

مقاله پژوهشی

تعیین سطح بهینه کشت گیاهان زراعی عمده در سطوح مختلف کم آبیاری در شبکه آبیاری و

زهکشی قزوین

فهیمة شیرشاهی^۱، حسین بابازاده^{۲*}، نیازعلی ابراهیمی پاک^۳، محمدرضا خالدیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۳۰

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۳- دانشیار بخش آبیاری موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h_babazadeh@hotmail.com

چکیده

طراحی و اجرای الگوی کشت مناسب به منظور کنترل هر چه بیشتر عوامل محدود کننده و بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضروری است. در این مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت در شبکه آبیاری و زهکشی قزوین در پنج سطح آبیاری شامل I_1 ، I_2 ، I_3 ، I_4 و I_5 (به ترتیب تخصیص آب ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه) و سه سطح مختلف کشت شامل S_1 ، S_2 و S_3 (به ترتیب برابر سطح کشت موجود، ۱۰ درصد افزایش سطح زیر کشت و ۱۰ درصد کاهش سطح زیر کشت نسبت به شرایط موجود) انجام گرفت. مقادیر سطح زیر کشت و میزان آب تخصیصی برای گیاهان با استفاده از مدل برنامه-ریزی خطی بهینه شد و تابع هدف، حداکثرسازی سود بود. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که در حالت S_2 بیشترین سطح مربوط به گیاهان استراتژیک و در حالت S_3 بیشترین سطح به گیاهان با سود بالاتر اختصاص یافت. در حالت S_3I_1 حداکثر درآمد کل (۳۱۵ میلیون ریال) در میان تمامی سناریوها را داشت. اختصاص آب در سطح I_2 ضمن حفظ درآمد، بهره‌وری اقتصادی را در سطوح مختلف به طور متوسط ۰/۸۲ میلیون ریال در مترمکعب آب افزایش داده است. لذا می‌توان با مصرف آب کم‌تر و اختصاص سطح زیر کشت کم‌تر درآمد بیشتری داشت. همچنین تخصیص آب I_4 و I_5 با توجه به کاهش درآمد و عملکرد توصیه نمی‌شود. مدل در شرایط کم آبی سطح زیر کشت گیاهان آب‌بر مثل گوجه، چغندر و یونجه را محدود کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهره‌وری اقتصادی، تحلیل سلسله مراتبی، تخصیص آب، چغندر قند

Determining Optimum Major Crops Cultivation Areas in Different Levels of Deficit Irrigation in Qazvin Irrigation and Drainage District

F Shirshahi¹, H Babazadeh^{2*}, N A Ebrahimi Pak³, M R Khaledian⁴

Received: January 17, 2019

Accepted: April 18, 2020

¹Ph.D. Student, Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Assoc. Prof., Department of Agricultural Systems engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³Assoc. Prof., Department of Irrigation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization

⁴Assoc. Prof. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, and Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, Iran

*Corresponding Author, Email: H_babazadeh@hotmail.com

Abstract

Designing and implementing suitable cropping patterns are necessary to control the limiting factors and optimal utilization of available water resources. In the present study, cropping pattern optimization in Qazvin irrigation and drainage district has conducted considering the five levels of irrigation including I1, I2, I3, I4, and I5 (representing water allocation of 100, 90, 80, 70, and 65 percents of the crop evapotranspiration) and three different levels of cultivated areas including S1, S2, and S3 (representing, current cultivated area, 10 percents increase and 10 percents decrease in the crop cultivated area compared to the current conditions). Crops cultivation areas and water allocation were optimized using a linear programming method and the objective function was to maximize the benefit. The results indicated that the model in condition S2 allocated the most cultivation area to strategic crops and in condition S3 allocated the most cultivation area to economic crops. The condition S3I1 had the highest income (315 million rials) among the all scenarios. Water allocation alternative named I2, increased the economic productivity by average 0.82 million rials per cubic meter of water at all the cultivation area alternatives while maintaining income. Therefore, it was possible to allocate less cultivation area and a lower amount of water while earning more income. Also, water allocation alternatives named I4 and I5 were not recommended due to reduced income and yield. Model had a limited cultivation area of water-consuming crops such as tomato, sugar beet, and the alfalfa under water shortage condition.

Keywords: Analytic hierarchy process, productivity, Linear programming, Sugar beet, Economic, Water allocation

مقدمه

به اهدافی چون سود بیشتر، ذخیره‌سازی منابع آب و تأمین امنیت غذایی تعیین نمود چه سطحی کشت و چه میزان آب به چه گیاهانی تخصیص داده شود (نیو و همکاران ۲۰۱۶، زنگ و همکاران ۲۰۱۰). میزان کشت گیاهان کشاورزی در یک منطقه باید با توجه به منابع موجود، قیمت گیاهان، هزینه‌های تولید، عملکرد محصول، نیاز کشور و سیاست‌های درست انجام شود و تصمیم‌گیری در انتخاب گیاهان زراعی یا باغی مناطق مختلف براساس زیرساخت‌های موجود،

با توجه به آمار جهانی بیشترین مصرف آب در کشورها در بخش کشاورزی است (کنگ و همکاران ۲۰۱۶، منکاسو و همکاران ۲۰۱۵، بی نام ۲۰۱۲). آب مصرف شده در بخش کشاورزی امنیت غذایی کشورها را تضمین می‌کند (دای و لی ۲۰۱۳). بنابراین استفاده بهینه از منابع آب و حفظ ذخایر موجود آب کشاورزی ضروری است (گرگ و دهیچ ۲۰۱۴). الگوی کشت نقش کلیدی در مدیریت آب دارد و می‌توان به منظور رسیدن

مسائل اجتماعی - اقتصادی و سطح تکنولوژی با حفظ منابع پایه تولید در جهت تامین نیازهای اساسی کشور باشد. مدل‌های بهینه‌سازی به‌طور گسترده در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌های کشاورزی به‌منظور دستیابی به اهداف فوق‌الذکر مورد پذیرش واقع شده‌اند (مصلح و همکاران، ۲۰۱۷). اوساما و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل بهینه‌سازی خطی به‌منظور مدیریت منابع آب و بهینه‌سازی الگوی کشت در یونان توسعه دادند. این محققین عوامل موثر بر تصمیم‌گیری میان سناریوها و گزینه‌های مختلف را استراتژیک بودن گیاه و یا اقتصادی بودن کاشت گیاه گزارش کردند. سیدمحمدی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی روش تاپسیس و فرایند سلسله مراتبی را در تحقیق مدیریت پایدار و استفاده مناسب خاک مهم شمرده و برای تعیین اولویت کشت گندم، جو و ذرت در ۱۲۰۰۰ هکتار از دشت مغان از روش‌های مذکور استفاده کرده‌اند. چانگ فنگ و همکاران (۲۰۱۹) یک روش برنامه‌ریزی چند منظوره را توسعه داده‌اند. مدل توسعه یافته به یک مطالعه موردی در چین اعمال شده است. حداکثر سود خالص، حداکثر بهره‌وری از آب کشاورزی و حداقل آبیاری به‌عنوان اهداف برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده بودند. نتایج حاکی از آن است که محصولات مختلف با ویژگی‌های یکسان ولی عملکرد بالاتر، هزینه کمتر یا سهمیه آبیاری کمتر نسبت به سایر محصولات زراعی دارای ارجحیت بالاتری هستند. همچنین این محققین گزارش کردند که تصمیم گیرنده‌گان می‌توانند در مورد استفاده بهینه از آب آبیاری و منابع اراضی تحت چندین هدف و عدم قطعیت براساس نتایج به‌دست آمده، تصمیمات منطقی بگیرند.

