نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۹، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۰، ص ۳۸-۲۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 9, No. 1, Mar. – Apr. 2011, p. 28-38

طراحی زراعی – اقتصادی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با تأکید بر منابع آب

آزاده مادح خاکسار [۱*] - امیر آینه بند [۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۵

چکیده

در حال حاضر طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعه منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، این راهکار فرایندی پیچیده بوده و متأثر از عوامل متعدد و متنوعی است که در بررسی آن، طراح ملزم به جمع آوری، دسته‌بندی و پردازش انبوهی از داده‌ها و اطلاعات خواهد بود. لذا انتخاب روش پردازش، تحلیل و تلفیق اطلاعات گردآوری شده با توجه به معیارهای تخصصی، بسیار با اهمیت بوده و نقشی تعیین کننده در نحوه ارزیابی دارد. در این تحقیق، برای تعیین الگوی کشت بهینه شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان، از روش برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار لینگو استفاده شده است. همچنین با توجه به وضعیت منابع موجود، محدودیت‌های فیزیکی - زیستی منطقه و برآوردهای اقتصادی عوامل مؤثر در تولید، هیدرومدول خاص منطقه طراحی گردید. سپس با ورود اطلاعات اولیه و پیش‌فرض‌ها برای طراحی یک الگوی کشت به نرم‌افزار، در بخش خروجی‌ها با توجه به برنامه تعریف شده جهت نرم‌افزار، علاوه بر الگوی بهینه، نیاز آبی و درآمد اقتصادی الگوهای کشت و هیدرومدول لازم برای طراحی شبکه نیز بدست آمد. همچنین در این تحقیق، تحلیل حساسیت مدل بر اساس قیمت آب انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش قیمت آب، فشردگی کشت، درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی و کل درآمد کشاورز در تمام سناریوهای مفروض کاهش می‌یابد. بیشترین سود کشاورز در تمامی حالت‌های فراهمی آب، در شرایط بدون محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ درصد و آب بها بر اساس ۳ درصد محصول، به‌دست آمد که بیشترین مقدار آن معادل با ۱۲۳۳۴۶۸۲ ریال در هکتار، به شرایط فراهمی آب با احتمال ۵۰ درصد اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی : الگوی کشت، برنامه ریزی خطی، بهینه‌سازی، هیدرومدول

مقدمه

طرح‌های توسعه منابع آب به منظور افزایش سطح زیرکشت آبی از جمله برنامه‌های زیربنایی است که در کشورهایی با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک مانند ایران، همواره مورد توجه بوده است. برای طراحی الگوی کشت بهینه در یک شبکه آبیاری و زهکشی که دارای منابع و محدودیت‌های تعریف شده است، روش‌های مختلفی در پیش روی مدیران و محققین قرار دارد. با توجه به ماهیت این مسئله، استفاده از برنامه‌ریزی خطی[۳] یکی از روش‌های کارا و متداول می‌باشد.

بنابراین تقریباً اکثر منابع، محدودیت‌ها، اهداف و حساسیت‌های این گونه مسائل را می‌توان با توسعه مدل‌هایی که بر اساس برنامه‌ریزی خطی تدوین می‌شوند، مورد بررسی قرار داده و الگوی کشت بهینه را تعیین نمود.

نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در خصوص تعیین الگوی کشت بهینه، به ویژه به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای و مدل‌های برنامه‌ریزی در زیر آورده شده است:

ترکمانی و کلایی (۶) الگوی کشت بهینه حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی را با الگوهای بهینه حاصل از مدل‌های موتاد و تارگت در بالاترین ریسک در منطقه ورامین، مقایسه کرده و نشان دادند در بالاترین سطح ریسک، نتایج هر سه مدل موتاد و تارگت موتاد و برنامه‌ریزی خطی معمولی مشابه است و با افزایش سطح ریسک، مدل‌ها تمایل به جایگزینی محصولات دارای بالاترین سود اقتصادی مورد نظر را به جای دیگر محصولات با درآمدزایی کمتر دارند. بنابراین نتیجه گرفتند که

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و کارشناس سازمان آب و برق خوزستان
(*- نویسنده مسئول: Email: amadehkhaksar@yahoo.com)
۲- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3 - Linear Programming

مدل برنامه‌ریزی خطی در واقع حالت خاصی از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی توأم با ریسک است که در آن میزان ریسک در بالاترین حد ممکن قرار دارد. این امر مشابه نتایجی است که ترکمانی در سال ۱۳۷۵ در مقایسه با مدل برنامه‌ریزی از نوع درجه دوم توام با ریسک و روش برنامه‌ریزی خطی گزارش داد. همچنین ترکمانی و عبدشاهی (۷) برنامه‌ریزی خطی را در یک مقطع زمانی معین روش مناسبی دانستند. در آزمایشی ماتانگا و مارینو (۱۹)، برنامه‌ریزی آبیاری را با توجه به الگوی زراعی و به کمک برنامه‌ریزی خطی پویا انجام دادند. هدف این پژوهشگران حداکثر نمودن سود ناخالص در واحد سطح محصولات گوناگون، با توجه به محدودیت‌های فراهمی آب در دوره‌های مختلف، ظرفیت سیستم، زمین، نیروی کار و دیگر منابع ممکن بود. افزون بر آن با استفاده از تحلیل حساسیت، آثار تغییر قیمت محصولات بر الگوی زراعی (سورگوم، لوبیا و ذرت) نیز بررسی شد. بر اساس تحقیق زارع فیض آبادی و کوچکی (۲۲) رعایت تناوب زراعی (چغندرقند-گندم) و (ذرت-گندم) باعث افزایش درآمد نسبت به تناوب (گندم-گندم) می‌شود. جعفری (۸)، در پژوهشی سرمایه‌گذاری در فناوری توسعه شبکه آبیاری در منطقه آب اندوز را در استان همدان مورد تحلیل اقتصادی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که سرمایه‌گذاری در فناوری توسعه شبکه آبیاری منطقه آب اندوز، باعث گسترش سطح زیرکشت محصولات سودآوری همچون یونجه خواهد شد و کشت غلات به روش آبیاری بارانی مقرون به صرفه نمی‌باشد، به عبارت دیگر هنگامی که نرخ کارمزد در حال افزایش است، کشت غلات به روش آبیاری سنتی بر اساس الگوی کشت توجیه پذیر می‌گردد. همچنین الگوی کشت تحت تأثیر تغییرات قیمت محصولات کشاورزی قرار می‌گیرد، ولی افزایش هزینه آب، بر انتخاب روش آبیاری بی‌تأثیر بوده و زارعین حساسیت اندکی نسبت به آن نشان می‌دهند.

