

مقاله علمی-پژوهشی

## بهینه‌سازی الگوی کشت در چاه‌های کشاورزی با قیود تحویل حجمی ماهانه و سالانه (مطالعه موردی: دشت قزوین)

سمانه احسانی کلی کند<sup>۱</sup>، بیژن نظری<sup>۲\*</sup>، هادی رضائی اعتدالی<sup>۳</sup> و عباس ستوده نیا<sup>۴</sup>

### چکیده

تحویل حجمی آب از مؤلفه‌های اصلی طرح تعادل بخشی آب زیرزمینی است. در شرایط تحویل حجمی آب، حفظ درآمد کشاورز و استفاده بهینه از آب هم‌زمان باید مدنظر باشد. هدف از این تحقیق، تعیین الگوی کشت بهینه در چاه‌های کشاورزی منتخب دشت قزوین در شرایط تحویل حجمی و مطابق با حبابه‌های مصوب بوده است. در این پژوهش ۹ مزرعه مطالعه شد و از روش برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی استفاده گردید. همچنین بهینه‌سازی الگوی کشت با اهداف حداکثر کردن سود خالص کشاورز، کاهش میزان آب مصرفی و افزایش بهره‌وری اقتصادی صورت گرفت. الگوی کشت بهینه به‌عنوان یک توصیه کلی به این صورت تعیین شد که ۲۵٪ گوجه‌فرنگی، ۱۰٪ یونجه، ۱۶٪ گندم و ۴۹٪ کلزا کشت شود. به‌طور متوسط در چاه‌های مورد مطالعه، بهره‌وری آب در الگوی کشت مصوب و الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه و سالانه آب، به ترتیب برابر با ۵۲۸۳، ۹۰۸۰ و ۱۰۵۷۰ ریال بر مترمکعب برآورد گردید. بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه و ماهانه آب به ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۷۲ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب در پروانه‌های بهره‌برداری افزایش داشته است. همچنین، سود خالص در الگوی کشت مصوب و الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه و سالانه آب به ترتیب برابر با ۵۲۹۷۸، ۴۸۲۷۵ و ۸۸۸۴۴ هزار ریال در هکتار برآورد گردید. سود خالص در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه و ماهانه آب به ترتیب به میزان ۶۷٪ درصد افزایش و ۸٪ درصد کاهش نسبت به الگوی کشت مصوب داشته است. متوسط آب مصرفی در الگوی کشت مصوب و الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه و سالانه آب به ترتیب برابر با ۱۰۲۸۷، ۵۱۵۰ و ۸۵۰۱ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. کاهش آب مصرفی در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه و ماهانه آب نیز به ترتیب ۱۷٪ درصد و ۴۹٪ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب تعیین شد. پژوهش حاضر نشان داد که الگوی کشت مصوب در پروانه‌های بهره‌برداری از چاه‌ها، نیازمند بازنگری جدی است و با شرایط تحویل حجمی همخوانی ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی الگوی کشت، بهره‌وری آب، پروانه بهره‌برداری چاه، کنتور هوشمند

### مقدمه

تولید محصولات کشاورزی است. با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و مدیریت مزرعه با توجه به مقدار نهاده‌های موجود مانند مقدار زمین، آب، کود مصرفی، بذر و ... می‌توان به هر کشاورز الگوی کشت بهینه پیشنهادی برای حداکثر نمودن سود و بهره‌وری، ارائه نمود (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴).

بهینه‌سازی در مفهوم کلی به معنای رسیدن به هدف مطلوب بر اساس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته‌شده برای آن است. هر مسئله بهینه‌سازی، شامل دو بخش مدل‌سازی و برنامه‌ریزی است. بخش مدل‌سازی شامل تابع هدف و محدودیت‌های سیستمی مربوط به منطقه مورد مطالعه است که

هدف اصلی هر کشاورز دستیابی به میزان سود بیشتر به ازای

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

<sup>۲</sup> دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین (\* نویسنده مسئول: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

<sup>۴</sup> دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

بر اساس روابط بین متغیرها به صورت معادلات و یا نامعادلات شکل می‌گیرد.

در بخش برنامه‌ریزی، جستجو به منظور تعیین مقدار بهینه تابع هدف انجام می‌گیرد. روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی وجود دارد، برخی از این روش‌ها بر مدل‌سازی ریاضی و تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی، غیرخطی و پویا متکی است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴). نظری و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها و نرم‌افزار ونسیم (Vensim) به مطالعه و ارزیابی سناریوهای مختلفی که بر بهره‌وری آب اثر خواهد گذاشت، از جمله اثر توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، الگوی کشت و کم آبیاری در سطح شبکه قزوین پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد توسعه آبیاری تحت فشار در سطح شبکه قزوین، موجب افزایش بهره‌وری فیزیکی آب می‌شود و بسته به نوع الگوی کشت و سطح کم آبیاری می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش بهره‌وری اقتصادی شود.

کاظمی کرانی و همکاران (۱۳۹۸) با تکیه بر توسعه پایدار، معیارهای مختلف الگوی کشت مورد ارزیابی قرار دادند و یازده معیار به عنوان معیارهای اصلی برای دو محصول پسته و گل محمدی در حوضه "کویر درانجیر" اولویت‌بندی و بررسی کردند. این اولویت‌بندی در قالب یک مسئله بهینه‌سازی با تابع هدفی مبتنی بر توسعه پایدار و از طریق روش‌های الگوریتم ژنتیک تصادفی و آشوبناک (تنت، هنون و لجستیک) مورد مطالعه قرار داده شد. نتایج عددی حل این مسئله نشان از قابلیت بهتر الگوریتم ژنتیک آشوبی تنت نسبت به دیگر روش‌های مزبور بود. شیر شاهی و همکاران (۱۴۰۰) یک مدل بهینه‌سازی به منظور حداکثر نمودن سود و حداقل برهم خوردن پایداری منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین ارائه دادند. نتایج این پژوهش، حاکی از افزایش سود خالص به میزان ۶۴ درصد نسبت به الگوی کشت موجود از طریق کاهش سطوح زیر کشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیر کشت محصولات با درآمد بالا است. افزایش درآمد حاصله از تغییر در الگوی کشت ثابت می‌کند اصلاح الگوی کشت موجود نیاز به بازنگری و تغییر دارد. همچنین با توجه به

تعریف تابع هدف دوم، میزان آب مصرفی در شرایط بهینه ۲۰ درصد کاهش یافت.

