

بهینه‌سازی سطح زیر کشت در منطقه خانمیرزا با توجه به محدودیت‌های آبی منابع آب

رفعت زارع بیدکی^{۱*}، اکرم روشنی آلونی^۲، سارا مردانیان^۳



چکیده

مقاله پژوهشی

افزایش جمعیت، نیاز به تولید غذا و محدود بودن زمین‌های مناسب کشاورزی، بر اهمیت برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی استفاده از زمین می‌افزاید. با توجه به افزایش تقاضا برای منابع آب زیرزمینی به دلیل توسعه کشاورزی در منطقه خانمیرزا، بهینه‌سازی کاربری اراضی و بهینه‌سازی مصرف آب، به عنوان یک راهبرد کارآمد برای حفظ منابع و دستیابی به توسعه پایدار ضروری است. هدف از انجام این تحقیق بهینه‌سازی سطح زیر کشت به منظور استفاده کمتر از نهاده‌های آب و زمین به همراه افزایش سود حاصل از کشاورزی است. آمار سطح زیر کشت، میزان آب مصرفی، میزان تولید، عملکرد و هزینه‌های مربوطه از ۲۴ محصول عمده کشت شده در منطقه به دست آمد. معادلات بهینه‌سازی با دو هدف کاهش آب مصرفی و افزایش درآمد، با در نظر گرفتن سه سناریو فرمول‌بندی و سپس معادلات بهینه‌سازی حل شد. براساس نتایج، بهینه‌سازی با هدف کاهش آب مصرفی، در سه سناریوی تعریف شده، به ترتیب ۳۹٪، ۵۹٪ و ۵۴٪ کاهش در مصرف آب را پیش‌بینی کرد. بهینه‌سازی با هدف افزایش درآمد و کاهش مصرف آب، به ترتیب ۴۳٪، ۴۵٪ و ۳۹٪ آب مصرفی فعلی را برای سه سناریو یادشده پیش‌بینی کرد. انتظار می‌رود ترکیب بهینه با هدف افزایش سود و کاهش مصرف آب به ترتیب ۳، ۳/۲ و ۳/۲ برابر نسبت به حالت فعلی سودآوری داشته باشد.

واژگان کلیدی:

برنامه‌ریزی خطی دوسطحی، توسعه پایدار، درآمد ناخالص، کاربری اراضی.

۱. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

zare.rafat@sku.ac.ir

* نویسنده مسئول

۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

akramrooshani68@gmail.com

۳. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

sara.mardanian@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۴۰۱-۱۰۵۱

شماره صفحه پایایی: ۳۶۶-۳۷۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

زمان پذیرش: ۸۲ روز

استناددهی:

زارع بیدکی، ر.، روشنی آلونی، ا.، و مردانیان، س. (۱۴۰۲). بهینه‌سازی سطح زیر کشت در منطقه خانمیرزا با توجه به محدودیت‌های آبی منابع آب. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۳(۱)، ۱۵-۲۴.

