

شبیه‌سازی دینامیکی تأثیر سیاست سودآوری بر جریان خروجی استان زنجان

شهلا پایمزد^۱، حسین جیریایی شراهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

نتایج حاصل از نگرش تصمیم‌گیرندگان در کوتاه‌مدت یا بلندمدت عواقب سوء یا سودمندی را در حوزه مدیریت منابع آب به همراه خواهد داشت. در جامعه‌ای یک‌سونگر و منحصراً بهره‌بردار، بروز مناقشات آبی و چالش‌های مرتبط، دور از انتظار نبوده و قطعاً رخ خواهد داد. در تحقیق حاضر با تعریف ۱۶ سناریو در بخش کشاورزی، تأثیر دو سیاست سودآوری و محدودیت عرضه منابع آب بر جریان خروجی استان زنجان با دیدگاه دینامیکی طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ در مقیاس ماهانه شبیه‌سازی شد. نتایج سیاست سودآوری نشان داد با افزایش قیمت دوبرابری گیاهان، ۷۱٪ سود با ۴۸٪ افزایش سطح زیر کشت کل استان و ۳۰٪ کاهش عملکرد حاصل شده است. این امر ۶۹٪ کاهش جریان خروجی نسبی استان را به همراه داشته است. به عبارتی بهتر، ۶۹٪ کاهش خروجی نسبی استان به بهای ۷۱٪ سود بخش کشاورزی نتیجه شده است. این خسارت بسیار جبران‌ناپذیر بی‌توجه به بهای آب نتیجه شده است. لذا مدیریت منابع آب از طریق سیاست اعمال محدودیت عرضه منابع آب، اجرا و نتایج نشان داد با اعمال سیاست محدودیت عرضه، نسبت به سیاست سودآوری، سطح کشت کل استان، به‌طور متوسط ۶۸٪ کاهش، عملکرد ۳۳٪ افزایش و در نهایت، متوسط مقدار سود ۴۹٪ کاهش و خروجی ۷۶٪ افزایش داشته است. در همین راستا، اعمال محدودیت عرضه، در شرایط قیمت پایه، ۲۳٪ افزایش جریان خروجی را به دنبال خواهد داشت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقادیر سطوح زیر کشت فعلی استان نشان می‌دهد کشاورز با سودی حدود ۲/۳ برابر سود پایه اقدام به کشت نموده است. این امر معادل ۸۴٪ کاهش نسبت جریان خروجی است.

کلیدواژه‌ها: سود، شبیه‌سازی، عرضه، محدودیت منابع آب.

۱. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، نویسنده مسئول، s-paimozd@araku.ac.ir

۲. پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه اراک، اراک، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست دانشگاه اراک، اراک، ایران

مقدمه

با توجه به کثرت مصرف‌کنندگان منابع آب، نوع بهره‌برداری از این منابع بایستی با دقت و حساسیت خاصی مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه حفظ حیات منوط به موجود بودن این منابع در زمان و مکان خاص و تعیین‌شده می‌باشد، نحوه ذخیره منابع آب و اختصاص آن با مدیریت صحیح و آینده‌نگر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از نگرش مدیران و تصمیم‌گیرندگان در کوتاه یا درازمدت می‌تواند عواقب سوء یا سودمندی را به همراه داشته باشد. در جامعه‌ای یک‌سوئگر و منحصراً بهره‌بردار، بروز مناقشات آبی و چالش‌های مرتبط، دور از انتظار نبوده و قطعاً رخ خواهد داد. حوزه‌های گوناگونی در بهره‌برداری از منابع آب دخیل‌اند. در این بین، مصارف و رشد کشاورزی، به‌لحاظ تولید و صادرات مواد غذایی و صنایع وابسته به آن و نیز استقلال و امنیت غذایی یک کشور، نقش عظیم و تعیین‌کننده‌ای در چگونگی بهره‌برداری داشته و خروجی حاصل از آن، اقتصاد پیشرو و در صورت عدم مدیریت صحیح، مناقشات بسیاری را در پی خواهد داشت. امنیت غذایی جهانی و دستیابی به تولید پایدار کشاورزی، حصول سود و رشد اقتصادی مشروط به در دسترس بودن منابع آب پایدار است. لذا تحقق تولید و افزایش عملکرد و متعاقب آن، سیر صعودی درآمد کشاورزان علاوه‌بر استفاده صحیح و اصولی از منابع خاک، به نوع بهره‌برداری از منابع آب وابسته‌تر است (پتل^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

در صورت مدیریت اصولی و استفاده بهینه از منابع آب سود حاصل از کشاورزی، دوچندان خواهد شد؛ چراکه با صرفه‌جویی در مصرف منابع آب، زمین‌های مکمل، آبیاری و در نتیجه به استفاده کارآمدتر و منطقی‌تر از منابع زمین و آب و سودآوری بیشتری دست پیدا خواهد شد (کاسو^۲، ۲۰۱۷). در میان شیوه‌های مختلف مدیریت آب، برنامه‌ریزی تخصیص مهم‌ترین عاملی است که میزان آب کافی و به‌موقع را برای محصولات کشاورزی به بهترین شکل ممکن برای بهینه‌سازی تولید و عملکرد تضمین می‌کند. لذا عدم مدیریت عرضه،

می‌تواند در دسترس بودن و اثربخشی این منبع طبیعی را به‌ویژه برای بخش کشاورزی به خطر بیندازد (سرکار^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). این امر ارزیابی صحیح سیستم تخصیص آب و ارتباط بین اجزای منابع آب و تولیدات غذایی برای شناسایی پتانسیل‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری به‌ویژه در مناطق خشک را ضروری می‌سازد (بکچانو^۴، ۲۰۲۴). در این تصمیمات آرایه‌های گوناگونی، چگونگی نحوه استفاده از منابع آب و بازده اقتصادی منتج را رقم می‌زنند. هاشمی و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی پتانسیل افزایش پایداری تولیدات کشاورزی مازندران با انتخاب شبکه آبیاری و زهکشی مدرن پرداخته و عملکرد شبکه را تحت راهبردهای مختلف ارزیابی کرده‌اند. در این تحقیق به ترکیب راه‌حل‌های زیرساختی، مانند گذار از آبیاری سنتی، به قطره‌ای و ترکیب مالچ‌پاشی با آبیاری قطره‌ای، جهت پایداری تولید اشاره شده است. نتایج نشان داد استفاده از آبیاری قطره‌ای صرفه‌جویی سالانه ۳۸۲/۴ متر مکعب آب در هکتار را در پی خواهد داشت (هاشمی و همکاران، ۲۰۲۴). ارزیابی فواصل آبیاری برای حصول بیشترین بازده اقتصادی و همچنین زراعی در کشت برنج آبی تحت شرایط کمبود آب در جنوب عراق توسط محمد خلید^۵ و همکاران (۲۰۲۳) مورد توجه قرار گرفت. در این تحقیق، تحلیل هزینه-فایده نشان داد که بهترین راه برای دستیابی به بالاترین بازده اقتصادی خالص، آبیاری با فاصله زمانی ۳ روز همراه با روش‌های SRI^۶ است. این پروتکل آبیاری، درآمد خالص ۲۶۳۷ دلار در هر هکتار را در مقایسه با ۱۹۵۰ دلار در هر هکتار با غرقاب مداوم و ۱۷۰۲ دلار در هر هکتار با فواصل زمانی ۷ روز ایجاد کرد. از طرفی، بیشترین بهره‌وری آب با استفاده از روش‌های SRI با فواصل آبیاری ۷ روزه حاصل می‌شود که ۲۳۶ کیلوگرم برنج به‌ازای هر متر مکعب آب آبیاری تولید می‌کند. این میزان در مقایسه با ۱۷۸ کیلوگرم برنج به‌ازای هر متر مکعب آب تولیدشده با فواصل آبیاری ۳ روزه (۲۵٪ کمتر) و ۷۴ کیلوگرم برنج با غرقاب کردن مداوم شالیزارها (۶۹٪ کمتر) بسیار مطلوب گزارش شد. بهبود راندمان آبیاری و تأثیر آن بر سود خالص بهینه کشاورزی توسط

3. Sarkar

4. Bakchanov

5. Mohammed Khalid

6. System of Rice Intensification

1. Patel

2. Kassu

نشان داد تغییرات اقلیم می‌تواند نتایج حاصل از نوع و روش آبیاری و سود حاصل از آن را تحت‌تأثیر قرار دهد. در این مطالعه با تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش مداوم، سود حاصل از آبیاری برای مناطقی که تحت تنش گرمایی مداوم هستند، مانند دشت شمال چین، به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. با توجه به روندهای منفی غالب برای سود آبیاری در سراسر چین، بهره‌وری ناشی از کشت ذرت در آینده به‌شدت متناسب با تغییر آب‌وهوا تهدید خواهد شد. در واقع، آنچه به‌عنوان سود ناشی از روش آبیاری در سطح کلان می‌تواند سودآوری داشته باشد، با تهدید موجه خواهد شد. بنابراین به‌موازات سیر صعودی افزایش دما منتج از تغییر اقلیم، سود حاصل از آبیاری محصولات سیر نزولی خواهد داشت (لیاو و همکاران، ۲۰۲۴). لذا انتخاب مسیر برای دستیابی به سود بالاتر به متغیرهای گوناگونی وابسته است. انتخاب هر متغیر یا گروهی از متغیرها که یک سناریو را تشکیل می‌دهند، باید متناسب با موقعیت مکانی و اقلیم منطقه باشد، زیرا تغییر ناگهانی روش آبیاری نیز بر اقلیم منطقه تأثیرگذار است. کشاورزی پایدار به نوعی از کشاورزی اطلاق می‌شود که آسیب کمتری به دیگر بخش‌ها وارد نماید (کانسوک^۵ و همکاران، ۲۰۲۴). ازجمله ارکان اصلی رشد کشاورزی پایدار می‌توان به بهبود بهره‌وری، کارایی استفاده از منابع، افزایش عملکرد و تنوع‌بخشی به‌سمت محصولات با ارزش افزوده بالا اشاره کرد (کرمسا^۶، ۲۰۲۱؛ جینگ^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). بااین‌حال، فقدان آمار و اطلاعات در بخش تخصیص منابع آب و چگونگی مصارف مرتبط، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و در حال گذار، مانع از تشخیص قطعی و همیشگی مشکلات در سیستم‌های منابع آب می‌شود (بکچانو، ۲۰۲۴).