افراخته و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی در دشت سهل‌آباد پرداختند. در این مطالعه تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه الگوی کشت به کمک تحلیل خوشه‌ای و محاسبه توابع مدل برنامه‌ریزی آرمانی و یا چند هدفه صورت گرفته است.

فلاحی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفی، تحلیل خوشه‌ای و برنامه‌ریزی مصالحه‌ای به تعیین الگوی کشت بهینه با تأمین دو هدف حداکثر سازی بازده ناخالص و حداقل سازی مصرف آب در دشت سیدان - فاروق شهرستان مرودشت پرداختند. پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴a) به منظور ارائه راهکاری عملی جهت حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین، ابتدا توابع تولید محصولات کشاورزی بر اساس سه تکنیک آبیاری کامل، کم آبیاری ۵ درصد و کم آبیاری ۱۰ درصد تخمین زده شد. در ادامه با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مقادیر بهینه الگوی کشت در استان قزوین تعیین شد. سپس اثرات تکنیک کم آبیاری هم‌زمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس تحت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ درصد بر الگوی کشت، حجم آب مصرفی و سود ناخالص کشاورزان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نیز نشان داد که به کارگیری کم آبیاری ۵ درصد توأم با سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس اگرچه منجر به کاهش اندکی در سود ناخالص کشاورزان می‌شود، اما به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین کمک شایانی می‌کند. پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴b) به بررسی تغییرات اقتصادی الگوی کشت ناشی از تغییرات سطح زیر کشت چغندر قند در قزوین پرداختند. به همین منظور، در این مطالعه اثرات افزایش سطح زیر کشت چغندر قند بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان و میزان مصرف نهاده‌ها تحت شرایط کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش سطح زیر کشت گندم آبی، جو آبی و کلزا و افزایش سود ناخالص زارعین از مهم‌ترین پیامدهای افزایش سطح زیر کشت چغندر قند است. در

کمک می‌کند. مقایسه بین مدل ILFIWA و ILP معمولی نشان می‌دهد که مدل توسعه‌یافته منجر به بهبود بهره‌وری آب آبیاری و صرفه‌جویی آب آبیاری می‌شود و به تصمیم‌گیرندگان در تدوین سیاست‌های مدیریت منابع آب آبیاری تحت عدم قطعیت کمک می‌کند (Li et al., 2016).

بروز تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب ایران نظیر کاهش جریان‌ات آب سطحی و منابع آب زیرزمینی و برنامه‌های مدیریتی نظیر حقاچه ها و کنترهای هوشمند کشاورزی منجر به آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز و ناپایداری معیشت آنان گردیده است و تشدید بحران‌های آبی نیز موجب افزایش هرچه بیشتر آسیب‌پذیری خواهد گردید. هرچند وقوع مکرر خشک‌سالی موجب شده که این بحران، برای کشاورزان به‌عنوان یک پدیده جدید مطرح نباشد، اما پیچیدگی عوامل زمینه‌ساز و در هم تنیدگی پیامدهای ناشی از خشک‌سالی، این پدیده را به یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزان تبدیل نموده است. خانوارهایی که برای تأمین معاش خود به منابع درآمدی کشاورزی وابسته‌اند، در طول خشک‌سالی، به میزان بیشتری آسیب می‌بینند. اگر رویکرد خانوارهای کشاورزی به مشاغل جنبی و غیر جنبی نتواند پاسخگوی نیازهای معیشتی آنان باشد، تنش اقتصادی وارد شده می‌تواند وضعیت این خانوارها را در سال‌های آتی، بحرانی‌تر نماید. از سوی دیگر، فرصت شغلی موجود در روستا و افزایش بیکاری در میان جوانان خانوارهای کشاورزی، موجب رویگردانی جوانان این خانوارها از کشاورزی شده است که این روند، آینده کشاورزی این مناطق را با چالشی جدی مواجه می‌سازد. عدم بازدهی مناسب فعالیت کشاورزی خانوارها، به همراه خروج نیروهای جوان از چرخه تولید، موجب می‌گردد تخریب‌های زیست‌محیطی افزایش‌یافته و همچنین امکان توسعه کشاورزی در این گونه مناطق تضعیف گردد. بنابراین می‌بایست سازوکارهای حمایتی لازم به‌منظور بهبود ظرفیت سازگاری خانوارها در شرایط خشک‌سالی و همچنین حفظ و نگهداشت نیروهای جوان در محیط روستا در نظر گرفته شوند. بدیهی است نهادهای ترویجی می‌توانند نقش بسزایی در افزایش ظرفیت سازگاری کشاورزان با خشک‌سالی داشته باشند. در سال‌های اخیر با توجه به افت آب

پایان توسعه سطح زیر کشت چغندر قند با توجه به اینکه منجر به کاهش مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی در الگوی کشت می‌شود، به‌عنوان راهکاری برای کاهش آلودگی محیط‌زیست در مناطق جنوبی دشت قزوین پیشنهاد شد.

مادح خاکسار و آینه بند (۱۳۹۰) برای تعیین الگوی کشت بهینه شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان، از روش برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار لینگو استفاده نمودند. در این تحقیق تحلیل حساسیت مدل بر اساس قیمت آب انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش قیمت آب، فشرده‌گی کشت، درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی و کل درآمد کشاورز کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی چند هدفه غیرخطی فازی امکان تحقق آرمان‌های حداکثر کردن بازده برنامه‌ای در مصالحه با اهداف کاهش مصرف آب، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی، حداقل کردن ریسک تولید و افزایش منافع اجتماعی از طریق افزایش سطح اشتغال نیروی کار در الگوی کشت شهرستان مرودشت استان فارس بررسی کردند. در این روش باهدف حداکثر شدن جمع موزون مقادیر اهداف فازی، سطح زیر کشت محصولات به‌گونه‌ای بهینه‌سازی شد که قادر به تأمین اهداف یادشده در بازه حد تحمل تعریف‌شده برای آن‌ها باشد. زنگ و همکاران در مطالعه‌ی خود ضمن تأکید بر نقش مهم برنامه‌ریزی زراعی منطقه‌ای در مدیریت آب کشاورزی از برنامه‌ریزی خطی چند هدفی فازی به‌منظور تعیین الگوی بهینه کشت اقدام نمودند (Zeng et al., 2010). فرانسيسكو و علی با به‌کارگیری برنامه‌ریزی چند هدفی و برنامه‌ریزی مصالحه‌ای (توافقی) به بررسی تخصیص منابع در مزارع منطقه‌ای مانیلا در کشور فیلیپین پرداخته‌اند (Francisco and Ali, 2006). مطالعه‌ی سارکر و ری مسئله‌ی برنامه‌ریزی زراعی را به‌صورت یک الگوی بهینه‌سازی چند هدفی فرموله کرده و با استفاده از سه رهیافت بهینه‌سازی مختلف به حل آن مبادرت نموده است (Sarker and Ray, 2009).

