

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت چمچمال با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

خلیل جلیلی^۱، جلال جلیلی^{۲*}، حمید زارع ایبانه^۳

چکیده

مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی و بهینه‌سازی تخصیص آب برای دستیابی به سطح بهینه کاشت محصولات با الگوی کشت موجود یک ضرورت است که در دشت چمچمال کرمانشاه با بکارگیری مدل برنامه‌ریزی خطی انجام شد. نیاز آبی و تولید خالص محصولات در وضعیت موجود، به‌عنوان ضرایب تابع هدف و تعریف توابع محدودیت استفاده شد و بهینه‌سازی وضعیت موجود و پیشنهادی با هدف مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در مناطق دارای شبکه و بدون شبکه انجام گرفت. نتایج نشان داد که بین الگوی صحیح کشت و آب قابل دسترس تناسب وجود ندارد و این نشان‌دهنده ضعف مدیریت شبکه است. بهینه‌سازی وضع موجود سبب کاهش سطح کشت‌های گندم، آفتاب‌گردان، گوجه‌فرنگی و افزایش سطح کلزا، سیب‌زمینی، باقلا و حدف کشت جو، چغندرقد و ذرت شده است که در مناطق شبکه و فاقد شبکه به‌ترتیب سبب افزایش ۳۳/۳۴ درصدی و ۳۵/۳۳ درصدی سود کشاورزی شده است. این افزایش سود در شرایط بهینه پیشنهادی ۴۵/۹ و ۳۵/۲۳ درصد است. آنالیز حساسیت نشان داد که در مناطق تحت پوشش شبکه در وضعیت موجود و پیشنهادی کاهش سود بیشترین حساسیت را نسبت به کاهش سطح اراضی تحت کشت گندم و افزایش سود بیشترین حساسیت را نسبت به افزایش سطح کشت سیب‌زمینی و سپس گندم داشته است.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، دشت چمچمال، شبکه آبیاری و زهکشی، مدیریت تلفیقی

مقدمه

یک منطقه خشک است و در سال‌های اخیر، با تشدید خشکسالی و افزایش مصرف آب کشاورزی، بهینه‌سازی برنامه آبیاری برای تضمین امنیت غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا تأمین و تخصیص آب یک الزام است که مشکل را کاهش می‌دهد، حجم آب در دسترس و قابل استفاده افزایش می‌یابد، تنش‌ها کم می‌شود و عدالت توزیع آب در شبکه پیش می‌آید و علاوه بر تولید پایدار کشاورزی، رضایت‌مندی اجتماعی را هم در پی دارد که به سلامت شبکه و حفاظت و عدم تخریب هم کمک می‌کند (Liu & Yang, 2021). مرادی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در بهینه‌سازی تخصیص اراضی و آب آبیاری مبتنی بر دیدگاه بیلان آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در دشت اسلام‌آباد نشان دادند که سود حاصل از بهینه‌سازی در کلیه سناریوهای مدیریتی مثبت بوده و از ۱۹ تا ۵۵ درصد متغیر است. همچنین الگوی بهینه کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب در شهرستان ارزوئیه در سال ۱۴۰۰ توسط سلجوقی و همکاران نشان داد که با اعمال محدودیت در عرضه آب آبیاری، سطح زیر کشت محصولات زراعی منتخب شهرستان ارزوئیه بجز گندم کاهش می‌

کشت آبی از یک سو مصرف‌کننده اصلی منابع آب شیرین و از سوی دیگر تولیدکننده غذا برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان است (Liu & Yang, 2021) تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک با مشکل جهانی کمبود منابع آب و شور شدن زمین مواجه است که آبیاری و زهکشی اقدامات مهمی برای افزایش عملکرد محصول و کنترل شوری خاک است (Li et al., 2020). دسترسی به آب حیاتی‌ترین محدودیت برای کاشت محصول پایدار در

^۱ استادیار گروه پژوهشی مدیریت منابع محیطی، پژوهشکده توسعه کالبدی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

^۲ استادیار گروه پژوهشی مدیریت منابع محیطی، پژوهشکده توسعه کالبدی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران (*) نویسنده مسئول: j.jalili@acecr.ac.ir

^۳ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳

های زیرزمینی و سطحی را برای محصولات مختلف بهینه کند و ترکیب چاه ها و کانال ها را از طریق ارسال مشترک آب های سطحی و زیرزمینی تحقق بخشد (Zhang et al., 2022).

سایاب یک رویکرد بهینه سازی شبیه سازی برای حمایت از تخصیص محافظه کارانه آب در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه یالونگ بکار گرفتند و با بکارگیری شاخص های اقتصادی و اجتماعی مرتبط با تقاضای آب، برای مدل پیش بینی میزان تقاضا نشان دادند این مدل یکپارچه می تواند به تصمیم گیرندگان کمک کند تا سیاست های مدیریتی را پایدارتر و سودآورتر تنظیم کنند (Caiab, 2022).

اهداف اصلی این پژوهش تعیین میزان آب سطحی قابل استفاده از رودخانه در ماه های مختلف سال، برآورد آب آبیاری مورد نیاز در کانال های آبیاری، تعیین آب قابل استحصال چاه های کشاورزی و تعیین میزان کمبودها و منابع آب مازاد در هر کانال آبیاری و نهایت بهینه سازی تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی در شبکه آبیاری با مدیریت سطح تراز آب زیرزمینی است که افزایش بهره وری آب با عملکرد بالاتر محصول از یک سو و جلوگیری از زه دار شدن اراضی شبکه با مکان یابی مناسب چاه های پیشنهادی و استحصال حجم آب برنامه ریزی شده محقق می یابد.

موقعیت جغرافیایی

دشت چمچمال با وسعت ۱۹۵/۴۶ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۱۹° ۳۴' تا ۳۳° ۳۳' درجه عرض شمالی ۴۷° ۴۱' تا ۴۷° ۴۱' طول شرقی در استان کرمانشاه قرار دارد. رودخانه دینهور با جهت شمالی- جنوبی در این دشت جریان داشته و در نزدیکی شهرستان بیستون به رودخانه گاماسیاب می پیوندد. بیشینه آبدی رودخانه دینهور در ماه فروردین برابر ۴۰ متر مکعب در ثانیه و آبدی کمینه آن در ماه شهریور برابر ۰/۳۲ متر مکعب در ثانیه می باشد. به منظور تأمین رقوم مورد نیاز سطح آب در ابتدای کانال آبرسان، سد انحرافی نازلیان بر روی رودخانه دینهور احداث شده است. دی انحرافی از این سد به همراه پمپاژ آب از چاه های متعدد در محدوده دشت تأمین کننده آب مورد نیاز اراضی می باشد شبکه آبیاری و زهکشی دینهور در این دشت قرار دارد و منبع تأمین آب کل اراضی شبکه، سراب های برناج، نجوبران و استفاده از آب های زیرزمینی با احداث چاه هایی در منطقه برای تلفیق آب های سطحی و زیرزمینی در شبکه است.

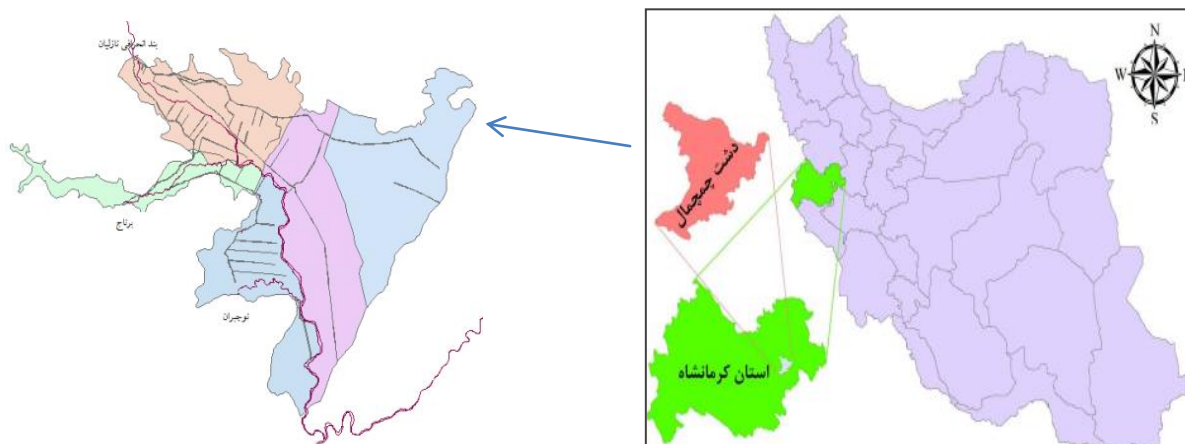
یابد لذا در شرایط کمبود آب، کشاورزان به منظور کاهش مصرف آب و هزینه آن، الگوی کشت موجود را به الگوی کشت محصولات با نیاز آبی پایین تر تغییر می دهند (Garousi-Nejad, 2016).

مرادی جلال و همکاران در سال ۲۰۰۷، مدل برنامه ریزی تخصیص بهینه آب آبیاری در الگوی چندمحصوله با توصیه کاربرد مدل برنامه ریزی خطی (Moradi-jalal, 2007)، باریکانی و خلیلیان در سال ۱۳۹۰، پیشنهاد الگوی کشت مناسب در دشت قزوین با استفاده از بهینه سازی و مدیریت پویای منابع آب و بکارگیری تکنیک برنامه ریزی ریاضی، محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۱ در مرودشت استان فارس، الگوی کشت بهینه کاهش مصرف آب و کود شیمیایی و افزایش بازدهی تولید و علیزاده و همکاران در سال ۱۳۹۴ با تدوین مدل تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی در یکی از دشت های استان فارس نشان دادند که اعمال سیاست بهینه موجب کاهش برداشت از آبخوان و افزایش سطح تراز آبخوان می شود.