در حیطه بهره‌برداری از منابع آب، آنچه تداوم رشد را تضمین می‌کند، تأمین مواد غذایی و عدم هدررفت منابع آب تا حد امکان است که بررسی دوطرفه برداشت از منابع و سود کشاورزی را ضروری می‌نماید. لذا تصمیمات مدیریتی و کلان‌نگر زمانی نقشی کلیدی و پاسخ‌گو خواهند داشت که سود

سبزه‌زاده و شوریان (۲۰۲۰) در دشت آسمان‌آباد در غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق با هدف حداکثر نمودن سود خالص عملکرد محصولات کشاورزی از مدل PSO-SWAT-MODFLOW استفاده شد. در این تحقیق، برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی مد نظر بوده و میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی بهینه شده است. نتایج نشان داد قیمت محصولات کشاورزی تأثیر عمده‌ای بر الگوی بهینه کشت و مصرف آب داشته، درحالی‌که بهبود راندمان آبیاری تأثیر چندانی بر سود خالص بهینه کشاورزی نداشته است. کم‌آبیاری گزینه دیگری است که مد نظر سامان و تاریق^۱ (۲۰۲۳) قرار گرفت. در این تحقیق، اشاره شده است برای تأمین تقاضا و تغذیه جمعیت رو به رشد، بخش قابل توجهی از تحقیقات کشاورزی باید بر بهبود بهره‌وری مصرف آب متمرکز شود. براساس نتایج این تحقیق، توصیه شد در مناطقی با منابع آب محدود، از کم‌آبیاری به‌همراه مالچ‌پاشی به‌عنوان روشی برای صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی استفاده شود. اما آنچه درخصوص انتخاب روش آبیاری یا برنامه‌ریزی مرتبط با آن مطرح می‌شود، بازده اقتصادی در سطح کلان است. هزینه اجرای روش، به‌خصوص روش‌های مدرن و پرهزینه، تأثیر آن بر عملکرد گیاه و درنهایت تأثیری احتمالی آن بر اقلیم، ازجمله عواملی است که سبب شده برخی محققان یا تصمیم‌گیرندگان از عوامل دیگری برای کنترل برداشت آب و افزایش سودآوری بهره ببرند. به عقیده چنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۱) قبل از انتخاب یک روش آبیاری مؤثر برای صرفه‌جویی در مصرف آب، ارزیابی کاهش عملکرد، سود اقتصادی ناشی از صرفه‌جویی در مصرف آب و هزینه اجرای روش آبیاری ضرورت بیشتری داشته و از درجه اهمیت بالاتری برخوردار است. ازطرفی، عدم امکان توسعه منابع آب ازجمله مواردی است که می‌تواند محدودیت ایجاد نماید. مطابق نظر ژانگ و اوئیس^۳ (۱۹۹۹) سناریوهای آبیاری برای به حداکثر رساندن عملکرد محصول در شرایطی که محدودیت توسعه منابع آب و خاک وجود دارد، نباید توصیه شوند (ژانگ و اوئیس، ۱۹۹۹). تحقیق لیاو^۴ و همکاران (۲۰۲۴) در شمال چین

5. Kunsook

6. Kremsa

7. Jing

1. Saman & Tariq

2. Cheng

3. Zhang & Oweis

4. Liao

ارتفاعات استان کردستان سرچشمه گرفته و به ترتیب پس از عبور از استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل با الحاق روخانه‌های متعدد، از طریق یک شکاف در کوه‌های البرز به دریاچه سد سفیدرود می‌رسد. مهم‌ترین منبع آب‌های سطحی آن بخش از استان زنجان که در حوزه آبریز قزل‌اوزن قرار دارد، رودخانه‌های زنجان‌رود و سجاس‌رود است که به قزل‌اوزن بزرگ می‌پیوندند. مسیر این رودخانه، یکی از مهم‌ترین منابع آب‌های سطحی استان زنجان است که حوزه آبریز قزل‌اوزن را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). ایستگاه تالوار واقع در خروجی استان کردستان به‌عنوان ورودی به زنجان و ایستگاه پل دختر نیز خروجی استان انتخاب شده است. در این استان، سدهای مهمی همچون تهم، گلابر، تالوار و مشمپا واقع شده‌اند. از جمله اهداف اصلی ایجاد سدها، افزایش سطوح زیر کشت و تولیدات کشاورزی، پیشگیری از مهاجرت‌های بی‌رویه، افزایش متوسط درآمد کشاورزی و توسعه منابع وابسته به کشاورزی در منطقه است. لذا شبیه‌سازی بخش کشاورزی استان زنجان با توجه به تعدد مصرف‌کنندگان و طرح‌های تعریف‌شده و بررسی تأثیر سود حاصل از بخش کشاورزی اهمیت فراوانی دارد که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. آمار و اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، بارندگی، دبی مشاهداتی، دبی طبیعی، قیمت محصولات کشاورزی منطقه، سطح زیرکشت، جمعیت، هزینه بخش کشاورزی، احجام سدها، راندمان آبیاری و منابع آب‌های زیرزمینی است طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ و مرز سیستم نیز، استان زنجان واقع در حوزه آبریز قزل‌اوزن است.

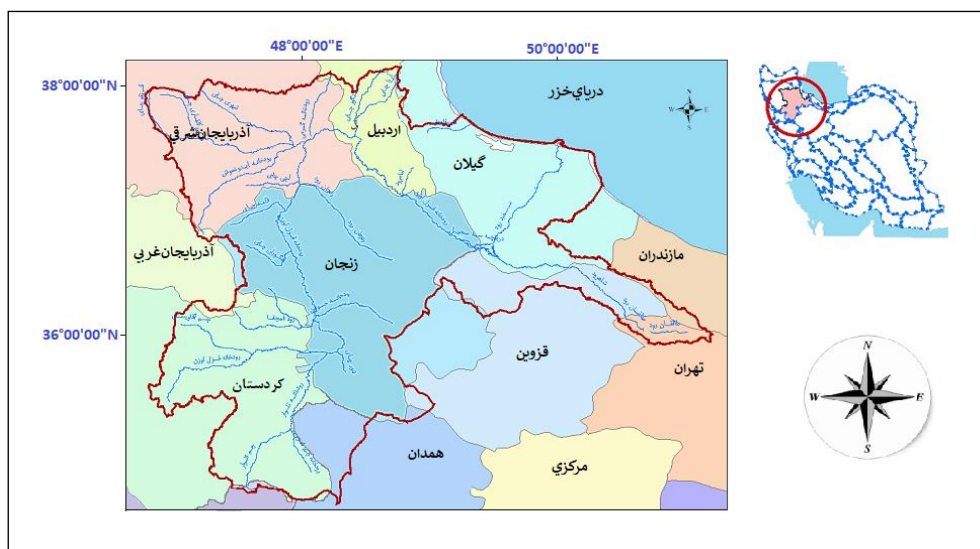
کشاورز به موازات مدیریت عرضه دیده شود. لذا سیستم تغذیه‌کننده این تفکر نیازمند یک چارچوب مدل‌سازی مبتنی بر رویکرد دوسویه است که سود و تأثیر آن بر مقدار مصرف منابع آب و تأثیر برداشت آب بر سودآوری را شبیه‌سازی نماید. مدل‌های یک‌سونگر و استاتیک دارای چنین قابلیت نبوده و سیستم‌های دینامیک (SD^۱) هستند که می‌توانند با توجه به ماهیت مسئله، به حصول بهترین جواب منجر شوند. متأسفانه دیدگاه دینامیکی در این بخش از تحقیقات دارای خلأ بزرگی است و اغلب دیدگاهی یک‌طرفه و خطی جایگزین شده است. در بحث منابع آب، دیدگاه دینامیکی در برخی تحقیقات یا به بررسی اثرات زیست‌محیطی مصارف برنامه‌ریزی نشده و حذف آلاینده‌ها پرداخته (هو،^۲ ۲۰۲۱؛ وانگ،^۳ ۲۰۲۵) یا مصارف خانگی و شرب (چن^۴ و همکاران، ۲۰۲۲؛ نظری علمدارلو، ۲۰۲۰؛ وانگ، ۲۰۲۱) مد نظر قرار گرفته‌اند. در تحقیقات گسترده‌تری نیز مدیریت منابع آب (تیان^۵ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ نعیم^۶ و همکاران، ۲۰۲۴) مورد تحقیق تحقیق بوده است. لیکن برآورد سود ناشی از بخش کشاورزی و تأثیرات متقابل به صورت دینامیکی کمتر مورد توجه بوده است. در تحقیق حاضر شبیه‌سازی دینامیکی سود حاصل از بخش کشاورزی و تأثیر آن بر منابع آب استان زنجان طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ در مقیاس ماهانه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان زنجان در شمال غربی ایران و در منطقه‌ای کوهستانی قرار دارد. این استان با مساحتی حدود ۲۲ هزار کیلومتر مربع، به دلیل موقعیت جغرافیایی خود دارای تنوع اقلیمی و طبیعی قابل توجهی است و پس از استان کردستان، دومین استان محل عبور رودخانه عظیم قزل‌اوزن است. طول رودخانه قزل‌اوزن از سرشاخه تا سد سفیدرود ۶۶۰ کیلومتر است. این رودخانه از

1. System Dynamics
2. Hu
3. Wang
4. Chen
5. Tian
6. Naem



شکل (۱): موقعیت استان زنجان در حوضه آبریز قزل‌اوزن بزرگ

Figure (1): Location of Zanjan Province in the Great Ghezel Ozan River Basin

جزء به جزء متغیرها، روابط بین متغیرها توسط مدل‌های ریاضی بیان می‌شوند و مدل‌های ریاضی با استفاده از نرم‌افزارها با زبان کامپیوتر، تجزیه و تحلیل مدل‌های ریاضی را شبیه‌سازی می‌کنند. فرایند مدل‌سازی، درک عمیق‌تری از روابط علی بین متغیرها را تسهیل می‌کند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۵). رویکرد SD می‌تواند برای بهبود برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب به کار گرفته شود (گستلوم^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین این رویکرد می‌تواند تقاضای آب یک سیستم منابع آب پیچیده و چندعاملی را به‌طور دقیق و کمی توصیف کند و مبنای قابل اعتمادی برای استفاده منطقی و توسعه پایدار منابع آب فراهم کند (هانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

لذا با توجه به قابلیت سیستم دینامیک در بررسی جزء به جزء پارامترها و حلقه‌های بازخوردی، برای شبیه‌سازی برآورد میزان سود حاصل از بخش کشاورزی از دیدگاه دینامیک استفاده شد. در همین راستا، متغیرهایی که تعیین‌کننده میزان سود هستند معرفی، و به نمودار حالت جریان^۴ مدل معرفی می‌شوند. حلقه‌های علی و معلولی^۵ منتج از ارتباط بین متغیرها همان معادلات ریاضی مابین آنهاست. باید توجه داشت که در تقاضای کشاورزی عملکرد گیاه از جمله متغیرهای اصلی

