در این روش، فرض بر آن است که محدودیت‌های سطح زیر کشت، مقدار آب در دسترس و نیروی کار در بهینه سازی الگوی کشت مدنظر در این تحقیق تأثیرگذارند.

$$\sum_{i=1}^n L_i \times A_i \leq T_{\text{labor}} \quad (4)$$

در رابطه ی ۱ MAX NB حداکثر درآمد ناشی از فروش محصولات، BE_i درآمد خالص به ازای هر یک از محصولات، CA_i هزینه های تولید هر یک از محصولات و A_i سطح زیر کشت هر یک از محصولات هستند. به طور کلی تابع هدف به صورت بیشینه ترین حالت کسر مجموع هزینه هایی که جهت تولید صرف می شود از مجموع درآمدی که از فروش محصولات مختلف کشاورزی به دست می آید تعریف گردیده است.

در روابط ۲ تا ۴ پارامتر WU ، کل آب در دسترس (برحسب متر مکعب) می باشد. این رابطه گویای میزان محدودیت مصرف آب می باشد، به این صورت که مجموع مصرف آب کل محصولات دشت قزوین را در سال نشان می دهد. همچنین برای اعمال سناریوهای آب در دسترس، مقادیر کاهش ۱، ۳ و ۵ درصد در این محدودیت اعمال می شود. همچنین پارامتر T_{Aria} (برحسب هکتار) کل مساحت دشت قزوین است که در سال مبنای زیر کشت رفته است. با توجه به فرمول ارائه شده محدودیت سطح زیر کشت مشخص برای اجرای مدل در نظر

گرفته می شود. با اعمال این محدودیت مدل مکلف می گردد تولید محصولات دشت قزوین را طوری بهینه سازی نماید که مجموع سطوح زیر کشت با مجموع سطوح کشت در سال ۱۳۹۵ یکسان باشد. همچنین پارامتر L_i مقادیر نیروی انسانی برحسب نفر ساعت برای محصولات و T_{Labor} ظرفیت کلی نیروی انسانی در منطقه می باشد. برای رسیدن به پاسخ های صحیح و با توجه به تابع هدف که در راستای حداکثر سازی سود حوضه دشت قزوین می باشد، اگر محدوده ای 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 می کند و سطح محصولات کم سود را به صفر می رساند که این امر مدل را از صحت و نزدیکی به واقعیت دور می سازد، بنابراین محدوده بندی 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 می دهد.

جدول ۲- محدودیت سطح اعمال شده و دلایل آن برای تمامی محصولات مورد بررسی در دشت قزوین در سال ۱۳۹۵

محصولات	محدودیت اعمال شده نسبت به سال مبنا	توضیحات
گندم، جو، محصولات علوفه ای و ذرت دانه ای	$0.9 < \text{محصول} < 1.2$	به علت استراتژیک بودن گندم، جو و محصولات علوفه ای این بازه در نظر گرفته شد.
برنج	$0.7 < \text{محصول} < 1$	در دشت قزوین بنا به صلاح نبودن کشت بهتر است کشت رو به کاهش باشد.
چغندر قند، محصولات جالیزی، سیب، دانه های روغنی، گوجه فرنگی، حبوبات، فندق، گیلاس انگور، گردو، بادام و پسته	$0.5 < \text{محصول} < 2$	به علت کثرت تولید محصول، این بازه برای محصولات مذکور لحاظ گردید.

مدل بهینه سازی الگوی کشت با برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP)

مدل دیگر بهینه سازی با رویکرد اقتصادی که در این تحقیق از آن استفاده شده است مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP) می باشد. این مدل با دیدگاه کاهش سطح کشت درازای کاهش آب در دسترس به میزان ۱، ۳ و ۵ درصد وضعیت کنونی مراحل مدل سازی را انجام می دهد که در ادامه شرح داده شده است. همچنین روند انجام برنامه ریزی اثباتی از مرحله ورود اطلاعات و شبیه سازی 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 می کند.