مدلی به نام PBREOP در شمال غربی چین توسط جایانگ و همکاران (۲۰۱۶) به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت و تخصیص آب توسعه داده شد. نتایج بهینه‌سازی با این مدل منجر به افزایش ۱۵ درصدی سود بهره‌برداری از کشاورزی منطقه شد. همچنین تحلیل

سناریوها در پنج سطح تخصیص آب نشان داد که می‌توان بدون افت سود، میزان تخصیص آب را ۲۳ درصد کاهش داد. در حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تغییرات اقلیم و تقاضای آب محیط زیست انجام شده است. در این تحقیق سه سناریو مورد مقایسه قرار گرفته است: بهینه‌سازی با آبیاری کامل، بهینه‌سازی با کم‌آبیاری و کم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی. نتایج نشان داده است که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص و افزایش کارایی مصرف آب، مؤثر می‌باشد (مشتاق و مقدسی ۲۰۱۱).

دشت قزوین در حدود چهار دهه گذشته در زمره پنج دشت حاصلخیز ایران به شمار می‌آید. کشاورزی در این دشت، در حالی که قرار بود به یکی از قطب‌های صنعتی کشور تبدیل شود، به شغل اصلی مردم ساکن در منطقه تبدیل شده است. درست به همین دلیل و در حالی که بخشی از آب‌های سطحی منطقه از طریق احداث سد طالقان برای تامین آب شرب تهران منتقل می‌شود، بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت قزوین بدان حد گسترش یافته است که مطابق گزارش‌های موجود بسیار فراتر از توان سیستم آبی موجود بوده و سفره‌های آب زیرزمینی دشت با سرعتی فزاینده به سمت تخریب غیرقابل بازگشت پیش می‌روند. در حال حاضر برداشت از آب زیرزمینی در تمامی بخش‌های مصرف در حدود ۱/۸ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود و این در حالی است که حد مجاز برداشت از ذخایر سفره‌های آبی استان قزوین ۸۸۰ میلیون مترمکعب ذکر شده است (شکوهی و همکاران ۲۰۱۴). برای حل بحران آب در دشت قزوین، مدیریت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی کشت لازم است (شکوهی ۲۰۱۲، رضانی اعتدالی و همکاران ۲۰۱۵).

شیردلی و دستاور (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل ریاضی تک‌هدفه اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی کشاورزی پایین دست سد بوئین زهرا نمودند. هدف مطالعه آن‌ها بهینه‌سازی درآمد

است. لذا مدلی که بتواند برنامه تخصیص آب را در محدودیت‌ها و شرایط حاکم در شبکه ارزیابی کند، از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. مدل‌های ریاضی و روش‌های برنامه‌ریزی قادر هستند تا برنامه‌ریزان و مدیران را در تصمیم‌گیری کمک نمایند. در مطالعات پیشین به بررسی کم‌آبیاری پرداخته‌شده اما به بررسی توأمان کم‌آبیاری و کاهش سطح زیر کشت و یا افزایش آن کمتر پرداخته شده است. هدف از انجام این پژوهش مدیریت الگوی کشت برای نیل به درآمد بیشتر با مصرف آب کمتر در دشت قزوین است.

مواد و روش‌ها

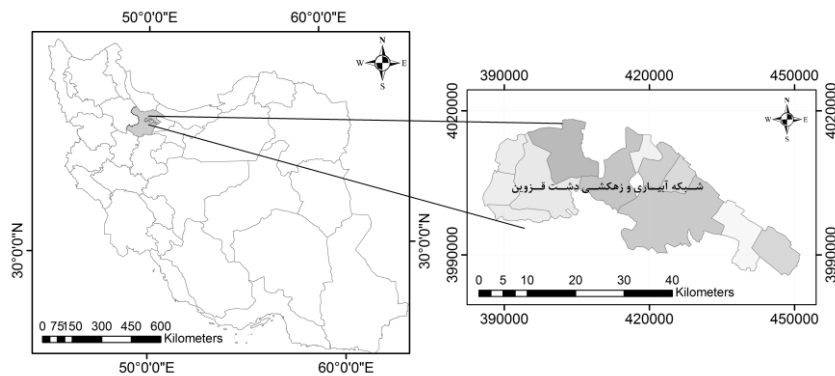
منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۰ کیلومتر مربع در حوزه‌ی مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکوهی ۲۰۱۲). دشت قزوین یکی از دشت‌های حوضه آبریز دریاچه نمک و بزرگ‌ترین دشت آن محسوب شده و بیشترین سطح زیرکشت انواع گیاهان را در میان دشت‌های این حوضه آبریز دارد (شکوهی و همکاران ۲۰۱۴). دشت قزوین به وسعت ۴۴۰ هزار هکتار در فلات مرکزی ایران قرار دارد، دارای اقلیمی نیمه‌خشک و تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است. یکی از رودهای مهم تامین کننده آب این دشت رودخانه طالقان است که سد طالقان روی آن بنا شده است. از اهداف اصلی احداث این سد می‌توان به تامین آب کشاورزی دشت قزوین، تامین آب شرب شهرهای تهران و کرج، تغذیه مصنوعی دشت قزوین و کنترل سیلاب‌های فصلی رودخانه طالقان اشاره کرد. شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در نقشه ایران نشان می‌دهد.

کشاورزان در این منطقه بود و برای تحلیل آن در آینده ۴ برنامه ۵ ساله را تدوین نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این بود که امکان افزایش قابل توجه درآمد کشاورزان در این منطقه وجود دارد. همچنین میزان افزایش درآمد کشاورزان در طی برنامه‌های ۵ ساله دوم تا چهارم به ترتیب ۲۰، ۴۴/۷ و ۲۵۰/۳ درصد نسبت به اولین دوره ۵ ساله خواهد بود. بعد از اتمام آخرین برنامه ۵ ساله میزان بهره‌وری آب از ۵۰ درصد تا ۷۷ درصد افزایش خواهد داشت.