عبدیان (۱۳)، در طراحی الگوی کشت بهینه در یک روستای شهرستان ورامین با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، نشان داد که کشاورزان با توجه به محدودیت‌هایی که با آن مواجهند، از کارآمدی مطلوبی در تخصیص منابع به فعالیت‌های گوناگون تولیدی برخوردار می‌باشند. همچنین به منظور گریز از عدم اطمینان ناشی از نوسان قیمت‌ها، از فاکتور تنوع کشت به عنوان یک عامل متعادل کننده درآمد استفاده می‌کنند.

در آزمایش دیگری کیمیای خلیل‌آباد (۱۸)، در تحقیقی در خصوص تخصیص بهینه آب کشاورزی رودخانه سیستان، به کمک برنامه ریزی خطی نشان داد که محدودکننده‌ترین عامل تولید در این بخش، فراهمی آب موجود در فصل تابستان است و با تغییر قیمت آب میزان تقاضای آن به طور معکوس تغییر می‌یابد. اسدی و سلطانی (۲) نیز به منظور تعیین الگوی کشت بهینه، مقایسه الگوی موجود با الگوی بهینه و مقایسه درآمد خالص گروههای مختلف در برنامه بهره برداری کنونی و بهینه و همچنین تعیین حاشیه ایمنی زارعان در دشت قزوین، از برنامه ریزی خطی استفاده نمودند. غلامی (۱۴) نیز، الگوی بهینه تناوب زراعی را با هدف حداکثر درآمد خالص و مقایسه آن با وضع موجود مزرعه و همچنین تجزیه و تحلیل حساسیتی جواب نهایی مسئله به کمک برنامه ریزی خطی تعیین نمود.

پارامترهای مختلفی در طراحی الگوی کشت و انتخاب گیاهان برای یک شبکه آبیاری و زهکشی، دخالت دارند که برخی از آنها عبارتند از :

- سیاست‌های تبیین شده دولت مبنی بر اولویت‌گذاری توسعه و افزایش تولید محصولات استراتژیک جهت رفع نیازهای تغذیه‌ای جمعیت کشور
- در نظر گرفتن اقلیم و خاک منطقه و رابطه آن با سازگاری گیاهان زراعی
- ایجاد تنوع در محصولات زراعی به منظور کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز
- افزایش حاصلخیزی خاک
- ایجاد اشتغال در فصل‌های مختلف سال
- بهره‌برداری از اراضی در حد امکان
- کمیت آب آبیاری
- تناوب زراعی
- نیاز آبی گیاهان
- اقتصاد تولیدات زراعی

بر این اساس به کارگیری برنامه‌ای با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی که تمام موارد فوق در آن لحاظ شده باشند، نیازمند طراحی مدلی است که در ابتدا شامل سه اصل هدف یا هدف‌ها، متغیرها، قیود و محدودیت‌ها بوده و روابط بین این اصول نیز باید در ماتریسی به نام ماتریس برنامه‌ریزی تعریف گردند. طراح با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی می‌تواند در چارچوب تابع هدف برنامه، علاوه بر آنچه که به عنوان هدف نهایی مورد نظر قرار داده، هدف‌های جانبی بسیاری را نیز در چارچوب متغیرها و محدودیت‌ها دنبال کند. نکته قابل ملاحظه

در استفاده از این روش، در درجه اول درک روابط موجود بین هدف‌ها، منابع تغییر، محدودیت‌ها و در درجه دوم تسلط به نرم‌افزار و برنامه‌ریزی می‌باشد.

در این راستا تحقیقی در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با هدف طراحی الگوی کشت بهینه و با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی انجام پذیرفت، تا بتوان اطلاعات زراعی- فنی را با اطلاعات اجتماعی- اقتصادی تلفیق نموده و با توجه به اهداف طراحی، مناسب‌ترین نحوه‌ی بهره‌برداری از منابع موجود و بالقوه مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۴ برای شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با مساحت کل ۳۵۰۰۰ هکتار که در ۱۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهواز و در منتهی‌الیه حوضه آبریز رودخانه زهره واقع می‌باشد، انجام پذیرفت. میزان بارندگی سالانه منطقه ۲۱۳/۷ میلی‌متر، متوسط سالانه درجه حرارت ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۵۲ درصد می‌باشد و روزهای یخبندان به‌ندرت در منطقه اتفاق می‌افتد (به طوری‌که متوسط روزهای یخبندان سالانه برابر ۰/۶ به‌دست می‌آید که نشان‌دهنده غیر قابل ملاحظه بودن این پارامتر در منطقه است). میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برابر ۱۷۷۵/۱ میلی‌متر است، که توسط نرم افزار CropWat محاسبه شده است. مهمترین و نزدیک‌ترین منبع آب منطقه طرح، رودخانه زهره است که از کیفیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد. در حدود ۷۵ درصد از سطح زیرکشت محصولات مختلف زراعی در حال حاضر به کشت گندم و جو اختصاص دارد.

بر اساس، بررسی‌ها و بازدیدهای صورت پذیرفته، گیاهان زیر در منطقه قابل کشت می‌باشند :

- گروه غلات : گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای
- گروه گیاهان روغنی : کلزا، کنجد، آفتابگردان، سویا
- گروه گیاهان علوفه‌ای : شبدر برسیم، یونجه، سورگوم، ذرت علوفه‌ای
- گروه حبوبات : ماش، لوبیا، باقلا، عدس
- گروه گیاهان قندی : چغندرقند
- گروه سبزی و صیفی : کاهو، کلم، هویج، هندوانه، خیار، گوجه‌فرنگی، سیب زمینی، بادمجان، پیاز