شبیه‌سازی دینامیکی برآورد سود بخش کشاورزی

دیدگاه دینامیک یک رویکرد شبیه‌سازی پویاست که در مقایسه با مدل‌های استاتیک موجود، برتری‌های قابل توجهی در شبیه‌سازی غیرخطی و چندمتغیره دارد و می‌تواند به عنوان یک پشتیبان مؤثر برای تصمیمات پیچیده مدیران و برنامه‌ریزان معرفی شود (فورستر^۱، ۱۹۸۹). این رویکرد، مجموعه‌ای از مکانیسم‌های بازخوردی است که علت و معلول را در یک مرز تعیین‌شده، مورد بررسی جزء به جزء قرار داده و امکان پیش‌بینی‌های بلندمدت کل سیستم یا عناصر خاصی از سیستم را فراهم می‌کند. در واقع، سیستم دینامیک، روشی مبتنی بر شبیه‌سازی تأثیر متقابل و روابط غیرخطی عوامل متعدد درون سیستم است. لذا با توجه به این دیدگاه، همه سیستم‌ها باید دارای ساختاری علی و معلولی باشند که عملکرد کلی سیستم، براساس الگوی رفتاری ناشی از بازخوردهای اجزای داخلی سیستم نتیجه شود. بنابراین ریشه مشکل، براساس عناصر داخلی سیستم و منتج از ویژگی‌های دوسویه متغیرهای واقعی خواهند بود نه براساس دخالت عوامل خارج از سیستم یا رویدادهای تصادفی (پایمزد، ۲۰۲۱). این رویکرد به کاربران در درک ساختار مدل کمک می‌کند و برای توسعه‌دهندگان مدل، ایجاد تغییرات در محتوای مدل را آسان می‌سازد. لذا برای بررسی

2. Gastelum
3. Huang
4. Stock Flow
5. Causal loops

1. Forrester

$$FieldCapacity = root_{i,t} \rho \theta_v \quad (۳)$$

$$WiltingPo int = root_{i,t} \rho \theta_v \quad (۴)$$

در رابطه فوق، $root$ طول ریشه (میلی متر)، ρ جرم حجمی خاک نسبت به آب، θ_v تخلخل حجمی است. طول ریشه (میلی متر) طی فصل رشد از رابطه (۵) محاسبه شد (بورگ و گریمس، ۱۹۸۶):

$$root_{i,t} = 10(r + Root_{Max}(0.5 + 0.5 \sin((3.03t/T) - 1.47))) \quad (۵)$$

که در آن، $Root_{Max}$ به ترتیب طول ماکزیمم ریشه (میلی متر)، r عمق کاشت (سانتی متر) و t مبین دوره زمانی ۳۰ روزه (برابر با گام زمانی در شبیه سازی) و T طول دوره زمانی رشد محصول i است. در این تحقیق، حداکثر طول ریشه و عمق کاشت به ترتیب برای گندم ۷۰، ۷ و یونجه ۱۰۰، ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. رطوبت خاک $(SMB)^v$ نیز با استفاده از معادله (۶) محاسبه گردید (شاناسیک^۸ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$S_{i,j+1} = S_{ij} + Pef_{ij} + Irrig_{ij} - ETa_{ij} - DP_{ij} \quad (۶)$$

در رابطه فوق، S_{ij+1} عمق رطوبت محصول i در گام زمانی $j+1$ ، Pef_{ij} بارندگی مؤثر، $Irrig_{ij}$ عمق آبیاری، ETa_{ij} تبخیر و تعرق واقعی گیاه و DP_{ij} نفوذ آب به لایه های زیرین خاک^{۱۰} (میلی متر) هستند. نفوذ آب به لایه های زیرین خاک، حداقل برابر تلفات مقدار آبیاری است و در صورت اعمال آب مازاد (مانند وجود بارندگی بیش از نیاز آبی)، از این حد هم بیشتر می شود (پایمزد، ۱۳۸۹):

$$DP_{i,t} \geq IR_{i,t}(1 - Eff_c) \quad (۷)$$

در رابطه بالا Eff_c ^{۱۱} راندمان آبیاری است. بارندگی مؤثر با استفاده از روش سرویس حفاظت خاک^{۱۲} محاسبه شده است (کوئنکا، ۱۹۸۹):

$$Pef_{ij} = \min(Pefe_{ij}, ETa_{ij}, Pt_{ij}) \quad (۸)$$

$$Pefe_{ij} = f(D)[1.25Pt_{ij}^{0.824} - 2.93]10^{0.000955ETc_{ij}} \quad (۹)$$

$$f(D) = 0.53 + (0.0116D) - 8.9(10^{-5})D^2 + 2.32(10^{-7})D^3 \quad (۱۰)$$

تعیین کننده سود هستند. عملکرد گیاهان نیز به پارامترهای متعدد و بسیاری وابسته است که میزان آب در دسترس، به خصوص در زمان نیاز گیاه از مهم ترین عوامل به شمار می رود. در بحث تخصیص منابع آب به تقاضای کشاورزی، تحت شرایطی که گیاه تنشی تجربه نکند و کل آب مورد نیاز گیاه در دسترس باشد، نیاز آبی گیاه تأمین و در غیر این صورت مطابق منابع آب موجود، مقداری از نیاز گیاه تأمین خواهد شد. لذا محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، رطوبت خاک و نفوذ عمقی و نیز عمق آب آبیاری لازم است تا در ادامه، در مقایسه با میزان آب در دسترس گیاه، عملکرد برآورد شود. پس از محاسبه عملکرد گیاهان، سود با توجه به سطح زیر کشت، هزینه ها و قیمت محصول برآورد می گردد. برای برآورد نیاز آبی گیاهان یا تبخیر و تعرق پتانسیل^۱ (ETp) بایستی از رابطه (۱) استفاده شد (فرگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۲).

$$ETp_{c,t} = Kc_{c,t} * ET_o \quad (۱)$$

که در آن، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع، $Kc_{c,t}$ ضریب گیاهی و t دوره زمانی است که در این تحقیق ماهانه در نظر گرفته شده است. برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن مانیت (آلن^۳ و همکاران، ۱۹۹۸) با استفاده از داده های ایستگاه های سینوپتیک منطقه و ضریب گیاهی با توجه به دوره های زمانی در هر مرحله از رشد گیاه براساس استاندارد FAO محاسبه گردید. به منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاهان^۴ (ETa) در شبیه سازی و توسعه مدل، رابطه (۲) به کار گرفته شد (ژائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۳):

$$ETa_{ij} = \frac{ETp_{ij} S_{ij}}{(FieldCapacity - WiltingPo int)} \quad (۲)$$

که در آن، ETp_{ij} تبخیر و تعرق پتانسیل محصول i و زمان j (میلی متر بر ماه)، $Field Capacity$ ظرفیت زراعی مزرعه، $Wilting Point$ نقطه پژمردگی دائم، S_{ij} عمق رطوبت خاک (میلی متر) است. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی از رابطه های (۳) و (۴) محاسبه شد (گستلوم و همکاران، ۲۰۱۸):

6. Borg & Grimes

7. Soil Moisture Balance Equation

8. Shanasyk

9. Effective Rainfall Equation

10. Deep Percolation

11. Efficiency

12. Soil Conservation Service Method

13. Cuenca

1. Potential Evapotranspiration

2. Farg

3. Allen

4. Actual Evapotranspiration

5. Zhao

شبیه‌سازی به گونه‌ای انجام گرفت که پس از تأمین تقاضای شرب، صنعت و محیط‌زیست، با ورود سطوح زیر کشت کلیه گیاهان موجود در منطقه و نیاز آبی آن‌ها و نیز احجام کلیه سدها، خروجی محاسباتی و مشاهداتی ایستگاه پل دختر مورد بررسی واقع شود. این ایستگاه آخرین ایستگاه موجود در منطقه است که به استان آذربایجان شرقی وارد می‌شود. پس از تأیید صحت مدل، شبیه‌سازی مرحله دوم که سود حاصل از کشاورزی، سطوح زیر کشت را تعیین می‌کند انجام گردید.

شبیه‌سازی شرایط موجود

در تحقیق حاضر سعی شده است شبیه‌سازی منطبق بر واقعیت منطقه، انجام و اولویت‌های برداشت از منابع آب نیز مطابق برداشت استان باشد. تقاضاهای موجود در استان زنجان شامل بخش‌های شرب، صنعت، محیط‌زیست و کشاورزی است. با توجه به مدیریت منابع آب استان زنجان، قبل از ورود به بخش کشاورزی، ابتدا تقاضای شرب در تخصیص منابع در نظر گرفته شد. از آنجاکه ارقام برداشت صنعت و محیط‌زیست نیز در مقایسه با تقاضای کشاورزی اندک است، تخصیص این دو بخش نیز در اولویت و قبل از کشاورزی در نظر گرفته شد. لذا شبیه‌سازی به گونه‌ای انجام گرفت که اولویت تخصیص منابع آب در منطقه مطابق روند واقعی، مدل شود. به‌منظور تعیین تقاضای شرب، روند افزایش جمعیت در استان و نیز سرانه مصرف ماهانه برآورد گردید. روند افزایش جمعیت در منطقه با استفاده از آمار جمعیت و نرخ رشد سالانه، برآورد و جمعیت ماهانه شبیه‌سازی شد. برای تعیین مصرف سرانه شرب در مقیاس ماهانه نیز، آمار مربوط که توسط آب منطقه‌ای استان اعلام شده است، مورد استفاده قرار گرفت. تقاضای بخش صنعت و حقایق زیست‌محیطی نیز به‌طور ثابت و با استفاده از آمار موجود در طول دوره شبیه‌سازی در نظر گرفته شد.

پس از تعیین مقادیر تقاضای ماهانه شرب، صنعت و محیط‌زیست، تخصیص آن‌ها از منابع ورودی صورت گرفت. در این مرحله، کلیه منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تجمیع گردید. این مقادیر شامل ورودی از بالادست و سرشاخه‌ها و نیز منابع آب‌های زیرزمینی است. با توجه به اینکه منابع آب‌های زیرزمینی در اختیار بخش شرب و صنعت است، مابقی

$P_{ef_{ij}}$ بارندگی مؤثر محصول i در ماه j (میلی‌متر بر ماه)، $f(D)$ عمق نفوذ بیش از ۷۵ میلی‌متر، D عمق رطوبت خاک قبل از آبیاری (میلی‌متر)، P_t میزان کل آبیاری (میلی‌متر بر ماه)، $ET_{a_{ij}}$ و $ET_{c_{ij}}$ تبخیر تعرق واقعی و گیاه (میلی‌متر بر ماه) هستند. عملکرد واقعی گیاه در سال آبی نیز از رابطه زیر محاسبه شده است (رائو^۱ و همکاران، ۱۹۹۸).

$$\frac{Y_a}{Y_{max}} = 1 - \sum_{i=1}^n K_{y_i} \left(1 - \frac{ET_a}{ET_p} \right)_i \quad (11)$$

که در آن، Y_a عملکرد واقعی، Y_{max} عملکرد حداکثر، ET_a تبخیر-تعرق واقعی، ET_p تبخیر-تعرق حداکثر و K_y ضریب حساسیت محصول به تنش آبی در کل دوره رشد گیاه است. ضریب حساسیت محصول به نوع گیاه و مقاومت آن به خشکی بستگی دارد. معمولاً مقادیر کوچک‌تر از یک دلیل بر مقاومت بیشتر گیاه به خشکی (حساسیت کمتر به کم‌آبی) و مقادیر بزرگ‌تر از یک، بیانگر مقاومت کمتر گیاه به خشکی است. پس از محاسبه عملکرد واقعی با داشتن قیمت محصولات و متوسط هزینه تولید آن‌ها سود محصول^۲ مطابق رابطه زیر برآورد گردید:

$$CB_{ig} = \{ (Crop Price_{ig} \times Yield_{ig}) - ProdCost_{ig} \} \quad (12)$$

CB_{ig} مقدار سود محصول، $Crop Price_{ig}$ متوسط قیمت محصول، $Yield_{ig}$ ماکزیم عملکرد محصول و $ProdCost_{ig}$ متوسط هزینه تولید محصول i و سال g هستند.