۱- مقدمه

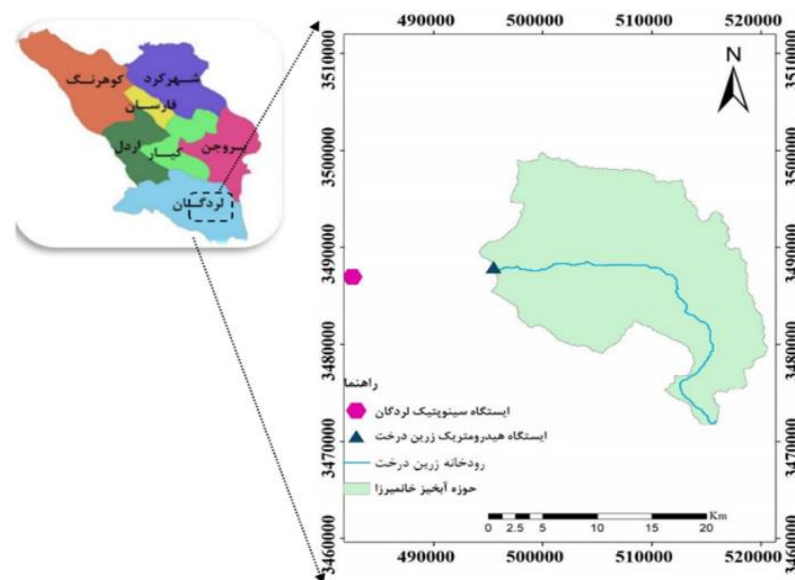
روند افزایش جمعیت و محدود بودن اراضی مناسب برای کشاورزی، توسعه جوامع و تغییرات کاربری زمین، اهمیت برنامه‌ریزی جهت استفاده از زمین و بهینه‌سازی آن را افزایش می‌دهد. ترکیب فعلی کاربری زمین از نظر توسعه پایدار در بسیاری از حوضه‌های آبخیز، به ویژه در کشورها و مناطقی که رشد سریع جمعیت را تجربه می‌کنند کارآمد نیست (Yao et al., 2018). افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذا، در کشوری که بخش وسیعی از آن را مناطق نامناسب کشت و زرع تشکیل داده است این ضرورت را ایجاد می‌کند که از اراضی قابل کشت به صورت بهینه استفاده شود. همچنین در بخش کشاورزی که اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور می‌باشد تخصیص بهینه منابع آب به شدت احساس می‌شود (اسمعیل پور اسطرخی و همکاران، ۱۳۹۶). بهینه‌سازی کاربری اراضی از روش‌های مطلوب حفظ خاک و آب در مقیاس حوزه آبخیز است که توانایی مدیران و برنامه‌ریزان را برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های مختلف کاربری زمین، با هدف کاهش تخریب منابع آب و خاک و افزایش درآمد ساکنین آبخیز بهبود می‌بخشد (ضیایی جزی، ۱۳۹۶). تحقیقات بسیاری در زمینه بهینه‌سازی و تخصیص اراضی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی توسط محققین مختلف صورت گرفته است. بهینه‌سازی کاربری اراضی به منظور کاهش فرسایش و افزایش سود توسط جلیلی و همکاران (۱۳۸۵)، بهینه‌سازی کاربری اراضی به منظور بیشینه کردن سود توسط Nikkami (۱۹۹۹)، بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه توسط یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۷) انجام شده است. آقا رضی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و نرم افزار لینگو، بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز آدینه مسجد استان مرکزی را بررسی نمودند. قدوسی و مرسلی (۱۳۹۵) برنامه‌ریزی خطی را در بهینه‌سازی سطح زیر کشت در حوزه آبخیز اهرچای در شرایط موجود و توسعه مقایسه کردند. آنها با هدف بیشینه‌سازی سود به این نتیجه رسیدند که در صورت افزایش سطح زیر کشت و استفاده از روش‌های مدرن آبیاری، سود حاصل از کشاورزی نسبت به حالت موجود ۳۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. مرادی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور تخصیص بهینه اراضی به الگوی کشت محصولات در دشت اسلام آباد غرب، محدودیت‌های موجود را لحاظ کرده و برای بیشینه‌سازی سود، توابع هدف و محدودیت را با برنامه‌ریزی خطی فرمول‌نویسی و با استفاده از روش سیمپلکس و نرم افزار لینگو حل کردند. بدین منظور سه سناریوی مدیریتی و شش برنامه عملیاتی همراه با محدودیت‌های موجود تعریف شده و طبق نتایج در همه سناریوهای مدیریتی محصولات چغندر، ذرت، نخود، گوجه فرنگی و جالیز حذف شده و میزان سود در تمام سناریوهای مدیریتی مثبت ارزیابی گردید. پورمحمد و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی دو سناریو و استفاده از برنامه‌ریزی خطی، با صرفه‌ترین محصولات را برای کشت در دشت نیشابور معرفی کردند. داورپناه و همکاران (۱۳۹۷) از برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه برای تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی در شهرستان اردبیل استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد، گرچه با انجام بهینه‌سازی، سود کلی کشاورزی کم خواهد شد، اما به اهداف زیست‌محیطی و تحقق کشاورزی پایدار نزدیک‌تر است. بهادری و همکاران (۱۳۹۸) به بهینه‌سازی ترکیب کاربری اراضی زراعی شهرستان ری در استان تهران پرداختند. سروریان و سلیمانی (۱۴۰۰) الگوی کشت را با توجه به منابع آب محدود و رعایت تنوع زیستی در دشت مهران بهینه‌سازی کردند و محصولات پربازده با مصرف آب کمتر را معرفی کردند. با توجه به کمبود آب در پایاب سد ارسباران، بهینه‌سازی سطح زیر کشت در پایاب سد توسط احمدزاده کلپور (۱۴۰۱) مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسید که سطح زیر کشت بهینه متغیر نسبت به حالت ثابت ارجحیت دارد. مروج‌الاحکامی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات عمده زراعی و باغی را در استان یزد با بررسی شش سناریو انجام دادند. در پژوهشی، Randhir et al. (۲۰۰۱) یک مدل بهینه‌سازی اراضی به منظور بهینه‌کردن استفاده از آب در دسترس، با کمک اطلاعات جغرافیایی کاربری‌های اراضی و همچنین تاثیر آنها و دوره بازگشت رواناب در رودخانه حوزه‌ای در ماساچوست آمریکا ارائه دادند. نتایج حاصل نشان داد که تمرکز بر روی کاربری‌هایی که در حوزه‌های آبخیز دارای اولویت بیش‌تری هستند، درآمد را افزایش و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در تحقیقی، Benli and Kodal (۲۰۰۳) در جنوب شرق آناتولی ترکیه با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی به بررسی بهینه‌سازی مقدار برداشت آب و همچنین افزایش درآمد در شرایط محدودیت منابع آب پرداختند، تابع هدف بر پایه افزایش بهره‌وری آب بوده است. پس از اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی به منظور بررسی نیاز آبی محصولات زراعی و افزایش سود در شرایط کمبود آب، نتایج حاصل را با نتایج به دست آمده از یک مدل غیر خطی مقایسه نموده‌اند. در مقاله Gil et al. (۲۰۲۰) از یک مدل خطی برای حل مساله بهینه‌سازی تخصیص زمین برای حل چالش‌های بخش کشاورزی استفاده شد. در تحقیق منتشرشده توسط Wang et al. (۲۰۲۳) بهینه‌سازی تخصیص زمین و آب صورت گرفته است. آنها یک مدل بهینه‌سازی تخصیص چند هدفه را ساختند و در حوزه آبخیز مورد مطالعه به کار بردند. نتایج نشان داد ترکیب بهینه به دست آمده، تابع هدف و الگوی سیمای سرزمین را بهبود می‌بخشد. بهینه‌سازی تخصیص همزمان آب و زمین توسط Gebre et al. (۲۰۲۳) با استفاده از مدل بهینه‌سازی به نام Gebre انجام شد و نتایج تحقیق نشان داد این مدل به طور موثری تضادهای محدودیت موجود را حل می‌کند و با حداکثر کردن منافع اقتصادی و کاهش هزینه و اثرات محیط زیستی، استفاده پایدار از منابع طبیعی را بهبود می‌بخشد. تحقیقات انجام شده کارآیی مدل برنامه‌ریزی خطی در حل مسائل مربوط به مدیریت منابع خاک و آب، تخصیص بهینه منابع آب در کشاورزی و تخصیص بهینه اراضی برای رسیدن به حداکثر سود حاصل از تولیدات کشاورزی و کاهش مصرف آب به منظور دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی را تایید کرده و استفاده از آن را پیشنهاد نمودند.

طی سال‌های اخیر، تقاضا برای استفاده از منابع آب زیرزمینی به دلیل توسعه کشاورزی در منطقه خانمیرزا در استان چهارمحال و بختیاری، افزایش یافته و بحران‌ها و چالش‌های مختلفی را به وجود آورده است. از طرفی برای برطرف شدن نیازهای غذایی و پیشرفت اقتصادی ساکنان، راهکاری به جز افزایش کشت و کار در بخش کشاورزی، علی‌رغم کاهش کیفیت دیده نشده است. بیشتر معضلات محیط زیستی در این منطقه در بخش کشاورزی و مصرف آب اختصاص یافته به آن می‌باشد، که نیاز به ارائه راهکار پایدار دارد (شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج تحقیق مردانیان و همکاران (۱۳۹۶) تامین آب کشاورزی این دشت در افق ۱۴۰۳ امکان‌پذیر نخواهد بود. بدین صورت دستیابی به یک مدل بهینه لازم و ضروری است. چرا که برای برنامه‌ریزی در بخش منابع آب منطقه به ویژه آب‌های زیرزمینی، وضعیت آینده منطقه باید در نظر گرفته شود. در این تحقیق بهینه‌سازی تخصیص اراضی به منظور افزایش سود حاصل و کاهش مصرف آب در واحد سطح کشت هر محصول، محصولات کشاورزی مختلف در منطقه خانمیرزا با بررسی عواملی مانند سطح زیر کشت، میزان آب مصرفی محصولات زراعی و باغی، میزان محصولات تولیدی و نیز به کارگیری سناریوهای طراحی شده از طریق برنامه‌ریزی خطی و نرم افزار لینگو انجام شد. با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در معیشت مردم این منطقه، نتایج این تحقیق به استفاده پایدارتر از اراضی کشاورزی منطقه خانمیرزا کمک خواهد کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه خانمیرزا در شهرستان لردگان، استان چهارمحال و بختیاری، از نظر موقعیت جغرافیایی، در فاصله بین طول‌های ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه، و ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه، ۱۸۸۰ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی ۵۰۰ میلی‌متر، حداکثر دمای منطقه ۳۰ درجه سلسیوس بالای صفر و حداقل دمای منطقه ۵ درجه سلسیوس زیر صفر است. از این رو دارای آب و هوای معتدل کوهستانی می‌باشد. مساحت این منطقه ۲۴۰۰۰ هکتار بوده و دارای ۹۵۰ هکتار باغ، ۹۰۰۰ هکتار اراضی دیم و ۱۲۵۸۷ هکتار اراضی آبی می‌باشد. در منطقه خانمیرزا، طبق آمار موجود تعداد ۷۹۰ حلقه چاه عمیق و حدود ۸۶ حلقه چاه غیرمجاز که پروانه حفر و بهره‌برداری ندارند، وجود دارد. بیش‌تر چاه‌های منطقه در محدوده‌های جنوبی و مرکزی حفر شده‌اند و عمدتاً کاربری کشاورزی دارند (شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، ۱۳۸۸). شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز خانمیرزا در استان چهارمحال و بختیاری