نرم افزار مورد استفاده برای طراحی الگوی کشت در این تحقیق با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و محدودیت‌های موجود در منطقه، نرم افزار لینگو بود. داده‌های ورودی به نرم افزار شامل تاریخ‌های کاشت و برداشت گیاهان زراعی، تبخیر و تعرق گیاهی، باران ماهانه، ضریب بارش موثر، کیفیت آب منطقه طرح، هزینه‌های تولید، عملکرد و قیمت فروش محصولات، آب‌بها، حد آستانه افت محصول، ضریب کاهش محصول، عمق ریشه، رطوبت سهل الوصول، راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب آبیاری بودند که همگی در نرم افزار اکسل وارد شده و به عنوان داده ورودی برای نرم افزار لینگو تعریف شدند. محاسبات نیازآبی گیاهان بر اساس نشریات استانداردی مانند فائو ۵۶ و نشریه شماره ۲۱ سازمان حفاظت خاک آمریکا انجام پذیرفت. شکلهای ۱ تا ۳ روند محاسبه طول دوره رشد و برآورد نیازآبی تعریف شده برای مدل طراحی شده را نشان می‌دهد. بر اساس شکل شماره ۱، وضعیت استقرار گیاهان در روزهای سال تعیین شده و این قابلیت ایجاد می‌گردد که مقدار آب مورد نیاز گیاهان الگوی کشت و فشردگی کشت (کل مساحت زیرکشت گیاهان زراعی در فصول پاییز و تابستان بر حسب درصد) در هر روز سال محاسبه و کنترل گردد. بر اساس شکل شماره ۲، ÷س از محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی، با تعریف یک سلسله روابط ریاضی، ابتدا مقدار ضریب گیاهی را با توجه به تأثیر عوامل محیطی نظیر مدیریت آبیاری (دور آبیاری) و شرایط اقلیمی (باد و رطوبت) اصلاح نموده و از حاصل‌ضرب آن در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق ماهانه هر گیاه به دست می‌آید. می‌توان با کسر میزان باران مؤثر از تبخیر و تعرق گیاهی میزان آب خالص مورد نیاز گیاه را به دست آورد، ولی با توجه به شوری آب و خاک منطقه طرح و نیاز به آبشویی برای دستیابی به عملکرد واقعی گیاهان، آب خالص با تعریف برنامه دیگری برای نرم‌افزار که روند آن در شکل ۳ نشان داده شده، محاسبه گردید. این بخش از برنامه سه زیربخش را شامل می‌شود که با تعریف یکسری روابط در زیربخش‌های اول و دوم، با توجه به نوع محصول، حد آستانه تحمل به شوری گیاه، میزان کاهش محصول به ازای هر واحد شوری، درصد افت قابل پذیرش، کیفیت آب منطقه طرح و مقدار باران مؤثر با احتمال ۸۰ درصد، مقادیر ماهیانه آبشویی لازم برای افزودن به حجم آب خالص مورد نیاز گیاه، محاسبه می‌شود. بنابراین در این دو بخش، مقدار باران مؤثر در آبشویی، از کل حجم آب لازم برای آبشویی کاسته می‌شود. ولی نکته قابل توجه آنست که علاوه بر بارندگی بخشی از آبشویی توسط تلفات عمقی ناشی از عدم

توزیع یکنواخت آب آبیاری در مزرعه و رواناب تأمین می‌شود، پس زیربخش سومی برای این بخش از محاسبات تعریف شد که بر اساس آن، میزان تلفات نفوذ عمقی ناشی از غیریکنواختی آب آبیاری در مزرعه مشخص می‌شود. چنانچه میزان تلفات آب در اثر نفوذ عمقی به حدی باشد که نیاز آبشویی گیاه را برآورده کند، دیگر لازم نیست مقداری تحت عنوان حجم آب لازم برای آبشویی، به کل آب مورد نیاز گیاه افزوده شود و میزان آبشویی عملاً برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. در غیر این‌صورت حجم آب لازم، از اضافه نمودن تفاوت بین میزان تلفات نفوذ عمقی و میزان آبشویی لازم، به میزان آب خالص (خروجی مرحله دوم) به دست می‌آید. از تأثیر راندمان کل منطقه طرح (که حاصل‌ضرب راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد می‌باشد) در حجم خالص آب ماهانه، حجم ناخالص آب مورد نیاز هر گیاه به صورت ماهانه به دست می‌آید. در ادامه این بخش با تاثیر درصد کشت هر گیاه در حجم آب ناخالص مورد نیاز همان گیاه، کل آب مورد نیاز الگوی کشت به صورت ماهانه و سالانه قابل محاسبه است.

از آنجا که در طراحی شبکه‌های آبیاری، ظرفیت کانال‌ها از حاصل‌ضرب هیدرومدول شبکه در کل سطح زیرکشت به دست می‌آید مطابق شکل شماره ۴، زیربرنامه دیگری برای مدل تعریف شد که با توجه به میزان تبخیر و تعرق گیاهی در منطقه، ضرایب سهل‌الوصول استاندارد ارایه شده در نشریه شماره ۵۶ سازمان خواربار جهانی را برای تک تک گیاهان منطقه اصلاح می‌کند. سپس با توجه به میزان ضریب آب سهل‌الوصول اصلاح شده، عمق آب قابل دسترس در خاک (متاثر از بافت خاک) و عمق ریشه گیاهان، ابتدا حداکثر عمق خالص آبیاری در هرنوبت و سپس هیدرومدول تک تک گیاهان الگو را محاسبه می‌نماید و در نهایت با تاثیر درصدکشت گیاهان، هیدرومدول الگوی کشت پیشنهادی برای شبکه تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان، کانال‌ها با هیدرومدول برابر با یک لیتر درثانیه درهکتار اجرا شده‌اند، به این دلیل در برنامه تعریف شده برای بهینه‌سازی طرح مورد بررسی، هیدرومدول برابر یک به‌عنوان یک عامل محدودکننده الگوی کشت به مدل معرفی شد.

در انتهای برنامه، با توجه به میزان هزینه‌های تولید، قیمت فروش محصولات و عملکرد آنها، میزان سود اقتصادی حاصل از اجرای الگوی کشت مطابق شکل شماره ۵ محاسبه شد. از آنجا که در پروژه‌های اجرایی، سود اقتصادی حداکثر، عامل تعیین کننده می‌باشد، بنابراین تابع هدف تعریف شده برای این مدل، حداکثر نمودن سود اقتصادی بوده است.

پس از محاسبات فوق و با توجه به تابع هدف، دو دسته سناریوی اصلی و فرعی برای مدل فوق به صورت پیش‌فرض، در نظر گرفته شد :

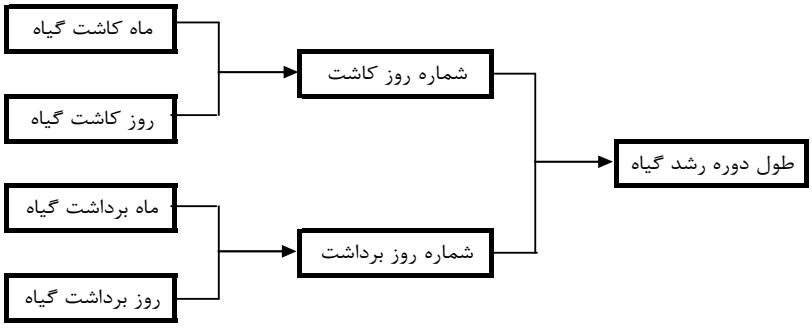
۱- سناریوی اصلی بر اساس محدودیت در حجم آب قابل تخصیص شامل :

حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۸۰ درصد احتمال تأمین آب (۱۱۴۰۰ مترمکعب در هکتار)

- حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۷۰ درصد احتمال تأمین آب (۱۳۸۷۰ مترمکعب در هکتار)