در ادامه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی دینامیکی سود حاصل از بخش کشاورزی و تأثیر آن بر منابع آب استان زنجان طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ در مقیاس ماهانه آمده است.

نتایج

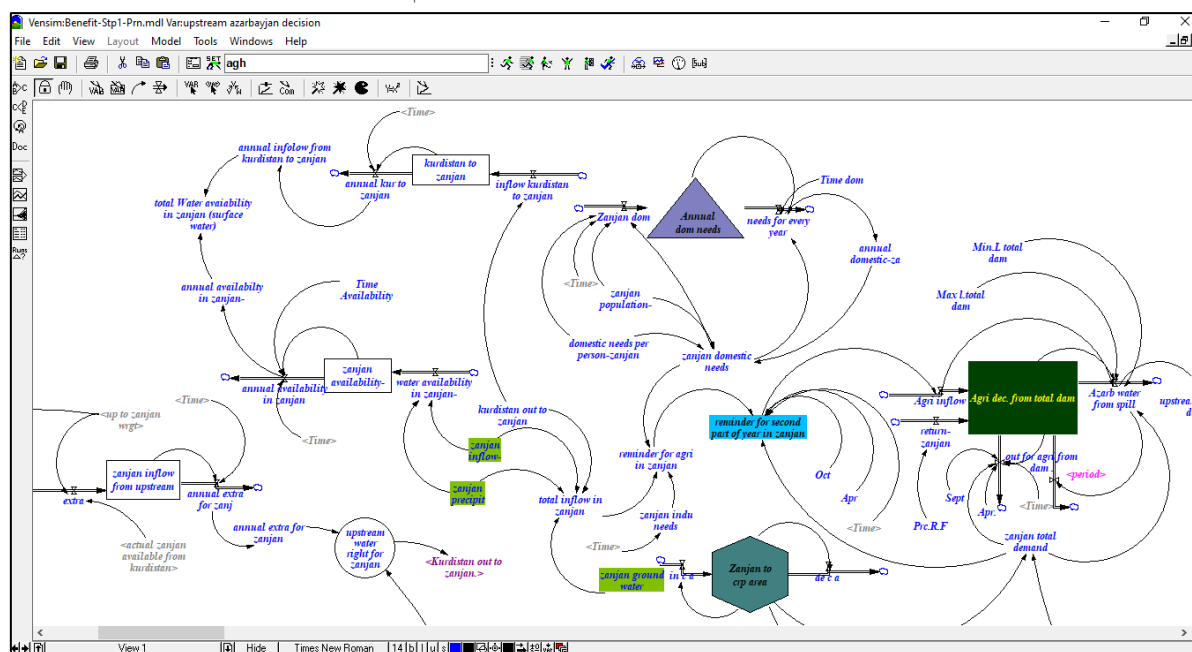
با توجه به اینکه بیشترین سهم برداشت از منابع آب در کل کشور، به بخش کشاورزی تعلق می‌گیرد، مراحل شبیه‌سازی برآورد تقاضا و مدل‌سازی بخش کشاورزی در دو مرحله انجام گرفته است. در تحقیق حاضر لازم بود پس از اطمینان از صحت آمار و اطلاعات، ابتدا شبیه‌سازی وضع موجود انجام و پس از اطمینان از عملکرد مدل، تأثیر سود بر سطح زیر کشت (مرحله دوم) مورد بررسی قرار گیرد. لذا در مرحله اول،

1. Rao
2. Crop Benefit Function

نظر در کلیه ایستگاه‌ها محاسبه و به مدل وارد گردید. با داشتن مقادیر سطوح زیر کشت و نیاز آبی گیاهان، تقاضای بخش کشاورزی نیز محاسبه و از مقادیر منابع آب موجود کسر گردید. در این مدل، شبیه‌سازی به گونه‌ای انجام شده که حقابه استان پایین‌دست (آذربایجان شرقی) نیز در نظر گرفته شده است و در صورت وجود مقادیر مازاد بر حقابه، این مقدار تحت عنوان منابع آب مازاد بر حقابه پایین‌دست، رها می‌گردد. این بخش از مدل در مرحله دوم شبیه‌سازی از اهمیت بالایی برخوردار است.

موجودی منابع آب در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گیرد. (شکل ۲).

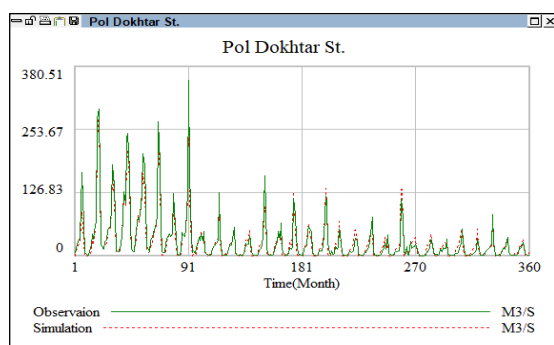
در این مرحله از شبیه‌سازی، احجام کل سدها به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است و سطوح زیر کشت با استفاده از آمار موجود به مدل وارد گردید. شایان ذکر است به منظور برآورد کل آب سطحی در دسترس استان، نیاز به آب‌دهی طبیعی ایستگاه‌های واقع در منطقه مطالعاتی بود که با استفاده از روش حذف روند (قدوسی و همکاران، ۲۰۱۴) مقادیر مورد



شکل (۲): نمودار حالت جریان مرحله اول مدل‌سازی استان زنجان

Figure (2): Stock Flow diagram in the first stage of modeling of Zanjan province

جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ایستگاه پل دختر (ایستگاه خروجی) طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ مقایسه شد (شکل ۳).



شکل (۳): آزمون رفتار جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ایستگاه

پل دختر

Figure (3): Simulated and observed flow behavior test of Pol Dokhtar station

همچنین در این مدل، برای تدقیق بیشتر و انطباق بالاتر با شرایط واقعی سطوح زیر کشت باغات نیز در نظر گرفته شده و در شروع شبیه‌سازی، مقدار آب مورد نیاز این بخش اختصاص داده شده است. پس از معرفی متغیرها و ورود اطلاعات، شبیه‌سازی در مقیاس ماهانه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ انجام شد. برای اطمینان از صحت عملکرد مدل، لازم است آزمون‌های مرتبط با شبیه‌سازی دینامیکی مورد بررسی قرار گیرند.

ارزیابی و صحت‌سنجی مدل

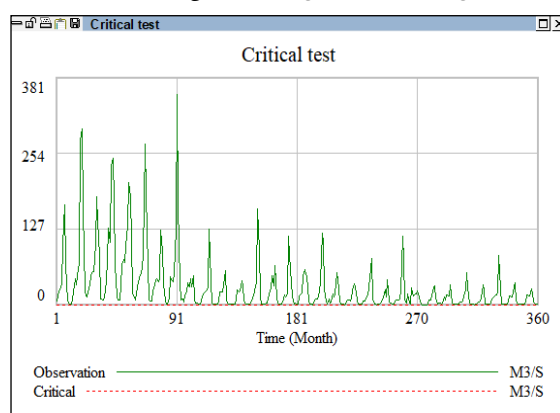
در شبیه‌سازی به روش دینامیک، صحت مدل از طریق آزمون رفتار و شرایط حدی مورد تأیید واقع می‌شود (فرجی و همکاران، ۲۰۲۳). در این تحقیق برای بررسی آزمون رفتار

شبیه‌سازی اعمال سیاست سودآوری

با استفاده از روابط اشاره‌شده، تخصیص آب استان زنجان با اولویت‌های حاکم بر منطقه، در محیط نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی شد. شکل (۵) بخشی از مدل شبیه‌سازی‌شده را نمایش می‌دهد. شایان ذکر است در این مرحله علاوه بر آمار و اطلاعات هیدرولوژی، آمار جمعیت و زراعی اشاره‌شده، اطلاعات هواشناسی نیز مورد نیاز است. در استان زنجان، راندمان آبیاری ۳۰ درصد برآورد شده است (جیرایی و پایمزد، ۲۰۲۳). همچنین، ماکزیم عملکرد گیاهان با استفاده از اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی تعیین گردید.

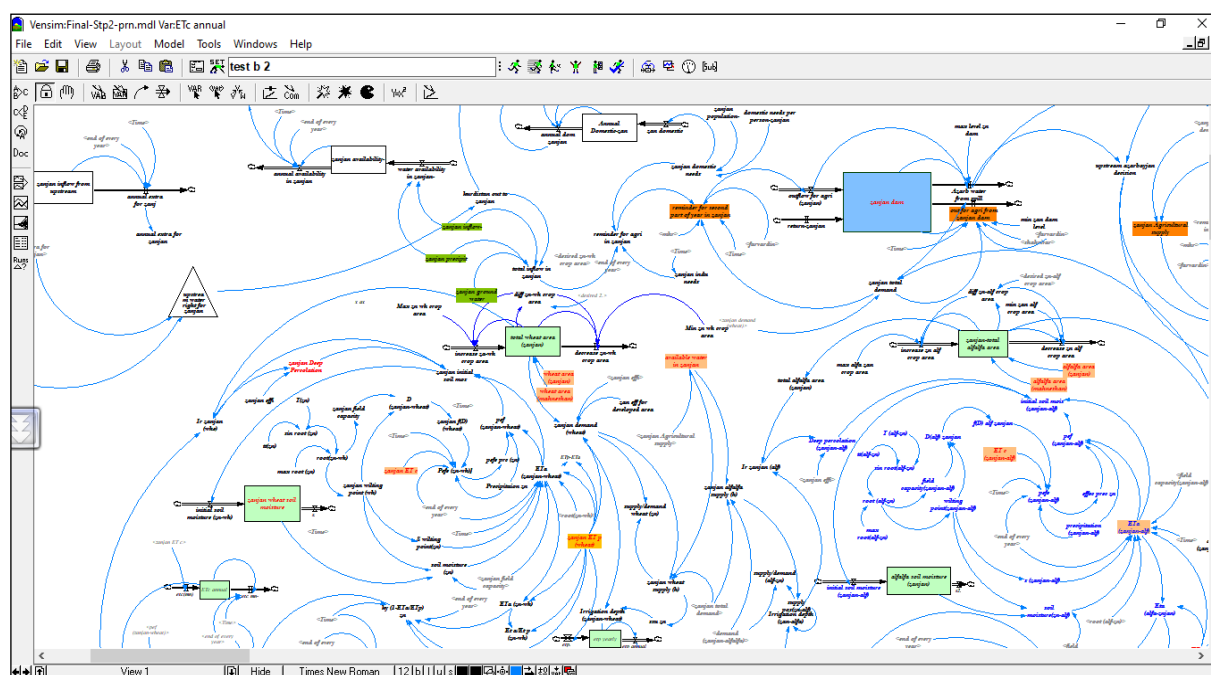
همچنین با توجه به تعدد گیاهان زراعی موجود در استان و نیاز به آمار و اطلاعات بسیار بالا برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق حدود ۲۲ گیاه متنوع، کلیهٔ سطوح زیر کشت معادل‌سازی شده‌اند؛ بدین معنا که با توجه به اینکه در استان کشت غالب گندم، جو و یونجه است، سطوح زیر کشت، با توجه به نیاز آبی هر گیاه، به سطوح گندم، جو یا یونجه تعدیل شدند. در این مرحله از محاسبات تقارب نیاز آبی گیاهان به گیاه غالب نیز در نظر گرفته شد. چنین رویکردی برای بخش کشاورزی در تحقیقات مشابه نیز مورد استفاده قرار گرفته است (پایمزد و همکاران، ۲۰۱۱).