لی و همکاران از مدل ILFIWA و ILP در شمال غربی چین استفاده کردند. نتایج مدل به تصمیم‌گیری تخصیص آب آبیاری برای دوره‌های زمانی مختلف و در سطوح جریان متفاوت

## مواد و روش‌ها

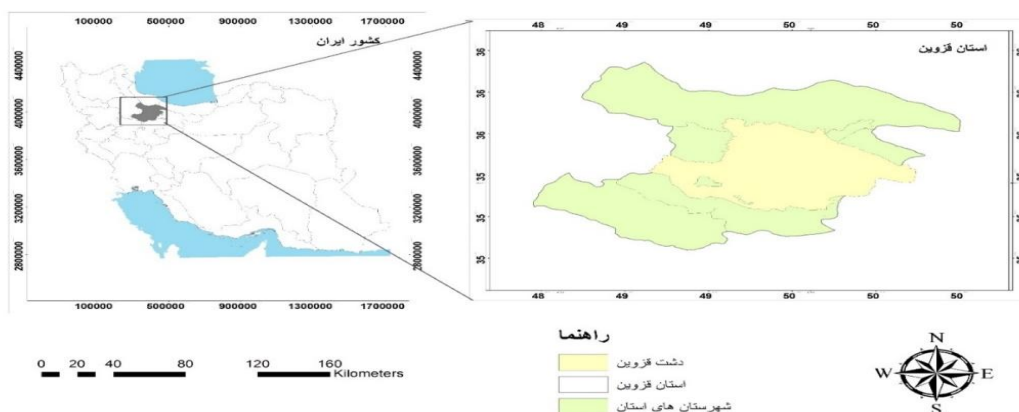
### منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از شمال با استان‌های مازندران و گیلان، از غرب با استان‌های همدان و زنجان، از جنوب با استان مرکزی و از شرق با استان تهران هم‌جوار است. به علت موقعیت منحصر به فرد، دشت قزوین یکی از مناطق مستعد کشور برای تولید محصولات زراعی و باغی است.

دشت قزوین با مساحت حدود ۴۵۰ هزار هکتار دارای ۳۲۰ هزار هکتار اراضی درجه یک و دو قابل آبیاری است که فقط حدود ۱۶۰ هزار هکتار از این اراضی توسط آب‌های زیرزمینی و آب انتقالی از طالقان تحت کشت قرار می‌گیرند. میانگین بارش باران نیز در این دشت ۲۳۴/۱ میلی‌متر بوده که حدود ۸ درصد کمتر از متوسط بارندگی در کشور است (نظری ۱۳۹۲). شکل (۱) موقعیت استان قزوین را نشان می‌دهد.

زیرزمینی و مجهز کردن چاه‌های کشاورزی به کنتورهای آب و در نتیجه با محدود شدن برداشت آب، کشاورزان با شرایط جدیدی مواجه شده‌اند که باید برای این شرایط آمادگی کامل را داشته باشند. افزایش بهره‌وری، مهم‌ترین راه‌حل برای این موانع است. جهت افزایش بهره‌وری "عوامل تولید" در بخش کشاورزی ابتدا می‌بایست عامل یا عوامل کمیاب را شناسایی کرده و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات در جهت ارتقای بهره‌وری آن عامل یا عوامل کمیاب صورت گیرد. در ایران به دلیل محدود بودن منابع آب شیرین برنامه‌ریزی‌ها و تحقیقات بایستی در جهت افزایش بهره‌وری آب باشد. با توجه به محدودیت آب منابع آب کشور، تخصیص آب بایستی به محصولاتی صورت گیرد که دارای سود اقتصادی بیشتر به ازای یک مترمکعب آب باشند. البته این مسئله به معنی چشم‌پوشی از سایر هدف‌های اساسی و بلندمدتی همچون تأمین امنیت غذایی و اشتغال نمی‌باشد. اما لازم است که در کنار این هدف‌ها، موضوع کارایی مالی و اقتصادی آب نیز برای افزایش بهره‌وری آب مورد توجه قرار گیرد.

هدف در این تحقیق، مطالعه راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در چاه‌های کشاورزی و ارائه الگوی کشت بهینه برای این چاه‌ها در شرایط تحویل حجمی و مطابق با حبابه‌های مصوب است.



شکل ۱- موقعیت استان قزوین در کشور

سطح فعلی زیر کشت و میزان آب قابل بهره‌برداری در هر مزرعه از پروانه بهره‌برداری چاه‌ها استخراج شد. مشخصات مزارع که شامل نام کشاورز یا شرکت، شهرستان، قریه، محصول کشت شده

### آمار و اطلاعات و الگوی کشت منطقه

آمار و اطلاعات مربوط به چاه‌های آب کشاورزی و پروانه بهره‌برداری چاه از سازمان آب منطقه‌ای قزوین جمع‌آوری گردید.

بهینه سازی الگوی کشت در چاه های کشاورزی با قیود تحویل حجمی... ۳۵

و مساحت است در جدول (۱) نشان داده شده است. حداکثر بهره‌برداری در هر ماه نیز در جدول (۲) نشان داده شده است. میزان بهره‌برداری، حداکثر مدت کارکرد و مقدار آب قابل برای سهولت هر مزرعه با یک کد لاتین نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مزارع انتخاب شده و سطح زیر کشت آن

نام کشاورز	قریه	مساحت هکتار							سایر	
		گندم	جو	کلزا	یونجه	گوچه	ذرت دانه- علوفه‌ای	ذرت		خریزه
A1	قزوین	۱۵/۲	۹/۸۸	۹/۸۸	۳/۰۴					۳۸
A2	قزوین	۲۲/۲	۱۴/۰۹			۹/۷۵			۸/۱۳	۵۴/۲
A3	قزوین	۲۹/۹	۲۰/۱۵		۳/۹					۵۳/۹۵
A4	قزوین	۳۰/۱	۳۰/۱			۴/۲	۴/۲			۶۸/۶
B1	بوئین‌زهره	۹/۳۶	۱۰/۱۲		۰/۱۲			۵/۵۷		۲۵/۱۸
B2	بوئین‌زهره	۵/۰۶	۳/۹۱		۱۰/۱۲			۳/۹۱		۲۳
C1	آبیک	۲۲/۱	۳۳/۹۷		۴۵/۰۱		۷/۹			۷۹
C2	آبیک	۲۵/۲	۱۶/۱	۱۰/۵	۱۸/۲					۷۰
D1	تاکستان	۱۵/۴	۱۵/۴		۹/۸	۱۹/۶				۷۰