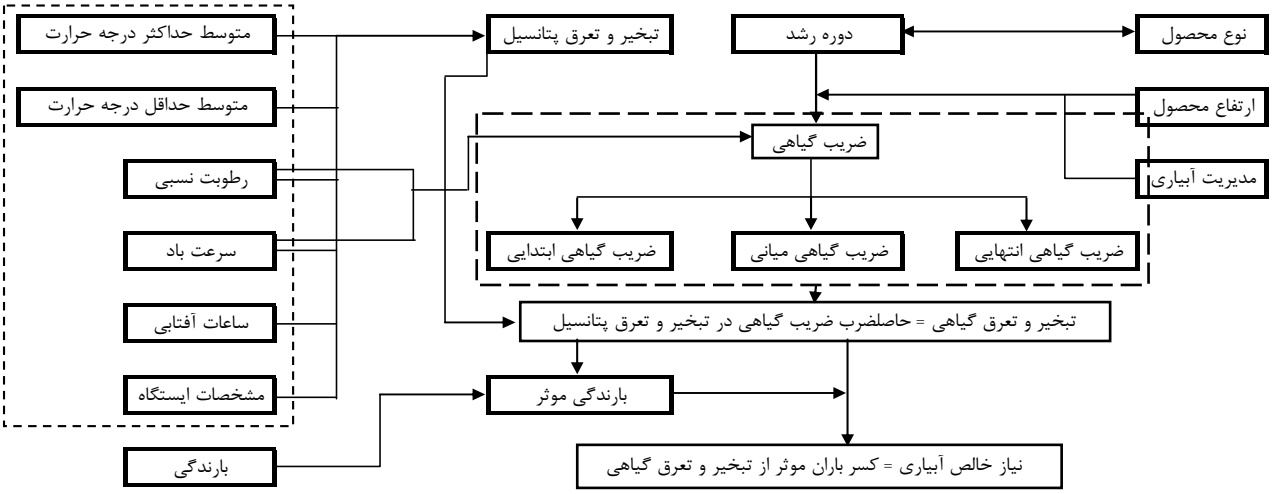
حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۵۰ درصد احتمال تأمین آب (۱۸۹۲۵ مترمکعب در هکتار)

- حداقل حجم آب پیش‌فرض با توجه به محدودیت‌های تناوب زراعی(۹۴۶۸ مترمکعب در هکتار)

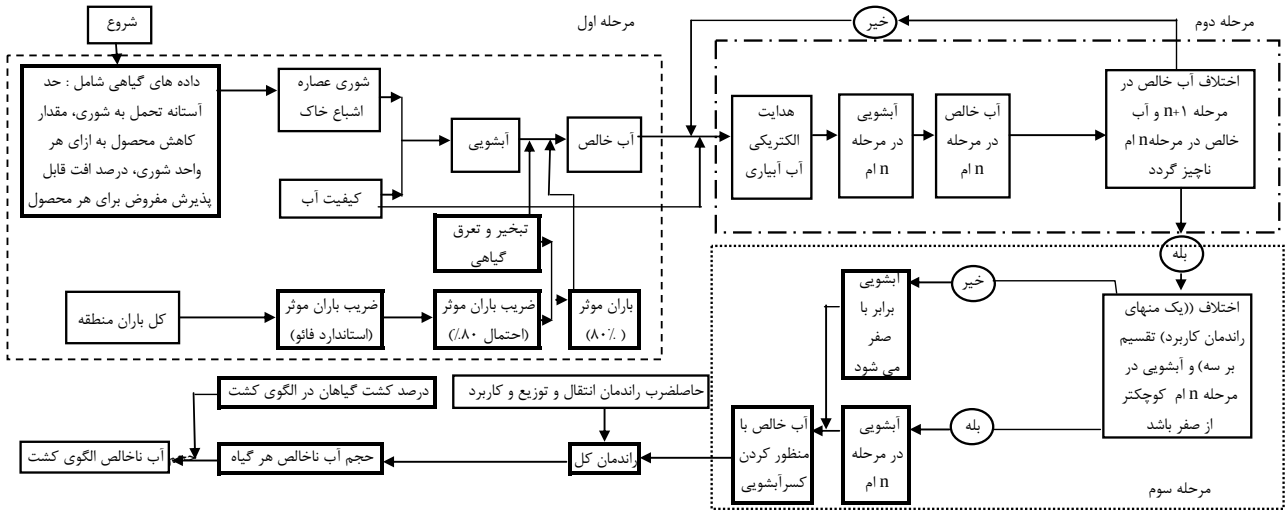


شکل ۱ - روند محاسبه طول دوره رشد گیاهان زراعی در برنامه بهینه‌سازی الگوی کشت

محاسبات تبخیر و تعرق پتانسیل توسط نرم‌افزار Cropwat انجام می‌شود.



شکل ۲ - روند محاسبه نیازآبی خالص گیاهان در برنامه بهینه‌سازی الگوی کشت



شکل ۳ - روند کامل محاسبات نیازآبی در برنامه بهینه‌سازی الگوی کشت

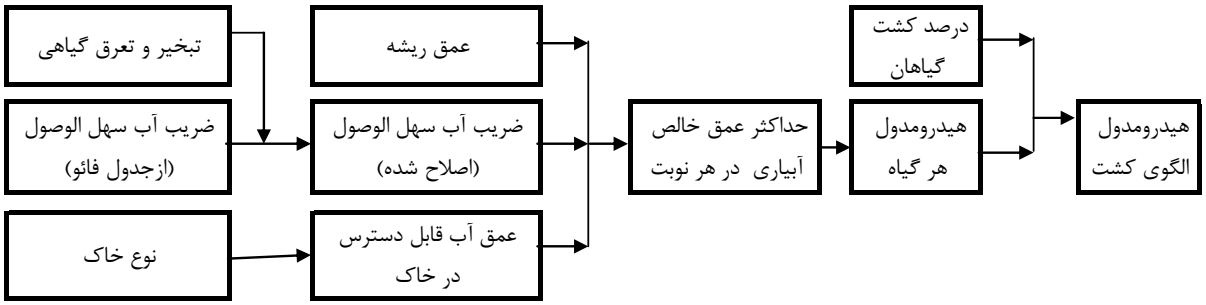
۲- سناریوی فرعی بر اساس محدودیت فشردگی کشت شامل :

- سناریوی فرعی بدون محدودیت حد بالای فشردگی کشت برابر ۱۴۰ درصد
- سناریوی فرعی با محدودیت حد بالای فشردگی کشت برابر ۱۴۰ درصد