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، انطباق مقادیر ماهانهٔ خروجی از استان صحت عملکرد مدل را در برآورد برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی و تخصیص آن به بخش‌های مختلف تأیید می‌نماید. آزمون دیگری که صحت و کارایی مدل را تأیید می‌کند، آزمون شرایط حدی است. این آزمون برای تأیید رفتار قابل انتظار و صحیح مدل از مقادیر حدی (حداقل یا حداکثر) استفاده می‌کند. در این تحقیق، میزان ورودی منابع آب در تمام ایستگاه‌ها، حداقل مقدار (صفر) در نظر گرفته شده و پس از اجرای مدل، خروجی حاصل از شبیه‌سازی (معادل صفر)، کارایی مدل را تأیید می‌نماید (شکل ۴).



شکل (۴): آزمون شرایط حدی خروجی ایستگاه پل دختر

Figure (4): Test of Pol Dokhtar station output critical conditions

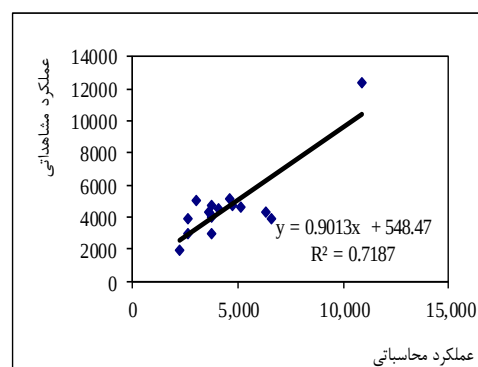


شکل (۵): شبیه‌سازی برآورد سود بخش کشاورزی استان زنجان

Figure (5): Simulation of the benefit estimate of the agricultural sector in Zanjan province

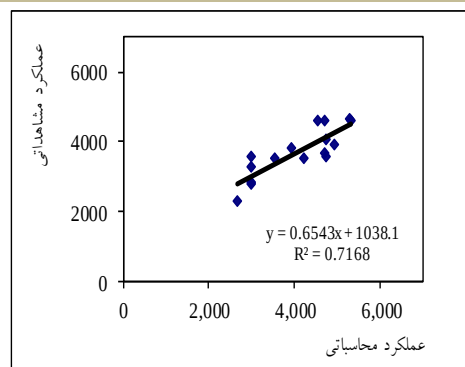
در ادامه برای محاسبه سود، قیمت محصول مورد نظر و هزینه‌های کلی به مدل وارد شده و در صورت سودآوری (افزایش سود)، سطح زیر کشت سال آتی توسط اطلاعات ورودی به مدل، تعیین و شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. در این بخش از شبیه‌سازی، افزایش یا کاهش سطح زیر کشت سال آتی نسبت به سال قبل، به میزان سود خالص حاصل از بخش کشاورزی بستگی دارد. برای شبیه‌سازی مطابق واقعیت، رابطه سود و سطح زیر کشت سال بعد، استخراج و به مدل معرفی شد. در این بخش از شبیه‌سازی، سه قیمت گوناگون برای گندم و یونجه در نظر گرفته شده است. متوسط قیمت طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲، قیمت یک و نیم و دو برابری دوره مورد نظر نیز برای بررسی و مقایسه دقیق‌تر مد نظر قرار گرفت. مهم‌ترین خروجی حاصل از این بخش مدل‌سازی، سطوح زیر کشت، عملکرد و سود ناشی از کشت دو گیاه گندم (گندم و جو) و یونجه است که می‌تواند واقعیت منطقه را به گونه‌ای دقیق‌تر نمایش دهند. شکل‌های (۸) و (۹) سطوح زیر کشت دو گیاه گندم و یونجه را نشان می‌دهند. مقادیر قیمت برای گیاه گندم و یونجه با مشخصه‌های ۱، ۱/۵ و ۲ در تصاویر مدل نشان داده شده است. ۹ سناریو در این بخش با استفاده از علائم اختصاری Bnf، wh و al که به ترتیب نشان‌دهنده سود، گیاه گندم و یونجه هستند، تعریف شده‌اند. شکل (۸) نشان می‌دهد حداکثر سطح زیر کشت زمانی اتفاق می‌افتد که قیمت بالاتر یا به عبارتی بهتر سود بیشتری در اختیار کشاورز (ذی‌نفع) قرار گیرد. از آنجاکه در این تحقیق دو گیاه در نظر گرفته شده است (همان‌گونه که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، تعدیل سطوح صورت گرفته است)، این دو گیاه در رقابت با یکدیگر عمل نموده‌اند؛ به گونه‌ای که درخصوص گیاه گندم، زمانی که قیمت ۲ برابر متوسط دوره (۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲) و قیمت یونجه همان قیمت اعلامی در نظر گرفته شده است، سطح زیر کشت گندم حداکثر مقدار خود را داشته است. این سناریو با مشخصه wh Bnf & al در شکل (۸) نشان داده شده است. به همین صورت تحت شرایطی که قیمت گیاه گندم مقدار حداقلی و قیمت یونجه، حداکثر مقدار خود را داشته است، wh Bnf & al Bnf 1-2 سطح زیر کشت گندم حداقل مقدار را به خود اختصاص

باید توجه داشت که در معادلات فوق، رطوبت خاک ماهیت متغیر حالت در سیستم شبیه‌سازی را داراست. این متغیر به همراه کلیه پارامترهای توصیف‌شده در فوق که متغیرهای کمکی در شبیه‌سازی به شمار می‌روند، وظیفه تعیین رطوبت خاک و در ادامه تبخیر و تعرق واقعی را بر عهده دارند. با محاسبه تبخیر تعرق واقعی و پتانسیل، عملکرد گیاه و در نهایت سود محاسبه می‌گردد. در این مرحله از شبیه‌سازی، برای اطمینان از صحت و قابلیت مدل، عملکرد محاسباتی و مشاهداتی گیاهان انتخابی استان زنجان بررسی گردید. لذا طول دوره آماری به دو بخش تقسیم گردید: دوره اول از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ برای ارزیابی و صحت مدل و دوره دوم (۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲) برای بررسی تأثیر سود و مقایسه با شرایط اتفاق افتاده در منطقه انتخاب گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ در شکل‌های (۶) و (۷) با مقایسه عملکرد محاسباتی و مشاهداتی گیاهان گندم و یونجه آمده است. همان‌گونه که نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد، مدل از کارایی بالایی برخوردار و عملکرد قابل قبولی دارد.



شکل (۶): مقایسه عملکرد محاسباتی و مشاهداتی یونجه

Figure (6): Comparison of computational and observational yield of alfalfa

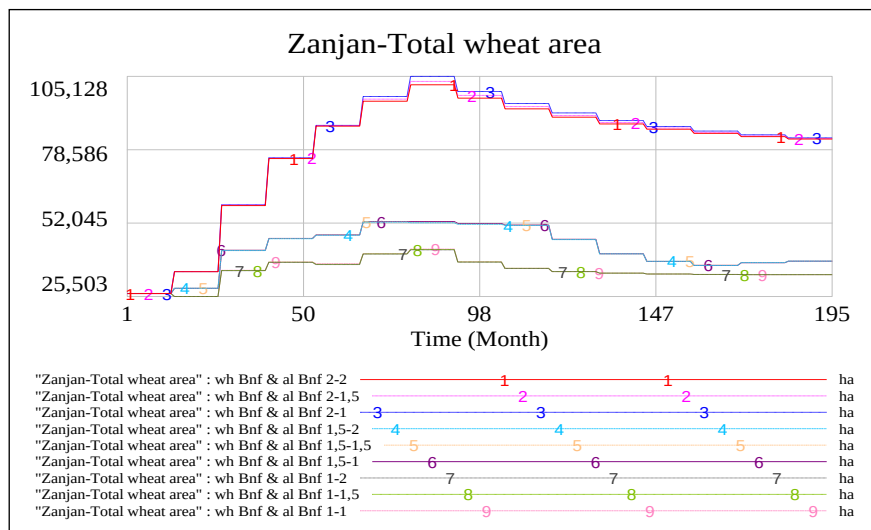


شکل (۷): مقایسه عملکرد محاسباتی و مشاهداتی گندم

Figure (7): Comparison of computational and observational yield of wheat

افزایش و در غیر این صورت گیاه یونجه کشت بیشتری خواهد داشت. نکتهٔ حائز اهمیت در این بخش، این است که با دو برابر شدن قیمت فروش گندم، سطح زیر کشت گندم به‌طور متوسط ۴۳٪ و در مقادیر حداکثری ۴۰٪ افزایش داشته است.

داده است. درحقیقت، متناسب با سودی که هر گیاه در اختیار کشاورز قرار داده است، سطح زیر کشت تغییر خواهد یافت و در رقابت با گیاه دیگر، سطوح مقادیر حداقل و حداکثر خود را جایگزین خواهند نمود. به‌واقع تحت شرایطی که سود ناشی از گیاه گندم رقم بالاتری داشته باشد، سطح زیر کشت گندم

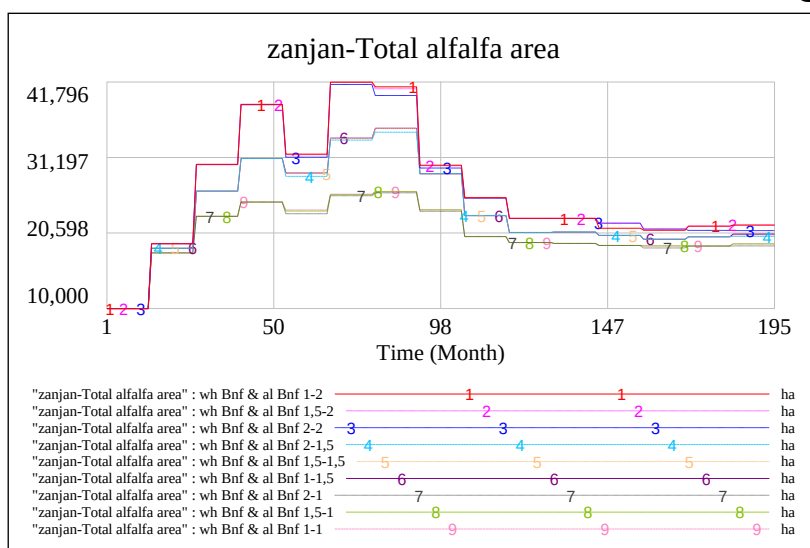


شکل (۸): سطح زیر کشت گیاه گندم در سناریوهای افزایش سود

Figure (8): Wheat Crop area in benefit increasing scenarios

مقدار، سطح زیر کشت ۱/۱۶ برابر شده است. این اختلاف تفاوت مقادیر حداقل و حداکثری به دلیل تفاوت مقادیر قیمت است که در گیاه گندم تغییر قیمت بیشتر و در گیاه یونجه، اختلاف کمتری داشته است. در یک دید کلی، سطح زیر کشت یونجه به‌طور متوسط ۳۷٪ و در مقادیر حداکثری ۲۳٪ افزایش خواهد داشت.