مرحله اول مدل اقتصادی

در این مرحله یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی با در نظر گرفتن محدودیت های حجم آب، زمین، نیروی کار و نیز محدودیت های واسنجی، به منظور شبیه سازی شرایط موجود کشاورزی در محدوده مطالعاتی ارائه شده است. مدل برنامه ریزی مذکور با هدف حداکثر سازی در سود به شرح زیر می باشد: (Howitt., 1995)

$$\max \sum_i p_i \bar{y}_i X_i - \sum_i w_j a_{ij} X_i \quad (5)$$

$$\text{land: } \sum_i X_i \leq B_l \quad (6)$$

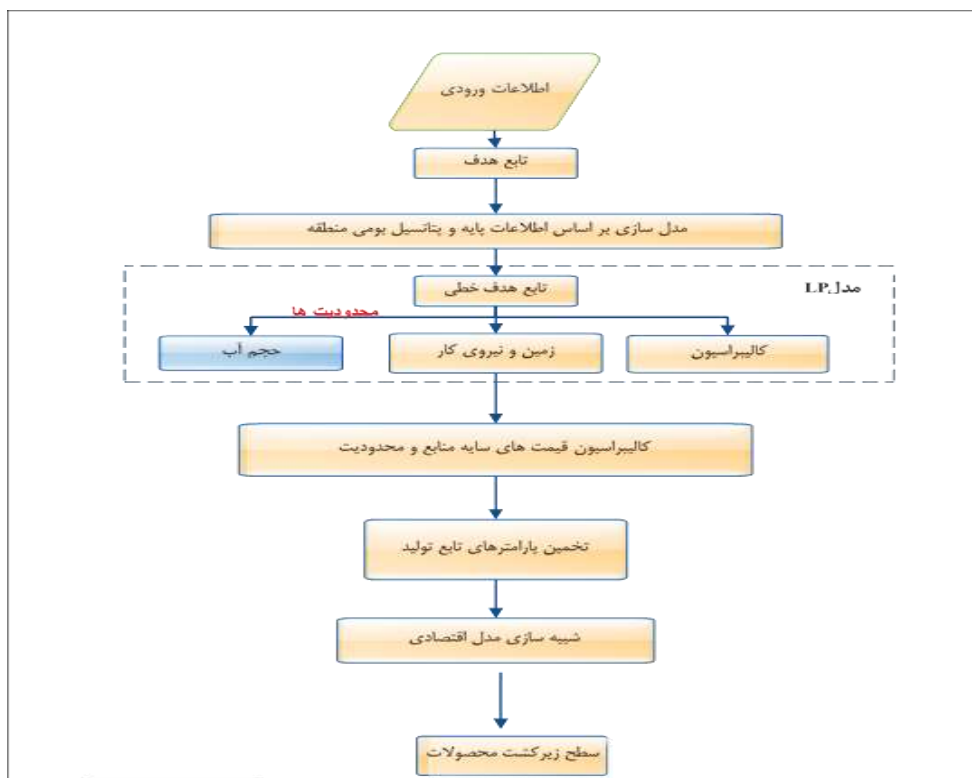
$$\text{Labor: } \sum_i a_{li} X_i \leq B_{li} \quad (7)$$

$$\text{available Water: } \sum_i X_{iswm} \leq B_{swm} \quad (8)$$

$$X_i \leq \hat{X}_i \quad (9)$$

در واحد هکتار می‌باشند. B_i و B_{ji} به ترتیب بازتاب کل زمین و نیروی کار در دسترس و a_{ji} مقدار نیروی کار برحسب نفر ساعت برای محصول i در معادلات ۶ و ۷ می‌باشند.

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



شکل ۳- مراحل مدل‌سازی مدل اقتصادی PMP

(۱۰)

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

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 نهاده‌های حداکثرکننده

معادله‌ی (۸) تضمین می‌کند که مقدار کل آب‌های در دسترس مورد استفاده 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 هر سال محاسبه می‌گردد. در معادله (۹)، $\bar{X}_i$ 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):

درآمد خالص و ارزش اقتصادی آن ها ارائه شده است.