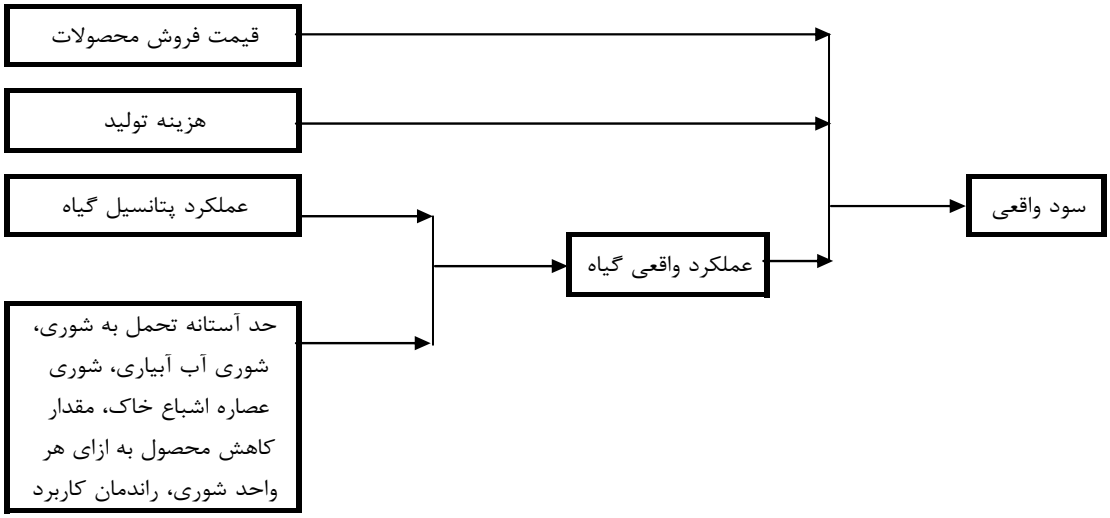
سپس تحلیل حساسیت مدل بر اساس قیمت آب در حالت‌های زیر انجام شد :

- آب بها بر اساس ۳ درصد محصول
- آب بها بر اساس نرخ تورم ۶ درصد (۶۵۳ ریال)
- آب بها بر اساس نرخ تورم ۷ درصد (۷۲۴ ریال)
- آب بها بر اساس نرخ تورم ۱۰ درصد (۹۵۰ ریال)
- آب بها بر اساس نرخ تورم ۱۲ درصد (۱۱۱۳ ریال)

پارامترهای محدودکننده طراحی در این تحقیق عبارت بودند از فراهمی آب، فشردگی کشت سالانه، قیمت آب، ظرفیت کانال‌های آبیاری و تناوب زراعی. خروجی سیستم نیز الگوی کشت بهینه اقتصادی (با توجه به پارامترهای محدودکننده ورودی به مدل)



شکل ۴ - نحوه برآورد هیدرومدول، که برای نرم‌افزار در راستای بهینه سازی طراحی تعریف شده است.



شکل ۵ - روند برآورد اقتصادی الگوی کشت، در برنامه بهینه‌سازی که برای نرم افزار تعریف شده است

بود. لازم به ذکر است که به کمک برنامه ریاضی تعریف شده برای مدل، این قابلیت ایجاد شده که پس از ورود داده‌های محدود کننده به زبان ریاضی برای مدل (مانند حجم آب در دسترس، هیدرومدول طراحی، محدودیت‌های تناوبی که در اجرای الگوی کشت وجود دارند)، اطلاعات تحلیل شود و الگوی کشتی که حداکثر درآمد را داشته باشد، در بخش خروجی‌های نرم‌افزار ارائه گردد.

نتایج و بحث

سناریوی اول : بررسی نتایج بهینه سازی در شرایط تأمین آب با احتمال ۸۰ درصد

نتایج بهینه‌سازی شده توسط برنامه‌ریزی خطی در شرایط تأمین آب با احتمال ۸۰ درصد در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول مشخص می‌گردد که در هر دو حالت بدون محدودیت فشردگی کشت و با محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ درصد، در تمام قیمت‌های آب بها، شرایط مشابهی حاصل شده است. البته در شرایط محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول و نرخ بهره ۶ درصد، به دلیل محدودیت ایجاد شده توسط قیمت آب، حداکثر فشردگی کشت ۱۳۰/۹ درصد خواهد بود. چنانچه محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول و نرخ بهره ۶ درصد منظور گردد، از حداکثر حجم آب تخصیص یافته استفاده خواهد شد. از آنجا که با افزایش نرخ آب‌بها، فشردگی کشت، عملکرد و سودآوری کشاورز کاهش می‌یابد، در شرایط محاسبه آب‌بها بر اساس نرخ بهره ۱۲ درصد امکان بهینه‌سازی به کمک برنامه فوق نمی‌باشد. در این سناریو و مطابق با شکل ۶، با افزایش نرخ آب بها از ۳ درصد به آب بها بر اساس نرخ بهره ۶ درصد، کل سود کشاورز از ۱۰۳۱۸۶۵۷ ریال در هکتار به ۳۳۳۴۹۴۲ ریال در هکتار کاهش می‌یابد (معادل ۶۷/۷

درصد کاهش). با افزایش نرخ آب بها از ۶ درصد به ۱۰ درصد نیز کل سود کشاورز از ۳۳۳۴۹۴۲ ریال در هکتار به ۱۷۹۶۳۳ ریال در هکتار کاهش می‌یابد (معادل ۹۴/۶ درصد کاهش). با توجه به این که در شرایط بدون محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ درصد، هیدرومدول و فشردگی کشت به حداکثر مقدار پیش‌فرض نرسیده‌اند، بنابراین قیمت آب عامل محدودکننده فشردگی کشت در تمام موارد خواهد بود.