خورشیدی علی کردی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مبنای رویکرد برنامه ریزی آرمانی در محدوده سد رودبال نشان دادند که بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی راه حلی با بیشترین سازگاری ممکن را بین ذی نفعان مختلف ارائه خواهد داد. همچنین صحابی فرد و همکاران (۱۴۰۳) افزایش بهره وری آب کشاورزی از ۴۷ تا ۷۷ درصد برای محصولات موجود در حوزه آبخیز تجن استان مازندران را تحت سناریوی بهینه سازی تخصیص منابع آب گزارش دادند.

شعبانی و همکاران (۱۳۸۷) مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را در منطقه درودزن استان فارس انجام دادند. نتایج نشان داد که در محدوده پروژه های بزرگ آبیاری نظیر شبکه های آبیاری و زهکشی، مدیریت دقیق و مناسب منابع آب سطحی و زیرزمینی می تواند باعث افزایش راندمان بهره وری از آب و افزایش تولیدات زراعی شود همچنین محدود کردن کشت گیاهان پرمصرف بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعدیل تقاضای آب می باشد.

ژانگ و همکاران شبیه سازی و بهینه سازی مدل کوپلینگ برای کنترل شوری خاک و غرقابی در منطقه آبیاری Urad، شمال چین را انجام دادند. نتایج نشان از کارایی مدل دارد که می تواند توزیع آب



شکل ۱- موقعیت دشت چمچمال در استان کرمانشاه و رودخانه دینهور و کانال‌های اصلی و فرعی در شبکه آبیاری

روش تحقیق

منابع آب سطحی و زیرزمینی در پنج منطقه از محدوده طرح شامل برناج، نجوهران و قسمت‌های اول و دوم و سوم شبکه آبیاری و زهکشی دینهور، مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از آمار و اطلاعات هیدرومتری و مطالعات انجام شده در محدوده طرح، آبدهی هر یک از رودخانه‌های واقع در حوضه آبریز منطقه تعیین گردید. مقادیر درصد آبدهی ماهانه و فصلی، توزیع ماهانه و سالانه آبدهی با احتمالات مختلف و با استفاده از آمار بلند مدت برآورد گردید و مقادیر آبدهی روزانه رودخانه با توجه به میانگین متحرک هفت روزه و با میانگین‌گیری از دوره آماری ۲۲ ساله تعیین شد و برنامه‌ریزی بر مبنای آن صورت پذیرفت.

تعیین پراکنش سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات

الگوی کشت موجود: این اطلاعات از آمارهای موجود از سازمان جهاد کشاورزی استان و مرکز خدمات کشاورزی بیستون که در آن موقعیت مکانی کلیه قطعات اراضی زراعی کشاورزان به تفکیک تهیه شده است به دست آمد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های میدانی با مصاحبه و تکمیل فرم‌ها و پرسش‌نامه‌ها صحت‌سنجی گردید. با توجه به تغییرات الگوی کشت در سال‌های مختلف و نیز وجود الگوی کشت پاییزه و بهاره در منطقه، میانگین نیاز آبی سطح پایین دست هر کانال در دو سال متوالی مدنظر قرار گرفت. نیاز آبی محصولات الگوی کشت نیز با استفاده از نرم افزار Netwat

محاسبه شد. حجم آب مورد نیاز و هیدرومدول آبیاری در دوره‌های ده روزه در طی ماه و دوره رشد گیاهان از زمان کاشت تا زمان برداشت برآورد و در نهایت نیاز آبی مناطق مختلف محاسبه شد.

تخمین کمبود آب برای هر ناحیه با توجه به نیاز آبی و

تلفات آب و دبی موجود: با استفاده از نرم‌افزار Netwat نیاز آبی گیاهان و هیدرومدول آبیاری برآورد گردید. سپس با اندازه‌گیری راندمان انتقال و توزیع به صورت میدانی میزان تلفات اندازه‌گیری شد. در پایان با توجه به حجم آب موجود و کمبود آب در هر ناحیه، میزان برداشت مورد نیاز از آب زیرزمینی و تعداد و مکان چاه‌های لازم برای تأمین آب پیش‌بینی شد. این پیش‌بینی حاصل مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS 6.5 است که بر مبنای مدیریت و ثبات سطح تراز آب زیرزمینی در عمق ۱۵ متری از سطح زمین است. تعیین الگوی بهینه کشت: این الگو با توجه به کشت‌های مختلف موجود در منطقه، وضعیت منابع آبی، بهره‌برداری منابع آب و مسائل اقتصادی و اجتماعی حاکم، بررسی الگوی کشت موجود و تحلیل‌های اقتصادی سود و هزینه صورت می‌پذیرد. نتایج این بخش به عنوان ضرایب تابع هدف و نیز محدودیت‌های حاکم به عنوان توابع محدودیت در نظر گرفته شد. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت‌های موجود در منطقه، مسئله بهینه‌سازی در دشت دینهور به صورت رابطه زیر فرمول‌بندی گردید:

نتایج و بحث

به منظور تحلیل و بررسی سریعتر و آسان‌تر، چاه های موجود و پیش بینی شده برای هریک از پنج زیر محدوده مورد مطالعه تفکیک شدند. که نقشه های تهیه شده آنها در اشکال ۲ و ۳ آورده شده است. با توجه به قرارگیری متوسط EC آب چاه های موجود در محدوده ۵۰۰ میکروموس بر سانتیمتر، کیفیت آب های زیرزمینی در تمام نواحی بسیار مطلوب است. بنابراین علاوه بر اینکه منطقه پتانسیل تلفیق آب سطحی و زیرزمینی را داراست حتی از آب های زیرزمینی به تنهایی هم می توان بدون محدودیت برای آبیاری تمام محصولات الگوی کشت موجود استفاده نمود. از اینرو به دلیل نبود محدودیت در کیفیت آب های زیرزمینی نبازی به مدیریت تلفیقی از نظر کیفی و استفاده از مدل OPDM وجود نداشت.

$$Max(Z) = \sum_1^n C_{Bi} X_i$$

$$C_{WU_i} \leq B_1$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_{13} \leq B_2$$

$$X_1+X_2+X_3=X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}$$

X₁ >= B3

$$X_{13} \geq B_4$$

$$X_{13} \leq B_5$$

$$X_4 \geq B_6$$

$$X_4 \leq B_7$$

$$X_5 \geq B_8$$

$$X_6 \leq B_9$$

$$X_6 \geq B_{10}$$

$$X_4 \leq B_{11}$$

$$X_1, X_2, \dots, X_{14} \geq 0$$

که در آن Z درآمد خالص سالانه، C_{WU_i} ، C_{B_i} ، X_i به ترتیب مساحت زیرکشت، درآمد خالص و نیاز آبی هر محصول، B_1 حجم آب قابل بهره‌برداری، B_2 سطح کل اراضی دشت، B_3 سطح حداقل کشت گندم، B_4 ، B_6 ، B_8 و B_{10} سطح اراضی باغی، گشنیز کاری، یونجه کاری و شبدر کاری و B_3 ، B_5 ، B_7 ، B_9 و B_{11} نیز به ترتیب بیشترین سطح اراضی باغی، گشنیز کاری، یونجه کاری و شبدر کاری است.

مناسب ترین وضعیت سطح کشت اراضی برای رسیدن به اهداف تحقیق با استفاده از روش سیمپلکس و با کمک نرم افزار Lingo نسخه ۱۱، مسأله برنامه ریزی خطی موجود، مدل سازی و اجرا گردید. به منظور شناسایی مؤثرترین محدودیت منابع و همچنین محصولات کشاورزی، در تقسیم مقدار تابع هدف از تحلیل حساسیت استفاده شد.

جدول ۱- اطلاعات چاه های موجود و پیشنهادی در محدوده های مختلف مورد مطالعه

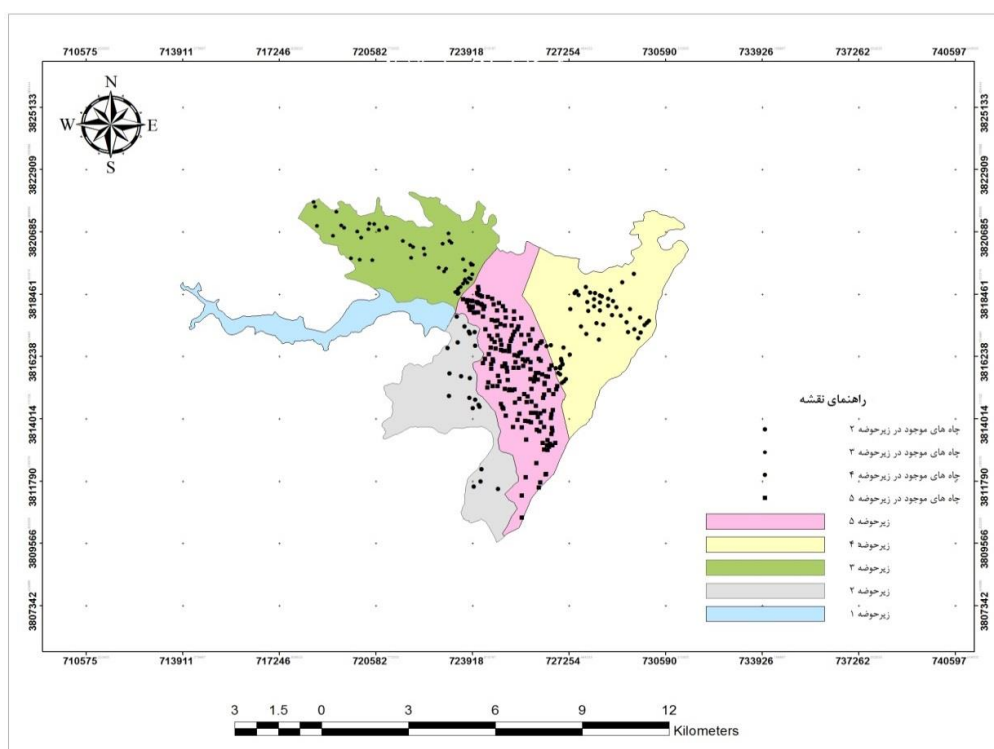
[illegible]

سطح تخصیص یافته به هر محصول در الگوی کشت به دست آمده و متناسب با این سطح و با توجه به نیاز آبی، حجم آب مورد نیاز محاسبه گردید که در جدول ۲ آورده شده است. اطلاعات مربوط به حجم آب قابل بهره برداری در هر بخش نیز در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است.