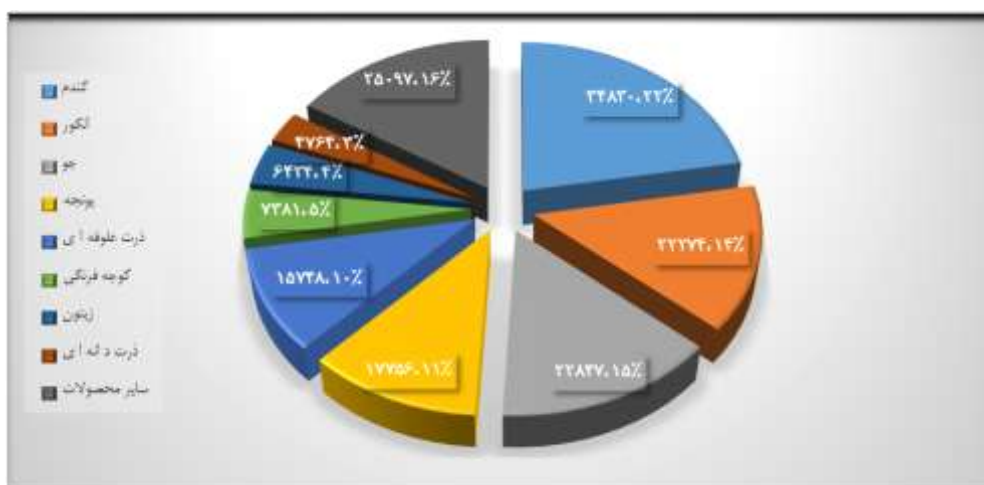
نتایج و بحث

طبق طرح کاهش برداشت از آبخوان به منظور تعادل بخشی 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

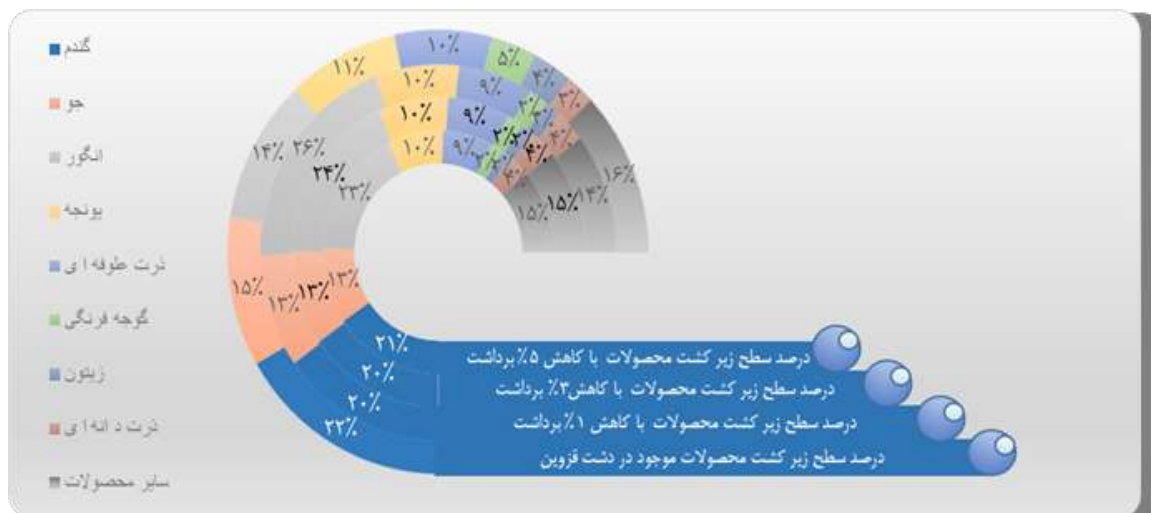
مترمکعب برداشت از آب زیرزمینی کاسته می شود. همین امر باعث بهبود وضعیت آبخوان دشت قزوین نسبت به وضعیت کنونی خواهد شد. درصد تغییرات سطوح زیر کشت در دو مدل بهینه سازی با برنامه ریزی غیر خطی (دیدگاه تغییر الگوی کشت) و مدل PMP (دیدگاه کاهش سطوح زیر کشت) در جدول ۳ و شکل های (۴، ۵ و ۶) به ازای کاهش برداشت به مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد ارائه شده است.