سناریوی دوم : بررسی نتایج بهینه سازی در شرایط تأمین آب با احتمال ۷۰ درصد

نتایج بهینه‌سازی شده توسط برنامه‌ریزی خطی در شرایط تأمین آب با احتمال ۷۰ درصد که در جدول ۱ ارائه شده است نشان می‌دهد که با پیش فرض عدم محدودیت در فشردگی کشت و محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول، به دلیل وجود محدودیت ظرفیت کانال‌های آبیاری شبکه هندیجان، امکان افزایش فشردگی کشت به میزان بیش از ۱۴۲/۹ درصد وجود نخواهد داشت. همچنین در شرایط عدم محدودیت فشردگی کشت و محاسبه آب بها بر اساس نرخ بهره ۶ درصد نیز، محدودیت ظرفیت کانال‌های آبیاری در این شبکه آبیاری، امکان افزایش فشردگی کشت به میزان بیش از ۱۴۰/۶ درصد را فراهم نمی‌کند. اما در صورت اعمال محدودیت در فشردگی کشت، در دو حالت محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول و نرخ بهره ۶ درصد (با توجه به محدودیتی که فشردگی کشت پیش فرض تعیین شده ایجاد می‌نماید)، حداکثر فشردگی کشت ۱۴۰ درصد به دست می‌آید. در هر دو حالت بدون محدودیت و با محدودیت فشردگی کشت، با محاسبه آب بها بر اساس نرخ بهره‌های ۷ و ۱۰ درصد، به دلیل عامل محدود کننده بودن قیمت آب، به ترتیب فشردگی کشت ۱۳۰ و ۱۲۵ درصد حاصل می‌گردد. اما با افزایش قیمت آب، در هر دو حالت بدون محدودیت و با محدودیت فشردگی کشت، حجم آب مورد نیاز، کل درآمد، میانگین درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی و فشردگی کشت کاهش می‌یابد (به طوری‌که باز هم در محاسبه آب‌بها بر اساس نرخ بهره ۱۲ درصد برنامه قابل اجرا نخواهد بود). همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، سود کشاورز در شرایط بدون اعمال محدودیت فشردگی کشت، با افزایش آب بها از ۳ درصد محصول به آب بها با نرخ بهره ۶ درصد، از ۱۱۸۱۵۳۲۱ ریال در هکتار به ۳۳۵۵۳۱۲ ریال در هکتار کاهش می‌یابد (معادل ۷۱/۶ درصد کاهش). همچنین افزایش آب بها از نرخ بهره ۶ درصد به ۱۰ درصد کاهشی معادل ۹۴/۶ درصد را در درآمد کشاورز به دنبال دارد. در شرایط اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ درصد نیز روندی کاهشی مشابه با شرایط بدون اعمال محدودیت فشردگی کشت مشاهده گردید.

سناریوی سوم : بررسی نتایج بهینه سازی در شرایط تأمین آب با احتمال ۵۰ درصد

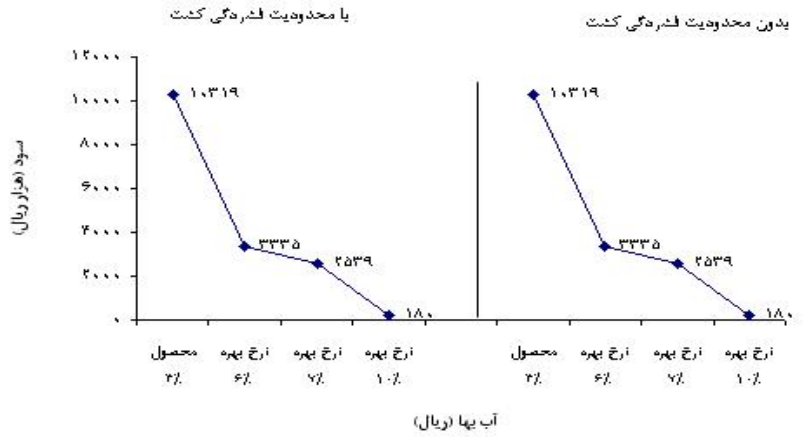
نتایج بهینه‌سازی شده توسط برنامه‌ریزی خطی در شرایط تأمین آب با احتمال ۵۰ درصد (جدول ۱) نشان می‌دهد که در این شرایط نیز جواب‌های بدست آمده از برنامه مشابه با شرایط ۷۰ درصد است، با این تفاوت که در شرایط بدون محدودیت فشردگی کشت، در محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول، فشردگی کشت تا ۱۵۶/۳ درصد (یعنی تا جایی که ظرفیت کانال‌های آبیاری اجازه می‌دهد) افزایش می‌یابد، که افزایش درآمد و میانگین درآمد خالص الگوی کشت را نسبت به همین میزان آب بها در تامین آب با احتمال ۵۰ درصد به دنبال دارد. آن چنان که در شکل ۸ نشان داده می‌شود، بیشترین سود کشاورز در محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول معادل با ۱۲۳۳۴۶۸۲ ریال در هکتار بدست آمد که با افزایش قیمت آب به نرخ بهره ۶ درصد، سود کشاورز به ۳۳۵۵۳۱۲ ریال در هکتار می‌رسد (معادل ۷۲/۸ درصد کاهش) و با افزایش نرخ بهره از ۶ درصد به ۱۰ درصد، درآمد کشاورز معادل ۹۴/۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد که در شرایط با محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ درصد نیز، با افزایش قیمت آب همین روند کاهشی مشاهده می‌شود.

سناریوی چهارم : بررسی نتایج بهینه سازی در حداقل آب پیش فرض

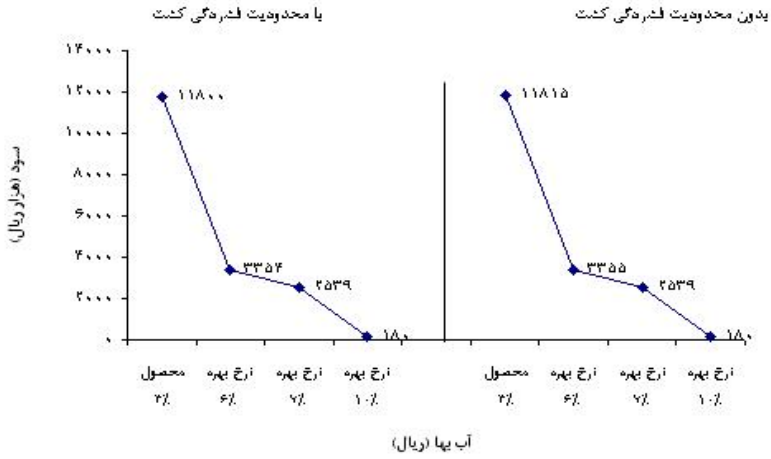
جدول ۱ نتایج بهینه‌سازی شده توسط برنامه‌ریزی خطی در شرایط حداقل آب پیش فرض را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، در تمام قیمت‌های آب‌بها، نتایج بهینه‌سازی در دو حالت بدون محدودیت و با محدودیت فشردگی کشت، به دلیل محدودیت ایجاد شده توسط حجم آب و تناوب زراعی مفروض، یکسان بود. البته با افزایش قیمت آب‌بها، کل درآمد و میانگین درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی کاهش می‌یابد.

