نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۰ شماره ۱ صفحه‌های ۶۹ تا ۸۱ / سال ۱۳۹۹

تعیین سطح بهینه کشت گیاهان زراعی عمده در سطوح مختلف کم‌آبیاری در شبکه آبیاری و زهکشی قزوین

فهیمه شیرشاهی[۱]، حسین بابازاده[۲]*، نیازعلی ابراهیمی پاک[۳]، محمدرضا خالدیان[٤]

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
٤- دانشیار گروه مهندسی اب 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 به‌منظور 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 ٦٥ 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 می-توان 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 کم‌آبی سطح زیر کشت گیاهان آب‌بر مثل گوجه، چغندر و یونجه را محدود کرد.

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

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

F Shirshahi[1], H Babazadeh[2*], N A Ebrahimi Pak[3], M R Khaledian[4]

Received: January 17, 2019 Accepted: April 18, 2020
[1]Ph.D. Student, Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Assoc. Prof., Department of Agricultural Systems engineering , Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3]Assoc. Prof., Department of Irrigation, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization
[4]Assoc. 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

با توجه به آمار جهانی بیشترین مصرف آب در کشورها در بخش کشاورزی است (کنگ و همگاران 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 ۲۰۱٤). الگوی کشت نقش کلیدی در مدیریت آب دارد و می‌توان به منظور رسیدن 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 ۲۰۱٦، 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،

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 کرده اند. 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 گیرندگان 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 شمال‌غرب 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 حوضه‌ی آبریز ماری دارلینگ استرالیا بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تغییرات اقلیم و تقاضای آب محیط زیست انجام شده‌است. در این تحقیق سه سناریو مورد مقایسه قرار گرفته‌است: بهینه‌سازی با آبیاری کامل، بهینه‌سازی با کم‌آبیاری وکم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی. نتایج نشان داده‌است که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص و افزایش کارآیی مصرف آب، مؤثر می‌باشد (مشتاق و مقدسی ۲۰۱۱).

دشت قزوین در حدود چهار دهه گذشته در زمره پنج دشت حاصلخیز ایران به شمار می‌آمد. 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 حالی‌که 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 ۲۰۱٤). برای حل بحران آب در دشت قزوین، مدیریت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی کشت لازم است (شکوهی ۲۰۱۲، رمضانی اعتدالی و همکاران ۲۰۱۵).

شیردلی و دستاور (۲۰۱٤) در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل ریاضی تک‌هدفه اقدام به بهینه سازی الگوی کشت اراضی کشاورزی پایین دست سد بوئین زهرا نمودند. هدف مطالعه آن‌ها بیشینه‌سازی درآمد

کشاورزان در این منطقه بود و برای تحلیل آن در آینده ٤ برنامه ٥ 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 ٥ ساله دوم تا چهارم به‌ترتیب ۲۰، ٤٤/۷ و ۲۵۰/۳ درصد نسبت به اولین دوره ٥ ساله خواهد بود. بعد از اتمام آخرین برنامه ٥ ساله میزان بهره‌وری آب از ٥۰ درصد تا ۷۷ درصد افزایش خواهد داشت.