همین سیاست در خصوص گیاه یونجه نیز دیده می‌شود. با مشاهده شکل (۹) می‌توان دریافت سناریو wh Bnf & al Bnf 1-2 بیشترین سطح زیر کشت و سناریو wh Bnf & al Bnf 2-1 کمترین سطح زیر کشت یونجه را به خود اختصاص داده‌اند. در خصوص گیاه یونجه با دو برابر شدن قیمت فروش یونجه، در بالاترین مقدار، سطح زیر کشت ۱/۶۲ برابر و در کمترین

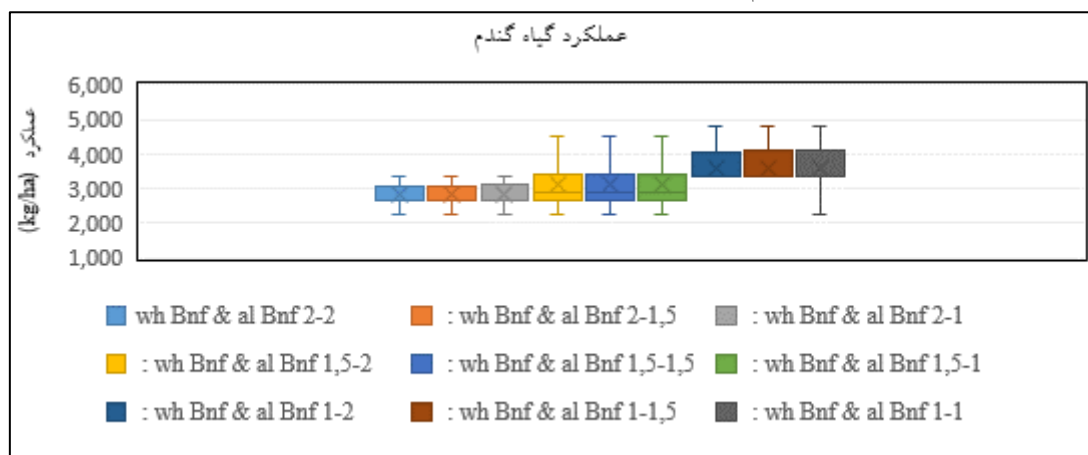


شکل (۹): سطح زیر کشت گیاه یونجه در سناریوهای افزایش سود

Figure (8): Alfalfa Crop area in benefit increasing scenarios

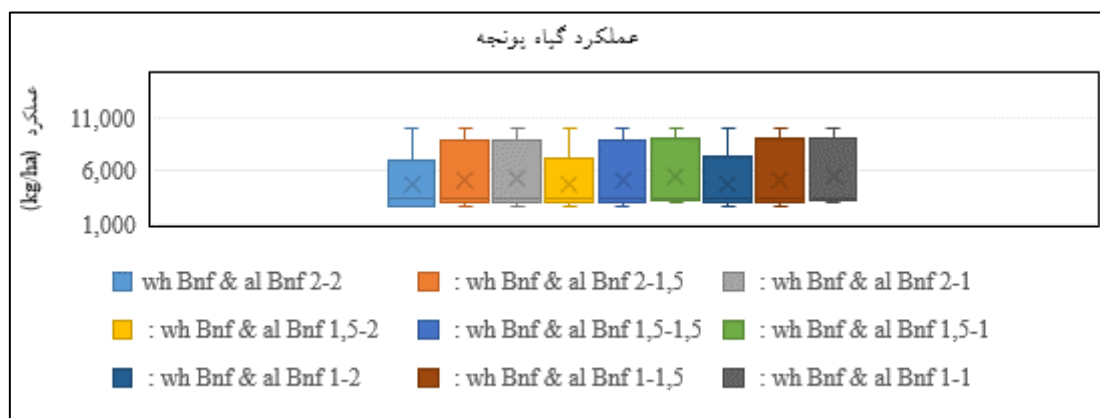
نشان می‌دهند. در شکل (۱۰) بیشترین مقادیر عملکرد مربوط به سناریوهایی است که قیمت گندم حداقل مقدار خود را دارد. سناریوهای wh Bnf & al Bnf 1-1.5، wh Bnf & al Bnf 1-2 و wh Bnf & al Bnf 1-1 حداکثر عملکرد در گیاه گندم را داشته‌اند. با مقایسه عملکرد گیاه گندم، در دو سناریو مشابه wh Bnf & al Bnf 2-1، Bnf & al Bnf 1-1، که نشان‌دهنده افزایش قیمت دوبرابری گیاه گندم است، در کل دوره، عملکرد، در مقادیر حداکثری، ۱۵٪ و در مقادیر متوسط، ۲۰٪ کاهش یافته است. درخصوص گیاه یونجه نیز چنین مشاهده می‌شود. با افزایش قیمت، عملکرد کاهش پیدا کرده است (شکل ۱۱). عملکرد گیاه یونجه با افزایش قیمت دوبرابری، به‌طور متوسط ۱۱٪ کاهش داشته است.

در بررسی تغییرات سطح زیر کشت هر گیاه نیز به‌طور جداگانه، تغییرات سطح زیر کشت یک گیاه، ترجیح بر افزایش سطح زیر کشت، متعاقب افزایش قیمت همان گیاه است و کمتر تحت تأثیر قیمت گیاه رقیب است. لذا سطوح زیر کشت سناریوهای wh Bnf & al Bnf 2-1.5، wh Bnf & al Bnf 2-1 و wh Bnf & al Bnf 2-2 ارقام بسیار نزدیک به یکدیگر دارند و نیز همین امر درخصوص سناریوهای مشابه با قیمت یکسان گندم به چشم می‌خورد. درخصوص گیاه یونجه نیز در سناریوهای wh Bnf & al Bnf 1-2، wh Bnf & al Bnf 1.5-2 و wh Bnf & al Bnf 2-2 نتایج حاصل از شبیه‌سازی، اختلاف بسیار کمی را نشان می‌دهند. در ادامه برای بررسی بیشتر بایستی مقادیر عملکرد و سود نیز مورد بررسی قرار گیرند. شکل‌های (۱۰) و (۱۱) عملکرد گیاهان یونجه و گندم استان زنجان را



شکل (۱۰): عملکرد گیاه گندم در سناریوهای افزایش سود

Figure (10): Alfalfa yield in benefit increasing scenarios



شکل (۱۱): عملکرد گیاه یونجه در سناریوهای افزایش سود

Figure (11): Wheat yield in benefit increasing scenarios

استان در بالاترین مقدار خود قرار داشته است. در بین این سه سناریو، سناریوی افزایش قیمت دوبرابری هر دو گیاه wh Bnf & al Bnf 2-2 کمترین میزان خروجی و بیشترین سطح زیر کشت کل استان را به خود اختصاص داده است. همچنین در سناریو wh Bnf & al Bnf 1-1 بیشترین مقدار نسبت خروجی و کمترین سطح زیر کشت استان ثبت شده است. مطابق با نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با اعمال سیاست قیمت‌گذاری، نسبت خروجی استان با دو برابر شدن قیمت محصول، به‌طور متوسط، ۶۹٪ کاهش خواهد داشت.

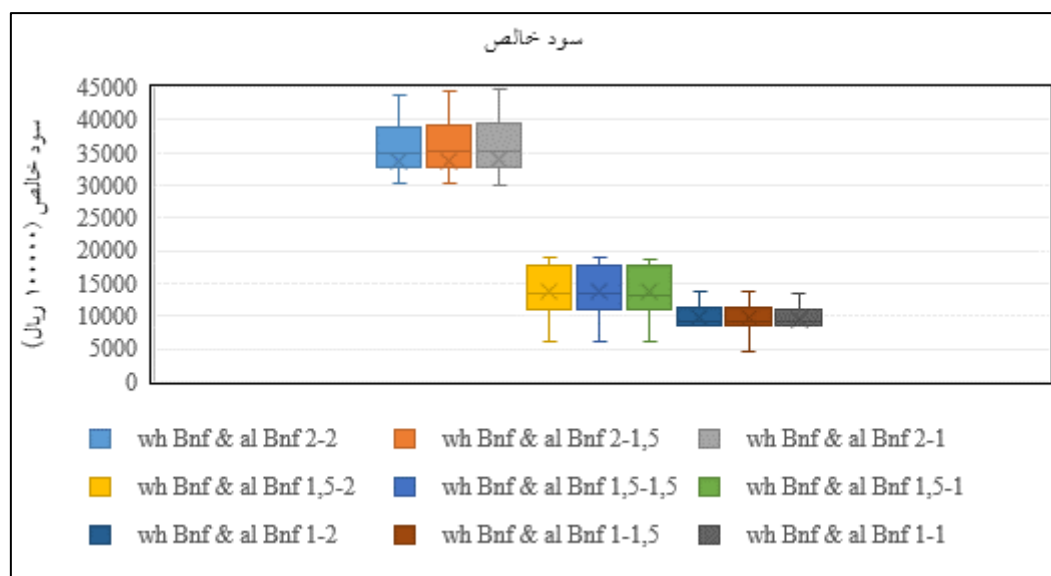
در ارتباط با مقادیر متأثر از سود حاصل از فروش محصولات کشاورزی، منابع آب مورد استفاده و نیز تحت‌تأثیر آن، خروجی استان طی سناریوهای گوناگون مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱۲) نسبت مقادیر خروجی به ورودی استان طی سناریوهای گوناگون را نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) مشاهده می‌گردد کمترین مقادیر نسبت خروجی، مرتبط با سناریوهای افزایش قیمت دوبرابری گندم wh Bnf & al Bnf 2-2، wh Bnf & al Bnf 2-1.5 و wh Bnf & al Bnf 2-1 است. طی سناریوهای یادشده، با هدف افزایش سود، سطح زیر کشت کل



شکل (۱۲): نسبت جریان خروجی به ورودی استان زنجان در سناریوهای افزایش سود
Figure (12): Ratio of outflow to inflow of Zanjan province in benefit increase scenarios

بود. این مقادیر تأیید می‌کند مدل سطح بیشتر را به گیاهی اختصاص می‌دهد که مطابق درخواست کشاورز (ذی‌نفع) سود بیشتری را داشته باشد. مطابق نتایج حاصل از شبیه‌سازی، به‌طور متوسط، با اعمال سیاست قیمت‌گذاری، سطح کشت استان ۴۸٪ افزایش، سود حاصل ۷۱٪ افزایش و جریان خروجی نسبت به ورودی استان ۶۹٪ کاهش داشته است.