یوسف‌دوست و همکاران (۲۰۱۶) برای مدیریت منابع آب سد طالقان و تعیین حداکثر سود حاصل از کشت محصول در دشت قزوین تحت شرایط متفاوت آب و هوایی در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی روی آوردند. از مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده در تحقیق تعیین الگوی کشت جدید است که هم سود کشاورز تامین شود و هم با صرفه‌جویی در مصرف آب بتوان آن‌را به سایر نیازها اختصاص داد. با توجه به نتایجی که ارائه شد با الگوی کشت جدید در شرایط آب و هوایی گرم و خشک، خشک، نرمال و مرطوب به ترتیب مقادیر ۲/۸۱، ۲/۶۲، ۱/۳۴ و ۱/۳۵ درصد سود برای کشاورزان حاصل شده است. در مطالعه‌ای دیگر برای بررسی اثر کم‌آبیاری بر الگوی کشت و سود کشاورزان در قزوین سه روش آبیاری کامل، کم‌آبیاری پنج درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد را در نظر گرفتند. نتایج بکارگیری روش کم‌آبیاری حاکی از آن بود که با اعمال این راهبرد تحت سناریوهای مختلف می‌توان از سطح زیرکشت گیاهانی که صرفه اقتصادی کمتری دارند (گندم و جو آبی) کاست و با حجم آب صرفه‌جویی شده، سطح زیرکشت گیاهان با سود ناخالص بیشتر را افزایش داد (پرهیزکاری و همکاران ۲۰۱۶).

برنامه تخصیص آب در شبکه آبیاری و زهکشی از مسائل اصلی مدیریت بهینه بهره‌وری اقتصادی آب



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران.

برمبنای سال مالی ۱۳۹۴ انجام شد. جدول ۱ سطح فعلی زیر کشت، درآمد، حداکثر عملکرد، مقدار ضریب K_y ، نیاز آبی، حجم آب مورد نیاز و نسبت سطح زیر کشت گیاهان مهم منطقه مورد مطالعه را در سال زراعی ۱۳۹۴ نشان می‌دهد (بی نام ۲۰۱۶).

آمار مورد نیاز پژوهش حاضر از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی مستخرج و یا از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین به دست آمد. این پژوهش با انتخاب گیاهان عمده و مهم شامل گندم، جو، ذرت دانه-ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، یونجه و ذرت علوفه‌ای

جدول ۱- آمار و اطلاعات گیاهان مورد مطالعه در سال زراعی (بی نام ۲۰۱۶).

ردیف	محصول	سطح- هکتار	عملکرد-کیلوگرم در هکتار	درآمد-میلیون ریال	K_y	نیاز آبی mm	حجم آب مورد نیاز-MCM	نسبت سطح زیرکشت
۱	گندم	۱۸۱۱/۸	۵۰۶۹	۲۷۲۳۴۳۷	۰/۷۹	۵۴۲	۹/۸۲	۰/۴۲
۲	جو	۹۱۷	۴۴۱۷	۱۸۹۲۳۱۸	۰/۷۹	۴۰۰/۷	۳/۶۷	۰/۲۱
۳	ذرت دانه‌ای	۸۹/۲۹	۹۶۰۴	۵۱۴۹۱۱۸	۰/۹۲	۷۶۰	۰/۶۸	۰/۰۲
۴	چغندر قند	۱۶۵	۵۴۱۰۹	۴۳۱۱۹۱۴	۰/۹۴	۱۰۳۸/۴	۱/۷۱	۰/۰۴
۵	گوجه فرنگی	۶۳	۴۸۳۱۷	۴۳۸۸۱۳۲	۰/۸۸	۱۰۹۲/۱	۰/۶۹	۰/۰۱
۶	یونجه	۵۰۹/۴	۱۷۶۷۲	۶۰۲۶۹۵۶	۱/۰۰	۱۳۳۶	۶/۸۱	۰/۱۲
۷	ذرت علوفه‌ای	۷۸۵	۵۱۴۴۳	۳۵۵۴۷۴۸	۰/۹۶	۶۹۶	۵/۴۶	۰/۱۸
	جمع کل	۴۳۴۰/۴۹		۲۸۰۵۶۶۲۳			۲۸/۸۴	

روش تحقیق

طراح با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی می‌تواند در چارچوب تابع هدف برنامه، علاوه بر آنچه که به‌عنوان هدف نهایی مورد نظر قرار داده، هدف‌های جانبی بسیاری را نیز در چارچوب متغیرها و محدودیت‌ها دنبال کند.

در این پژوهش درآمد بر حسب میلیون ریال به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. هدف، حداکثر کردن میزان سود اقتصادی با در نظر گرفتن کاهش عملکرد

به کارگیری برنامه‌ای با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی که پارامترهای طراحی الگوی کشت شامل نیاز آبی گیاه، تناوب کشت و سایر موارد ضروری 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 شوند.

$$\alpha_i > 0 \quad \forall i \quad \text{for each Crop} \quad [6]$$

$$[7]$$

$$30\% < \alpha_i < 60\% \quad \text{for } \alpha \geq 30 \quad [8]$$

$$15\% < \alpha_i < 30\% \quad \text{for } 20 < \alpha < 30 \quad [9]$$

$$\alpha\% < \alpha_i < 2\alpha\% \quad \text{for } 5 < \alpha \leq 20 \quad [10]$$

$$1\% < \alpha_i < 15\% \quad \text{for } \alpha \leq 5$$

ناشی از کمبود آب بود. تابع هدف در رابطه ۱ ارائه شده است:

$$\text{Max } Z : \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot A_i (P_i \cdot Y_i - C_i - Q \cdot C_w) \quad [1]$$

$$Y_i = Y_i^{\max} \left[1 - k_y \left(1 - \frac{W_i}{ET_i} \right) \right] \quad [2]$$