جدول ۲- آمار و اطلاعات مربوط به پروانه بهره‌برداری از چاه‌های مجهز به کنتور هوشمند

کد مزرعه	حداکثر (بهره‌برداری تابه)	حداکثر (بهره‌برداری سال)	کلر کرد (ساعت در سال)	حداکثر مدت کارکرد	مقدار آب قابل بهره‌برداری در ماه ساعت کارکرد										
					فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	
A1	۳۰	۲۸۱۲	۴۰۹	۷۴۴	۳۵۸	۸۳	۸۳	۳۳۹	۲۳۹	۳۶۳	۳۶۷	۱۳۸	۰	۰	۲۸
A2	۴۰	۳۳۷۲	۲۵۰	۷۴۴	۶۱۶	۳۷۴	۳۷۴	۲۰۷	۲۵۲	۲۵۲	۴۰۳	۱۵۲	۰	۰	۰
A3	۵۰	۳۳۶۵	۴۰۱	۷۴۴	۵۵۰	۲۱۸	۲۱۸	۱۶۶	۲۴۶	۲۴۶	۴۴۳	۱۶۶	۹۱	۰	۲۲
A4	۵۴	۲۸۵۴	۳۲۱	۷۴۴	۴۳۳	۱۴۸	۱۴۸	۹۲	۳۴۱	۳۴۱	۴۵۹	۱۵۳	۱۵	۰	۰
B1	۲۰	۲۷۵۳/۵	۲۷۹	۷۳۴	۴۲۴	۱۹۴	۱۹۴	۷۹	۲۸۷	۲۸۷	۴۱۱	۱۴۴	۱/۴	۰	۰/۱
B2	۱۸	۴۲۴۸	۳۷۲	۷۱۳	۷۴۴	۶۲۰	۶۲۰	۳۷۲	۲۵۷	۲۵۷	۲۱۷	۷۸	۰	۰	۱۵۵
C1	۶۰	۳۵۰۰	۳۶۷	۷۴۴	۵۱۰	۳۲۳	۳۲۳	۲۳۴	۴۶۱	۴۶۱	۳۶۵	۱۰۳	۰	۰	۷۰
C2	۵۵	۳۴۵۴	۴۲۵	۷۴۴	۵۲۳	۲۷۱	۲۷۱	۲۷۱	۲۹۲	۲۸۰	۳۳۲	۱۲۶	۰	۰	۹۰
D1	۵۳	۳۹۵۳	۲۸۷	۷۴۴	۶۵۳	۵۷۴	۵۷۴	۳۶۵	۳۳۹	۳۳۹	۲۳۵	۷۸	۵۳	۰	۵۰

## اعمال کم آبیاری

مدل‌های متعددی برای بررسی مدیریت آبیاری تحت شرایط کم آبیاری وجود دارد. در این مطالعه از مدل AquaCrop استفاده شده است. AquaCrop مدلی آب محور است که برای اولین بار سازمان خواربار جهانی (FAO) در سال ۲۰۰۹ معرفی کرد. اگرچه مدل AquaCrop بر مبنای فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده نهاده شده است (Steduto et al, 2009) تعداد نسبتاً کمی از پارامترهای ساده و قابل دسترس به عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌شوند. مبنای محاسبات عملکرد در مدل AquaCrop از رابطه (۱) تبعیت می‌کند.

$$\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} = K_y \left( \frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (1)$$

سادگی برنامه‌ریزی خطی و یا ماهیت روابط بین متغیرها، اولویت اول در بهینه‌سازی معمولاً این روش است. در صورتی که این روش جوابگو نباشد به روش‌های دیگر مراجعه می‌شود و چون در این مطالعه این روش امکان حل مسئله را داشت، از این روش استفاده شد. شکل ریاضی مدل به صورت زیر است.

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi = & \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^{65} P_i Y_{ir} X_{ir} - \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^{65} \sum_{j=1}^4 C_{irj} X_{ir} \\ & - \sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^{65} [P_{wg} X_{ir} W_{ir}] \end{aligned} \quad (2)$$

در رابطه (۲)  $\Pi$  سود خالص مزرعه،  $i$  تعداد محصولات،  $r$  نوع آبیاری،  $P_i$  قیمت محصول  $i$ ،  $Y_{ir}$  عملکرد محصول  $i$  با تیمار آبیاری (منظور کم آبیاری و آبیاری کامل می‌باشد)  $r$   $X_{ir}$  سطح زمین تخصیص داده شده به محصول  $i$  با تیمار آبیاری  $r$   $C_{irj}$  هزینه کشت محصول  $i$  با تکنیک آبیاری  $r$  و نهاده  $j$ ،  $W_{ir}$  مقدار آب مصرفی برای محصول  $i$  با تکنیک آبیاری  $r$   $P_{wg}$  قیمت هر مترمکعب آب زیرزمینی است.

## محدودیت‌ها

محدودیت‌های مربوط به زمین شامل موارد زیر می‌باشد.

نامنفی بودن سطح زیر کشت هر محصول در هر سال

$$X_{ir} \geq 0 \quad (3)$$

با توجه به الگوی کشت پیشنهادی جهاد کشاورزی برای دشت قزوین (نظری، ۱۳۹۲) قیود زیر اعمال گردید. مجموع محصولات گندم و جو و کلزا حداکثر ۰/۷۵ مساحت کل مزرعه ( $A_{max}$ ) باشد.

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{r=1}^{65} X_{ir} \leq 0.75 * A_{max} \quad (4)$$

مجموع محصولات ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی حداکثر ۰/۲۵ مساحت کل مزرعه ( $A_{max}$ ) مزرعه باشد.

$$\sum_{i=4}^6 \sum_{r=1}^{65} X_{ir} \leq 0.25 * A_{max} \quad (5)$$

سطح زیر کشت یونجه حداکثر ۰/۱۰ مساحت کل مزرعه ( $A_{max}$ ) باشد.

$$\sum_{i=7}^7 \sum_{r=1}^1 X_{ir} \leq 0.1 * A_{max} \quad (6)$$

محدودیت‌های آب مصرفی شامل موارد زیر است.