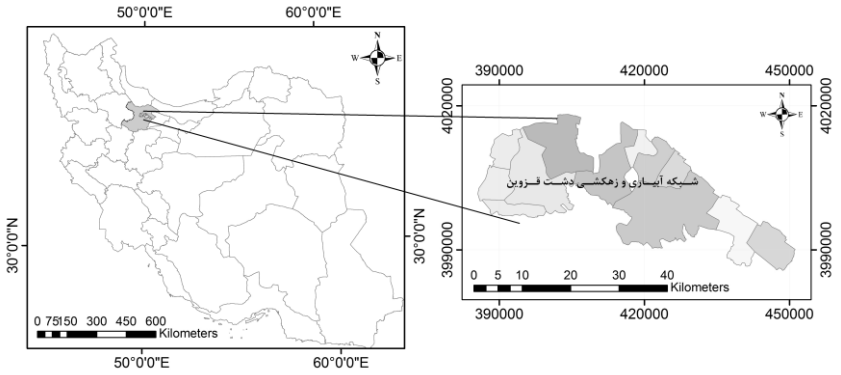
یوسف‌دوست و همکاران (۲۰۱٦) برای مدیریت منابع آب سد طالقان و تعیین حداکثر سود حاصل از کشت محصول در دشت قزوین تحت شرایط متفاوت آب وهوایی در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی روی آوردند. از مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده در تحقیق تعیین الگوی کشت جدیداست که هم سود کشاورز تامین شود و هم با صرفه‌جویی در مصرف آب بتوان آن‌را 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، ۲/٦۲، ۱/۳٤ و ۱/۳٥ 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 کم آبیاری ۱۰ درصد را در نظر گرفتند. نتایج بکارگیری روش کم آبیاری 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 ۲۰۱٦).

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

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱٥۸۲۰ کیلومتر مربع در حوزه‌ی مرکزی ایران بین ٤۸ درجه و ٤٤ دقیقه تا ٥۰ درجه و ٥۱ دقیقه طول شرقی و ۳٥ درجه ۲٤ دقیقه تا ۳٦ دقیقه تا ۳٦ درجه و ٤۸ 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 ۲۰۱٤). دشت قزوین به وسعت ٤٤۰ هزار هکتاردر فلات مرکزی ایران قرار دارد، دارای اقلیمی نیمه‌خشک و تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتا 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.



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

آمار مورد نیاز پژوهش حاضر از آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی مستخرج و یا از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین به‌دست آمد. این پژوهش با انتخاب گیاهان عمده و مهم شامل گندم، جو، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندر، یونجه و ذرت علوفه‌ای برمبنای سال مالی ۱۳۹٤ 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 ۱۳۹٤ نشان می‌دهد (بی نام ۲۰۱٦).

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	۲۷۳۳۴۳۷	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

به کارگیری برنامه‌ای با استفاده از روش برنامه-ریزی 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 هدف ها، متغیرها، قیود و محدودیت ها بوده و روابط بین این اصول نیز باید در ماتریسی به نام ماتریس برنامه‌ریزی تعریف شوند. طراح با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی می تواند در چارچوب تابع هدف برنامه، علاوه بر آنچه که به‌عنوان هدف نهایی مورد نظر قرار داده، هدف های جانبی بسیاری را نیز در چارچوب متغیرها و محدودیت ها دنبال کند.

در این پژوهش درآمد بر حسب میلیون ریال به-عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. هدف، حداکثر کردن میزان سود اقتصادی با در نظرگرفتن کاهش عملکرد

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

$$Max\ Z : \sum_{i=1}^{n} \alpha_i . A_t (P_i . Y_i - C_i - Q . C_w) \quad [۱]$$

$$Y_i = Y_i^{\max} . \left[1 - k_y \left(1 - \frac{W_i}{ET_i} \right) \right] \quad [۲]$$

در این رابطه، Z تابع هدف، α_i نسبت سطح زیر کشت محصولiام، A_t کل مساحت اراضی (هکتار)، P_i قیمت فروش هر کیلو از محصول iام (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_{imax} حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم)، K_y ضریب حساسیت گیاهی، W_i مقدار آب وارد شده به زمین (میلی‌متر)، ET_i نیازآبی محصول (میلی‌متر) و نهایتا عملکرد نسبی ($\frac{y_a}{y_m}$) 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 به‌صورت عمومی ارائه کرده‌اند (دورنبوس و کسام ۱۹۷۹). عملکرد نسبی در واقع به‌منظور تعیین حد اقتصادی کم-آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. حد اقتصادی بودن عملکرد گیاهان ضریب ۰/۷ درنظر گرفته شده است (پاپامچی و همکاران ۲۰۰۸). اعمال محدودیت‌ها با فرضیاتی به‌شرح زیر (روابط ۳ تا ۱۱) در مدل بهینه-سازی اعمال شد:

$$W_i = \beta / 100 * ET_i \quad \forall \beta \quad \beta = 100,90,80,70,65 \quad [۳]$$

$$\sum_{i=1}^{n} (\alpha_i . A_t . W_j) = W_a \quad [۴]$$

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = A_t \quad [۵]$$

$$\alpha_i > 0 \quad \forall i \quad for\ each\ Crop \quad [۶]$$

[۷]

$$30\% < \alpha_i < 60\% \quad for \quad \alpha \geq 30 \quad [۸]$$

$$15\% < \alpha_i < 30\% \quad for \quad 20 < \alpha < 30 \quad [۹]$$

$$\alpha\% < \alpha_i < 2\alpha\% \quad for \quad 5 < \alpha \leq 20 \quad [۱۰]$$

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

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 ۱۵درصد 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 به‌عنوان محدودیت آب لحاظ شد. پس از محاسبات فوق و با توجه به تابع هدف، دو دسته سناریوی اصلی و فرعی برای مدل فوق به‌صورت پیش فرض، در نظر گرفته شد:

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

I1 حجم آب قابل تخصیص بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان (۲۸/۸٤ میلیون متر مکعب)

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

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 ٦٥ درصد نیاز آبی گیاهان (۱۸/۷٤ میلیون متر مکعب)

۲- سناریوی فرعی بر اساس محدودیت سطح زیر کشت شامل:

S1 سناریوی فرعی سطح زیر کشت برابر با وضع کنونی برابر ٤۳٤۱ هکتار

S2 سناریوی فرعی سطح زیر کشت ۱۰٪ بالاتر از وضع کنونی برابر ٤٥٥۸ هکتار

S3 سناریوی فرعی سطح زیر کشت ٥٪ پایین‌تر از وضع کنونی برابر ۳۹۰٦ 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 این‌صورت باید اوزان داده شده را اصلاح نمود تا به یک درجه سازگاری قابل قبول رسید. بنابراین منظور از سازگاری در نحوه وزن‌دهی به شاخص‌ها برقراری شرط C.R<1 می‌باشد و عدم سازگاری در صورت عدم برقراری این شرط است. نسبت سازگاری به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \qquad [۱۱]$$

در رابطه فوق $C.I$ شاخص سازگاری است که به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$C.I = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \qquad [۱۲]$$

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

$$\lambda \max = \left(\sum_{i=1}^{n} a_{ij}.W_j\right) \Big/ W_i \qquad [۱۳]$$

اگر اوزان خام و نرمال نشده شاخص‌ها که با قضاوت تصمیم‌گیرنده در یک مقایسه زوجی تعیین شده‌است عبارت باشند از $\gamma 1$ $\gamma 2$ $\gamma 3$ و... در آن صورت مقادیر Wj در رابطه فوق عبارت است از مقادیر نرمال شده γi ها و مقادیر aij ها به‌شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$\alpha_{11} = \frac{\gamma 1}{\gamma 1}$$
$$\alpha_{12} = \frac{\gamma 1}{\gamma 2} \qquad [۱۴]$$
$$\alpha_{13} = \frac{\gamma 1}{\gamma 3}$$

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 ($WP_{\$}$) نیز در این مطالعه در سناریوهای مختلف محاسبه و بررسی شد. شاخص $WP_{\$}$ بر حسب میلیون ریال در مترمکعب به‌صورت زیر تعریف و محاسبه شد:

[1] Analytic Hierarchy Process
[2] Consistency Ratio

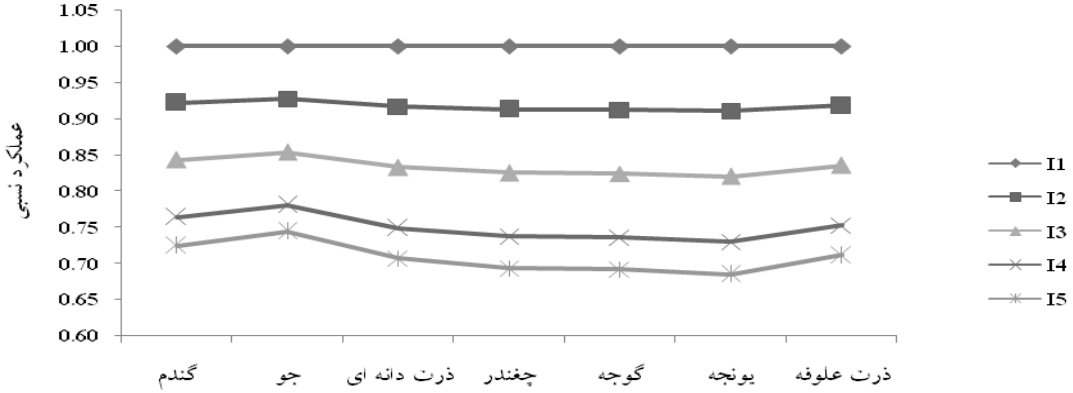
$$WP_{\$} = \frac{(\$\ kg^{-1})\ (kg\ ha^{-1})}{ET(m^3 ha^{-1})} \qquad [۱۵]$$

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

نتایج و بحث

یکی ازنتایج مدل بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه تعیین عملکرد نسبی گیاهان به‌منظور 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 کم‌تر باشد، عملکرد نسبی آن کم تر از یک به‌دست خواهد آمد.

در شکل ۲) عملکرد نسبی گیاهان در تیمارهای مختلف آبی نمایش داده شده‌است. از آنجا که حد اقتصادی بودن عملکرد گیاهان ضریب ۰/۷ درنظر گرفته شده است (پاپامچی و همکاران ۲۰۰۸)، لذا در شرایط آب تخصیصی I_5 عملکرد تخمینی به‌دست آمده برای اغلب گیاهان در مرز ۰/۷ قرار گرفته است و برای محصول گوجه، یونجه و چغندرقند به‌ترتیب برابر با مقدار ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۹ به کم‌تر 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 یوسف‌دوست و همکاران (۲۰۱۶) در دشت قزوین نشان داد که در شرایط آب و هوایی گرم و خشک عملکرد نسبی چغندرقند با مقدار ۰/۶۳ به کم‌تر از حد اقتصادی بودن آن می رسد و کشت این محصول در این شرایط آب و هوایی چندان اقتصادی نیست (یوسف‌دوست و همکاران ۲۰۱۶).



شکل ۲- عملکرد نسبی گیاهان در سناریوهای آبی مختلف.

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 آبیاری‌های 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 به‌ترتیب 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 واقع نتایج حاصله تصور کشاورزان که افزایش سطح زیر کشت را موجب افزایش درآمد می‌دانند نقض می‌کند. چنانچه دیده می‌شود 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 S3 تا آنجا که آب تخصیص یافته محدودیت نباشد، بیشترین مقدار خود را دارد. بالاترین نسبت سطح زیر کشت بهینه یونجه، گوجه‌فرنگی و چغندرقند به ترتیب برابر ۱۶/۱۷، ٤/٦٨ و ۵/۳۲

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 ذرت‌دانه‌ای به میزان ٦/٩٨ 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 داده‌شده‌است. در گندم و جو بالاترین درصد کشت در S_2 و به‌ترتیب ٤٦/٨٤ و ۳۰/۰ 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 چغندرقند را در حداقل نسبت سطح تعریف شده برای سناریو، بهینه نموده است و سطوح کشت گیاهان استراتژیک مثل گندم و جو را به‌سمت کران بالای دامنه کشت سوق داده است. از این حیث که بهینه‌سازی منجر به سطوح بالای کشت برای گیاهان استراتژیک منطقه می شود، 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 شده‌است.