۲-۲- داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش شامل سطح زیرکشت محصولات زراعی و باغی کشت شده در منطقه بر حسب هکتار، میزان تولید محصولات بر حسب تن، متوسط عملکرد بر حسب کیلوگرم محصولات و قیمت واحد بر حسب ریال کیلوگرم در سال مبنای است که بر اساس اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده در سایت جهاد کشاورزی استان استخراج شده است. هزینه‌های مربوط به کشت محصولات باغی و زراعی توسط کارشناسان جهاد کشاورزی بخش آلونی تهیه شده است. هزینه‌های انتقال آب زیرزمینی و مقدار مصرف آن و تعرفه استفاده از آب سطحی از شرکت آب منطقه‌ای استان گرفته شده است. داده‌های نیاز آبی ناخالص سالانه بر حسب متر مکعب در هکتار که بر اساس اطلاعات مندرج در طرح جامع ظرفیت‌یابی آب استان

جمع‌آوری گردیده است. سال مبنا در این تحقیق ۱۳۹۹ در نظر گرفته شده است. با توجه به اطلاعات استخراج شده از منابع موجود، کل آب مصرفی و میزان تولید در واحد سطح به دست آمد. اطلاعات استفاده شده مربوط به هزینه‌ها و سود فروش محصولات در مقاله درج نشده است. خلاصه اطلاعات مورد استفاده در جدول‌های (۱) و (۲) به تفکیک محصولات زراعی و باغی نشان داده شده است.

جدول (۱): مقادیر آب مصرفی، سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات زراعی منطقه خانمیرزا در سال مبنا

میزان تولید (تن)	کل آب مصرفی (میلیون متر مکعب در سال)	نیاز آبی ناخالص سالانه (مترمکعب در هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	نوع محصول
۱۳۰۵۰	۱۶/۹۴	۴۷۰۸	۳۶۰۰	گندم
۳۱۹۰	۴/۵۷	۳۵۲۳	۱۳۰۰	جو
۵۴۹	۲/۷۰	۱۳۵۲۳	۲۰۰	شلتوک
۴۷	۰/۱۶۵	۶۶۱۵	۲۵	نخود
۱۳۵۰	۶/۵۸	۱۰۱۳۸	۶۵۰	لوبیا
۱۴۴	۰/۵۲	۵۲۳۱	۱۰۰	عدس
۳۰	۰/۱۹	۷۹۲۳	۲۵	ماش
۶۷۵۰	۲/۱۴	۱۳۴۰۰	۱۶۰	چغندر قند
۲۳۸	۲/۸۷	۱۲۵۲۰	۲۳۰	کلزا
۴۵۰	۱/۳۲	۱۳۲۳۱	۱۰۰	سیب‌زمینی
۳۳۰	۱/۸۶	۱۵۵۶۰	۱۲	گوجه فرنگی
۳۴۵۰۰	۴۰/۰۶	۱۴۲۰۸	۲۸۰۰	یونجه
۱۰۸۰	۲/۵۲	۱۲۶۴۶	۲۰۰	شیدر
۲۲۵۰	۰/۲۷	۵۴۸۰	۵۰	ذرت علوفه‌ای
۱۲۶۰	۰/۲۸	۸۵۵۰	۳۳	محصولات جالیزی

جدول (۲): مقادیر آب مصرفی، سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات باغی منطقه خانمیرزا در سال مبنا

میزان تولید (تن)	مقدار آب مصرفی (میلیون متر مکعب)	نیاز آبی ناخالص سالانه (مترمکعب در هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	نوع محصول
۱۲۰۰۰	۳/۵۲۸	۱۱۷۶۰	۳۰۰	سیب
۱۹۰	۰/۲۲۷	۱۱۹۸۷	۱۹	زردآلو
۲۷۰۰	۰/۶۵۱	۲۳۴۰	۹۰	هلو
۳۳۰۰	۱/۵۰	۹۳۸۷	۱۶۰	انگور
۲۴۰	۰/۹۳	۱۱۶۸۰	۸۰	بادام
۸۷۰	۳/۹۲	۱۳۵۳۳	۲۹۰	گردو
۲۰۰	۰/۱۲۱	۱۲۱۴۷	۱۰	انار
۲۰	۰/۰۲۶	۱۳۱۴۰	۲	انجیر
۰/۰۱۶	۰/۰۰۴۸	۱۲۰۰	۴	زعفران

۲-۳- روش تحقیق

حل معادلات بهینه‌سازی با اهداف مختلف در مدیریت منابع آب و خاک انجام می‌شود. روش تحقیق حاضر نیز استفاده از روش بهینه‌سازی خطی به منظور تعیین ترکیب بهینه اراضی زراعی و باغی در منطقه خانمیرزا در استان چهارمحال و بختیاری است که بتوان بر مبنای آن پیش‌بینی کرد مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش خواهد یافت. این هدف به تنهایی می‌تواند با حل معادلات برنامه‌ریزی خطی دنبال شود. با توجه به اهمیت کشاورزی در امرار معاش مردم منطقه، علی‌رغم محدودیت منابع آب نمی‌توان انتظار داشت که هدف کاهش آب مصرفی به تنهایی، مورد استقبال قرار گیرد. از این رو در این تحقیق دو هدف کاهش آب مصرفی کشاورزی و افزایش سودآوری در بهینه‌سازی سطح کشت منطقه خانمیرزا مورد نظر است. لذا برای حل مسئله با دو هدف کمینه و بیشینه، نیاز است تا معادلات در دو سطح حل شوند. در ادامه دو روش مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

برای محاسبه مقدار سوددهی هر محصول در معادله هدف، در ابتدا سود ناخالص (کیلوگرم بر هکتار ریال) مربوط به محصولات زراعی و باغی بر اساس تولید و عملکرد آنها (حاصل‌ضرب عملکرد در قیمت واحد فروش هر محصول) محاسبه شده است. همچنین با کسر هزینه‌های مربوط به کشت محصولات (آماده‌سازی، کاشت، داشت و برداشت) از میزان سود ناخالص، میزان سود خالص در واحد سطح حاصل شده است. هزینه آب مصرفی برای کشت هر محصول نیز باید برآورد شود. بر اساس اطلاعات و آمار شرکت آب منطقه‌ای سهم استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی در منطقه در بخش کشاورزی

به ترتیب ۲۵٪ و ۷۵٪ است. بر این اساس هزینه آب زیرزمینی و سطحی مصرف شده محاسبه و مجموع آنها برای هرکدام از محصولات زراعی و باغی تفکیک شده‌اند.