در این رابطه، Z تابع هدف، α_i نسبت سطح زیر کشت محصول نام، A_i کل مساحت اراضی (هکتار)، P_i قیمت فروش هر کیلو از محصول نام (ریال)، Y_i تابع عملکرد محصول (کیلوگرم)، C_i هزینه تولید در واحد سطح (ریال)، Q مقدار آب مصرفی (لیتر)، C_w هزینه هر لیتر آب (ریال)، $Y_{i\max}$ حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم)، K_y ضریب حساسیت گیاهی، W_i مقدار آب وارد شده به زمین (میلی-متر)، ET_i نیاز آبی محصول (میلی-متر) و نهایتاً عملکرد نسبی $\left(\frac{y_a}{y_m} \right)$ نسبت عملکرد واقعی به حداکثر عملکرد است. تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر-تعرق گیاه است که محققان، پس از جمع‌بندی روابط ارائه شده و تجزیه و تحلیل، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارائه کرده‌اند (دورنبوس و کسام ۱۹۷۹). عملکرد نسبی در واقع به منظور تعیین حد اقتصادی کم-آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. حد اقتصادی بودن عملکرد گیاهان ضریب ۰/۷ در نظر گرفته شده است (پاپامچی و همکاران ۲۰۰۸). اعمال محدودیت‌ها با فرضیاتی به شرح زیر (روابط ۳ تا ۱۱) در مدل بهینه‌سازی اعمال شد:

$$\frac{W_i}{100} \leq ET_i \quad \forall \beta \quad \beta = 100, 90, 80, 70, 65 \quad [3]$$

۱- سناریوی اصلی بر اساس محدودیت در حجم آب

II حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان (۲۸/۸۴ میلیون متر مکعب)

I2 حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۹۰ درصد نیاز آبی گیاهان (۲۵/۹۵ میلیون متر مکعب)

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot A_i \cdot W_j) = W_a \quad [4]$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = A_t \quad [5]$$

گندم محصول استراتژیک بوده و حداقل سطح زیر کشت مفروض ۳۰ درصد است (رابطه ۷). گیاهانی که سطح زیر کشت کمتر از ۵ درصد را در شرایط فعلی دارند، حداقل ۱ درصد و حداکثر ۱۵ درصد برای مدلسازی انتخاب می‌شود (رابطه ۱۱). مبنای انتخاب ۱۵ درصد براساس توان کشت محصول در منطقه است. گیاهانی که میزان کشت آنها در منطقه کمتر از ۲۰ درصد است و به عنوان کشت‌های بعد از کشت استراتژیک هستند حداقل کشت همان میزان کشت فعلی و حداکثر ۲ برابر وضعیت فعلی انتخاب می‌شود (رابطه ۱۰). درصد کشت موجود محصول جو برابر با ۲۱ درصد است. با توجه به اهمیت این محصول حداقل ۱۵ درصد و حداکثر ۳۰ درصد انتخاب می‌شود (رابطه ۸). مجموع سطح زیر کشت در سناریوهای مختلف به عنوان محدودیت لحاظ شد. آب تخصیص یافته در قالب ۵ سناریوی آبی به عنوان محدودیت آب لحاظ شد. پس از محاسبات فوق و با توجه به تابع هدف، دو دسته سناریوی اصلی و فرعی برای مدل فوق به صورت پیش فرض، در نظر گرفته شد:

اصلاح نمود تا به یک درجه سازگاری قابل قبول رسید. بنابراین منظور از سازگاری در نحوه وزن دهی به شاخص‌ها برقراری شرط $C.R < 1$ می‌باشد و عدم سازگاری در صورت عدم برقراری این شرط است. نسبت سازگاری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad [11]$$

در رابطه فوق $C.I$ شاخص سازگاری است که به-

شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$C.I = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad [12]$$

که در این رابطه n تعداد شاخص‌ها و $\lambda \max$ یک بردار ویژه است که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda \max = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot W_j \right)}{W_i} \quad [13]$$

اگر اوزان خام و نرمال نشده شاخص‌ها که با قضاوت تصمیم‌گیرنده در یک مقایسه زوجی تعیین شده است عبارت باشند از γ_1 ، γ_2 و γ_3 ... در آن صورت مقادیر W_j در رابطه فوق عبارت است از مقادیر نرمال شده γ_i ها و مقادیر a_{ij} ها به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \frac{\gamma_1}{\gamma_1} \\ \alpha_{12} &= \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ \alpha_{13} &= \frac{\gamma_1}{\gamma_3} \end{aligned} \quad [14]$$

و به همین شکل مقدار $R.I$ نیز عبارت است از یک شاخص تصادفی که بر حسب تعداد شاخص‌ها از منابع استخراج می‌شود.

از آنجایی که کشاورزان عموماً به عملکرد اقتصادی کشت گیاهان اهمیت می‌دهند، شاخص بهره‌وری اقتصادی (WP_s) نیز در این مطالعه در سناریوهای مختلف محاسبه و بررسی شد. شاخص WP_s بر حسب میلیون ریال در مترمکعب به صورت زیر تعریف و محاسبه شد:

I3 حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاهان (۲۳/۰۷ میلیون متر مکعب)

I4 حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۷۰ درصد نیاز

آبی گیاهان (۲۰/۱۹ میلیون متر مکعب)

I5 حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۶۵ درصد نیاز

آبی گیاهان (۱۸/۷۴ میلیون متر مکعب)

۲- سناریوی فرعی بر اساس محدودیت سطح زیر

کشت شامل:

S1 سناریوی فرعی سطح زیر کشت برابر با وضع

کنونی برابر ۴۳۴۱ هکتار

S2 سناریوی فرعی سطح زیر کشت ۱۰٪ بالاتر از

وضع کنونی برابر ۴۵۵۸ هکتار

S3 سناریوی فرعی سطح زیر کشت ۵٪ پایین‌تر از

وضع کنونی برابر ۳۹۰۶ هکتار

برای حل مسئله برنامه‌ریزی خطی از الگوریتم

سیمپلکس استفاده شد. مقادیر بهینه سطوح کشت در هر

یک از گیاهان الگوی کشت تخمین زده شد.

تصمیم‌گیری چند شاخصه

در مدل‌های چند شاخصه گزینه‌های امکان‌پذیر

متعددی هر یک متشکل از شاخص‌های مختلف، توسط

تصمیم‌گیرنده تعریف شده و هدف انتخاب بهترین گزینه

است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^1) یکی از

معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که

اولین بار توسط ساتی در ۱۹۸۰ ابداع شد (ساتی،

۱۹۸۰). فرایند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار

طبیعی و تفکر انسانی است. در این فرایند می‌توان از

روش بردار ویژه درجه ناسازگاری قضاوت‌های

تصمیم‌گیرنده در وزن‌دهی شاخص‌ها را سنجید. در این

روش نسبتی تحت عنوان نسبت سازگاری ($C.R^2$)

تعریف می‌شود. اگر $C.R < 1$ باشد، درجه سازگاری قابل

قبول است؛ در غیر این صورت باید اوزان داده شده را

¹ Analytic Hierarchy Process

² Consistency Ratio

اقتصادی بودن عملکرد گیاهان ضریب ۰/۷ در نظر گرفته شده است (پاپامچی و همکاران ۲۰۰۸)، لذا در شرایط آب تخصیصی I_5 عملکرد تخمینی به دست آمده برای اغلب گیاهان در مرز ۰/۷ قرار گرفته است و برای محصول گوجه، یونجه و چغندر قند به ترتیب برابر با مقدار ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۹ به کم تر از حد اقتصادی بودن آن‌ها می رسد. این بدین معنی است که کشت این گیاهان در این شرایط آبی به دلیل نیاز آبی بالا و کاهش عملکرد چندان اقتصادی نیست. نتایج تحقیق یوسف دوست و همکاران (۲۰۱۶) در دشت قزوین نشان داد که در شرایط آب و هوایی گرم و خشک عملکرد نسبی چغندر قند با مقدار ۰/۶۳ به کم تر از حد اقتصادی بودن آن می رسد و کشت این محصول در این شرایط آب و هوایی چندان اقتصادی نیست (یوسف دوست و همکاران ۲۰۱۶).