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

تیمارها		درآمد کل میلیون ریال	سطح زیر کشت بهینه (٪)					
			گندم	جو	ذرت دانه‌ای	چغندر	گوجه‌فرنگی	یونجه	ذرت علوفه‌ای
S_1	I_1	۲۹۹/۶۳	۳۰/۶۱	۲۵/۶۴	۶/۹۸	۱/۷۹	۱/۰	۱۲/۰	۲۱/۹۸
	I_2	۲۹۵/۹۲	۳۰/۳۴	۲۵/۹۰	۲/۶۵	۲/۶۳	۱/۰۷	۱۲/۰	۲۵/۴۱
	I_3	۲۴۷/۰۳	۳۱/۷۴	۲۶/۹۱	۳/۴۹	۲/۲۱	۲/۳۸	۱۲/۱۳	۲۱/۱۴
	I_4	۲۱۶/۴۷	۳۵/۶۷	۲۴/۱۰	۲/۷۲	۳/۰۴	۱/۲۹	۱۲/۰۹	۲۱/۰۹
	I_5	۲۰۱/۰۴	۳۰/۷۳	۲۸/۹۸	۲/۷۳	۳/۱۸	۱/۸۶	۱۲/۷۲	۱۹/۸۰
S_2	I_1	۲۵۶/۵۶	۴۶/۸۴	۳۰/۰	۱/۱۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰۶	۱۸/۰
	I_2	۲۴۶/۶۳	۴۴/۷۵	۳۰/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۲۰/۲۵
	I_3	۲۰۸/۱۸	۴۳/۹۹	۳۰/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۲۱/۰۱
	I_4	۱۸۴/۱۳	۴۳/۵۳	۲۸/۴۷	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۱۸/۰
	I_5	۱۷۳/۵۴	۴۲/۶۷	۲۸/۹۴	۱/۱۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۱۸/۲۹
S_3	I_1	۳۱۵/۴۰	۳۱/۸۱	۱۵/۰	۱/۶۶	۲/۴۲	۴/۶۸	۱۶/۱۷	۱۸/۲۶
	I_2	۳۰۶/۳۳	۳۰/۳۸	۱۵/۰	۱/۰	۵/۳۲	۳/۵۴	۱۵/۰۵	۱۹/۷۱
	I_3	۲۷۵/۶۹	۲۷/۶۴	۱۶/۲۲	۲/۲۰	۳/۶۷	۴/۵۶	۱۵/۰۹	۲۰/۶۲
	I_4	۲۳۳/۹۲	۲۹/۶۱	۱۵/۷۴	۲/۰۵	۳/۱۶	۴/۳۵	۱۵/۷۶	۱۹/۳۴
	I_5	۲۲۰/۶۱	۳۰/۶۷	۱۵/۰	۱/۰۵	۲/۹۱	۴/۴۸	۱۵/۸۲	۲۰/۰۷

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
S1I1	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۰۱	۰/۰۹۵
S1I2	۰/۱۱۱	۰/۰۶۷	۰/۰۷۵	۰/۰۷۹
S1I3	۰/۰۸۹	۰/۰۶۷	۰/۰۴۳	۰/۰۵۰