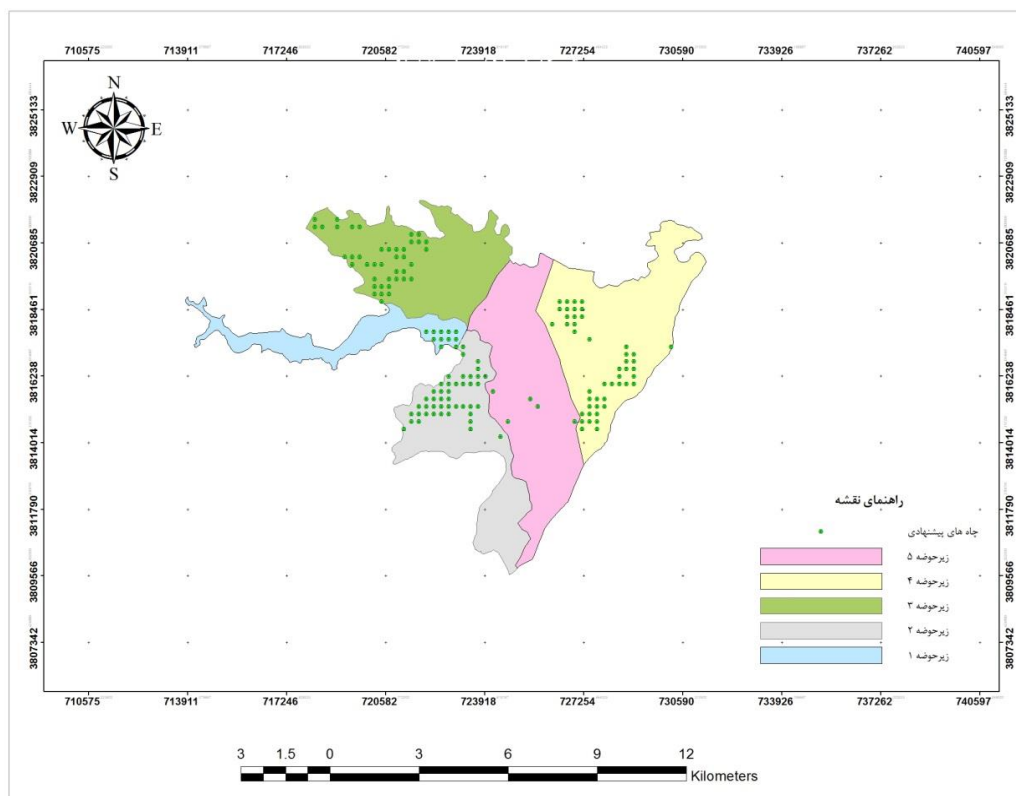
نتایج جمع بندی شده در جدول فوق حاصله از اجرای مدل *GMS* در شبیه‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی در منطقه و پتانسیل‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی در وضعیت موجود و در شرایط پیشنهادی چاه‌های جدید است که بیان آب‌های موجود در نواحی مختلف تفکیک شده با توجه به نیازهای ناخالص آبیاری برآورد شده است و در مبحث الگوی بهینه کشت و بهینه‌سازی تخصیص مورد استفاده و بررسی قرار می‌گیرد.

در شکل ۲ پراکنش چاه‌های بهره برداری موجود در زیرحوضه‌ها ارائه شده است نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که در ناحیه برناج به دلیل عدم نیاز به آب هیچگونه چاهی حفر نشده است و در ناحیهی نجوبران نیز تعداد چاه‌های موجود محدود بوده ولی در این ناحیه می‌توان از آب چشمه برناج و چاه‌های منطقه برناج به صورت تلفیقی استفاده نمود. در شکل ۳ چاه‌های پیشنهادی در نواحی مختلف منطقه نشان داده شده است در ناحیه برناج اگرچه کمبود آب وجود ندارد ولی نتایج اجرای مدل نشان می‌دهد که حدود ۱۱ حلقه چاه می‌تواند حفر شود و از انتقال آب آن برای منطقه نجوبران استفاده نمود.

سطح محصولات مختلف الگوی کشت و حجم آب مورد نیاز آبیاری در هر محدوده: سطح زیر کشت محصولات مختلف دریافتی از بانک اطلاعات مکانی سازمان جهاد کشاورزی استان و نیز صحت سنجی میدانی ۴۶۵۴/۴۶ هکتار بوده بر اساس نوع کشت



شکل ۲ - پراکنش چاه‌های بهره‌برداری موجود در زیرحوضه‌ها یا ناحیه‌های شبکه آبیاری



شکل ۳ - پراکنش چاه‌های بهره‌برداری پیش‌بینی شده در زیرحوضه‌ها یا ناحیه‌ها

جدول ۲- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و باغی در دشت دینه‌ور (بر حسب هکتار)

محصولات	گندم	جو	کلزا	گشنیز	یونجه	شیدر	چغندر	ذرت دانه ای	باقلا	گوچه	سیب زمینی	آفتابگردان	باغات میوه
برنج	۱۹۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۷/۵	۳/۰	۱/۹	۴۴/۰	۳۲/۰	۲۹/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۴/۶۶
نخودبر	۳۰۳/۰	۳۰/۵	۶/۰	۱۱/۰	۱/۰	۰/۵	۸۳/۰	۶۷/۰	۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴۰/۰
قسمت اول شبکه	۷۱۲/۰	۵۰/۴	۱۶/۷	۲۴/۰	۸/۰	۲/۰	۹۵/۰	۱۱۷/۰	۱۵/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۱۱/۰
قسمت دوم شبکه	۹۵۰/۰	۶۵/۰	۲۸/۰	۱۲/۰	۱۰/۰	۵/۰	۹۰/۰	۲۲۸/۰	۷/۰	۵/۰	۱۶/۳	۷/۰	۲۳/۵
قسمت سوم شبکه	۸۳۰/۰	۶۵/۰	۶۵/۰	۳/۰	۶/۰	۰/۰	۱۲/۳	۲۴/۰	۰/۰	۵/۰	۲۴/۰	۷۵/۰	۶/۲
غیر شبکه	۴۹۴/۵	۵۲/۰	۸/۰	۳۸/۵	۴/۰	۲/۴	۱۲۷/۰	۹۹/۰	۳۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۵۴/۷
شبکه	۲۴۹۲/۰	۱۸۰/۴	۱۰۹/۷	۳۹/۰	۲۴/۰	۷/۰	۱۹۷/۳	۳۷۹/۰	۲۲/۰	۱۰/۰	۵۰/۳	۸۲/۰	۱۵۰/۷
مجموع	۲۹۸۶/۵	۲۳۲/۴	۱۱۷/۷	۷۷/۵	۲۸/۰	۹/۴	۳۲۴/۳	۴۷۸/۰	۵۳/۰	۱۰/۰	۵۰/۳	۸۲/۰	۲۰۵/۴
نیازآبی (مترمکب)	۱۸۵۰	۱۲۴۰	۲۱۸۰	۶۲۵۱	۹۳۵۰	۶۷۷۰	۹۲۶۰	۶۴۱۰	۲۱۷۰	۸۲۵۰	۸۰۵۰	۶۸۸۰	۹۰۶۷/۵

وضعیت منابع آب دشت دینه‌ور: بر اساس اطلاعات برداشتی

منطقه، ۳۱۹ حلقه چاه بهره‌برداری و دو چشمه با نام برنج و نخودبر وجود دارد. آبدهی دو چشمه که منبع اصلی آب سطحی منطقه برای مصارف کشاورزی و باغی منطقه هستند به ترتیب کمینه و بیشینه دبی (۰/۳۹-۱/۰۹۱) و (۰/۳۹۷-۰/۲۴۵) متر مکعب در ثانیه است که

در مجموع سالانه حجمی معادل ۵۵۳۴۴۹۹ و ۱۴۰۱۸۴۹ متر مکعب آب استحصالی در اختیار مصارف منطقه قرار دارد. در شبکه آبیاری منطقه نیز حجمی معادل ۱۴۱۵۰۷۰۹ متر مکعب آب استحصال گردیده و مصرف می‌شود. از حجم آب سطحی بهره‌برداری شده در سال بیلان، در شبکه آبیاری و سایر مناطق که جز شبکه نیستند به

ترتیب مقدار ۲۱۰۸۷۰۵۶ متر مکعب به مصرف محصولات مختلف کشاورزی می‌رسد. در بخش منابع آب زیرزمینی نیز ۲۲۷۰۳۰۱۰ متر مکعب آب استحصال گردیده و مصرف کشاورزی دارد و بر اساس نتایج مدل آب زیرزمینی ۸۰۰۴۱۲۳ متر مکعب نیز از چاه‌های پیشنهادی قابل استحصال و قابل مدیریت و بهینه‌سازی است.