جدول ۱ - نتایج بهینه‌سازی مدل طراحی شده به کمک برنامه‌ریزی خطی در شرایط تأمین آب با احتمالات مختلف

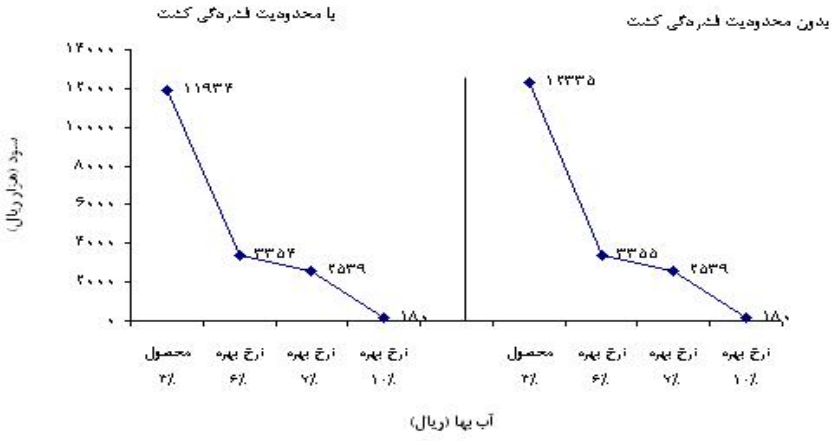
احتمال فراهمی آب	وضعیت محدودیت تراکمی	آب بها بر اساس	فشردگی کشت (درصد)	آب مورد نیاز الگوی کشت (مترمکعب در هکتار)	آب مورد نیاز الگوی کشت در ماه حداکثر مصرف (مترمکعب آب مصرفی در هکتار)	عملکرد محصول به ازای هر واحد آب مصرفی (کیلوگرم ماده خشک در مترمکعب آب مصرفی)	سود خالص فروش محصولات به ازای هر واحد آب مصرفی (ریال در مترمکعب آب مصرفی)	حداکثر هیدرومدول
۸۰ درصد	بدون اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۳۰/۹	۱۱۴۰۰	۱۶۰۷	۲/۰۳	۱۶۱۱	۰/۷۳
		نرخ بهره ۶٪	۱۳۰/۹	۱۱۴۰۰	۱۶۰۷	۲/۰۳	۸۲۴	۰/۷۳
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
	با اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۳۰/۹	۱۱۴۰۰	۱۶۰۷	۲/۰۳	۱۶۱۱	۰/۷۳
		نرخ بهره ۶٪	۱۳۰/۹	۱۱۴۰۰	۱۶۰۷	۲/۰۳	۸۲۴	۰/۷۳
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
۷۰ درصد	بدون اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۴۲/۹	۱۳۸۷۱	۲۰۱۷	۲/۰۴	۱۵۶۱	۱
		نرخ بهره ۶٪	۱۴۰/۶	۱۳۲۹۲	۲۰۱۰	۲/۱۲	۸۲۵	۱
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
	با اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۴۰	۱۳۸۷۱	۱۹۸۱	۱/۹۶	۱۵۴۰	۰/۹۹
		نرخ بهره ۶٪	۱۴۰	۱۳۱۷۵	۱۹۷۷	۲/۱۱	۸۲۵	۰/۹۸
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
۵۰ درصد	بدون اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۵۶/۳	۱۵۲۰۲	۲۲۰۱	۲/۱۷	۱۵۷۳	۱
		نرخ بهره ۶٪	۱۴۰/۶	۱۳۲۹۲	۲۰۱۰	۲/۱۲	۸۲۵	۱
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
	با اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۴۰	۱۴۲۲۳	۲۱۶۲	۱/۹۹	۱۴۹۵	۱
		نرخ بهره ۶٪	۱۴۰	۱۳۱۷۵	۱۹۷۷	۲/۱۱	۸۲۵	۰/۹۸
		نرخ بهره ۷٪	۱۳۰	۱۰۶۷۱	۱۶۰۷	۲/۰۶	۷۲۸	۰/۶۶
		نرخ بهره ۱۰٪	۱۲۵	۱۰۲۰۱	۱۶۰۷	۱/۹۵	۴۴۰	۰/۶۶
حداقل آب پیش فرض(۹۴۶۸ مترمکعب درهکتار)	بدون اعمال محدودیت	۳٪ محصول	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۱۱۳۳	۰/۶۳
		نرخ بهره ۶٪	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۴۵۱	۰/۶۳
		نرخ بهره ۷٪	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۳۷۲	۰/۶۳
		نرخ بهره ۱۰٪	–	–	–	–	–	–
	با اعمال محدودیت فشردگی کشت ۱۴۰ ٪	۳٪ محصول	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۱۱۳۳	۰/۶۳
		نرخ بهره ۶٪	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۴۵۱	۰/۶۳
		نرخ بهره ۷٪	۱۱۲/۵	۹۴۶۸	۱۵۵۶	۱/۵	۳۷۲	۰/۶۳
		نرخ بهره ۱۰٪	–	–	–	–	–	–



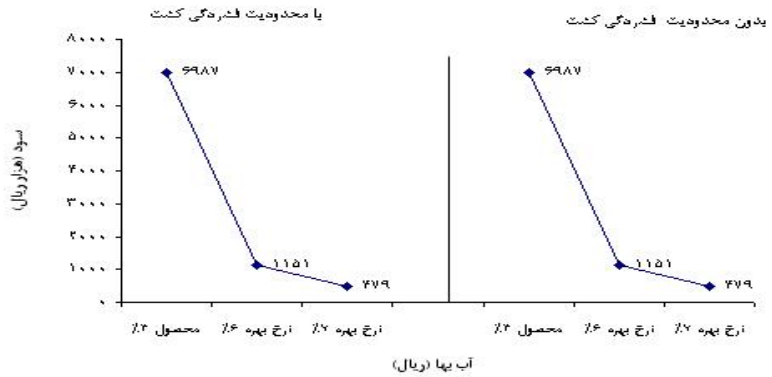
شکل ۶ - مقایسه درآمد الگوهای کشت، بر اساس میزان آب بها مبتنی بر نرخ بهره، در حجم آب قابل تأمین با احتمال ۸۰ درصد



شکل ۷ - مقایسه درآمد الگوهای کشت، بر اساس میزان آب بها مبتنی بر نرخ بهره، در حجم آب قابل تأمین با احتمال ۷۰ درصد



شکل ۸ - مقایسه درآمد الگوهای کشت، بر اساس میزان آب بها مبتنی بر نرخ بهره، در حجم آب قابل تأمین با احتمال ۵۰ درصد



شکل ۹ - مقایسه درآمد الگوهای کشت، بر اساس میزان آب بها مبتنی بر نرخ بهره، در حداقل آب پیش فرض

به طوری‌که مدل در حالت‌های محاسبه آب بها بر اساس نرخ بهره‌های ۱۰ و ۱۲ درصد، به دلیل عدم سوددهی، اجرا نمی‌شود. برای نمونه در این سناریو با افزایش قیمت آب، یعنی محاسبه آب بها بر اساس ۳ درصد محصول نسبت به آب بها بر اساس نرخ بهره ۶ درصد، سود کشاورز از ۶۹۸۶۶۷۰ ریال در هکتار به ۱۱۵۱۱۶۹ ریال در هکتار کاهش می‌یابد (معادل ۸۳/۵ درصد کاهش) و با تغییر قیمت آب بها از نرخ بهره ۶ درصد به نرخ بهره ۷ درصد، سود کشاورز از ۱۱۵۱۱۶۹ ریال در هکتار به ۴۷۸۹۴۹ ریال در هکتار یعنی معادل ۵۸/۴ درصد کاهش می‌یابد.