۲-۳-۱- برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی خطی دوسطحی

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای حل مسئله و طرح محدودیت‌های موجود در منطقه، مسئله بهینه‌سازی در منطقه خانمیرزا فرمول‌بندی شد. در روش اول از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی سطح زیرکشت، با هدف کمینه‌کردن آب مصرفی و بدون توجه به سود استفاده شد. در روش دوم دو هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی آب مصرفی به طور توأم در نظر گرفته شد.

کاهش آب مصرفی

تابع هدف در این بخش کمینه‌کردن آب مصرفی محصولات می‌باشد. معادله بهینه‌سازی با هدف کمینه‌سازی آب مصرفی در رابطه (۱) ارائه شده است:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

افزایش سود و کاهش آب مصرفی

با داشتن دو هدف کاهش آب مصرفی و افزایش سودآوری یک مسئله دوسطحی ایجاد می‌گردد. از آنجا که حل مسئله در دو سطح ساده نمی‌باشد از روش کاهش به مسئله یک سطحی برای حل آن استفاده شد. بنابراین تابع هدف در این بخش بیشینه کردن درآمد حاصل از کشت محصولات زراعی و باغی با کسر مقدار هزینه آب مصرفی برای هر یک از محصولات می‌باشد که بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{i=1}^n (c_i - d_i) x_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

محدودیت‌ها

هر مسئله بهینه‌سازی با قیدها یا محدودیت‌هایی همراه است. این مسئله دارای چهار قید می‌باشد:
 قید اول: محدودیت آب در دسترس است که در آن مقدار آب مصرفی محصولات باید کمتر از میزان فعلی آن باشد.
 قید دوم: سطح زیرکشت محصولات زراعی از میزان فعلی بیشتر نشود.
 قید سوم: سطح زیر کشت محصولات باغی (سیب، زردآلو، هلو، انگور، بادام، گردو، انجیر، انار) کمتر از میزان فعلی آن نباشد.
 قید چهارم: سطح هیچ کدام از متغیرها نمی‌تواند کمتر از صفر باشد (رابطه ۳).

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n w_i x_i &\leq W \\ \sum_{i=1}^n x_i &\leq X \\ \sum_{i=25}^{32} x_i &\geq G \\ x_i &\geq 0 \end{aligned} \quad \text{رابطه (۳)}$$

این دو مسئله با در نظر گرفتن سه سناریو حل شد.
 سناریو شماره ۱: حفظ حداقل ۲۵٪ سطح زیر کشت همه محصولات،
 سناریو شماره ۲: حفظ حداقل ۵۰٪ سطح زیر کشت همه محصولات،
 سناریو شماره ۳: حفظ حداقل ۲۵٪ سطح زیرکشت محصولات زراعی که نیاز آبی آنها بیشتر از ۱۰۰۰۰ متر مکعب است و حفظ حداقل ۷۵٪ سطح زیر کشت محصولات زراعی که مقدار نیاز آبی آنها کمتر از این میزان باشد.

متغیرهای مورد استفاده در معادلات به شرح زیر است:

x_i : سطح بهینه شده کشت محصولات زراعی و باغی در منطقه

w_i : میزان آب مصرفی محصولات مورد نظر در واحد سطح

c_i : سود حاصل از کشت محصولات در واحد سطح

d_i : هزینه آب مصرفی محصولات زراعی و باغی ذکر شده در واحد سطح

W : میزان کل آب مصرفی محصولات زراعی و باغی منطقه خانمیرزا در سال مبنا

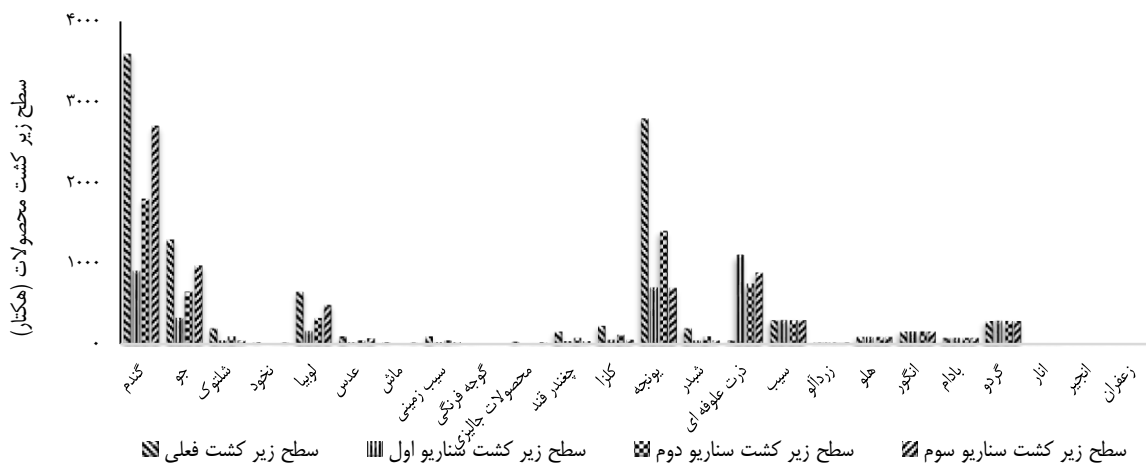
X : میزان کل سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در سال مبنا

G : سطح کل باغات در سال مبنا

مدل بهینه‌سازی در برنامه لینگو و با استفاده از روش سیمپلکس حل شد.