## الف) حالت محدودیت سالانه

میزان حجم آب مصرف شده در طول سال زراعی (که از حاصل ضرب سطح کشت هر محصول در میزان آب مصرف شده محاسبه می‌شود) باید از میزان حجم حداکثر آب قابل بهره‌برداری اختصاص یافته در پروانه بهره‌برداری ( $T_{wg}$ ) کمتر باشد.

$$\sum_{i=7}^7 \sum_{r=1}^{65} X_{ir} W_{ir} \leq T_{wg} \quad (7)$$

### ب) حالت محدودیت ماهانه

بررسی شد. نتایج بهینه سازی شامل بهره‌وری، سود خالص و آب مصرفی برای چاه مزرعه A1 با جزییات آمده است و در ادامه نتایج کلی بهینه سازی در تمامی چاه‌ها ارائه شده است.

میزان آب مصرفی در هر ماه باید از میزان آب مصرفی ماهانه که مقادیر آن در پروانه بهره‌برداری مشخص است، نیز کمتر باشد.

### الگوی کشت بهینه

در جدول (۳) و (۴)، نتایج حاصل از بهینه سازی الگوی کشت در شرایط محدودیت ماهانه آب و در شرایط محدودیت سالانه آب با اعمال سناریوهای کم آبیاری محصول گندم و جو و ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و آبیاری کامل همه محصولات ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در صورتی که محدودیت ماهانه آب وجود داشته باشد با زمانی که محدودیت سالانه آب وجود داشته باشد، نتیجه الگوی کشت متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد در مزرعه A1 الگوی کشت محصولات با محدودیت ماهانه آب در محصول گندم ۷۹/۵ درصد کاهش، در محصول کلزا ۵۸/۸ درصد کاهش و در محصول جو ۱۳/۴ درصد افزایش سطح زیر کشت را نسبت به سطح زیر کشت مصوب پروانه را دارا بود. در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب، در محصول گندم ۵۹/۴ درصد کاهش سطح، در محصول یونجه ۵۰/۵ درصد کاهش سطح و در محصول کلزا ۸۷/۵ درصد افزایش سطح زیر کشت نسبت به سطح زیر کشت مصوب پروانه وجود داشت.

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{r=1}^{65} X_{ir} \cdot W_{irm} \leq T_{wgm} \quad (8)$$

$$\forall m = 1, \dots, 12$$

در این مطالعه دو محدودیت بهره‌برداری ماهانه و سالانه به صورت دو سناریوی جداگانه در نظر گرفته شد.

### سود خالص با ازای واحد حجم آب BPD یا Net Benefit Per Drop

این شاخص برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب از منظر اقتصادی مناسب است.

$$NBPD = \frac{\text{سود خالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (9)$$

### نتایج و بحث

در این مطالعه نتایج حاصل از دو سناریوی محدودیت بهره‌برداری ماهانه و محدودیت بهره‌برداری سالانه در هر مزرعه

جدول ۳- سطح زیر کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب

کل زیر کشت	محصول							کلی	
	گندم	جو	گوجه‌فرنگی	ذرت دانه‌ای	علوفه‌ای	کلزا	یونجه		
۲۰/۳	۱۷/۷	۴/۱	-	-	۲	-	۳/۱	۱۱/۲	A1
۴۱/۹	۱۲/۳	-	-	-	۶/۷	-	۲۶/۴	۸/۸	A2
۳۵/۲	۱۸/۸	۵/۳	-	-	۱/۳	-	۶/۱	۲۲/۴	A3
۳۴/۶	۳۴	-	-	-	۳/۱	-	۱۳/۷	۱۷/۸	A4
۱۳/۹	۱۱/۳	۰/۰۱	-	-	۱/۲	-	۹/۴	۳/۲	B1
۲۰/۴	۲/۶	۱۱/۲	-	-	۵/۴	-	۳/۷	-	B2
۶۲/۷	۱۶/۳	-	-	-	۱۱/۴	-	۳۱	-	C1
۵۷/۱	۱۲/۹	۲۴	-	-	۱۱/۶	-	۱۸/۶	۲/۹	C2
۵۱/۷	۸/۵	۱۲/۹	-	-	۱۲/۵	-	۲۶/۳	-	D1

جدول ۴- سطح زیر کشت بهینه با محدودیت سالانه آب

کل	محصول							مزرعه	
	گندم	کدو	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	سویا	پنبه	سorghum		
۳۵/۷	۲/۳	۱۸/۵	-	-	۹/۵	۱/۵	۶/۲	-	A1
۵۳/۳	۰/۹۳	۲۶/۴	-	-	۱۳/۶	۴/۵	۸/۸	-	A2
۵۳/۶	۱/۵	۲۶/۳	-	-	۱۳/۵	۳/۹	۹/۹	-	A3
۶۳/۶	۵	۳۳/۴	-	-	۱۷/۲	۱/۸	۱۱/۱	-	A4
۲۳/۴	۱/۷	۱۲/۳	-	-	۶/۳	۰/۸	۴/۱	-	B1
۲۳	-	۱۱/۲	-	-	۵/۸	۲/۳	۳/۷	-	B2
۷۹	-	۳۸/۵	-	-	۱۹/۸	۷/۹	۱۲/۸	-	C1
۷۰	-	۳۴/۱	-	-	۱۷/۵	۷	۱۱/۴	-	C2
۶۰/۲	-	۲۹/۳	-	-	۱۵/۱	۶	۹/۸	-	D1

### محاسبه شاخص‌های بهره‌وری و سود خالص

نتایج حاصل از میزان بهره‌وری و سود خالص محاسبه شده و نیز جزئیات نتایج در چاه مزرعه A1 در جدول (۵) ارائه شده است. در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب، با کاهش ۴۶ درصد سطح زیر کشت، سود خالص کشاورز به میزان ۳۹/۱ درصد کاهش است ولی بهره‌وری آب به میزان ۳۶/۷ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب افزایش یافته است. در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه، با کاهش ۶ درصد سطح زیر کشت، سود خالص کشاورز به میزان ۶۷/۵ درصد و بهره‌وری به میزان ۷۱/۴ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب افزایش یافته است. رفیعی و همکاران (۱۳۹۶) الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی در دشت آزادگان حوضه آبریز کرخه پرداختند. در این تحقیق سه سناریو، سناریوی پایه (وضع موجود الگوی کشت در دشت آزادگان)، سناریوی اول (تعیین الگوی کشت و آب آبیاری بهینه) و سناریوی دوم (برنامه‌ریزی

آبیاری بهینه در شرایط الگوی کشت وضع موجود) تعریف و مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به محدودیت‌های آب مصرفی و سطح اراضی قابل کشت اعمال شده در مدل، سود خالص سالانه به ترتیب در سناریوهای اول و دوم ۳۱۴٪ و ۲۳٪ نسبت به سناریوی پایه افزایش نشان داد. همچنین حجم آب مصرفی در سناریو اول ۲۸٪ و در سناریو دوم ۴۹٪ نسبت به شرایط کنونی کاهش نشان داد.