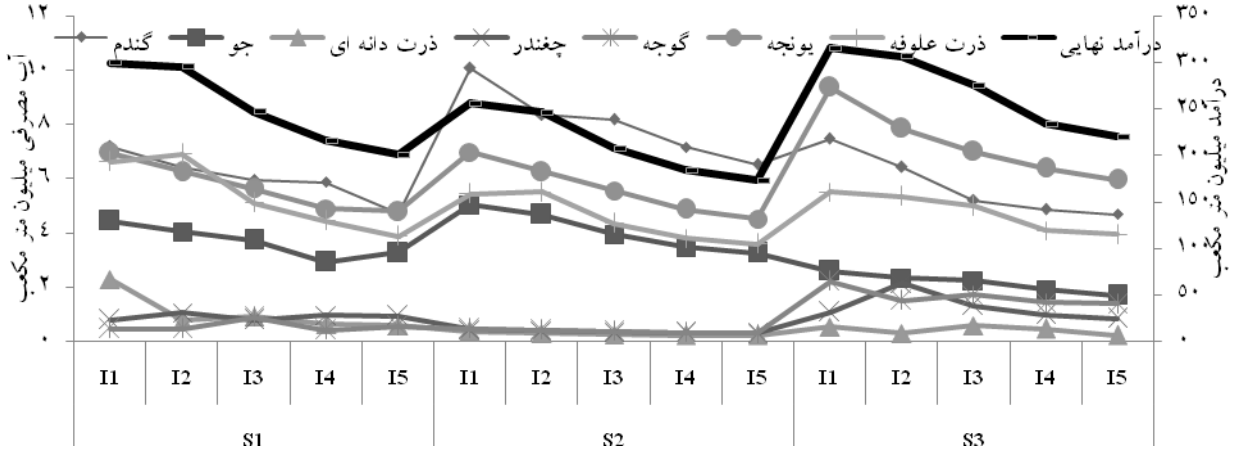
S1I4	۰/۰۴۴	۰/۰۶۷	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲
S1I5	۰/۰۲۲	۰/۰۶۷	۰/۰۲۳	۰/۰۲۶
S2I1	۰/۰۶۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸	۰/۰۴۱
S2I2	۰/۱۱۱	۰/۰۳۳	۰/۰۶۰	۰/۰۶۴
S2I3	۰/۰۸۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳
S2I4	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵
S2I5	۰/۰۲۲	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	۰/۰۲۱
S3I1	۰/۰۶۷	۰/۱۰۰	۰/۳۰۱	۰/۲۶۲
S3I2	۰/۱۱۱	۰/۱۰۰	۰/۱۵۱	۰/۱۴۳
S3I3	۰/۰۸۹	۰/۱۰۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۸
S3I4	۰/۰۴۴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

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول شماره ۳، ملاحظه می‌شود که از دیدگاه خبرگان، سناریوی S3I1 با دارا بودن وزن ۰/۳۰۱ به لحاظ سوددهی از مناسب‌ترین جایگاه در بین سناریوها برخوردار بوده و برعکس سناریوی S2I1 با وزن ۰/۰۳۸ وضعیت مناسبی ندارد. همچنین سناریوی S3I2 با وزن ۰/۱۱۱ بالاترین رتبه را از لحاظ آب مصرفی به خود اختصاص داده است و در مقابل، سناریوی S3I1 با وزن ۰/۰۶۷ در جایگاه بعدی قرار دارد. براساس جدول شماره ۳، نتایج مقایسه‌ی گزینه‌های مورد بررسی در خصوص معیار سطح زیر کشت نشان می‌دهد که سناریوی S3I1 با وزن ۰/۱ بالاترین میزان را دارا می‌باشد، بعد از آن S1I1 و در آخر S2I1 قرار دارد. در نهایت مقدار وزن نهایی سناریوهای S3I1 و S3I2 به‌ترتیب با اوزان ۰/۲۶ و ۰/۱۳ در اولویت اول بوده و از آنجایی که به لحاظ مصرف آب S3I2 در اولویت بالاتری است و وزن نهایی آن از S1I1 بالاتر است این گزینه مطلوب‌تر است. در I_2 با تنها کاهش ۱/۲ درصد درآمد می‌توان مقدار ۱۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. در پژوهشی در کرانه باختری فلسطین مشخص شد که الگوی بهینه کشت باعث کاهش مصرف آب به اندازه ۱۰ درصد می‌شود که این امر به پایداری منابع آب کمک شایانی می‌کند. همچنین، ارزش افزوده بخش کشاورزی در حالت 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 داشته‌است که نشان دهنده اختصاص سطح زیر کشت بیشتر به این سه محصول در این حالت است. در این بخش مشاهده می‌شود که درآمد کاهش داشته‌است. این موضوع دو نتیجه را برمی‌تابد، اول اینکه گیاهان استراتژیک علی‌رغم اهمیت بالا لزوماً اقتصادی نیستند و دوم اینکه مصرف آب بیشتر و کاشت سطوح بالاتر لزوماً منتج به درآمد بیشتر نمی‌شود.