جدول ۳- درصد تغییرات سطوح زیر کشت محصولات در دو مدل برنامه ریزی غیر خطی و مدل PMP

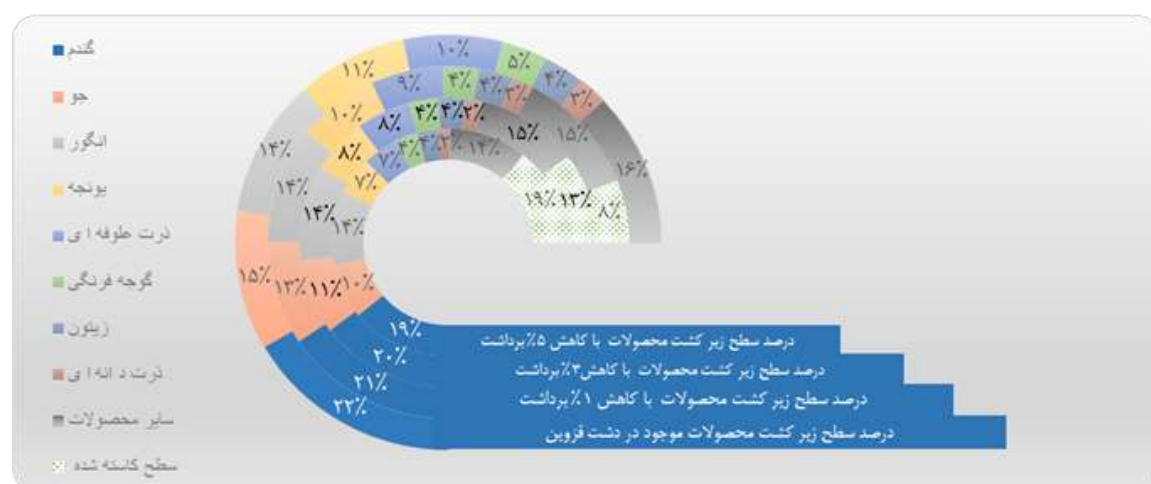
محصول	مدل برنامه ریزی غیر خطی			مدل برنامه ریزی PMP		
	%۱	%۳	%۵	%۱	%۳	%۵
انگور	۸۳	۶۹/۵	۵۷/۹	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۶
بادام	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۰/۸	-۱/۳	-۱/۸
پسته	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۹
جو	-۱۰	-۱۰	-۱۰	-۱۲/۲	-۲۳	-۲۸
چغندر قند	-۵۰	-۵۰	-۵۰	-۱۰	-۲۵/۴	-۳۲
خریزه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-۱۱/۲	-۱۳	-۱۷
ذرت دانه ای	۲۰	۲۰	۲۰	-۱۳/۶	-۱۸/۷	-۳۱
ذرت علوفه ای	-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
شلوک	-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
گوجه فرنگی	-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 ۴- مقدار و درصد سطح زیر کشت محصولات موجود در دشت قزوین



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



شکل ۶- درصد تغییرات سطوح زیر کشت با اعمال سناریوهای کاهش برداشت در مدل بهینه‌سازی PMP

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 این که در این مدل بیش از حد به پارامتری تمرکز نمی‌شود و دارای قابلیت کالیبراسیون می‌باشد. همه‌ی محصولات با اعمال سناریوهای کاهش برداشت، سطوح زیر کشتشان با شیب