بهینه‌سازی سطح تخصیص اراضی و منابع آب: پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت‌های موجود در منطقه، مسئله بهینه‌سازی در دشت چمچمال به صورت زیر نوشته

جدول ۳- اطلاعات منابع آب سطحی و زیر زمینی در قسمت‌های تفیک شده منطقه

نیاز ناخالص آبیاری کل منطقه (مترمکب)	حجم ورودی به ناحیه آبیاری (مترمکب)	برداشت سطحی (مترمکب)	بیان حجم آب موجود (مترمکب)	برداشت زیرزمینی (M ³) چاه های موجود	جمع دبی چاه‌های پیشنهادی (لیتر بر ثانیه)
۳۰۸۸۱۹۳/۷۰	۵۵۳۴۴۹۸/۸۸	۵۵۳۴۴۹۸/۸۸	۲۴۴۶۳۰۵/۱۸	۰/۰	۶۷۶۰۰۹/۴۴
۵۸۱۸۰۲۴/۴۵	۱۴۰۱۸۴۸/۶۴	۱۴۰۱۸۴۸/۶۴	-۴۴۱۶۱۷۵/۸۱	۱۵۸۸۹۷۹/۸۸	۲۳۵۶۷۹۴/۲۹
۹۰۰۵۱۲۵/۵۰	۱۴۱۵۰۷۰۹/۴۱	۶۴۲۰۲۳۹/۲۳	-۲۵۸۴۷۸۶/۲۷	۴۲۴۰۰۴۵/۴۴	۲۱۸۵۷۷۷/۳۸
۱۲۰۷۰۸۹۰/۲۵	۷۷۳۰۳۷۰/۱۸	۴۹۳۳۸۵۲/۸۰	-۷۱۳۷۰۳۷/۴۵	۱۳۸۰۷۹۳۷/۱۶	۲۴۶۷۸۹۳/۳۱
۹۹۱۰۲۹۸/۹۹	۲۷۹۶۵۱۷/۳۸	۲۷۹۶۵۱۷/۳۸	-۷۱۱۳۷۸۱/۶۱	۳۰۶۶۰۴۸/۳۶	۳۱۷۶۴۹/۰۵
۸۹۰۶۲۱۸/۱۵	۶۹۳۶۳۴۷/۵۲	۶۹۳۶۳۴۷/۵۲	-۱۹۶۹۸۷۰/۶۳	۱۵۸۸۹۷۹/۸۸	۳۰۳۲۸۰۳/۷۳
۳۰۹۸۳۱۴/۷۴	۱۴۱۵۰۷۰۹/۴۱	۱۴۱۵۰۷۰۹/۴۱	-۱۶۸۳۵۶۰/۳۳	۲۱۱۱۴۰۳۰/۹۶	۴۹۷۱۳۱۹/۷۴
۳۹۸۹۲۵۳۲/۸۹	۲۱۰۸۷۲۵۶/۹۳	۲۱۰۸۷۲۵۶/۹۳	۲۲۷۰۳۰۱۰/۸۴	۸۰۰۴۱۲۳/۴۷	

در شرایط فعلی امکان تغییر در استفاده از اراضی مسکونی، صنعتی و راه‌ها وجود ندارد. لذا مناطق مذکور از سطح کل کسر شده و سطح بهینه‌سازی (۳۷۴۳/۴) هکتار برای شبکه آبیاری و ۹۱۱/۱ هکتار در مناطق فاقد شبکه) به دست آمد. پس از محاسبه تولید، درآمد ناخالص و هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت؛ سود خالص سالانه هر محصول به عنوان ضریب در تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. برای محدودیت دسترسی به آب، نسبت به تعیین نیاز آبی محصولات مختلف اقدام و به عنوان ضریب برای متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. سایر محدودیت‌ها نیز از طریق پیمایش میدانی و مصاحبه چهره به چهره در منطقه استخراج و توابع محدودیت نهایی شد. شکل عمومی مسئله در دشت دینه‌ور به صورت رابطه زیر نوشته شد:

$$\begin{aligned} \text{Max}(Z) = & 4.967 \times X_1 + 3.697 \times X_2 + 5.986 \times X_3 + 4.048 \times X_4 + 8.564 \times X_5 \\ & + 5.709 \times X_6 + 9.971 \times X_7 + 4.471 \times X_8 + 5.994 \times X_9 \\ & + 7.982 \times X_{10} + 10.53 \times X_{11} + 5.034 \times X_{12} + 9.62 \times X_{13} \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن:

متغیرهای تصمیم که با اندیس i در الگوی برنامه ریزی خطی مشخص شده اند شامل ۱۳ محصول عمده زراعی و باغی به ترتیب گندم آبی ($i=1$)، جو آبی ($i=2$)، کلزا ($i=3$)، گشنیز ($i=4$)، یونجه ($i=5$)، شبدر ($i=6$)، چغندر قند ($i=7$)، ذرت دانه ای ($i=8$)، باقلا ($i=9$)، گوجه فرنگی ($i=10$)، سیب زمینی ($i=11$)، آفتابگردان ($i=12$)، باغات میوه ($i=13$) است.

توابع محدودیت در مدل بهینه سازی: محدودیت‌های منطقه پس از استخراج در چهار دسته محدودیت زیر در مدل لحاظ گردید:

الف) محدودیت‌های دسترسی به منابع:

الف-۱: محدودیت دسترسی به منابع آب: با عنایت به وجود دو سناریوی مدیریت بهره‌برداری منابع آب در شرایط کنونی و پیشنهادی مدل، میزان آب در دسترس و قابل برنامه‌ریزی پایدار در هر سناریو و

هر منطقه متفاوت است. لذا در سمت راست معادله برای هر سناریو میزان آب در دسترس متفاوت بوده و بر اساس آن مدل بهینه‌سازی اجرا گردید. میزان آب قابل دسترس سطحی بر اساس دبی در محل ایستگاه و آبدی در شبکه آبیاری برای منابع آب سطحی و نیز آب استحصال از چاه‌های کشاورزی در شبکه و مناطق فاقد شبکه به دست آمد. در سناریوی پیشنهادی چاه‌های پیشنهادی به دست آمده از اجرای مدل شبیه‌سازی GMS در منطقه و بر اساس آبدی آنها نیز به میزان و حجم آب موجود در وضعیت کنونی افزوده شد.

جدول ۴- سناریوهای مدیریتی و آب قابل استحصال آبخوان دشت دینه‌ور

مجموع (هزار متر مکعب)	مناطق تحت پوشش چشمه ها		مجموع (هزار متر مکعب)	مناطق تحت پوشش شبکه بند نازلیان		سناریوهای شرایط بهره‌برداری
	حجم آب زیرزمینی (متر مکعب)	حجم آب سطحی (متر مکعب)		حجم آب زیرزمینی (متر مکعب)	حجم آب سطحی (متر مکعب)	
۸۵۲۵/۳۲	۱۵۸۸۹۷۹/۸۸	۶۹۳۶۳۴۷/۵۲	۳۵۲۶۴/۷۴	۳۱۱۱۴۰۳۰/۹۶	۱۴۱۵۰۷۰۹/۴۱	وضعیت بهره برداری از منابع در شرایط کنونی
۱۱۵۵۸/۱۳	۴۶۲۱۷۸۳/۶۱	۶۹۳۶۳۴۷/۵۲	۴۰۱۳۶/۰۶	۲۶۰۸۵۳۵۰/۷۰	۱۴۰۵۰۷۰۹/۴۱	وضعیت بهره برداری از منابع در شرایط پیشنهادی مدل

تناوب تکمیلی آنها، یکی از محصولات چغندر قند، ذرت دانه‌ای، باقلا، گوجه فرنگی، سیب زمینی و آفتابگردان است. لذا:

$$X_1 + X_2 + X_3 = X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \quad (۵)$$

ج) محدودیت‌های اجتماعی و اقتصادی

این محدودیت‌ها برای شرایط شبکه و بدون شبکه به تفکیک و با ذکر دلایل به همراه توابع محدودیت مربوطه در جدول ۵ ارائه شده است.

د) محدودیت غیر منفی بودن متغیرها

در شرایط مدل برنامه‌ریزی خطی سطح اختصاص یافته به هر کاربری نباید منفی باشد.

$$\begin{aligned} &X_1, \\ &X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14} \\ &\geq 0 \end{aligned} \quad (۶)$$

$$1.85 \times X_1 + 1.24 \times X_2 + 2.18 \times X_3 + 6.251 \times X_4 + 9.35 \times X_5 + 6.77 \times X_6 + 9.26 \times X_7 + 6.41 \times X_8 + 2.17 \times X_9 + 8.25 \times X_{10} + 8.05 \times X_{11} + 6.88 \times X_{12} + 9.067 \times X_{13} \leq 35264. \quad (۳)$$

الف-۲: محدودیت سطح اراضی کل: از کل مساحت آبخوان منطقه، ۳۷۴۳/۴ هکتار شامل اراضی تحت پوشش شبکه و ۹۱۱/۱ هکتار مناطق فاقد شبکه است. با توجه به اینکه بهینه‌سازی در منطقه جداگانه انجام می‌شود مساحت هر بخش برای تخصیص به محصولات ۱۳ گانه الگوی کشت به صورت جداگانه در تابع مدل بهینه‌ساز هر بخش قرار گرفتند.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 3743.4 \quad (۴)$$

ب) محدودیت‌های تناوب زراعی

در تناوب زراعی الگوی کشت منطقه، ۵۰ درصد کشت‌های آبی به کشت‌های پاییزه شامل گندم، جو و کلزا اختصاص دارد و