### محاسبه آب مصرفی

نتایج حاصله از میزان آب مصرفی در مزرعه A1 در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در الگوی کشت بهینه مزرعه A1 با محدودیت ماهانه آب، آب مصرفی به میزان ۵۵/۴ درصد و در الگوی کشت بهینه در آن مزرعه با محدودیت سالانه، آب مصرفی به میزان ۲/۲ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب کاهش یافته است.



جدول ۵- بهره‌وری آب و سود خالص به تفکیک محصولات در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه و سالانه آب در مزرعه A1

کل مزرعه	محصول					مزرعه A1	
	گوجه	یونجه	کلزا	جو	گندم		
۶۳۸۴/۶	۰	۱۵۵۴/۲	۱۴۲۱۰/۲	۵۴۲۳/۶	۶۱۲۰/۲	بهره‌وری (ریال بر مترمکعب)	شرایط فعلی
۱۹۸۳۴۱۶	۰	۱۰۶۱۵۱	۷۸۱۱۴۱	۳۹۴۹۱۷	۷۰۱۲۰۵	سود خالص (هزار ریال)	
۸۷۲۷/۳	۱۲۰۸۱/۱	۰	۱۴۲۱۰/۲	۶۱۶۲/۱	۷۵۶۱/۳	بهره‌وری (ریال بر مترمکعب)	با محدودیت ماهانه
۱۲۰۸۸۱۴	۲۹۷۹۶۹	۰	۳۲۲۰۴۵	۴۴۳۲۹۶	۱۴۵۵۰۳	سودخالص (هزار ریال)	
۱۰۹۴۲/۵	۱۱۷۸۹/۴	۱۵۵۴/۲	۱۴۲۱۰/۲	۰	۷۵۶۱/۲	بهره‌وری (ریال بر مترمکعب)	با محدودیت سالانه
۳۳۳۳۱۹۰	۱۵۱۸۱۰۷	۵۲۴۹۵	۱۴۶۴۶۴۱	۰	۲۸۷۹۴۶	سود خالص (هزار ریال)	

جدول ۶- میزان آب مصرفی برحسب مترمکعب به تفکیک محصولات در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه و سالانه آب در مزرعه A1

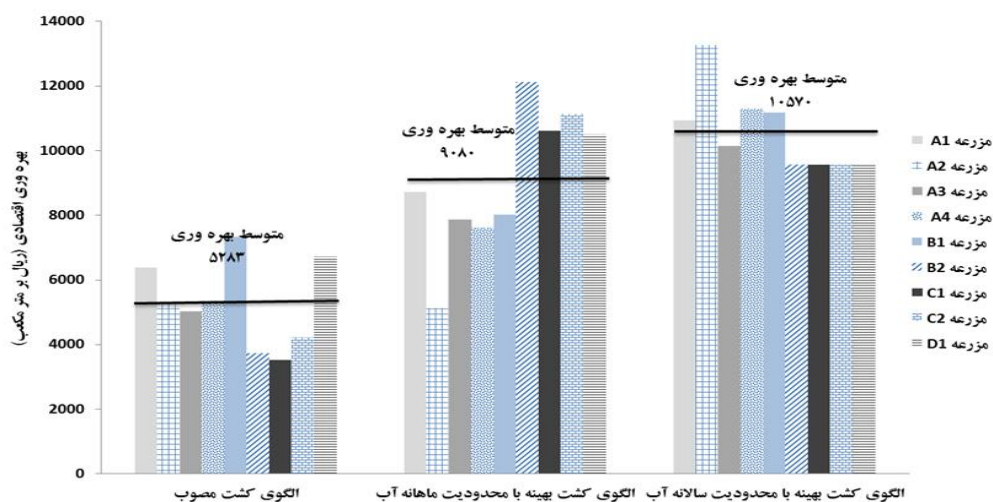
کل	محصول					مزرعه A1	
	گوجه	یونجه	کلزا	جو	گندم		
۳۱۰۶۵۶	۰	۶۸۲۹۷	۵۴۹۷۰	۷۲۸۱۵	۱۱۴۵۷۲		شرایط فعلی
۱۳۸۵۰۹	۲۴۶۶۴	۰	۲۲۶۶۳	۷۱۹۳۹	۱۹۲۴۳	با محدودیت ماهانه	شرایط بهینه
۳۰۳۶۹۶	۱۲۸۷۶۹	۳۳۷۷۵	۱۰۳۰۶۹	۰	۳۸۰۸۱	با محدودیت سالانه	

آب در الگوی کشت با شرایط محدودیت ماهانه آب، ۷۲ درصد و بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب، ۱۰۰ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب افزایش داشته است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، مقدار بهره‌وری آب در حالت الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه، در مزرعه B2، C1، C2 و D1 برابر است. در این مزارع محدودیت آبی وجود ندارد و آب مصرفی سالانه در هر هکتار ۹۳۵۴ مترمکعب است (درحالی‌که حبابه مجاز در این چاه‌ها بیش از این مقدار نیاز بوده

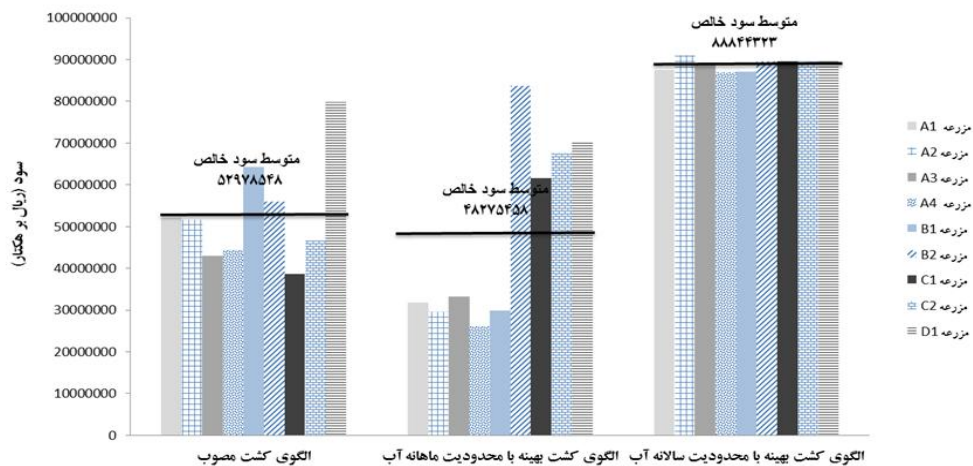
همچنین بهره‌وری و آب مصرفی و سود خالص سایر مزارع نیز محاسبه شد. در شکل ۲ بهره‌وری آب در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب در چاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در چاه‌های مورد مطالعه، متوسط بهره‌وری آب در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت با محدودیت سالانه آب به ترتیب برابر با ۵۲۸۲/۹، ۹۰۷۹/۸ و ۱۰۵۶۹/۷ ریال بر مترمکعب است. بهره‌وری