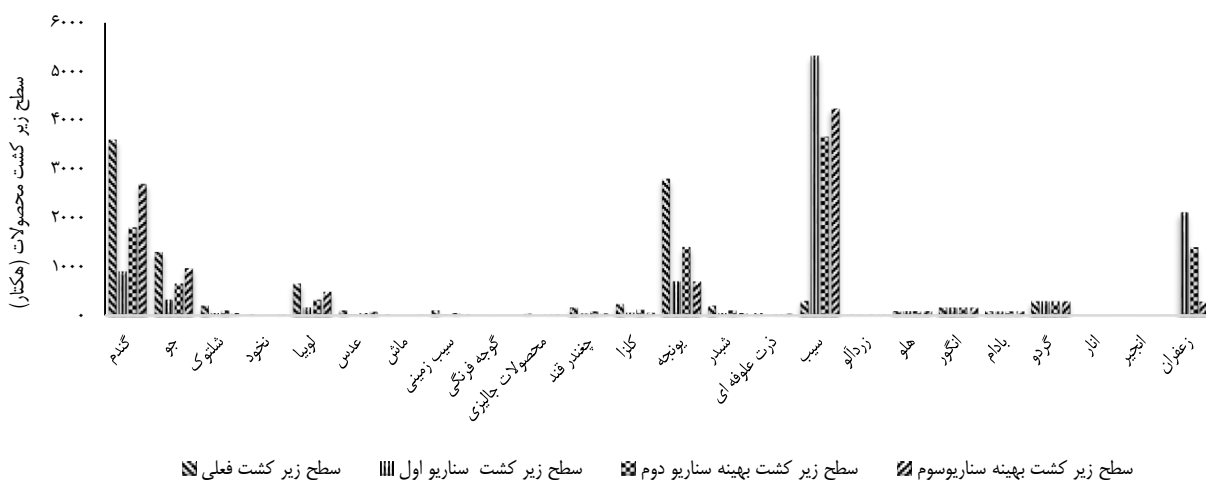
۳- یافته‌ها و بحث

پس از حل معادله بهینه‌سازی روش اول، مقدار بهینه سطح زیر کشت به منظور کاهش آب مصرفی به دست آمد. با توجه به نتایج که در شکل (۲) نمایش داده شده است، سطح زیر کشت محصولات زراعی به جز ذرت علوفه‌ای در هر سه سناریو کاهش پیدا کرده و با توجه به قید سوم سطح زیر کشت محصولات باغی در هر سه سناریو با سطح زیر کشت این محصولات در شرایط فعلی تفاوتی نداشته است. کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی مثل گندم، جو، لوبیا و عدس از یک الگوی مشابه پیروی کرده است به این ترتیب که کاهش در سناریو اول بیشتر از سناریو دوم و بیشتر از سناریو سوم پیش‌بینی شده است. اما در برخی محصولات دیگر زراعی مثل یونجه، شبند، کلزا، و چغندر قند سناریو اول و سوم کاهش بیشتری نسبت به سناریو دوم پیش‌بینی کرده‌اند.



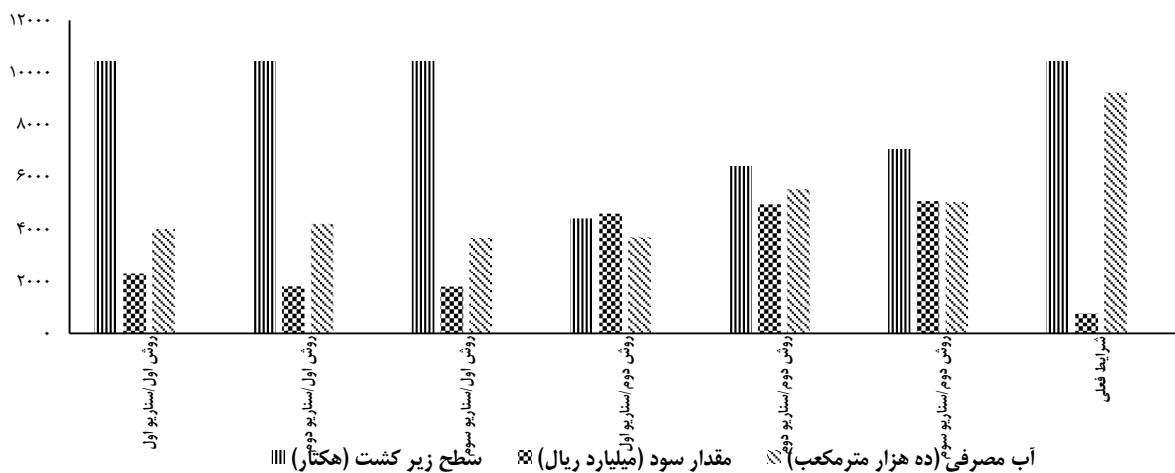
شکل (۲): مقایسه سطح زیر کشت در حالت فعلی و سناریوهای بهینه‌سازی با هدف کاهش آب مصرفی

نتایج به دست آمده از حل معادله بهینه‌سازی روش دوم که افزایش سود را دنبال می‌کند در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. مطابق شکل (۳) می‌توان مشاهده کرد که با انجام بهینه‌سازی سطح زیر کشت با هدف افزایش سودآوری و کاهش آب مصرفی، سطح زیر کشت محصولات زعفران و سیب افزایش چشم‌گیری داشته‌اند. این دو محصول مصرف آب بسیار کمتر و سود نسبتاً قابل توجهی دارند که باید در برنامه آبی تحول کشاورزی در نظر گرفته شوند. کاهش سطح زیر کشت یونجه و به خصوص ذرت علوفه‌ای در این روش نسبت به روش قبل قابل توجه است.



شکل (۳): مقایسه سطح زیر کشت در حالت فعلی و سناریوهای بهینه‌سازی با هدف افزایش درآمد و کاهش آب مصرفی

مقایسه مجموع سود حاصل از کشاورزی و باغداری و آب مصرفی اراضی کشاورزی و باغی در سناریوهای مورد بررسی در حالت بهینه و حالت فعلی در شکل شماره (۴) نشان داده شده است. در روش بهینه‌سازی سطح زیر کشت با هدف کاهش مصرف آب، به ترتیب با اجرای سناریوهای ۱ تا ۳، میزان آب مصرفی ۳۹٪، ۵۹٪ و ۵۴٪ آب مصرفی فعلی است، که از بین این سه سناریو، سناریوی اول (حفظ ۲۵٪ سطح زیر کشت) بیشترین مقدار ذخیره آب را دارا می‌باشد و پس از آن سناریو سوم (حفظ ۷۵٪ سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی زیر ۱۰۰۰ متر مکعب و حفظ ۲۵٪ سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر مکعب) و در آخر سناریو دوم (حفظ ۵۰٪ سطح زیر کشت) قرار دارد. همچنین سطح زیر کشت در هر سناریو، به ترتیب سناریو اول ۴۴۱۰/۷۵ هکتار، سناریو دوم ۶۴۲۱/۳ هکتار و سناریو سوم ۷۰۶۸/۴۴ هکتار می‌باشد. بر اساس نتایج، سناریو اول بیشترین مقدار ذخیره آب مصرفی را نسبت به شرایط فعلی دارد و طبیعتاً باید به عنوان سناریو بهینه در نظر گرفته شود اما با مشاهده سطح زیر کشت محصولات در این سناریو مشاهده می‌شود سطح زیر کشت محصول ذرت علوفه‌ای به طور غیر منطقی افزایش یافته است که این افزایش سریع سطح زیر کشت از سوی کشاورزان مورد تردید می‌باشد و این سطح باید بین محصولات دیگر تقسیم شود. می‌توان گفت سناریو سوم نتیجه قابل قبول‌تری را نشان می‌دهد که علاوه بر کاهش مصرف آب به مقدار ۵۴٪ و ذخیره ۴۱۹۸۵۵۲۳ متر مکعب آب، سطح زیر کشت نتیجه شده نیز متعادل‌تر و منطقی‌تر از سناریوی اول می‌باشد. بهینه‌سازی با هدف کاهش مقدار آب مصرفی، به میزان بسیار کمی منجر به کاهش سطح زیر کشت می‌شود. با این حال سناریوهای تعریف شده منجر به کاهش سود نشده‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد محصولات کشت شده آب مصرفی بالایی دارند و نسبت به میزان آب مصرفی درآمد چندانی حاصل نمی‌کنند. از طرفی این نتایج به سادگی با محاسبه سود خالص فروش محصولات به دست می‌آید و چنانچه بهای واقعی آب مصرفی که در این سناریوها کاهش چشم‌گیری داشته است و نیز سود حاصل از عدم تخریب منابع خاک در نتیجه کشاورزی را به آن اضافه نمود رقم بسیار قابل توجه‌تری به دست خواهد آمد.