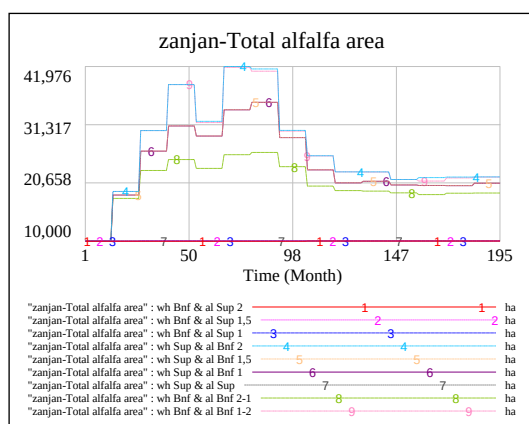
شکل (۱۳) مقادیر سود حاصل از اعمال سیاست قیمت‌گذاری را نشان می‌دهد. در این شکل، سناریوهایی که کمترین میزان نسبت خروجی و بالاترین رقم سطح زیر کشت را داشته‌اند، دارای بالاترین رقم سود خالص هستند. بیشترین میزان سود مربوط به سناریو wh Bnf & al Bnf 2-1 است. همان‌گونه که در فوق نیز اشاره شد، در این سناریو سطح کشت گندم در رقابت با یونجه دارای بالاترین رقم بوده است؛ لذا سود خالص در حداکثر مقدار خود نیز، به این سناریو مرتبط خواهد



شکل (۱۳): سود حاصل از بخش کشاورزی در سناریوهای افزایش سود

Figure (13): Agricultural sector Benefit in benefit increasing scenarios

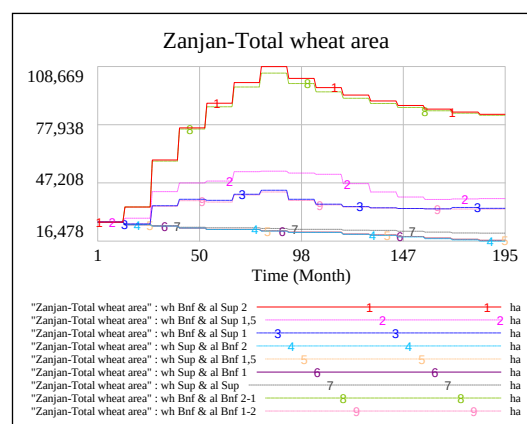
مقدار آب موجود می‌کند نیز اجرا شد. در این بخش، کشاورز برای تعیین سطح زیر کشت، ملزم به رعایت برداشت، با توجه به مقدار منابع آب موجود خواهد بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی یا مدیریت منابع آب موجود و محدودیت عرضه، در ادامه آمده است. ۷ سناریوها در این بخش با استفاده از علائم اختصاری Bnf و Sup که به ترتیب نشان‌دهنده سود و محدودیت عرضه هستند، تعریف شده‌اند. سطوح زیر کشت سناریوهای عرضه، در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) آمده است. برای بررسی دقیق‌تر دو سناریو wh Bnf و wh Bnf & al Bnf 2-1 و wh Bnf & al Bnf 1-2 نیز نمایش داده شده‌اند.



شکل (۱۵): سطح کشت یونجه در سناریوهای محدودیت عرضه

Figure (16): Alfalfa crop area in supply limitation scenarios

شبیه‌سازی اعمال سیاست محدودیت عرضه منابع آب با توجه به اینکه کشاورز (ذی‌نفع) در پی حصول سود بیشتر، سعی بر افزایش سطح زیر کشت به موازات قیمت محصولات دارد، تقاضای منابع آب، بیشتر و خروجی استان کمتر خواهد شد. از آنجاکه متأسفانه بهای آب محدودیتی در برداشت آن ایجاد نمی‌کند، کشاورز تا حد امکان سعی در برداشت منابع حصول سود بیشتر خواهد داشت. لذا با توجه به محدودیت بسیار شدید منابع آب، تحت شرایطی که در برداشت، محدودیتی برای کشاورز ایجاد شود، تقاضا کاهش یافته و حفظ این منبع حیاتی با مدیریت برداشت، اتفاق خواهد افتاد. لذا در ادامه، شبیه‌سازی با سناریوهای دیگری که کشاورز را محدود به



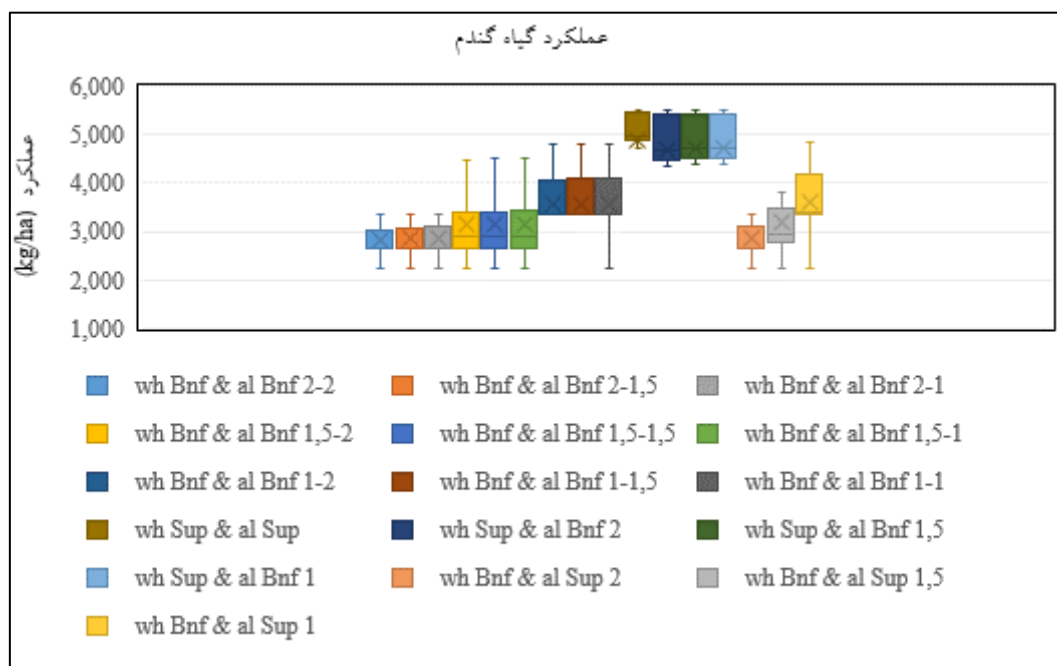
شکل (۱۴): سطح کشت گندم در سناریوهای محدودیت عرضه

Figure (15): Wheat crop area in supply limitation scenarios

گیاه سبب ایجاد رقابت و افزایش سطح کشت گیاه دوم خواهد شد، اعمال محدودیت انتخابی (منفرد) گزینه مناسبی برای مدیریت و حفظ منابع آب نخواهد بود. همین امر درخصوص گیاه یونجه (شکل ۱۵) نیز صدق می‌کند. سناریو wh Sup & al Bnf 2 دارای سطح حداکثری کشت یونجه و سناریو wh Bnf & al Sup 2 به ترتیب دارای سطح حداکثری و حداقلی یونجه هستند. مطابق نتایج شبیه‌سازی، سطح کشت کل استان در سناریو wh Sup & al Sup دارای سطح حداقلی معادل ۳۰۶۵۱ هکتار و در سناریو wh Bnf & al Bnf 2-2 دارای سطح حداکثری معادل ۱۴۱۹۷۹ هکتار است. این رقم در مقایسه با مقدار واقعی ثبت شده در استان معادل ۱۶۱۵۴۴ هکتار، تأیید این مطلب است که کشاورز با سودی حدود ۲/۳ برابر سود پایه اقدام به کشت نموده است. در یک دید کلی، سطح کشت کل استان، زمانی که محدودیت عرضه منابع آب برای هر دو گیاه اعمال شود، در بالاترین رقم، ۷۴٪ و به طور متوسط ۶۸٪ کاهش داشته است.

برای بررسی عملکرد ناشی از کشت گیاهان در شرایط محدودیت عرضه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) آمده است.

همان گونه که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، سطح کشت گندم زمانی که گیاه یونجه، دارای محدودیت عرضه منابع آب بوده است و گیاه گندم محدودیتی نداشته و قیمت دوبرابری را انتخاب نموده، حتی نسبت به سناریو wh Bnf & al Bnf 2-1 نیز بیشتر است. به همین ترتیب رتبه‌های بعد سطح کشت، مربوط به سناریوهایی است که سودآوری گندم و محدودیت عرضه برای یونجه را در پی دارد. حداقل سطح کشت گندم در سناریو wh Sup & al Bnf 2 رخ داده است که گیاه یونجه در رقابت با گندم به دلیل عدم اعمال محدودیت منابع آب و اعمال سیاست قیمت‌گذاری حداکثر، سطح بیشتری را کشت نموده و گیاه گندم دارای محدودیت عرضه منابع آب است. درخصوص گیاه گندم، در شرایطی که محدودیت عرضه هر دو گیاه اعمال گردد (wh Sup & al Sup)، نسبت به شرایطی که سیاست قیمت‌گذاری حداکثری اعمال می‌شود (wh Bnf & al Bnf 2-2)، سطح کشت گندم ۷۴٪ در بالاترین رقم خود و به طور متوسط ۷۱٪ کاهش خواهد داشت. همچنین درخصوص سناریو اعمال محدودیت عرضه منفرد گیاه گندم (wh Sup & al Bnf 2)، نسبت به محدودیت عرضه منفرد گیاه یونجه (wh Bnf & al Sup 2)، سطح کشت گندم ۴/۰۹ برابر (۷۵٪) کاهش خواهد داشت. اما از آنجاکه اعمال محدودیت عرضه تنها یک