سود خالص در مزارع A1، A2، A3، A4 و B1 در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب نسبت به الگوی کشت مصوب کاهش داشته است؛ علت آن محدود بودن آب قابل بهره‌برداری در ماههایی است که گیاه نیاز به آب دارد. در شکل ۴ آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب در چاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. متوسط آب مصرفی در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب به ترتیب برابر با ۱۰۲۸۷، ۵۱۵۰ و ۸۵۰۱ است. در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب نسبت به الگوی کشت مصوب ۴۹/۹ درصد و در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب نسبت به الگوی کشت مصوب، ۱۷/۴ درصد کاهش مصرف آب دارد. همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، مقدار آب مصرفی در حالت الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه، در ۴ مزرعه B2، C1، C2 و D1 برابر است. در این مزارع محدودیت آبی وجود ندارد و آب مصرفی سالانه در هر هکتار ۹۳۵۴ مترمکعب است (درحالی‌که حبابه مجاز در این چاه‌ها بیش از این مقدار نیاز بوده است).

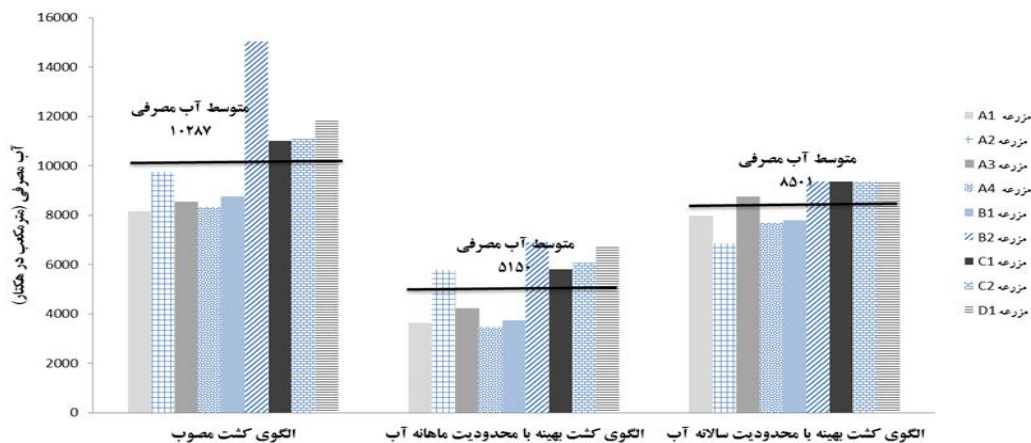
است). به عبارتی این مزارع با محدودیت اراضی مواجه هستند. بنابراین در این مزارع الگوی بهینه بدون اثر محدودیت آبی و یکسان به دست آمده است. در نتیجه بهره‌وری آب نیز در این مزارع یکسان است. هرچند متوسط بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه، از متوسط بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه بزرگ‌تر است، اما در بعضی از مزارع، بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه بیشتر از بهره‌وری آب در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب بوده است. درشکه ۳ سود خالص در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب در چاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. متوسط سود خالص در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب به ترتیب برابر با ۵۲۹۷۸، ۴۸۲۷۵ و ۸۸۸۴۴ هزار ریال در هکتار است. در الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب، نسبت به الگوی کشت مصوب ۸/۹ درصد کاهش و در الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب، نسبت به الگوی کشت مصوب ۶۷/۷ درصد افزایش سود خالص وجود داشته است. به دلایلی که در قسمت نتایج بهره‌وری آب اعلام شد، میزان سود خالص در هر هکتار در ۴ مزرعه B2، C1، C2 و D1 برابر است.



شکل ۲- بهره‌وری آب در چاه‌های مورد مطالعه در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت‌های ماهانه و سالانه آب



شکل ۳- سود خالص در مزارع در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و سالانه آب



شکل ۴- آب مصرفی در چاهها در الگوی کشت مصوب، الگوی کشت بهینه با محدودیت ماهانه آب و سالانه آب

کشاورزی به‌عنوان یک کارخانه تولید محصولات کشاورزی دارد. از طرف دیگر نتیجه‌ای که در همه مزارع مشابه بود، کسب میزان سود خالص کشاورزی بالا در سناریوی الگوی کشت بهینه با محدودیت سالانه آب، نسبت به بقیه سناریوها بوده است. به‌بیان‌دیگر با تعریف محدودیت برداشت ماهیانه آب زیرزمینی، سود کشاورزان نسبت به محدودیت سالانه کاهش بیشتری می‌تواند داشته باشد؛ لذا اگر شرایط آبخوان ملاحظات کیفی و یا فصلی ویژه‌ای نداشته باشد، می‌توان محدودیت سالانه را توصیه نمود. در این تحقیق، ۷ محصول شامل جو، گندم، کلزا، یونجه،

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با محدود شدن برداشت آب و نصب این کنتورها، کشاورزان با شرایط جدیدی از نظر دسترسی به منابع آب مواجه می‌شوند و لازم است که برای مواجهه با این شرایط آمادگی کامل را داشته باشند. یکی از روش‌های سازگاری با این شرایط جدید، بازنگری در الگوی کشت و بهینه‌سازی بهره‌وری آب است. نتایج حاکی از این بود که در مزارع با مساحت اراضی و حقبه متفاوت سناریوهای برتر با یکدیگر یکسان نبودند. این مهم نشان از لزوم بهینه‌سازی الگوی کشت و بهره‌وری آب به تفکیک هر چاه آب

شیر شاهی، ف. بابا زاده، ح. ابراهیمی پاک، ن. خالدیان، م. ۱۴۰۰. بهینه سازی تخصیص آب و الگوی کشت بهینه (مطالعه موردی: دشت قزوین)، علوم و مهندسی آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴ (۴): ۹۳-۱۰۸.