جدول ۵- محدودیت های اقتصادی و اجتماعی برای شرایط شبکه و بدون شبکه به همراه توابع محدودیت

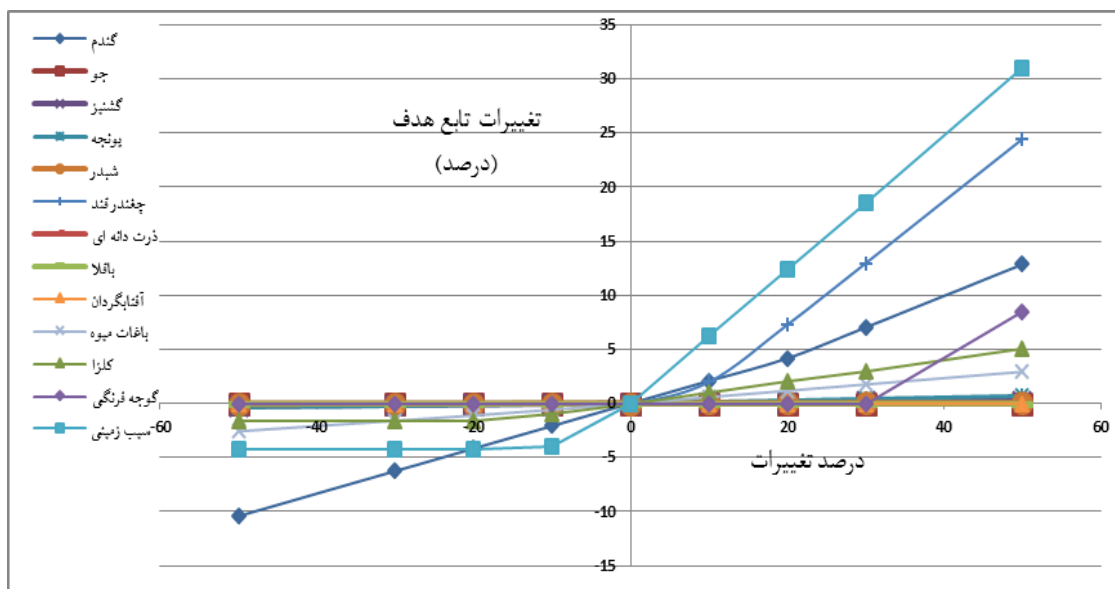
سطوح اراضی	مناطق تحت پوشش شبکه	مناطق بدون شبکه	دلیل	تابع تحت پوشش شبکه	تابع در مناطق بدون شبکه
حداقل سطح اراضی کشت گندم	۱۲۴۶/۳	۲۴۷/۳	بهره‌دهی مناسب و استراتژیک بودن محصول و نیز کم بودن میزان آفات نسبت به سایر کشت های هم تناوب گندم	$X13 \geq 1246.3$	$X13 \geq 247.3$
سطح اراضی باغی	۱۵۰/۷	۵۴/۷	بهره‌دهی مناسب و عدم تمایل مردم منطقه به تغییر این کاربری	$X13 \geq 150.7$	$X13 \geq 54.7$
بیشترین سطح اراضی باغی	۱۸۰/۸	۶۵/۶	رضایت باغداران تنها حاضر به افزایش سطح زیرکشت خود تا ۱,۲ برابر سطح موجود به دلیل شرایط اقلیمی منطقه و وقوع سرمازدگی و درصد ریسک نسبتاً بالا	$X13 \leq 180.8$	$X13 \leq 65.6$
سطح اراضی گشنیزکاری	۳۹	۳۸/۵	عدم تمایل مردم به تغییر این کاربری به دلیل بهره‌دهی مناسب و چند ساله بودن برخی از گونه‌های کشت شده	$X7 \geq 39$	$X7 \geq 38.5$
بیشترین سطح اراضی گشنیزکاری	۵۸/۵	۵۷/۷۵	قابلیت افزایش سطح موجود تا ۱,۵ برابر به دلیل نیاز به نیروی انسانی در طی دوره رشد و تولید محصول و نیز امکان پذیر نبودن نگهداری در شرایط بازار مصرف به واسطه نیاز به حضور نیروی کار در حضور مشتری برای فروش با عدم مدیریت صحیح نیروی کارگری و نیاز به خانوارهایی با نیروی کار بیشتر	$X7 \leq 58.5$	$X7 \leq 57.75$
سطح اراضی یونجه‌کاری	۲۴	۴	عدم تمایل مردم منطقه به تغییر این کاربری به دلیل چند ساله بودن و بهره‌دهی مناسب	$X7 \geq 24$	$X7 \geq 4$
بیشترین سطح اراضی یونجه‌کاری	۴۸	۸	امکان افزایش تا دو برابر سطح به دلیل شرایط آبی منطقه و طول دوره تولید این محصول	$X10 \leq 48$	$X10 \leq 8$
سطح اراضی شبدر کاری	۷	۲/۴	عدم تمایل مردم منطقه به تغییر این کاربری به دلیل چند ساله بودن و بهره‌دهی مناسب	$X7 \geq 7$	$X7 \geq 2.4$
بیشترین سطح اراضی شبدر کاری	۱۴	۴/۸	امکان افزایش تا دو برابر سطح به دلیل شرایط آبی منطقه و طول دوره تولید این محصول	$X10 \leq 14$	$X10 \leq 4.8$

جدول ۶- توزیع سطح کشت محصولات در وضعیت موجود و شرایط بهینه سناریوهای مدیریتی(هکتار)

محصولات	وضعیت موجود		بهینه سازی وضعیت موجود		بهینه سازی شرایط پیشنهادی	
	بدون شبکه	شبکه	بدون شبکه	شبکه	بدون شبکه	شبکه
گندم	۲۴۹۲	۴۹۴/۵	۱۲۴۶/۳۰	۲۴۷/۳۰	۱۲۴۶/۳۰	۲۴۷/۳۰
جو	۱۸۰/۴	۵۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
کلزا	۱۰۹/۷	۸/۰	۵۱۵/۰۵	۱۵۰/۹۸	۴۸۸/۰۰	۱۵۰/۹۸
گشنیز	۳۹/۰	۳۸/۵	۳۹/۰	۳۸/۵۰	۳۹/۰۰	۳۸/۵۰
یونجه	۲۴/۰	۴/۰	۲۴/۰	۸/۰۰	۴۸/۰۰	۸/۰۰
شبدر	۷/۰	۲/۴	۷/۰	۲/۴۰	۷/۰۰	۲/۴۰
چغندر قند	۱۹۷/۳	۱۲۷/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
ذرت دانه ای	۳۷۹/۰	۹۹/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
باقلا	۲۲/۰	۳۱/۰	۵۸۴/۸۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰
گوچه فرنگی	۱۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
سیب زمینی	۵۰/۰	۰/۰	۱۲۱۲/۵۱	۳۹۸/۲۸	۱۷۳۴/۳۰	۳۹۸/۲۸
آفتابگردان	۸۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
باغات میوه	۱۵۰/۷	۵۴,۶۶	۱۵۰/۷۰	۶۵/۶۰	۱۸۰/۸۰	۶۵/۶۰
میزان سود (میلیون تومان)	۲۰۳۷۰/۳۹	۵۳۲۰/۷۱	۲۷۱۸۴/۰۵	۷۱۹۵/۱۳	۲۹۷۳۱/۹۲	۷۱۹۵/۱۳
درصد تغییر سود نسبت به وضعیت موجود	--	--	۳۳/۳۴	۳۵/۲۳	۴۵/۹	۳۵/۳



شکل ۴- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در ضرایب تابع بیشینه ساز سود در وضعیت الگوی کشت موجود در مناطق تحت پوشش شبکه



شکل ۵- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در ضرایب تابع بیشینه ساز سود در وضعیت پیشنهادی در مناطق تحت پوشش شبکه

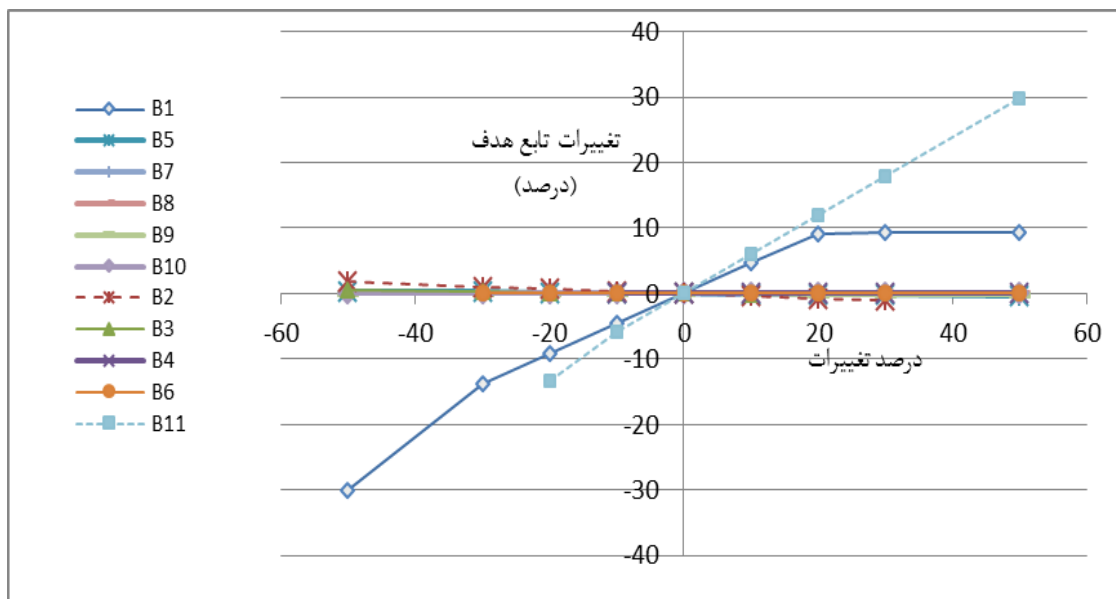
تغییرات (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) هر یک از منابع محدودیت بررسی و در نهایت حساسیت تابع هدف نسبت به آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج بهینه سازی و آنالیز حساسیت در منطقه