شکل (۴): مقایسه سطح زیر کشت، آب مصرفی و سود حاصل در حالت فعلی و سناریوهای بهینه‌سازی

بررسی نتایج به دست آمده از بهینه کردن سطح کشت در روش دوم با هدف افزایش سود در مقایسه با درآمد شرایط فعلی با کسر هزینه آب مصرفی سطحی و زیرزمینی، نشان می‌دهد سود افزایش قابل توجهی خواهد داشت. نتیجه این بهینه‌سازی این است که بیشترین تغییر در سطح زیر کشت مربوط به محصولات زعفران و سیب پیش‌بینی شده است و به دلیل سود نسبتاً قابل توجه از این دو محصول سود کلی افزایش یافته است. سناریوی اول، بیشترین کاهش مقدار آب مصرفی و سناریوهای سوم و دوم به ترتیب در ردیف‌های بعدی کاهش مصرف آب نسبت به میزان فعلی آن (۹۲۳۱۱۵۱۳ مترمکعب) قرار دارند. یعنی مصرف آب به ترتیب ۴۳٪، ۴۵٪ و ۳۹٪ درصد حالت فعلی است. به عبارت دیگر در سناریو اول مقدار ۳۶۸۳۵۶۱۰ مترمکعب، در سناریو دوم مقدار ۵۵۲۰۲۲۴۰ متر مکعب و در سناریو سوم ۵۰۳۲۵۹۸۰ متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. این در حالی است که از کل سطحی که در شرایط فعلی به کشت محصولات اختصاص داده شده است در سناریوهای اول تا سوم به ترتیب ۴۴۱۰/۷۵ هکتار، ۶۴۲۱/۳ هکتار و ۷۰۶۸/۴۴ هکتار مورد کشت واقع شده‌اند. نتایج بهینه‌سازی سناریوهای تعریف شده در این مرحله نشان می‌دهد سود حاصل از سناریوهای اول، دوم و سوم نسبت به حالت فعلی به ترتیب ۳، ۳/۲ و ۳/۲ برابر می‌شود.

در روش دوم بهینه‌سازی، سطح زیر کشت فعلی حفظ می‌شود. چون هدف اصلی در این مرحله افزایش سود است سطح زیر کشت محصولاتمانند زعفران و سیب درختی که سود قابل توجهی نسبت به دیگر محصولات دارند به میزان بسیار زیادی افزایش یافته است. افزایش سطح زیر کشت زعفران و سیب به این میزان، چندان قابل قبول نیست و امکان سریع این تغییرات وجود ندارد. از طرفی حتی اگر امکان انجام این تغییرات وجود داشته باشد، مقدار تولید این دو محصول به صورت سریع و بدون برنامه زیاد شده و بازار کشت این مقدار افزایش عرضه را نداشته پس به دنبال آن قیمت

این دو محصول کاهش می‌یابد. محصولات باغی نیز سهم زیادی در درآمد حاصله در منطقه دارند و بنابراین با افزایش سطح زیر کشت محصولاتی مانند سیب و زعفران علاوه بر رعایت سطح کشت بهینه، درآمد به دست آمده نیز بیش‌تر می‌شود از سوی دیگر محصول زعفران نیاز آبی نسبتاً پایینی دارد و در صرفه‌جویی آب نیز موثر است. در نهایت با در نظر گرفتن شرایط منطقه از لحاظ کاهش آب در دسترس در بخش کشاورزی و اهمیت آن در اقتصاد منطقه و معیشت ساکنان آن، می‌توان گفت بهترین سناریو، سناریو سوم می‌باشد چون علاوه بر کاهش مصرف آب با در نظر گرفتن محدودیت‌های بازار و افزایش سطح زیر کشت، در ازای به کارگیری اراضی کمتر، سود بیش‌تری به دست می‌دهد.

در کل می‌توان گفت با کاهش سطح زیر کشت محصولاتی که نیاز آبی بالایی دارند و در مقابل افزایش سطح زیر کشت محصولاتی با نیاز آبی کم و عملکرد بالا می‌توان مقدار آب مصرفی را کاهش داد و محصولاتی که صرفه اقتصادی دارند کشت شوند. در واقع با جایگزین کردن محصولاتی مانند انگور و هلو که عملکرد بالایی داشته و نیاز آبی نسبتاً پایینی به دیگر محصولات باغی دارند و یا حذف محصولاتی مانند شل‌توک که عملکرد نسبتاً پایینی دارند می‌توان با مصرف کمتر آب و استفاده اصولی از اراضی مورد نظر نتایج قابل قبول‌تری به دست آورد. با در نظر گرفتن سطح زیر کشت بهینه می‌توان گفت در شرایط کم آبی با افزایش سطح زیر کشت محصولی مانند ذرت علوفه‌ای، درآمد خالص افزایش می‌یابد. کشت محصولاتی مانند چغندر قند و سیب‌زمینی علی‌رغم تولید در واحد سطح قابل توجه به دلیل نیاز آبی بالا با توجه به شرایط کم آبی منطقه توصیه نمی‌شود و توجه اقتصادی ندارد.