فلاحی، ا. خلیلیان، ص. و احمدیان، م. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی الگوی کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب، مطالعه موردی: دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت، تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۵ (۲): ۹۱-۱۱۵.

کاظمی کرانی، ا. ثمره هاشمی، م. گلستانی کرمانی، س. ثمره قاسم شعبجره، م. ۱۳۹۸. ارزیابی و انتخاب بهینه معیارهای الگوی کشت مبتنی بر توسعه پایدار، تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵ (۲): ۹۸-۱۰۸.

مادح خاکسار، آ. آینه بند، ا. ۱۳۹۰. طراحی زراعی- اقتصادی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با تأکید بر منابع آب، پژوهش-های زراعی ایران. ۹ (۱): ۳۸-۲۸.

محمدی، ح. بوستانی، ف. و کفیل زاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه غیرخطی فازی: مطالعه موردی، آب و فاضلاب. (۴): ۴۳-۵۵.

میرزایی، ش. ذاکری نیا، م. شریفیان، ح. شهبابی فر، م. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه- کمینه (MMAS) سیستم مورچگان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۱): ۶۶-۷۴.

نظری، ب. لیاقت، ع. پارسی نژاد، م. ۱۳۹۹. ارزیابی اثر توسعه سیستم‌های آبیاری، سناریوهای الگوی کشت و کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب در شبکه آبیاری قزوین به روش پویایی سیستم‌ها، علوم و مهندسی آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴ (۴): ۹۳-۱۰۸.

نظری، ب. ۱۳۹۲. مدل سازی پویای شبکه های آبیاری با رویکرد بهره وری آب، رساله دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در محصولات جو، گندم، گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای تیمارهای کم آبیاری نیز لحاظ شدند. محصولات ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای با وجود ۶۰ تیمار کم آبیاری برای هر کدام، در هیچ‌یک از الگوهای بهینه در اولویت قرار نگرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به میزان مصرف آب کشت محصولات ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای، در منطقه مورد مطالعه، کشت این محصولات برای شرایط تحویل حجمی ممکن است قابل توصیه نباشد. البته در هر دوره زمانی با توجه به پویایی مؤلفه‌های اقتصادی مانند هزینه‌های کشت و قیمت محصولات لازم است که مدل بهینه‌سازی، مجدداً اجرا و نتایج آن تحلیل شود. تحلیل یافته‌های این پژوهش در کنار سیاست‌های کلی کشوری و منطقه‌ای در الگوی کشت و محدودیت آب و زمین و مؤلفه‌های اقتصادی هر مزرعه می‌تواند، مورد توجه کارشناسان و کشاورزان قرار گیرد.

## منابع

افراخته، ح.، حبی پور، م. و رومیانی، ا. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی در راستای توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت سهل‌آباد). مجله پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی. ۴ (۱): ۴۱-۵۶.

پرهیزکاری، ا. مظفری، م.م. خدادادی، م.ح. پرهیزکاری، ر. ۱۳۹۴. a- بررسی تغییرات اقتصادی الگوی کشت ناشی از تغییرات سطح زیر کشت چغندر قند (مطالعه موردی: دشت قزوین)، چغندر قند. ۳۱ (۱): ۷۷-۹۲.

پرهیزکاری، ا. مظفری، م. م. شوکت فدایی، م. محمودی، ا. ۱۳۹۴. b- کم آبیاری توأم با کاهش آب در دسترس راهکاری برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین، حفاظت منابع آب و خاک. ۵ (۱): ۶۷-۸۰.

رفیعی، و. شوربان، م. عطاریان، ج. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی، تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳ (۳): ۷۳-۸۸.

- Francisco, S. R. and Ali, M. 2006. Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming. *Agricultural Systems*. 87(2): 147-168.
- Li, M., Guo, P. and Singh, V. P. 2016. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. *Agricultural Systems*. 144: 46-57.
- Sarker, R. and Ray, T. 2009. An improved evolutionary algorithm for solving multi-objective crop planning models. *Computers and electronics in agriculture*. 68(2): 191-199
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*. 101(3): 426-437.
- Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L. and Guo, P. (2010). Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*. 98(1): 134-142.

## Optimization Cropping Patterns in Agriculture Wells with Monthly and yearly Water Volume restrictions (case study: Qazvin plain)

S. Ehsani kolikand<sup>1</sup>, B. Nazari<sup>\*2</sup>, H. Ramezani Etedali<sup>3</sup> and A. Sotoodehnia<sup>4</sup>

### Abstract

Volumetric water delivery is one of the main components of a groundwater balance plan. It is important to consider both the farmers' income and the optimal use of water in the volumetric water delivery condition. The objective of this study was to determine optimum cropping patterns in agriculture wells under volumetric water allocation constraints in the Qazvin plain. A study of 9 agriculture farms was conducted in this study, and linear programming was used in the optimization process. The optimal crop pattern was determined to be 25% tomato, 10% alfalfa, 16% wheat, and 49% rapeseed. The average water productivity in the formal cropping pattern (FCP), the optimum cropping pattern with monthly water allocation (OCPM), and the optimum cropping pattern with yearly water allocation (OCPY) was estimated at 5283, 9080, and 10570 Rials per cubic meter, respectively. The average productivity in the OCPM and OCPY has increased by 72% and 100%, respectively, compared to the FCP. Also, the average net benefits in the FCP, OCPM, and OCPY were estimated at 52978, 48275, and 88844 thousand Rials per hectare, respectively. The average net benefit in the OCPM has declined by 8.9%, and the average net benefit in the OCPY has increased by 67.7% compared to the FCP that mentioned in water licenses. The average water use in the FCP, OCPM, and OCPY was estimated at 10287, 5150, and 8501 cubic meters in ha, respectively. The average of water use in OCPM and OCPY has declined by 49.9% and 17.4% respectively. The results showed that the formal crop pattern that is mentioned in water licenses of agricultural wells requires a considerable revision and does not conform to volumetric water delivery (allocation) conditions.

**Keywords:** Cropping pattern optimization, Smart water meter, Water productivity, Water licenses of agricultural wells

---

<sup>1</sup> MSC graduate, Department of water Engineering, , Faculty of Engineering and Technology Imam Khomeini International University Qazvin

<sup>2</sup> Associate Professor of Water Engineering Department Imam Khomeini international university, Qazvin, Iran (\*Corresponding Author, Email: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir)

<sup>3</sup> Associate Professor of Water Engineering Department Imam Khomeini international university, Qazvin, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor of Water Engineering Department Imam Khomeini international university, Qazvin, Iran

Received: 19 April 2022

Accepted: 11 Sep 2022