با توجه به جدول ۱، محصولاتی همچون گیلاس، خربزه، لوبیا پرسودترین و بادام، چغندر قند و یونجه کم سودترین محصولات می‌باشند. همچنین محصولاتی هم چون پسته، شلتوک، بادام و چغندر قند 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، چغندر قند، بادام و ... به علت سود کشاورزی پایین و مصرف آب بالاتر نسبت به سایر محصولات کاهش یافته 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 داده شده است. با توجه به جدول ۳ و شکل ۵ محصول انگور بیشترین تغییرات در

میزان در تابع هدف دخیل هستند استفاده می کند و با اطلاعات میدانی در منطقه کالیبره می گردد، از این رو در این روش تجربه ی کشاورز اضافه بر محدودیت های زمین، نیروی کار و آب در دسترس مورد استفاده قرار می گیرد. همین امر باعث می شود مدل به دست آمده بسیار نزدیک به واقعیت و شرایط موجودی باشد که خود کشاورزان طی چندین سال سعی و خطا به آن رسیده اند. در نتیجه اعمال سناریوهای مدیریتی در این مدل به علت داشتن توانایی بازتولید شرایط نزدیک به حالت موجود بسیار مورد اطمینان تر است. با این حال در این مدل با کاهش آب در دسترس سطوح زیر کشت در منطقه کاهش پیدا می کند و زمین های کشاورزی بلااستفاده باقی می ماند که همین امر به مرور زمان باعث تغییر کاربری اراضی کشاورزی خواهد شد. و از طرفی تغییر سود کشاورزان بیشتر از مدل غیرخطی قابل ملاحظه خواهد بود که همین امر مشارکت کشاورزان با این گونه تصمیم گیری ها را کم تر و عملی کردن طرح ها را دشوار تر می کند.

به عنوان نتیجه گیری می توان بیان کرد که طرح کاهش برداشت به عنوان یکی از طرح های تعادل بخشی آبخوان یک گزینه ی مناسب در دشت قزوین برآورد شد، که در سه سناریو بررسی گردید و حجم قابل توجهی از برداشت ها با استفاده از این طرح کاسته شد. همچنین در بحث بهینه سازی الگوی کشت با رویکرد اقتصادی مزیت ها و معایب دو دیدگاه اجرایی در منطقه در این مطالعه بررسی شد، و از نتایج به دست آمده استنباط شد که مدل بهینه سازی غیرخطی با توجه به سود اقتصادی بیشتری که به دست می آورد، در عملی بودن سناریو ها دارای ضعف در برابر مدل PMP می باشد، و مدل PMP با توانایی در نظر گرفتن شرایط حال قادر به بهینه سازی عملی تری نسبت به مدل بهینه سازی غیرخطی می باشد.

و در پایان به عنوان پیشنهاد می توان به نقش تأثیرگذار دولت ها و تصمیم گیران در بخش کشاورزی در این زمینه اشاره نمود، به گونه ای که این افراد می توانند با اتخاذ تصمیم هایی از قبیل بیمه کردن سود و حمایت کردن کشاورزان در ازاء عمل کردن به این گونه طرح ها، کمک قابل توجهی جهت اجراء هر چه بهتر این گونه پروژه ها بکنند.

منابع

- احمدی، ک، قلی زاده، ج،، عبادزاده، ج،، حسین پور، ر،، عبدشاه، ه،، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵. جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- استیلی، ج. ۱۳۹۴. مقدمه ای بر بهینه سازی (ترجمه). انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.
- بنی حبیب، م،، حسین زاده، م. و اولاد قره گوز، م. ۱۳۹۴. تدوین مدل