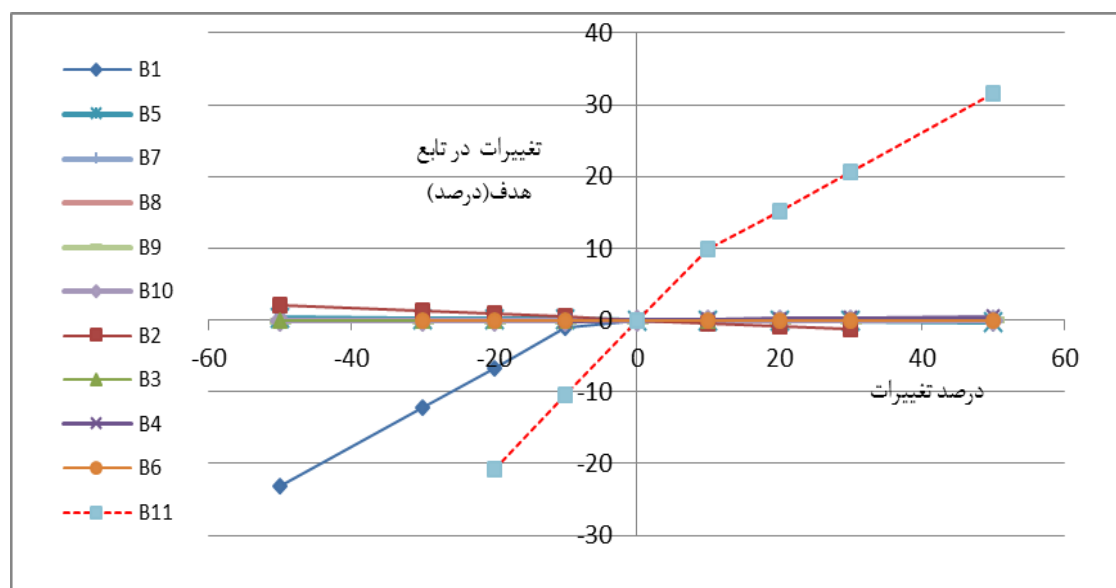
نتایج توزیع بهینه محصولات مختلف کشاورزی و باغی حاصل از اجرای مدل بهینه ساز در جدول ۶ آورده شده است. و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت برای تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی در ضرایب تابع هدف و منابع و بررسی اثر آن در تابع هدف در شکل های ۴ تا ۱۱ ارائه شده است.

مدل بهینه سازی

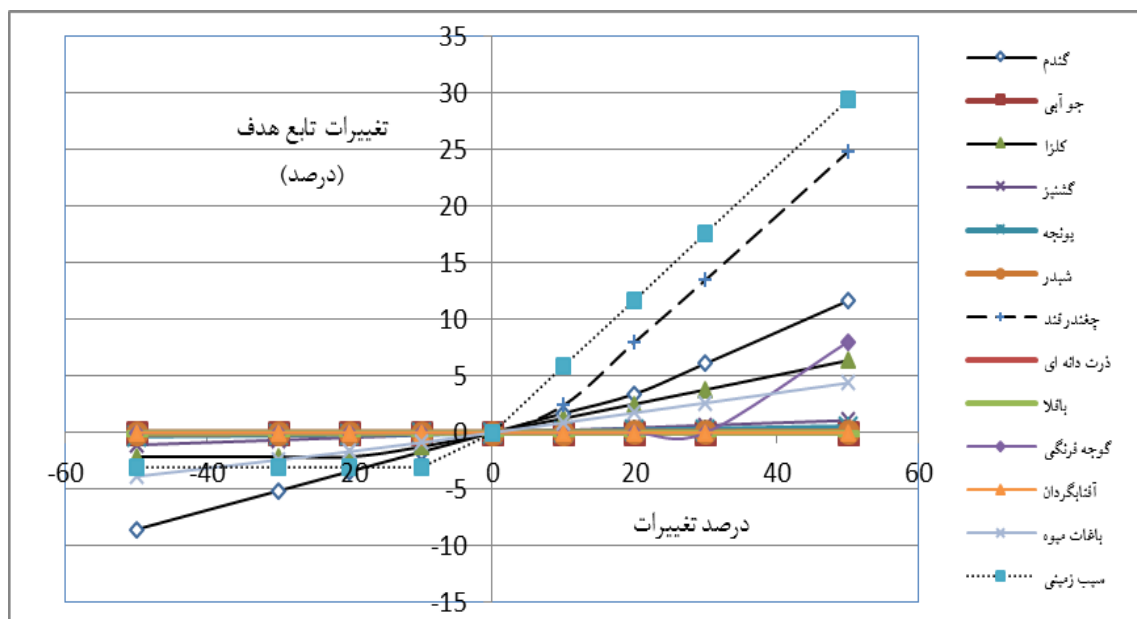
با توجه به موارد گذشته و توابع هدف و محدودیتی که بیان شد به منظور دستیابی به مناسب ترین وضعیت سطح کشت اراضی آبی برای رسیدن به اهداف تحقیق با استفاده از روش سیمپلکس و با کمک نرم افزار LINGO نسخه ۱۱، مسأله برنامه ریزی خطی موجود برای دو سناریوی مدیریتی مدل سازی و اجرا گردید. به منظور شناسایی مؤثرترین محدودیت منابع و همچنین محصولات کشاورزی در تغییر مقدار تابع هدف از تحلیل حساسیت استفاده شد. برای این منظور میزان درصد تغییر تابع هدف مرتبط با درصد مشخصی از



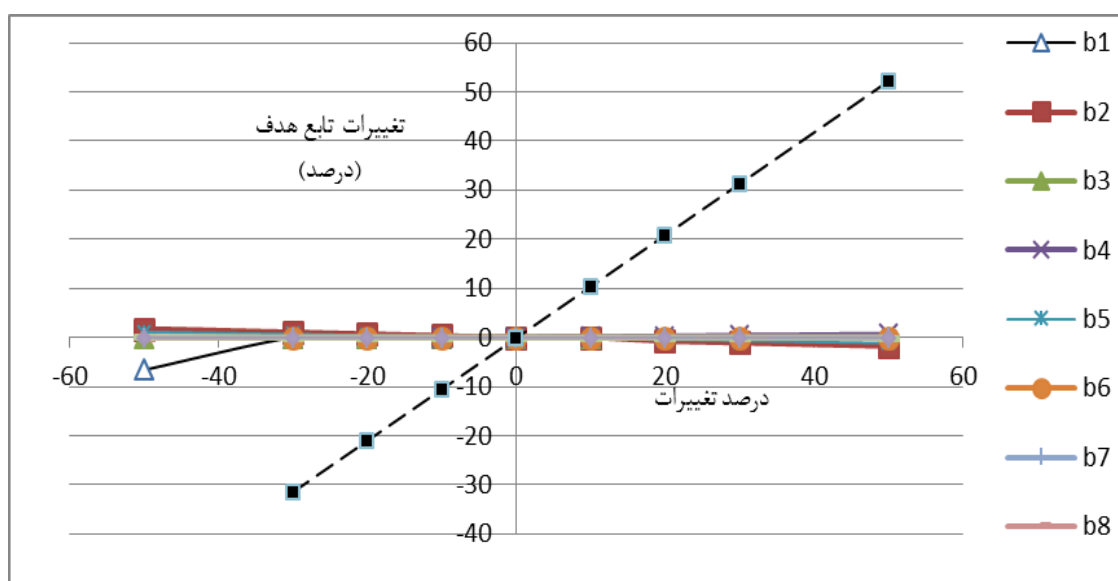
شکل ۶- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در منابع محدودیت در وضعیت الگوی کشت موجود در مناطق تحت پوشش شبکه



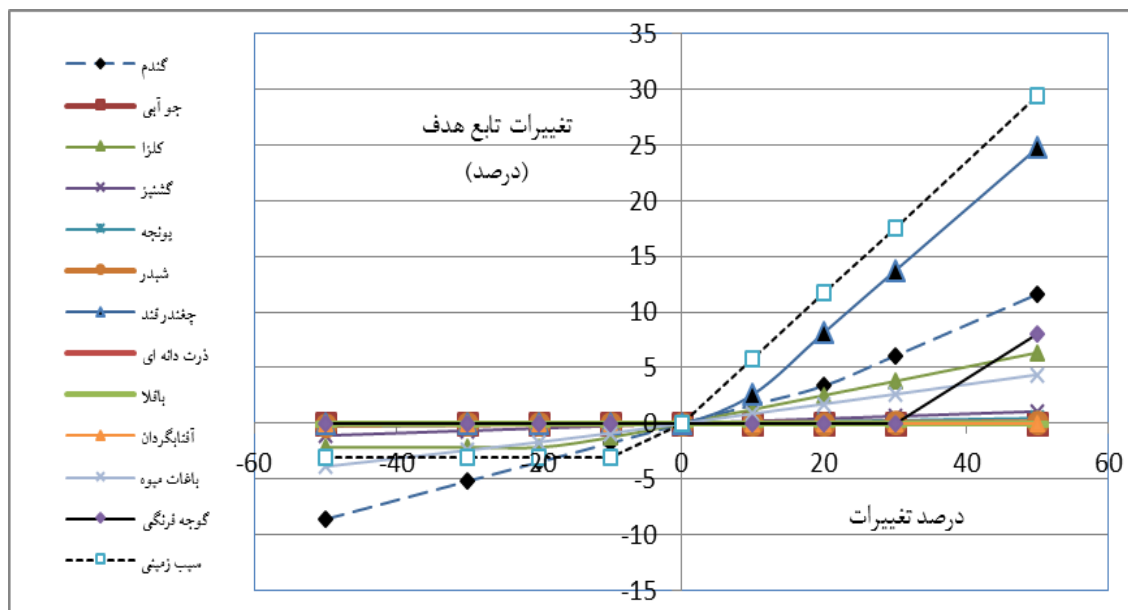
شکل ۷- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در منابع محدودیت در وضعیت پیشنهادی در مناطق تحت پوشش شبکه