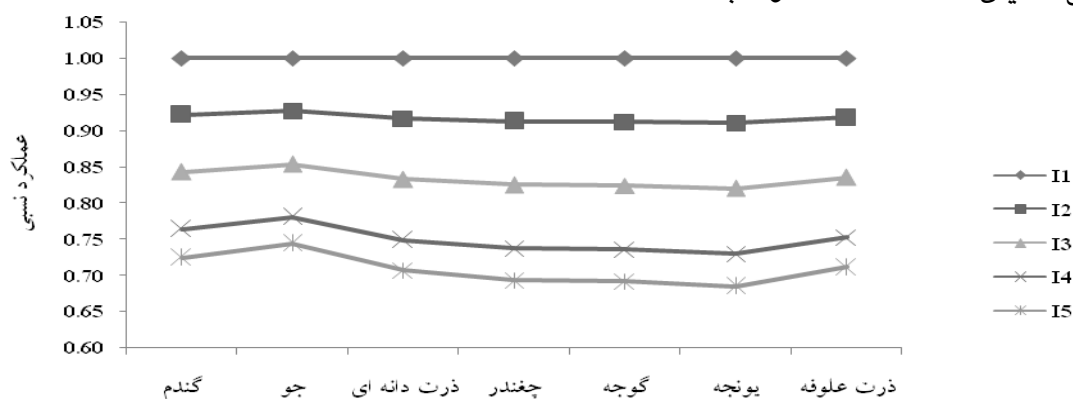
$$WP_{\$} = \frac{(\$ kg^{-1}) (kg ha^{-1})}{ET(m^3 ha^{-1})} \quad [15]$$

در این رابطه، \$ معادل یک میلیون ریال که براساس قیمت هر محصول در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

یکی از نتایج مدل بهینه سازی الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه تعیین عملکرد نسبی گیاهان به منظور بررسی میزان کاهش نسبی در سناریوهای مختلف است. در شرایطی که آب تخصیص یافته به محصول برابر با حداکثر نیاز آبی گیاه باشد، عملکرد نسبی برابر یک به دست خواهد آمد. همچنین در شرایطی که آب تخصیص یافته از آب مورد نیاز آن کم تر باشد، عملکرد نسبی آن کم تر از یک به دست خواهد آمد.

در شکل ۲ عملکرد نسبی گیاهان در تیمارهای مختلف آبی نمایش داده شده است. از آنجا که حد



شکل ۲- عملکرد نسبی گیاهان در سناریوهای آبی مختلف.

واقع نتایج حاصله تصور کشاورزان که افزایش سطح زیر کشت را موجب افزایش درآمد می دانند نقض می کند. چنانچه دیده می شود حتی کاهش سطح زیر کشت و استفاده بهینه آب در سطحی کمتر سبب افزایش ۵/۳ درصدی درآمد شد.

درصد سطح زیر کشت بهینه مربوط به گیاهان با درآمد بالاتر در شرایط S_3 تا آنجا که آب تخصیص یافته محدودیت نباشد، بیشترین مقدار خود را دارد. بالاترین نسبت سطح زیر کشت بهینه یونجه، گوجه-فرنگی و چغندر قند به ترتیب برابر ۱۶/۱۷، ۴/۶۸ و ۵/۳۲

خروجی اصلی مدل که مربوط به تابع هدف مدل می شود خروجی مربوط به درآمد و سطح زیر کشت مربوط به هر محصول است؛ که مقایسه میانگین درآمد کل برای آبیاری های مختلف و سطوح کشت و همچنین درصد کشت بهینه گیاهان در جدول شماره ۳ نمایش داده شده است. در شرایط آبیاری I_1 ، میزان درآمد در سطح کشت S_1 در کلاس b و در S_3 در کلاس a با درآمد به ترتیب ۲۹۹/۶۳ و ۳۱۵/۴۰ میلیون ریال قرار گرفت، این در حالی است که با افزایش سطح زیر کشت (S_2) میزان درآمد (۲۵۹/۵۹ میلیون ریال) کاهش یافت. در

است و سطوح کشت گیاهان استراتژیک مثل گندم و جو را به سمت کران بالای دامنه کشت سوق داده است. از این حیث که بهینه‌سازی منجر به سطوح بالای کشت برای گیاهان استراتژیک منطقه می‌شود، نتایج مطالعه پیش‌رو با نتایج مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد (جعفرزاده و همکاران ۲۰۱۷، علیزاده و همکاران ۲۰۱۲).

به‌منظور تعیین وزن یا اولویت سناریوها در رابطه با هر یک از معیارها ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها را به‌دست آورده و بعد از به‌دست آوردن ماتریس نرمال شده برای هر یک از آنها، وزن هر یک از محصولات را نسبت به معیار مورد نظر محاسبه کرده که نتایج نهایی در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

درصد در S_3 مشاهده شد و کمترین آن‌ها به میزان ۱۲، ۱ و ۱ درصد در S_2 ملاحظه شد. بالاترین نسبت سطح زیر کشت بهینه نرت‌دانه‌ای به میزان $6/98$ درصد در S_1 مشاهده شد و کمترین آن به میزان یک درصد در S_2 ملاحظه شد. این در حالی است که در S_2 گیاهان آب‌بر در کمینه مقدار تعیین شده در جدول شماره ۲ و گیاهان استراتژیک مثل گندم و جو در بیشینه دامنه تعیین شده برای مدل اختصاص داده شده است. در گندم و جو بالاترین درصد کشت در S_2 و به ترتیب $46/84$ و $30/0$ درصد مشاهده شد.

با افزایش سطح از آنجایی که آب تخصیصی ثابت و یا کمتر از شرایط موجود است، مدل سطح زیر کشت گیاهان آب‌بر مثل گوجه‌فرنگی و چغندر قند را در حداقل نسبت سطح تعریف شده برای سناریو، بهینه نموده

جدول ۲- درآمد کل برای آبیاری‌ها و سطوح کشت مختلف و درصد کشت بهینه گیاهان.