ملایمی کاهش پیدا می کند. باوجود کاهش سطح زیر کشت همه ی محصولات سطوح زیر کشت محصولاتی همانند یونجه، ذرت علوفه ای، ذرت دانه ای و چغندر قند به علت مصرف آب زیاد و سود اقتصادی نسبتاً پایین، بیشترین کاهش سطوح کشت را دارا می باشند. با این وجود محصولاتی همچون انگور، گیلان، پسته و در کل محصولات باغی کمترین تغییرات سطوح کشت را در این مدل دارا می باشند. با اعمال کاهش دسترسی به میزان ۱٪، ۳٪ و ۵٪ به منابع آب در دو مدل ذکر شده سود کشاورزان به میزان های ۱/۰۱، ۳/۲۳ و ۵/۴۹ درصد در مدل برنامه ریزی 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 رخ داده است ولی در مدل برنامه ریزی غیرخطی سطوح زیر کشت محصولات با یکدیگر جابه جاشده اند.

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

- ۱) به علت تنوع خاک و آب و هوای منطقه و ماشین آلات منحصربه فرد تولید هر محصول نمی توان سطوح محصولاتی همچون گردو را با گندم جابه جا کرد.
- ۲) تغییرات در سطوح باغاتی که چندین سال برای به ثمر آمدن آن تلاش شده است امری دشوار است برای مثال نمی توان نیمی از باغات پسته را حذف کرد و محصولی همچون انگور را جایگزین آن کرد.
- ۳) به علت نداشتن تجربه و تخصص نمی توان از کشاورزی که سال ها یک محصول را کشت کرده است انتظار داشت سطح زیر کشتش را تغییر داده و محصول دیگری را جایگزین محصول قبلی بکند. این گونه تصمیم گیری ها در سطح منطقه باعث به وجود آمدن مناقشات اجتماعی خواهد شد.

نتیجه گیری

با توجه به عوامل دخیل در کشاورزی، پارامترهایی زیادی به عنوان محدودیت به حساب می آیند که برای تصمیم گیری بهتر، لازم است این محدودیت ها نیز در مدل تصمیم گیری در نظر گرفته شوند. اما به دلیل عددی نبودن برخی از عوامل و همچنین در دسترس نبودن همه ی اطلاعات، می توان رفتار کنونی و الگوی کشت کنونی کشاورزان را به عنوان مناسب ترین حالت در منطقه توصیف کرد. در روش برنامه ریزی غیرخطی، علاوه بر کاهش کمتر سود کشاورزی نسبت به مدل دیگر، مدل برای رسیدن به هدف خود از تمام محدودیت هایی که در مدل ارائه شده است استفاده می کند و شبیه سازی عوامل نام برده در این روش وجود ندارد. برنامه ریزی PMP یک روش تحلیل تجربی است و از تمام اطلاعات فارغ از آن که به چه

بهینه آب در کانال اصلی آبیاری از نظر اقتصادی در شرایط کم آبی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۳): ۳۳-۴۲.

هزاره، ر.، حسنی، ی. و شایان مهر، س. ۱۳۹۵. ارزیابی آثار سیاست‌های مختلف بخش کشاورزی بر شاخص‌های بهره‌وری 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.

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

حسینی، ی.، هاشمی شاهدانی، م. و زهرائی، ب. ۱۳۹۹. توسعه ساختار جدید بهره‌برداری - اقتصادی در شبکه‌های آبیاری فاقد بازار آب. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۴ (۱): ۲۷-۴۳.

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

عالی‌نژاد، م.، جولایی، ر. و شیرانی بید آبادی، ف. ۱۳۹۴. تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی شهرستان بابل با استفاده از برنامه‌ریزی خطی. سومین همایش ملی انجمن‌های علمی دانشجویی رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

علیزاده، ا.، مجیدی، ن.، قربانی، م. و محمدیان، ف. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد - چناران). مجله آبیاری 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 قزوین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد. انجمن هیدرولوژی ایران.

هاشمی شاهدانی، م.، حسینی، ی. و هرمزی، م. ۱۳۹۶. توزیع و تحویل

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

M.J. Bayat¹, S. Javadi^{2*}, M. Hashemy Shahdany³, Y. Hasani⁴, M.E. Banihabib⁵

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)