نتایج به دست آمده در این پژوهش، با تحقیقات انجام شده مشابه همانند مطالعات یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۷)، داورپناه و همکاران (۱۳۹۷)، مرادی و همکاران (۱۳۹۶) سروریان و سلیمانی (۱۴۰۰)، احمدزاده کلیبر (۱۴۰۱)، مروج‌الاحکامی و همکاران (۱۴۰۲) و محققان بسیاری در سطح جهانی که برای رسیدن به توسعه پایدار و تخصیص بهینه اراضی به الگوی کشت محصولات با هدف افزایش درآمد کشاورزان و کاهش اثرات منفی کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و به کمک نرم افزار لینگو پرداختند، مطابقت داشت. مثلاً سروریان و سلیمانی (۱۴۰۰) سود حاصل از تغییر الگوی کشت را در سه سناریو بررسی کردند و نشان دادند دو سناریو سود بیشتری نسبت به الگوی کشت فعلی حاصل خواهد شد. احمدزاده کلیبر (۱۴۰۱) نیز با توجه به تغییر حجم آب در دسترس، نشان داد الگوی کشت بهینه، سود بیشتری نسبت به الگوی کشت فعلی به همراه خواهد داشت. همچنین برتری الگوی کشت متغیر را نسبت به الگوی کشت ثابت تایید کرد. بررسی نتایج در مطالعات صورت گرفته نشان از دست‌یابی به نتایج قابل قبول در استفاده از برنامه‌ریزی خطی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی خطی در حل مسائل مربوط به مدیریت منابع خاک و آب، تخصیص بهینه منابع آب در کشاورزی و تخصیص بهینه اراضی برای رسیدن به حداکثر سود حاصل از تولیدات کشاورزی و کاهش مصرف آب به منظور دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی کارایی قابل قبولی دارد و در موارد بسیاری استفاده شده است. در تحقیق حاضر، با در نظر گرفتن شرایط منطقه از لحاظ کاهش آب در دسترس در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر و اهمیت فعالیت‌های کشاورزی در اقتصاد منطقه و معیشت ساکنان آن، می‌توان انتظار داشت ترکیب بهینه پیش‌بینی شده بتواند تعارضات حاصل از منافع و بهره‌برداری بیش از حد از منابع را حل کند. لذا معادلات بهینه‌سازی خطی سطح زیر کشت در منطقه خانمیرزا با دو هدف کاهش آب مصرفی و افزایش سود با سه سناریو فرمول‌بندی و حل شد. حتی بدون توجه به سود، و فقط با هدف کاهش مصرف آب، هر سه سناریوی به کار رفته در روش اول، نه تنها کاهش قابل توجه مصرف آب را پیش‌بینی می‌کنند، بلکه افزایش سود را نیز با تغییر ترکیب کشت به دنبال خواهند داشت. با در نظر گرفتن تابع بیشینه‌کردن سود و کمینه‌سازی مصرف آب به عنوان تابع هدف، نتایج متفاوتی حاصل شد. در روش دوم هر سه سناریو کاهش مصرف منابع آب را با کاهش سطح کل زراعی و تغییر در ترکیب کشت به دنبال خواهد داشت؛ ضمن اینکه افزایش سودآوری از این ترکیب بهینه نیز انتظار می‌رود. از بین سناریوهای مورد بررسی، پاسخ منطقی را سناریو سوم ارائه می‌دهد؛ چون علاوه بر کاهش مصرف آب میزان درآمد بالا را با در نظر گرفتن محدودیت‌های بازار و افزایش سطح زیر کشت، در ازای به کارگیری اراضی کمتر به دست می‌دهد و با توجه به تحلیل سناریوها، سناریوی آخر در دو روش بهینه‌سازی، قابل اجراترین سناریو در شرایط فعلی شناخته شدند. با افزایش منطقی سطح زیر کشت محصولاتی مانند سیب و زعفران علاوه بر رعایت سطح کشت بهینه، درآمد به دست آمده نیز بیش‌تر می‌شود از سوی دیگر محصول زعفران نیاز آبی نسبتاً پایینی دارد و در صرفه‌جویی آب نیز موثر است. در کنار سود حاصل از تولید محصولات، می‌توان به منافع حاصل از ذخیره آب و عدم تخریب منابع خاک اشاره کرد که با تبدیل مقادیر ذخیره شده به ارزش‌های بازاری می‌تواند در معادلات بهینه‌سازی وارد شود. علاوه بر این با کاهش سطح زیر کشت، بخشی از اراضی می‌توانند هر ساله به صورت آیش در آیند و فرصت تجدید عناصر غذایی داشته باشند.

بهینه‌سازی سطح زیر کشت در این تحقیق پاسخ مناسبی به ایده‌ها و سناریوها داد اما لزوماً نمی‌توان گفت ترکیب پیشنهاد شده کاملاً اجرایی است. تغییر ترکیب کشت در حقیقت تغییر ترکیب کاربری اراضی است و پیش از هر چیز نیازمند مطالعات آمایش سرزمین و استعدادیابی اراضی است. در این تحقیق فرض بر این بوده است که تبدیل اراضی کشاورزی به همدیگر و به اراضی باغی، با توجه به محدودیت‌های منابع آب امکان‌پذیر است به این معنی که قطعا در جایی که گندم کاشته می‌شود می‌توان زعفران کاشت. چون نیاز آبی زعفران به مراتب کمتر از گندم است. نکته حائز اهمیت دیگر

توجه به اولویت‌های بازار رقابتی است، تولید بیش از اندازه یک محصول، ممکن است با اشباع بازار همراه شود و منابع را به هدر دهد. بنابراین شایسته است در تحقیقات بعدی در همین منطقه و مناطق دیگر، علاوه بر محدودیت منابع آب، به محدودیت‌های زمین نیز پرداخته شود. هزینه‌های دیگری که کشاورزی و باغداری تحمیل می‌کند از جمله فرسایش و تحلیل عناصر مغذی خاک، اثر بر تنوع زیستی، آلودگی ناشی از مصرف کود و سموم شیمیایی، و محاسبات آب مجازی نیز می‌تواند در معادلات بهینه‌سازی در نظر گرفته شود.