سطح زیر کشت بهینه (%)							درآمد کل میلیون ریال	تیمارها
نرت علوفه‌ای	یونجه	گوجه‌فرنگی	چغندر	نرت دانه‌ای	جو	گندم		
۲۱/۹۸	۱۲/۰	۱/۰	۱/۷۹	۶/۹۸	۲۵/۶۴	۳۰/۶۱	۲۹۹/۶۳	I ₁
۲۵/۴۱	۱۲/۰	۱/۰۷	۲/۶۳	۲/۶۵	۲۵/۹۰	۳۰/۳۴	۲۹۵/۹۲	I ₂
۲۱/۱۴	۱۲/۱۳	۲/۳۸	۲/۲۱	۳/۴۹	۲۶/۹۱	۳۱/۷۴	۲۴۷/۰۳	I ₃ S ₁
۲۱/۰۹	۱۲/۰۹	۱/۲۹	۳/۰۴	۲/۷۲	۲۴/۱۰	۳۵/۶۷	۲۱۶/۴۷	I ₄
۱۹/۸۰	۱۲/۷۲	۱/۸۶	۳/۱۸	۲/۷۳	۲۸/۹۸	۳۰/۷۳	۲۰۱/۰۴	I ₅
۱۸/۰	۱۲/۰۶	۱/۰	۱/۰	۱/۱۰	۳۰/۰	۴۶/۸۴	۲۵۶/۵۶	I ₁
۲۰/۲۵	۱۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳۰/۰	۴۴/۷۵	۲۴۶/۶۳	I ₂
۲۱/۰۱	۱۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳۰/۰	۴۳/۹۹	۲۰۸/۱۸	I ₃ S ₂
۱۸/۰	۱۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۲۸/۴۷	۴۳/۵۳	۱۸۴/۱۳	I ₄
۱۸/۲۹	۱۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۱۰	۲۸/۹۴	۴۲/۶۷	۱۷۳/۵۴	I ₅
۱۸/۲۶	۱۶/۱۷	۴/۶۸	۲/۴۲	۱/۶۶	۱۵/۰	۳۱/۸۱	۳۱۵/۴۰	I ₁
۱۹/۷۱	۱۵/۰۵	۳/۵۴	۵/۳۲	۱/۰	۱۵/۰	۳۰/۳۸	۳۰۶/۳۳	I ₂
۲۰/۶۲	۱۵/۰۹	۴/۵۶	۳/۶۷	۲/۲۰	۱۶/۲۲	۲۷/۶۴	۲۷۵/۶۹	I ₃ S ₃
۱۹/۳۴	۱۵/۷۶	۴/۳۵	۳/۱۶	۲/۰۵	۱۵/۷۴	۲۹/۶۱	۲۳۳/۹۲	I ₄
۲۰/۰۷	۱۵/۸۲	۴/۴۸	۲/۹۱	۱/۰۵	۱۵/۰	۳۰/۶۷	۲۲۰/۶۱	I ₅

جدول ۳- بردار اولویت سناریوهای مختلف (گزینه‌ها) نسبت به هر یک از معیارها و وزن نهایی هر یک از سناریوها.

سناریوها	آب	سطح	سوددهی	نهایی
SII1	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۰۱	۰/۰۹۵
SII2	۰/۱۱۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۵	۰/۰۷۹
SII3	۰/۰۸۹	۰/۰۶۷	۰/۰۴۳	۰/۰۵۰

۰/۰۳۲	۰/۰۲۷	۰/۰۶۷	۰/۰۴۴	S1I4
۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۶۷	۰/۰۲۲	S1I5
۰/۰۴۱	۰/۰۳۸	۰/۰۳۳	۰/۰۶۷	S2I1
۰/۰۶۴	۰/۰۶۰	۰/۰۳۳	۰/۱۱۱	S2I2
۰/۰۳۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳	۰/۰۸۹	S2I3
۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳۳	۰/۰۴۴	S2I4
۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۲	S2I5
۰/۲۶۲	۰/۳۰۱	۰/۱۰۰	۰/۰۶۷	S3I1
۰/۱۴۳	۰/۱۵۱	۰/۱۰۰	۰/۱۱۱	S3I2
۰/۰۵۸	۰/۰۵۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۹	S3I3
۰/۰۳۹	۰/۰۳۳	۰/۱۰۰	۰/۰۴۴	S3I4
۰/۰۳۳	۰/۰۳۰	۰/۱۰۰	۰/۰۲۲	S3I5

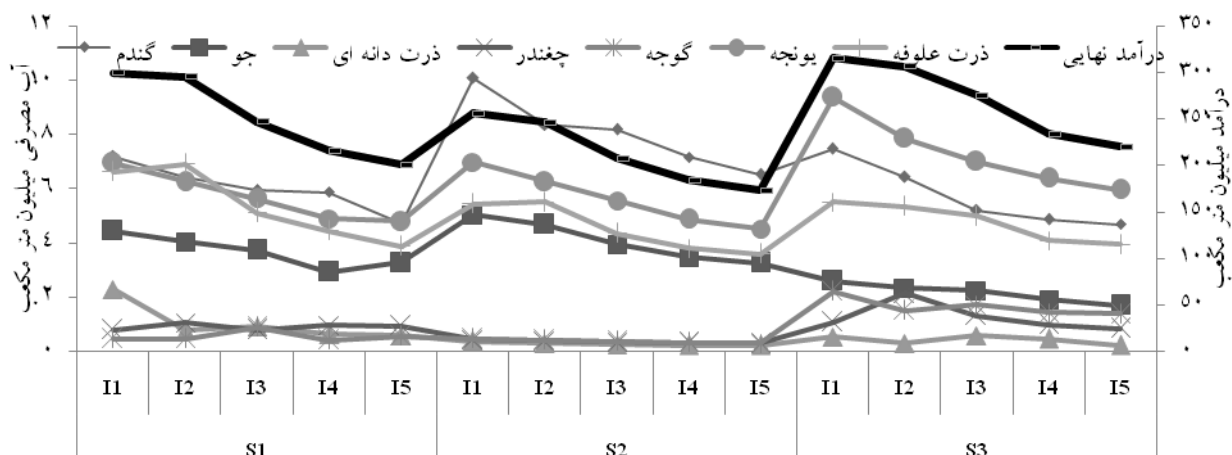
بهینه به اندازه ۱۰ درصد نسبت به حالت فعلی افزایش پیدا خواهد کرد (ناظر و همکاران ۲۰۱۰).