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که :

۱- در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، روش‌های رایج ارائه الگوی کشت، بطور کامل و دقیق، روش مناسبی نبوده و استفاده از مدل‌های جامع ضروری است.

۲- فشردگی کشت با توجه به مقادیر آب قابل دسترس، متفاوت خواهد بود. بنابراین با استفاده از روش‌های پیش‌بینی فراهمی آب در دسترس در حوضه آبریز، امکان طراحی الگوی کشت سالانه وجود دارد و این الگوی کشت، به خصوص برای نیمه دوم سال زراعی (که تقریباً وضعیت منابع آب روشن خواهد بود)، تحت تأثیر فراهمی آب می‌باشد. البته بایستی تغییر قیمت آب و محصولات و هزینه نهاده‌ها را نیز طی سال‌های طراحی در الگوی کشت مد نظر قرار داد.

۳- از جمله قابلیت‌های مدل پیشنهادی، باید به حذف محصولات حساس به شوری (به دلیل عملکرد پایین در اثر کیفیت آب منطقه و در نتیجه سود خالص کم و یا مصرف آب بالا به دلیل حجم زیاد آب لازم جهت آبشویی) اشاره نمود. استثناء در این شرایط درصدی است که به دلیل در نظر گرفتن اصول علمی تناوب زراعی، به عنوان حداقل سطح زیرکشت گیاهان خاص، جهت الگوی پیشنهادی تعریف نموده باشیم.

۴- قیمت آب می‌تواند عامل مهمی در تعیین نوع گیاهان انتخابی الگوی کشت، فشردگی کشت و درآمد کشاورز باشد، ازاین‌رو در راستای اهمیت توجه به منابع آب در آینده، بهتر است تحلیل‌های مناسبی در خصوص تعیین قیمت آب صورت پذیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های دفتر تحقیقات و استانداردهای آب سازمان آب و برق خوزستان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منابع

۱- احمدی، ع. ۱۳۸۳. برنامه‌ریزی خطی (مدل‌سازی و کاربردها). انتشارات تولید دانش.

۲- اسدی، ه و غلامرضا سلطانی. ۱۳۷۹. بررسی حاشیه ایمنی و تعیین الگوی کشت بهینه فعالیتهای زراعی با بهره گیری از روش برنامه ریزی خطی، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال هشتم، شماره ۳۱، پائیز ۱۳۷۹

۳- بی‌نام. ۱۳۷۸. مطالعات مرحله اول طرح توسعه شبکه آبیاری و زهکشی دشت هندیجان. جلد اول، مطالعات هواشناسی، مهندسین مشاور دزآب.

۴- بی‌نام. ۱۳۷۹. مطالعات مرحله اول طرح توسعه شبکه آبیاری و زهکشی دشت هندیجان. جلد چهارم، مطالعات طرح توسعه کشاورزی، دامپروری

و اقتصادی، مهندسین مشاور دزآب.
۵- بی‌نام. ۱۳۷۹. مطالعات مرحله اول طرح توسعه شبکه آبیاری و زهکشی دشت هندیجان. جلد پنجم، گزارش توسعه آبیاری و زهکشی، مهندسین مشاور دزآب.
۶- ترکمانی، ج و علی کلایی. ۱۳۷۸. تاثیر ریسک بر الگوی بهینه بهره‌برداران کشاورزی. مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی توام با ریسک موتاد و تارگت موتاد. فصل‌نامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هفتم، شماره ۲۵.
۷- ترکمانی، ج و ع، عبدشاهی. ۱۳۷۹. استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی چند دوره ای در تعیین الگوی بهینه کشاورزان. فصلنامه علمی برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی وزارت کشور.
۸- جعفری، ع . ۱۳۷۶. تحلیل اقتصادی سرمایه‌گذاری در تکنولوژی آب اندوز، مطالعه موردی در استان همدان. پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی شیراز.
۹- زنجیرانی فراهانی، ن، عسگری و محمد مدرس یزدی. ۱۳۸۰. تحقیق در عملیات برنامه‌ریزی خطی. انتشارات ترمه.
۱۰- سالیانی، ط. ۱۳۷۵. طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعه منابع آب (با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار Excel). فصل‌نامه اقتصاد کشاورزی و توسعه. سال چهارم، شماره ۱۵.
۱۱- سلطانی، غ، م، زیبایی و احمد علی کهخا. ۱۳۷۸. کاربرد برنامه ریزی ریاضی در کشاورزی. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۱۲- شهیدی پور، م. ۱۳۸۴. بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۳- عبدیان، مسعود .۱۳۷۲. طراحی الگوی کشت بهینه در یک روستای شهرستان ورامین، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی.
۱۴- غلامی، م. ۱۳۸۲. تعیین تناوب زراعی بهینه با استفاده از برنامه ریزی خطی (مطالعه موردی مزرعه ۱۱۰ هکتاری در شهرستان بجنورد). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال دهم، شماره اول، بهار ۱۳۸۲
۱۵- فروتن، ر. ۱۳۸۱. برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل اقتصادی در کشاورزی.
۱۶- کوپاهی، م. ۱۳۷۵. تحلیل اقتصادی کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.
۱۷- کوپاهی، م. ۱۳۶۵. کاربرد برنامه‌ریزی خطی در کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.
۱۸- کیمیای خلیل آباد، امیر. ۱۳۷۸. تخصیص بهینه آب کشاورزی رودخانه سیستان (مطالعه موردی منطقه شیب آب)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده کشاورزی
19- Matanga, G.B. and M.A, Marino., 1979. Irrigation Planning : Cropping Pattern. Water Resources Research,. 15: 672-678.
20- Cunningham, K. and Schrage. L., 1988. The Lingo Modeling Language. University of Chicago.
21- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smit., 1998. Crop Evapotranspiration Irrig. Drain. Paper 56, FAO, Rome.
22- Zarea Faiz abadi, A., and A. Koocheki, 1997. Evaluation of conventional and ecological cropping systems based on wheat in rotation with corn and sugar beet. Proceeding of international conference on ecological agriculture towards sustainable Development, November, 15-17, 1997, Chandigar. India