در S_3I_1 مقدار نیاز آبی در گوجه‌فرنگی، 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. درمطالعه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی به تعیین راهبردهای مناسب کم‌آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی در خراسان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سود ناخالص کشاورزان زمانی امکانپذیر است که محصول چغندرقند با سود اجتماعی منفی در مدل مورد نظر وارد شده و در هر مرحله از

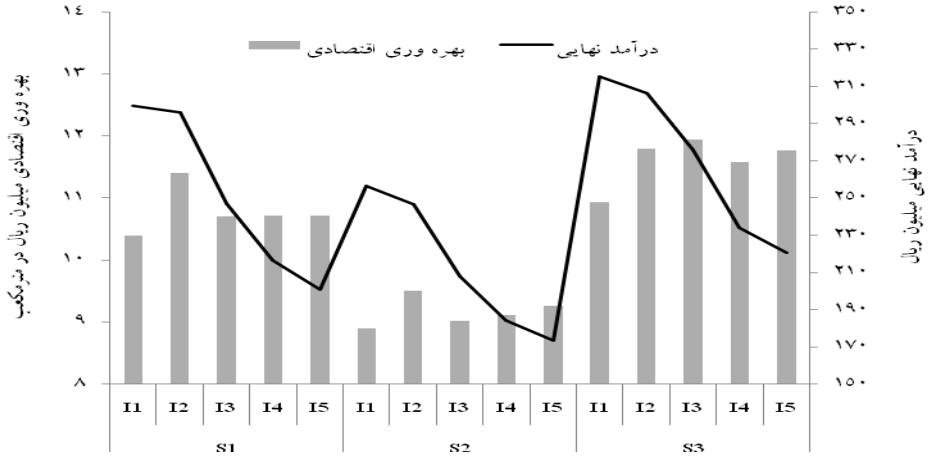
رشد خود با تنش آبی زیادی مواجه شود (صبوحی و همکاران ۲۰۱۲).



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

در شکل ٤) 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 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 ۲۰۱٦).



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

نتیجه‌گیری کلی

الگوی کشت به‌عنوان یک ی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت منابع آب مطرح م ی‌باشد. ای ن مطالعه مبادرت به تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین در شرایط کاهش تخصی یص آب و ی ا افزایش و کاهش سطح زیر کشت کل نمود. تیمار تخصی یص آب I_4 و I_5 با توجه به کاهش درآمد و عملکرد توصی یه نم ی‌شود. در صورت کاهش آب موجود و رسیدن به مقدار I_5، با توجه به حد اقتصادی، کاشت گیاهان با پ یش‌ران آب بالا مثل گوجه‌فرنگی، چغندر و یونجه توصیه نم ی‌شود. مشاهده شد در مسئله موردنظر به‌طور کل ی 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 موجود به‌دلیل نیاز آبی بالا گیاهانی مانند چغندر، یونجه، ذرت سطح زیر کشت ای ن گیاهان کاهش داشته است. برعکس در زمانی که به لحاظ سطح زی ر کشت محدودیت باشد، مدل سطح زیر کشت گیاهان اقتصادی و دارای درآمد بالاتر را زیادتر 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 ترتی ب کاهش و افزایش یافته‌است. I_2 ضمن حفظ درآمد، بهره‌وری اقتصادی را در سطوح مختلف به‌ط ور 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 درکارهای تحقیقاتی آتی و مدیریت الگوی کشت مورد استفاده قرار گیرند. در تحقیقات آتی ارزیابی سناریوهای دیگر کاهش سطح و یا کشت‌های جایگزین پیشنهاد می‌شود.

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 Haghighi 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 Esfandiarpoor 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 maximom 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, Raziei 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