در شکل ۳) میزان آب مورد نیاز به تفکیک گیاهان و درآمد کل در یک نمودار ارائه شده است. در S_2I_1 مقدار آب مورد نیاز گندم، جو و یونجه نسبت به S_1I_1 افزایش داشته است که نشان دهنده اختصاص سطح زیر کشت بیشتر به این سه محصول در این حالت است. در این بخش مشاهده می شود که درآمد کاهش داشته است. این موضوع دو نتیجه را برمی تابد، اول اینکه گیاهان استراتژیک علی رغم اهمیت بالا لزوماً اقتصادی نیستند و دوم اینکه مصرف آب بیشتر و کاشت سطوح بالاتر لزوماً منتج به درآمد بیشتر نمی شود.

در S_3I_1 مقدار نیاز آبی در گوجه فرنگی، چغندر و یونجه افزایش یافته است که نشان دهنده اختصاص سطح زیر کشت بیشتر به این سه محصول در این حالت نسبت به S_1I_1 و S_2I_1 است. در این بخش افزایش درآمد مشاهده شد. در مطالعه ای با استفاده از برنامه ریزی ریاضی به تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی در خراسان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سود ناخالص کشاورزان زمانی امکان پذیر است که محصول چغندر قند با سود اجتماعی منفی در مدل مورد نظر وارد شده و در هر مرحله از

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول شماره ۳، ملاحظه می شود که از دیدگاه خبرگان، سناریوی S_3I_1 با دارا بودن وزن $۰/۳۰۱$ به لحاظ سوددهی از مناسب ترین جایگاه در بین سناریوها برخوردار بوده و برعکس سناریوی S_2I_1 با وزن $۰/۰۳۸$ وضعیت مناسبی ندارد. همچنین سناریوی S_3I_2 با وزن $۰/۱۱۱$ بالاترین رتبه را از لحاظ آب مصرفی به خود اختصاص داده است و در مقابل، سناریوی S_3I_1 با وزن $۰/۰۶۷$ در جایگاه بعدی قرار دارد. براساس جدول شماره ۳، نتایج مقایسه ای گزینه های مورد بررسی در خصوص معیار سطح زیر کشت نشان می دهد که سناریوی S_3I_1 با وزن $۰/۱$ بالاترین میزان را دارا می باشد، بعد از آن S_1I_1 و در آخر S_2I_1 قرار دارد. در نهایت مقدار وزن نهایی سناریوهای S_3I_1 و S_3I_2 به ترتیب با اوزان $۰/۲۶$ و $۰/۱۳$ در اولویت اول بوده و از آنجایی که به لحاظ مصرف آب S_3I_2 در اولویت بالاتری است و وزن نهایی آن از S_1I_1 بالاتر است این گزینه مطلوب تر است. در I_2 با تنها کاهش $۱/۲$ درصد درآمد می توان مقدار ۱۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی کرد. در پژوهشی در کرانه باختری فلسطین مشخص شد که الگوی بهینه کشت باعث کاهش مصرف آب به اندازه ۱۰ درصد می شود که این امر به پایداری منابع آب کمک شایانی می کند. همچنین، ارزش افزوده بخش کشاورزی در حالت

رشد خود با تنش آبی زیادی مواجه شود (صبحی و همکاران ۲۰۱۲).

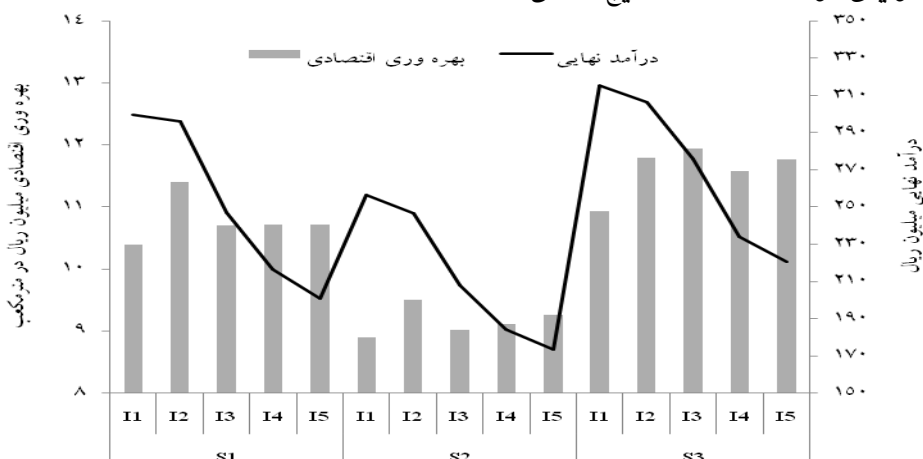


شکل ۳- میزان نیاز آبی به تفکیک گیاهان و درآمد کل.

داد که با مدیریت سطح کشت می‌توان با سطح کمتر درآمد بیشتری داشت. سوء مدیریت در مصرف آب نشان می‌دهد که حتی با داشتن آب بیشتر درآمد حتی کمتر هم شده‌است.

نتایج کاربرد برنامه‌ریزی هم‌زمان کم آبیاری و افزایش منافع اقتصادی برای تخصیص آب و زمین نشان داد تأمین بخش بیشتری از نیاز آبی و کاهش سطح زیر کشت راهکار مناسب تری برای مدیریت آب کشاورزی در شرایط خشکسالی به‌شمار می‌رود (لاله‌زاری و همکاران ۲۰۱۶).

در شکل ۴ بهره‌وری اقتصادی و درآمد کل در تمامی سناریوها ارائه شده‌است. بهره‌وری اقتصادی از ۹/۰۲ تا ۱۱/۹۸ میلیون ریال در مترمکعب در سناریوهای مختلف محاسبه شد. I_2 ضمن حفظ درآمد، بهره‌وری اقتصادی را در سطوح مختلف به‌طور متوسط ۰/۸۲ میلیون ریال در مترمکعب آب افزایش داده است. بهره‌وری اقتصادی در S_2 کمترین مقدار است. در S_3 با مصرف آب برابر با S_1 و S_2 درآمد بیشتری حاصل شده‌است. بهره‌وری اقتصادی در S_3 بیشتر شده است. به‌طور کلی در شرایط S_3 اختصاص آب به گیاهان با درآمد بالاتر سبب افزایش درآمد شده‌است. نتایج نشان



شکل ۴- درآمد و نیاز آبی کل به تفکیک تیمارها.