منابع

- آقارضا، ح.، مردیان، م.، داوودی راد، ع.، و نیک نامی، د. (۱۳۹۴). تحلیل حساسیت توابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی به منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آبخیز آدینه مسجد. مرتع و آبخیزداری، ۶۸(۴)، ۷۹۵-۸۰۸.
- احمدزاده کلپیر، ف. (۱۴۰۱). بهینه‌سازی سطح زیر کشت بر اساس حجم مخزن و شرایط کمبود آب قابل دسترس (مطالعه موردی: پایاب سد ارسباران). دانش آب و خاک، ۳۲(۱)، ۱-۱۴.
- اسمعیل‌پوراسطرخ، ه.، کریمی، م.، علی محمدی سراب، ع.، و داوری، ک. (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مکانی (مطالعه موردی: اراضی جنوب شهرستان‌های برخوار، شاهین شهر و اصفهان). مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۵(۲)، ۱۹-۳۳.
- بهادری، م.، جولایی، ر.، اشراقی، ف.، و رضایی، ا. (۱۳۹۸). بهینه‌یابی الگوی کشت محصولات زراعی شهرستان ری با توجه به مخاطره. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۷(۱۰۷)، ۱۳۳-۱۶۳.
- پورمحمدی، ی.، موسوی بایگی، م.، عزیززاده، ا.، ضیائی، ع.، و بنایان اول، م. (۱۳۹۶). برآورد بهره‌وری آب محصولات عمده دشت نیشابور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات آب و خاک، ۳۱(۱)، ۱۲۶-۱۱۲.
- جلیلی، خ.، صادقی، ح.، و نیک کامی، د. (۱۳۸۵). بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز به منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بریموند، کرمانشاه). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۴)، ۲۷-۱۵.
- داورپناه، ش.، هاشمی بناب، ص.، و خادوردیزاده، م. (۱۳۹۷). تعیین الگوی کشت محصولات زراعی همسو با کشاورزی پایدار با رویکرد برنامه‌ریزی کسری خطی چند هدفی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳(۳)، ۲۹۳-۳۰۴.
- سروریان، ج.، و سلیمانی، پ. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی دشت مهران بر اساس محدودیت‌های منابع آب، سطح زیرکشت و تنوع زیستی. مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۷۲۸-۷۲۵.
- شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری. (۱۳۹۴). گزارش فنی پیشنهاد تمدید ممنوعیت محدوده جوانمردی. ۱۰۴ص.
- شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری. (۱۳۸۸). مطالعات تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها در دشت‌های ممنوعه استان چهارمحال و بختیاری. ۶۰ص.
- ضیایی جزئی، د. (۱۳۹۶). استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی خطی در انتخاب ترکیب بهینه کاربری اراضی در حوزه آبخیز بهشت آباد. رساله دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران، ۲۰۰ص.
- قدوسی، ح.، و مرسلی، س. (۱۳۹۵). کاربرد برنامه‌ریزی خطی در بهینه‌سازی سطح زیرکشت حوزه آبخیز اهرچای در شرایط موجود و توسعه. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۳(۳)، ۲۴۸-۲۵۵.
- مرادی، ح.، جلیلی، خ.، و بزرگ حداد، ا. (۱۳۹۶). بهینه‌سازی تخصیص اراضی و آب آبیاری مبتنی بر دیدگاه بیلان آب با استفاده از برنامه ریزی خطی (مطالعه موردی: دشت اسلام آباد غرب). آب و خاک، ۳۱(۲)، ۳۷۲-۳۸۵.
- مردانیان، س.، زارع بیدکی، ر.، و عبدالهی، خ. (۱۳۹۹). تخصیص بهینه منابع آب حوزه آبخیز خانمیرزا با استفاده از مدل WEAP. علوم و مهندسی آبخیزداری، ۱۴(۴)، ۱۹-۱۱.
- مروج الاحکامی، ب.، اکرامی، م.، زارع، ش.، وظیفه شناس، م.، اسمعیل زاده حسینی، س. ع.، و رحیمیان، م. ح. (۱۴۰۲). بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی و باغی عمده در استان یزد. مهندسی آبیاری و آب ایران، آماده انتشار. doi: 10.22125/iwe.2023.383494.1707.
- یاراحمدی، ج.، نیک نامی، د.، شهنازی، ع.، و صادق زاده، م. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی کاربری اراضی بخشی از دامنه‌های جنوبی حوزه آبخیز اهرچای. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۱)، ۴۳-۵۷.
- Benli, B., and Kodal, S. (2003). Anon-linear for farm optimization with adequate and limited water supplies Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. *Agricultural Water Management*, 62, 187-203.
- Gebre, S.L., Van Orshoven, J., and Cattrysse, D. (2023). Optimizing the Combined Allocation of Land and Water to Agriculture in the Omo-Gibe River Basin Considering the Water-Energy-Food-Nexus and Environmental Constraints. *Land*, 12, 412.
- Gil, A.F., Sánchez, M.G., Castro, C., and Pérez-Alonso, A. (2023). A mixed-integer linear programming model and a metaheuristic approach for the selection and allocation of land parcels problem. *International Transactions in Operational Research*, 30(4), 1730-1754.
- Nikkami, D. (1999). Optimizing the management of soil erosion using GIS. Ph. D. Thesis, Concordia University, 108p.
- Randhir, T.O., O'Connor, R., Penner, P.R., and Goodwin, D.W. (2001). A watershed-based land prioritization model for water supply protection. *Forest ecology and management*, 143(1-3), 47-56.
- Wang, J., Qin, T., Xizhi L., Ni, Y., Zhang, Q., and Ma, L. (2023). Study on optimal and joint allocation of water and land resources for the multiple objectives. *Water Resources Management*, 37, pp.1241-1256.
- Yao, J., Zhang, X., and Murray, A.T. (2018). Spatial optimization for land-use allocation: accounting for sustainability concerns. *International Regional Science Review*, 41(6), 579-600.

Cultivated Land Optimization of Khanmirza Region Considering the Future Limitations of Water Resources

Rafat Zare Bidaki^{*1}, Akram Roshani Aloni², Sara Mardanian³



Research Article

1. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

zare.rafat@sku.ac.ir

*Corresponding author

2. M.Sc. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

akramrooshani68@gmail.com

3. M.Sc. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

sara.mardanian@gmail.com

Article Code: 2401-1051

Continus Pagation: 366-375

Received: 23 January 2024

Accepted: 13 April 2024

Online: 10 August 2024

Review speed: 82 days

Citation:

Zare Bidaki, R., Roshani Aloni, A., and Mardanian, S. (2023). Cultivated Land Optimization of Khanmirza Region Considering the Upcoming limitations of Water Resources. *Management of Natural Ecosystems*, 3(1), 15-24.

Abstract

Population growth, need to produce food and limitation of suitable agricultural lands, increase the importance of land use planning and optimization. Considering the increase in demand for groundwater resources due to the development of agriculture in Khanmirza region, optimizing of land use and water consumption is necessary as an effective strategy to conserve resources and achieving sustainable development. The purpose of this research is Optimization of cultivated area in order to Less use of water and land inputs along with more profitability from agriculture. Needed data of cultivated area, amount of water consumption, amount of production, yield and related costs were obtained from 24 major crops cultivated in the region. optimization equations with the two goals of reducing water consumption and increasing income was formulated considering three scenarios and then the optimization equations were solved. Based on the results, optimization aimed at reducing water consumption in three defined scenarios predicted a 39%, 59% and 54% reduction in water consumption, respectively. Optimization aimed at increasing income and reducing water consumption predicted respectively 43%, 45% and 39% of the current water consumption for three mentioned scenarios. It is expected that the optimal combination, having the aim of increasing profit and reducing water consumption will be 3, 3.2 and 3.2 times more profitable than the current combination.

Key Words:

Bilevel Linear Programming, Gross Income, Land Use, Sustainable Development.