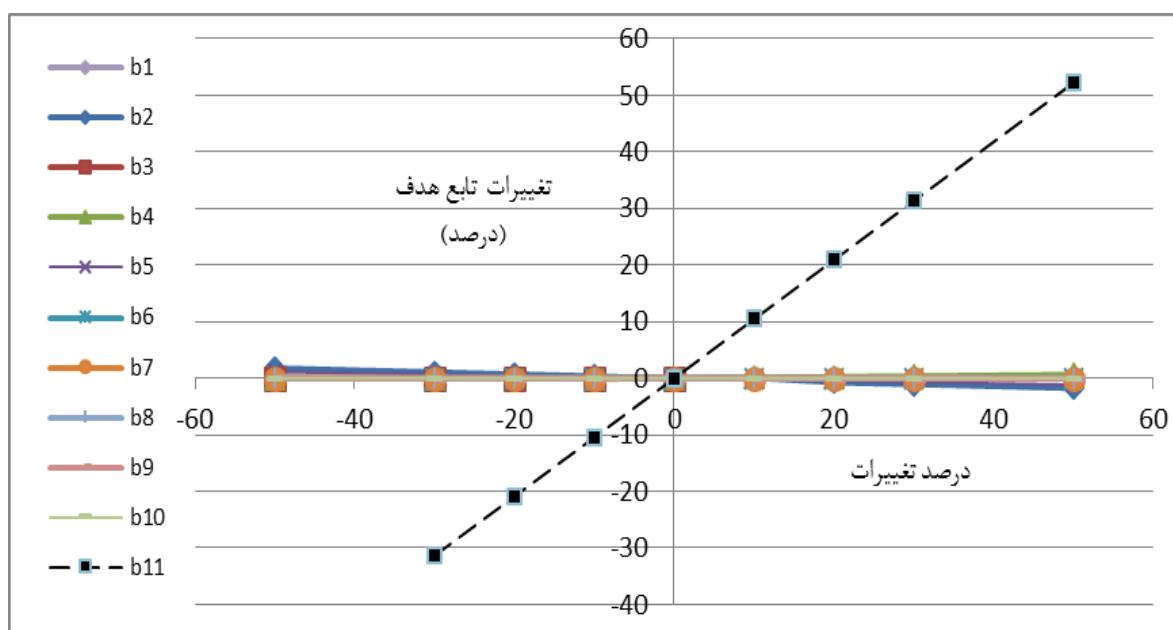
شکل ۸- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در ضرایب تابع هدف در وضعیت موجود در مناطق بدون شبکه



شکل ۹- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در منابع محدودیت در وضعیت موجود مناطق بدون شبکه



شکل ۱۰- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در ضرایب تابع هدف در وضعیت پیشنهادی در مناطق بدون شبکه



شکل ۱۱- تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در منابع محدودیت در وضعیت پیشنهادی در مناطق بدون شبکه

نتیجه‌گیری

مقدار نیاز شبکه آبیاری دینه‌ور است ولی به دلیل ظرفیت پائین کانال انتقال آب، کشاورزان با کمبود آب مواجه می‌گردند. بعلاوه راندمان‌های انتقال و توزیع آب در شبکه نسبتاً پائین است.

با دقت در جدول ۶ مشخص است که در بخش بدون شبکه، بهینه‌سازی وضعیت موجود الگوی کشت، حذف کشت‌های جو،

مقایسه نیاز آبی محصولات الگوی کشت و مقدار آب قابل برداشت در مناطق زیرمجموعه شبکه و خارج از شبکه نشان دهنده عدم تناسب صحیح الگوی کشت و آب موجود در منطقه و ضعف مدیریت حاکم بر شبکه است. بطوری که جریان آب رودخانه در فصل زراعی از نیمه آبان تا اواسط خرداد بیش از

چغندر قند، ذرت و باقلا را در پی دارد. در بخش شبکه، بهینه سازی وضعیت موجود و نیز وضعیت پیشنهادی سبب حذف کشت های جو، چغندر قند، ذرت دانه ای، گوجه فرنگی و باقلا از الگوی کشت بهینه شده است. بیشترین درصد تغییر مشاهده شده در کاهش کشت گندم، آفتابگردان و گوجه فرنگی و افزایش کلزا و کشت سیب زمینی و باقلا است. یافته های این بررسی افزایش ۳۳/۳۴ درصدی تا ۴۵/۹ درصدی سود را در مناطق مختلف غیر شبکه و شبکه نشان می دهد. وضعیت موجود و بهینه سازی شده موجود نشان دهنده افزایش ۳۳/۳۴ درصدی سود در مناطق بدون شبکه است در حالی که وضعیت پیشنهادی افزایشی را در سود این منطقه ایجاد نمی کند بدین معنی که افزایش حجم آب در دسترس باعث افزایش تولید نمی گردد و دلیل این امر کافی بودن میزان آب در دسترس در منطقه است و آب نسبت به زمین در این محدوده محدودیتی ندارد. اما در مناطق تحت پوشش شبکه در وضعیت بهینه سازی موجود و نیز بهینه سازی شرایط پیشنهادی نشان از افزایش ۳۵/۲۳ و ۴۵/۹ درصدی سود نسبت به وضعیت الگوی کشت موجود است و این نکته نیز قابل توجه است که افزایش آب در دسترس در شبکه باعث افزایش درصد سود می شود و نشانگر آن است که محدودیت آب در حال حاضر در منطقه وجود دارد. پژوهش های جلیلی و همکاران (۱۳۹۵) در دشت اسلام آباد غرب در استان کرمانشاه نیز نشان دهنده افزایش سود محصولات الگوی کشت در حالت بهینه نسبت به وضعیت موجود است.

آنالیز حساسیت انجام شده مطابق شکل های ۴ و ۵ نشان می دهد که در مناطق تحت پوشش شبکه، هم در وضعیت موجود و هم در وضعیت پیشنهادی، کاهش سود بیشترین حساسیت را نسبت به کاهش سطح اراضی تحت کشت گندم و افزایش سود، بیشترین حساسیت را نسبت به افزایش سطح کشت سیب زمینی و سپس گندم داشته است.

نتایج به دست آمده از شکل ۶ نشان دهنده این مطلب است که افزایش سطح کل اراضی منطقه تحت پوشش شبکه در وضعیت موجود دارای بیشترین حساسیت نسبت به تغییرات منابع محدودیت است. به طوری که افزایش ۵۰ درصدی آن ۳۰ درصد افزایش را به دنبال دارد. در مرتبه بعدی افزایش تا ۲۰ درصدی حجم آب در دسترس دارای بیشترین حساسیت است.

همین حساسیت منابع در تغییرات کاهشی منابع نیز در این دو منبع دیده شده و دارای بیشترین حساسیت است. به طوری که کاهش ۵۰ درصدی حجم آب کاهش ۳۰ درصدی سود محصولات الگوی کشت را به دنبال دارد و افزایش ۲۰ درصدی آن ۱۰ درصد افزایش را در پی دارد اما بیشتر از این افزایش تغییری در میزان سود دیده نمی شود و این یعنی کمبود آب منطقه با ۲۰ درصد افزایش جبران شده و بیشتر از آن سطح زیر کشت محدود کننده اصلی تولید در منطقه است.

با توجه به شکل ۷ و تحلیل نتایج حاصل از آن این نکته قابل حصول است که تغییرات منابع محدودیت بیشترین حساسیت را در افزایش سطح کل اراضی منطقه و همچنین کاهش سطح کل اراضی منطقه دارد به طوری که کاهش ۲۰ درصدی ۲۰ درصد میزان تولید کم می شود. کاهش حجم آب در دسترس نیز دارای حساسیت بعدی است که کاهش ۵۰ درصدی آن سبب کاهش سود محصولات تا ۲۵ درصد می گردد اما افزایش آن سبب افزایش تولید نمی گردد چرا که وضعیت پیشنهادی افزایش حجم آب در دسترس را به دنبال داشته و لذا کمبود آب منطقه جبران می گردد و با افزایش ۱۰ تا ۵۰ درصدی این منبع محدودیت دیده می شود که تغییری در سود محصولات الگوی کشت منطقه دیده نمی شود.

تغییرات نمودار ها در شکل های ۸ و ۱۰ یکسان است و در هر دو بیشترین حساسیت تابع هدف نسبت به افزایش ضرایب متغیرهای تابع هدف مربوط به محصول سیب زمینی است و با افزایش ۵۰ درصدی ضریب ۳۰ درصد سود تولید اضافه می شود و پس از آن چغندر قند و گندم است و در بین درصدهای کاهش ضرایب تابع هدف، بیشترین حساسیت مربوط به گندم است. یکسان بودن وضعیت موجود و پیشنهادی در مناطق بدون شبکه که به میزان آب در دسترس مرتبط است نشان می دهد که محدودیت آب در منطقه وجود نداشته و با افزایش میزان آب در دسترس تولید و سود افزایش نمی یابد و سطح اختصاص یافته به محصولات در وضعیت بهینه موجود و شرایط پیشنهادی مشابه است.

تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به تغییرات منابع محدودیت، در وضعیت موجود و پیشنهادی مطابق شکل های ۹ و ۱۱ نشان می دهد که بیشترین حساسیت مدل نسبت به سطح کل اراضی منطقه بدون شبکه است. به طوری که افزایش ۵۰ درصدی

ضرورت بهینه سازی تخصیص بویژه در شبکه مورد بررسی است.

روند تغییرات سطح آب زیرزمینی بیانگر شدت این وضعیت در آینده و تهدید پایداری تولید در منطقه است. در برنامه ریزی الگوی کشت، حفاظت از منابع پایه و محیط زیست بایستی مورد توجه باشد چرا که این امر پایداری در تولید محصولات کشاورزی و محیط زیست را به دنبال دارد. یکی از نمونه های بارز حفاظت منابع و محیط زیست، مصرف بهینه ی آب است که با توجه به قرار گرفتن کشور ما در کمربند خشک و نیمه خشک دنیا، الگوی کشت بایستی با محوریت بهره‌وری بهینه از منابع آب تدوین شود و بویژه آنکه توجه به اثرات تغییر اقلیم در آینده بر این امر بویژه در اکوسیستم های شکننده مناطق خشک و نیمه خشک ایران ضروری است (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۵) که انجام پژوهش های مشابه با لحاظ بررسی همزمان الگوی تخصیص، بهینه سازی و تغییر اقلیم در هر منطقه می تواند تصویر صحیح و بسیار کارگشایی را برای مدیریت منابع پیش روی مدیران و تصمیم گیران قرار دهد.

منابع

- باریکانی، ا. و خلیلیان، ص. ۱۳۹۰. مدیریت پویای سفره آب زیر زمینی در بخش کشاورزی مطالعه موردی دشت قزوین. [چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران](#).
- جلیلی، خ، مرادی، ح.ر. و بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام آباد و بهینه سازی تخصیص سطح اراضی آن. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان. ۵ (۱۱): ۱۳۱-۱۱۷.
- خورشیدی علی کردی، م. ص، حقیقت، م، طالب بیدختی، ن. و نیکو، م.ر. ۱۳۹۸. مدل حل اختلاف چند هدفه بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مبنای برنامه ریزی آرمانی، مجله مهندسی منابع آب. ۱۲ (۴۳): ۱۵۱-۱۳۱.
- سلجوقی، ش. سالارپور، م. احمدپور برازجانی، م. و سرگزی ع.ر. ۱۴۰۰. تعیین الگوی بهینه کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب در شهرستان ارزوئیه. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۹ (۱۱۳): ۱۱۶-۹۳.

سطح افزایش بیش از ۵۰ درصدی سود تولید را به همراه دارد و کاهش ۳۰ درصدی سود را در پی دارد. تغییرات تابع هدف اندک بوده و در مقایسه با تغییرات سطح کل اراضی بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است و این نشان می دهد که بهینه‌سازی هم در وضعیت موجود و هم پیشنهادی، با افزایش حجم آب قابل بهره‌برداری، سبب افزایش سود نمی‌شود یعنی با افزایش آب در دسترس، سود افزایش نمی یابد و نشانه آن است که محدودیت منطقه، محدودیت آب در دسترس نیست.

جمع بندی

هدف از انجام این پژوهش، علاوه بر مدل‌سازی بیلان و شبیه‌سازی سطح آبخوان آب زیرزمینی، بهینه‌سازی تخصیص سطح اراضی دشت دینه‌ور به محصولات موجود در الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی است که در شرایط محدودیت منابع آب قابل استحصال، میزان سود حاصل از تولیدات به بیشترین میزان ممکن برسد. این وضعیت تحت سناریوهایی شامل وضعیت مدیریت موجود و شرایط مدیریتی با پیشنهاد چاه های بهره برداری با دبی مشخص و ثبات سطح متوسط آبخوان در مقدار ثابت ۱۵ متر مورد بررسی قرار گرفت. برای دستیابی به این هدف پس از انتخاب دشت که مطالعات پایه آن توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه تهیه شده بود وضعیت کنونی بیلان دشت تحلیل گردید. سپس تمام مواردی که در منطقه به عنوان محدودیت به شمار می‌آمد تعیین شده و فاکتورهای لازم جهت بهینه سازی استخراج و معادلات هدف و توابع محدودیت منابع نوشته شد. با حل مسئله به دست آمده با استفاده از مدل LINGO سطح تخصیص بهینه اراضی در منطقه تعیین و آنالیز حساسیت مربوط به آن نیز انجام شد. افزایش سود ۳۳/۳۴ و ۳۵/۲۳ درصدی بهینه سازی شرایط موجود برای اراضی دارای شبکه و بدون شبکه از نتایج این تحقیق است که نشان می‌دهد بهینه‌سازی میزان تخصیص اراضی برای سطح زیر کشت محصولات مطابق نیاز آبی و میزان تولید محصول می تواند اثرات اقتصادی و اجتماعی زیادی را در منطقه به همراه داشته باشد. همچنین برای شرایط پیشنهادی، کاشت محصولات مختلف و بهینه سازی آنها در شرایط شبکه سبب افزایش ۴۵/۹ درصدی و در شرایط غیر شبکه افزایش ۳۵/۲۳ درصدی را به همراه دارد که نشان دهنده پتانسیل و

- Caiab Y., Liab T., Zhangc Y. and Zhang X. 2022 A simulation-optimization approach for supporting conservative water allocation under uncertainties, *Journal of Environmental Management*. 315(8): 115073.
- Garousi-Nejad, I., Bozorg-Haddad, O. and Loáiciga, H.A. 2016. Modified firefly algorithm for solving multireservoir operation in continuous and discrete domains. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 142(9): p.04016029.
- Li X., Zhang Ch. and Huo Z. 2020. Optimizing irrigation and drainage by considering agricultural hydrological process in arid farmland with shallow groundwater, *Journal of Hydrology*. 585: 124785.
- Liu X. and Yang D. 2021. Irrigation schedule analysis and optimization under the different combination of P and ET0 using a spatially distributed crop model, *Agricultural Water Management*. 256: 107084.
- Moradi-Jalal, M., Bozorg Haddad, O., Karney, B.W. and Marino, M.A. 2007. Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas. *Agricultural water management*. 90(1-2):149-159.
- Zhang Y., Yang P., Liu X. and Adeloje A.J. 2022. Simulation and optimization coupling model for soil salinization and waterlogging control in the Urad irrigation area, North China, *Journal of Hydrology*. 607: 127408.
- شعبانی، م.ک. هنر، ت. و زیبایی، م. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۴): ۶۶-۵۳.
- صحبی فرد، ف.ز. شاهنظری، ع. و صادقی، س. ۱۴۰۳. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تحت سناریوی بهینه‌سازی تخصیص منابع آب با استفاده از الگوریتم (NSGA-II). مدیریت آب و آبیاری. ۱۴(۲): ۴۰۵-۴۱۹.
- علیزاده، م.ر.، نیکو، م.ر. و رخسندرو، غ.ر. ۱۳۹۴. تدوین مدل تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی با لحاظ تعاملات ذی‌نفعان: کاربرد مدل‌های چانه‌زنی بازگشتی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۱(۳): ۴۳-۵۶.
- محمدی، ح.، بوستانی، ف. و کفیل زاده، ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه غیر خطی فازی. آب و فاضلاب، ۴: ۴۳-۵۵.
- مرادی ح.ر.، جلیلی، خ. و بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی تخصیص اراضی و آب آبیاری مبتنی بر دیدگاه بیلان آب با استفاده از برنامه ریزی خطی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۱(۲): ۳۷۲-۳۸۵.

Optimization of Surface and Groundwater Resources Allocation in Chamchamal Plain using Linear Programming

K. Jalili¹, J. Jalili*² and H. Zare Abyaneh³

Abstract

The integrated management of surface and groundwater resources and the optimization of water allocation to achieve the optimal level of planting pattern crops is a necessity that was carried out in the Chamchamal plain of Kermanshah by using the linear programming model. Water demand and net production of products in the existing situation were used as coefficients of the objective function and definition of constraint functions, and the optimization of the existing and proposed situation was carried out in terms of the integrated management of surface and groundwater resources in areas with and without networks. The results showed that there is no match between the correct cultivation pattern and available water, and it indicates the weakness of network management. Optimization of the current situation has led to a reduction in the cultivation areas of wheat, sunflower, and tomato, and an increase in the cultivation of canola, potato, and faba bean, as well as the elimination of barley, sugar beet, and maize cultivation. Consequently, agricultural profitability has increased by 34.33% in network areas and 33.35% in areas without network. This profit increase in the suggested optimal conditions was 45.9 and 35.23 percent. The sensitivity analysis showed that in the areas covered by the network, both in the existing and proposed conditions, the decrease in profit was the most sensitive to the decrease in the area under wheat cultivation, and the increase in profit was the most sensitive to the increase in the area of potato cultivation and then wheat.

Keywords: Integrated management, Irrigation and drainage network, Chamchamal plain, Cultivation pattern

¹ Reaserch Assistant Professor, Academic Center for Education, culture and Research (ACECR) of Kermanshah province, Kermanshah, Iran

² Reaserch Assistant Professor, Academic Center for Education, culture and Research (ACECR) of Kermanshah province, Kermanshah, Iran (*- Corresponding Author Email: j.jalili@acecr.ac.ir)

³ Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Boalisina University, Hamadan, Iran

Received: 27 Aug 2025

Accepted: 04 Nov 2025