نتیجه‌گیری کلی

موجود به دلیل نیاز آبی بالا گیاهانی مانند چغندر، یونجه، ذرت سطح زیر کشت این گیاهان کاهش داشته است. برعکس در زمانی که به لحاظ سطح زیر کشت محدودیت باشد، مدل سطح زیر کشت گیاهان اقتصادی و دارای درآمد بالاتر را زیادتیر نموده و آب را به آنها تخصیص می‌دهد. به همین دلیل مشاهده شد که درآمد در تیمار S_2 و S_3 نسبت به تیمار S_1 به ترتیب کاهش و افزایش یافته‌است. I_2 ضمن حفظ درآمد، بهره‌وری اقتصادی را در سطوح مختلف به‌طور متوسط ۰/۸۲ میلیون ریال در مترمکعب آب افزایش داده است. این نتایج قادرند حجم عظیمی از آزمون‌ها را کاهش داده و به‌عنوان ملاکی مطمئن در کارهای تحقیقاتی آبی و مدیریت الگوی کشت مورد استفاده قرار گیرند. در تحقیقات آبی ارزیابی سناریوهای دیگر کاهش سطح و یا کشت‌های جایگزین پیشنهاد می‌شود.

الگوی کشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت منابع آب مطرح می‌باشد. این مطالعه مبادرت به تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین در شرایط کاهش تخصیص آب و یا افزایش و کاهش سطح زیر کشت کل نمود. تیمار تخصیص آب I_4 و I_5 با توجه به کاهش درآمد و عملکرد توصیه نمی‌شود. در صورت کاهش آب موجود و رسیدن به مقدار I_5 ، با توجه به حد اقتصادی، کاشت گیاهان با پیش‌ران آب بالا مثل گوجه‌فرنگی، چغندر و یونجه توصیه نمی‌شود. مشاهده شد در مسئله موردنظر به‌طور کلی جواب‌های بهینه در صورت وجود سطح کشت کافی، برای گیاهان استراتژیک منطقه سطح زیر کشت بالاتری را تعیین نموده‌اند. همچنین با توجه به سطح زیرکشت بالاتر و کاهش میزان آب تخصیصی نسبت به شرایط

منابع مورد استفاده

- Alizadeh A, Majidi N, Ghorbani M and Mohammadian F, 2012. Cropping pattern optimization with target balancing of ground water resources: Case study of Mashhad-Chenaran plain, Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 6: 55-68. (In persian)
- Anonymous. 2012. *Managing Water Under Uncertainty and Risk*. The United Nations World Water Development Report4. UNESCO, Paris. 300 p.
- Anonymous, 2016. Qazvin Province Governor (QPG), Iran. <http://ostan-qz.ir> (In persian).
- Chongfeng R, Zhehao L and Hongbo Z, 2019. Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production* 210: 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.348>
- Dai ZY and Li YP, 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management* 129: 69–79.
- Doorenbos J and Kassam AH, 1979. Yield response to Water. *Irrigation and Drainage Paper*. 33.
- Garg NK and Dadhich SM, 2014. Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 140: 1–13.
- Jiang Y, XU X, Huang Q, Huo Z and Huang G, 2016. Optimizing regional irrigation water use by integrating a two-level optimization model and an agro-hydrological model. *Agricultural Water Management* 178: 76–88.
- Jafarzadeh A, Khaseii A and Shahidi A, 2017. Designing a multiobjective decision-making model to determine optimal crop pattern influenced by climate change phenomenon (case study: Birjand plain). *Water and Soil Research of Iran* 47(4): 849-859. (In persian)
- Kang SZ, Hao XM, Du TS, Tong L, Su XL, Lu HN, Li XL, Huo ZL, Li SE and Ding RS, 2016. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: from research to practice. *Agricultural Water Management* 179: 5-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>.
- Lalehzari R, Nasab SB, Moazed H and Haghghi A, 2016. Multi objective management of water allocation to sustainable irrigation planning and optimal cropping pattern. *Irrigation and Drainage Engineering* 143: 1-10-05015008. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000933

- Mancosu N, Snyder RL, Kyriakakis G and Spano D, 2015. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 7 (3): 975–992.
- Mosleh Z, Salehi MH, Amini Fasakhodi A, Jafari A, Mehnatkesh A and Esfandiarpour Borujeni I, 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multiobjective programming. *Geoderma* 303: 52–59.
- Mushtaq Sh and moghaddasi M, 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environmental Science and Policy, Australia College of Agriculture* 14: 1139-1150.
- Nazer W, Tilmant D and Mimi Z, 2010. Optimizing irrigation water use in the West Bank Palestine. *Agricultural Water Management* 97: 339–345.
- Niu G, Li YP, Huang GH, Liu J and Fan YR, 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. *Agricultural Water Management* 166: 53–69.
- Osama S, Elkholy M, Kansoh RM, 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal* 56 (4): 557-566. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.04.015>
- Papamichai DM, Georgiou PE and vougioukas SG, 2008. Optimal model irrigation reservoir operation and simultaneous multi-crop cultivation area selection using single reservoir operation and simulated annealing. *Irrigation and Drainage* 55: 129-144.
- Parhizkari A, Saboohi M, Ahmadpour M and Badi H, 2016. Assessment of the effects of deficit irrigation and decrease in water allocation on agricultural sector production in Qazvin Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30.2(2): 173-185. (In persian)
- Ramezani Etedali H, Ahmadaali K, Liaghat A, Parsinejad M, Tavakkoli AR and Ababaei B, 2015. Optimum water allocation between irrigated and rain fed lands in different climatic conditions. *Biological Forum – An International Journal* 7(1): 1556-1567.
- Saaty TL, 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saboohi M, Soltani Q and Zibaei M, 2012. Determining appropriate strategies for deficit irrigation in order to reach maximum utility and social welfare. *Agricultural Economics and Development Journal* 56(4): 167-202. (In persian)
- Seyedmohammadi J, Jafarzadeh AA, Sarmadian F, Shahbazi F and Ghorbani MA, 2017. Comparing the efficiency of TOPSIS, AHP and square root methods in cultivation priority determination for wheat, barley and maize under sprinkler irrigation in Dasht-e-Moghan. *Water and soil science-university of Tabriz* 27(2): 45-59. (In persian)
- Shokoohi AR, Razinei T and DaneshkarArasteh P, 2014. On the effects of climate change and global warming on water resources in Iran. *International Bulletin of Water Resources & Development* 2(4): 1-9.
- Shokoohi AR, 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought (case study: Qazvin and Takestan). *Irrigation and Water Journal* 3(9): 111-122. (In persian)
- Shirdeli A and Dastvar S, 2014. An optimization technique for cropping patterns and land consolidation: A case study for irrigation network. *Management Science Letters* 4(9): 2087-2092.
- Yousefdust A, Mohamadrezapour AA and Ebrahimi M, 2016. Applying genetic algorithms in determining optimal cropping pattern in different weather conditions in Qazvin Plain. *Journal of Water Research in Agriculture* 30(3): 317-331. (In persian)
- Zeng XT, Kang SZ, Li FS, Zhang L and Guo P, 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management* 98 (1): 134–142