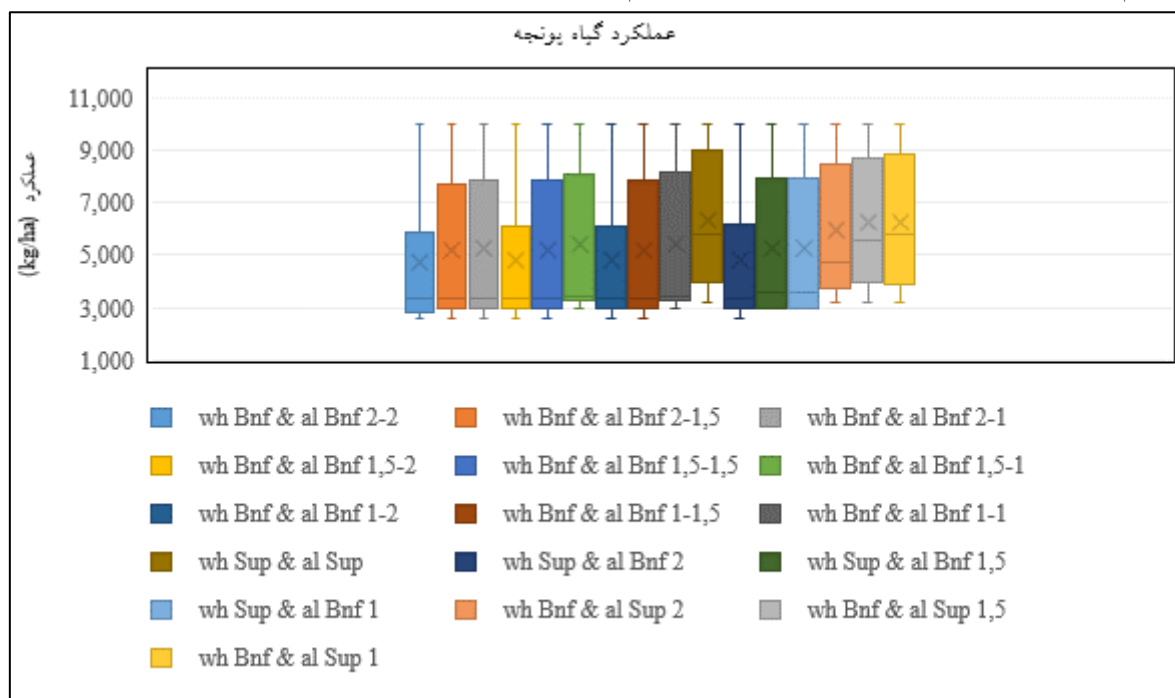


شکل (۱۶): عملکرد گیاه گندم طی سناریوهای سودآوری و محدودیت عرضه منابع آب

Figure (16): Wheat yield under profitability and water resource supply limitations scenarios

تأیید این مطلب است که با اعمال سیاست سودآوری، کشاورز اقدام به کاهش سطح کشت و متعاقب آن مدیریت اصولی، به ارقام مطلوب‌تری از عملکرد رسیده است. درنهایت با مقایسه مقادیر حداکثر و حداقل و اعمال سیاست محدودیت عرضه برای هر دو گیاه به‌طور متوسط، گیاه گندم ۴۲٪ و نیز گیاه یونجه ۲۵٪ افزایش عملکرد خواهد داشت. همچنین، با اعمال سیاست محدودیت عرضه، نسبت به سیاست سودآوری، متوسط مقدار سود ۴۹٪ کاهش و خروجی ۷۶٪ افزایش داشته است. در همین راستا، زمانی که اعمال محدودیت عرضه صورت گیرد، نسبت به اعمال قیمت پایه بدون افزایش قیمت، جریان خروجی استان ۲۳٪ افزایش و سود حاصل از بخش کشاورزی، ۴۴٪ کاهش خواهد داشت.

همان‌طور که در شکل (۱۶) مشاهده می‌گردد، حداکثر عملکرد گیاه گندم، در سناریو wh Sup & al Sup رخ داده است. در این سناریو محدودیت عرضه منابع برای هر دو گیاه اعمال شده است. در این سناریو ارقام حداکثر و متوسط عملکرد، به‌ترتیب ۵۵۰۰ و ۴۹۰۰ کیلوگرم بر هکتار است. همچنین در بین ۱۶ سناریو مورد بررسی، حداقل عملکرد در سناریو wh Bnf & al Bnf 2-2 با مقادیر حداکثر ۴۰۴۸ و متوسط ۲۸۳۳ کیلوگرم بر هکتار ثبت شده است. درخصوص مقادیر عملکرد گیاهان، سطح بالاتر عملکرد در کلیه سناریوهای مرتبط با اعمال محدودیت عرضه، ثبت شده است. برای نمونه در ارتباط با دو سناریو wh Bnf & al Bnf 1-1 و wh Sup & al Bnf 1 و تغییر موضع سیاست سودآوری به محدودیت عرضه گیاه گندم، متوسط عملکرد ۲۴٪ افزایش داشته است. این ارقام



شکل (۱۷): عملکرد گیاه یونجه طی سناریوهای سودآوری و محدودیت عرضه منابع آب

Figure (16): Alfalfa yield under benefit and water resource supply limitations scenarios

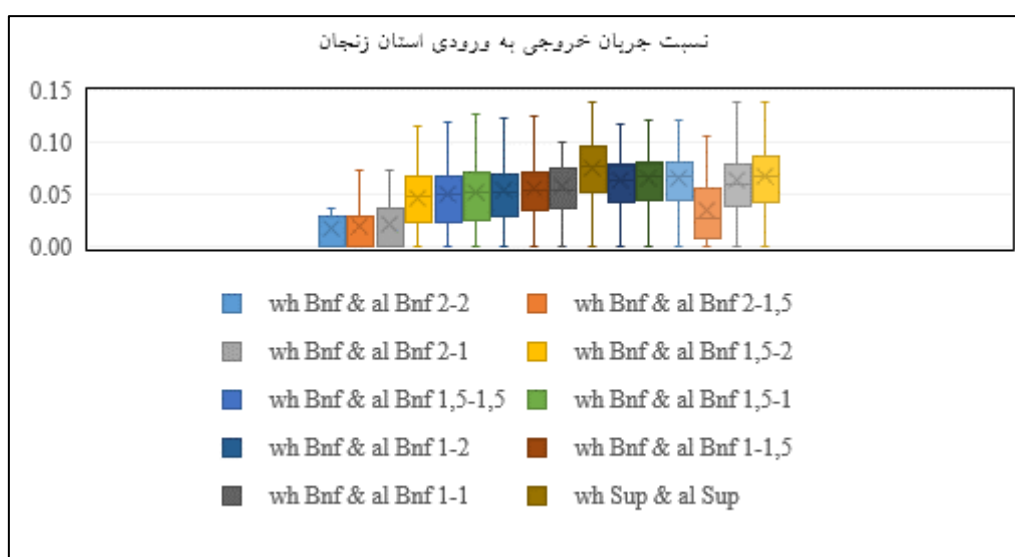
تفاوت کمتری در تغییرات سطوح کشت و درنهایت عملکرد مشاهده می‌شود.

در شکل (۱۸) نسبت جریان خروجی به ورودی استان و در شکل (۱۹) میزان نسبت سود هر سناریو نسبت به سناریو حداقل مصرف، wh Sup & al Sup آمده است. مطابق با اشکال فوق، بالاترین میزان خروجی از استان مربوط به سناریو wh Sup & al Sup و کمترین مقدار آن در سناریو wh Bnf & al

در شکل (۱۷) عملکرد گیاه یونجه مشاهده می‌شود. در این شکل نیز حداقل و حداکثر عملکرد به‌ترتیب، مرتبط با سناریوهای wh Sup & al Sup و wh Bnf & al Bnf 2-2 است. با اعمال محدودیت عرضه منابع آب، عملکرد گیاه یونجه به‌طور متوسط ۲۵٪ افزایش خواهد داشت. درخصوص گیاه یونجه، از آنجاکه قیمت گیاه یونجه نسبت به گیاه گندم پایین‌تر است،

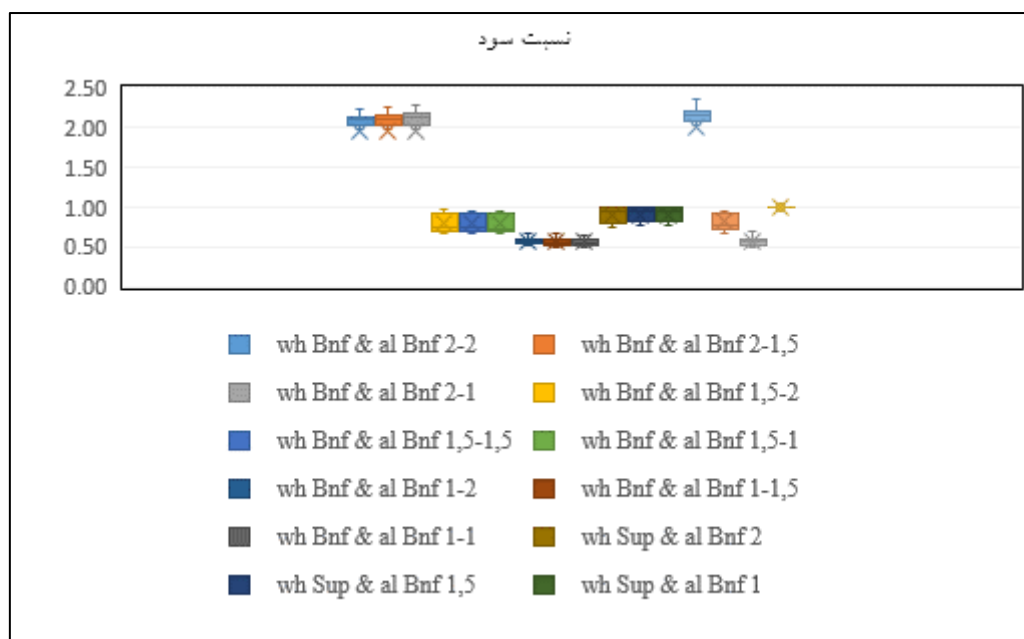
گندم، سود حداکثری را نیز در بر داشته است. در یک دید کلی با اعمال سیاست محدودیت عرضه، نسبت به سیاست سودآوری، متوسط مقدار سود ۴۹٪ کاهش و خروجی ۷۶٪ افزایش داشته است. در همین راستا، زمانی که اعمال محدودیت عرضه صورت گیرد، نسبت به اعمال قیمت پایه بدون افزایش قیمت، جریان خروجی استان ۲۳٪ افزایش و سود حاصل از بخش کشاورزی، ۴۴٪ کاهش خواهد داشت.

Bnf 2-2 رخ داده است. درخصوص مقادیر سود ناشی از کشت گیاهان در اعمال سیاست محدودیت عرضه، بیشترین نسبت سود به ترتیب در سناریو wh Bnf & al Sup 2 و wh Bnf & al wh Bnf 2-2 با اختلاف حدود ۱٪ ثبت شده است. در سناریو wh Bnf & al Sup 2 با توجه به اینکه محدودیت عرضه در گیاه یونجه اعمال شده، بیشترین مقدار سطح زیر کشت به گیاه گندم اختصاص داده شده و لذا با توجه به قیمت دوبرابری



شکل (۱۸): نسبت جریان خروجی به ورودی استان زنجان طی سناریوهای سودآوری و محدودیت عرضه منابع آب

Figure (18): Ratio of outflow to inflow in Zanjan province during scenarios of benefit and limitation of water resource supply



شکل (۱۹): سود نسبی بخش کشاورزی استان زنجان طی سناریوهای سودآوری و محدودیت عرضه منابع آب

Figure (19): Relative benefit of the agricultural sector of Zanjan province under benefit and water resource supply limitation scenarios

بحث و نتیجه گیری

لزوم پایداری حیات، دسترسی به منابع آب پایدار است. منابع آبی که امنیت غذایی و در پی آن امنیت اجتماعی را به همراه خواهد داشت. در صورتی که سیاست عرضه منابع آب دارای عواقب سوء باشد، در کوتاه مدت یا بلندمدت خسارات جبران ناپذیری را نتیجه می دهد. بیشترین سهم برداشت از منابع آب توسط بخش کشاورزی صورت می گیرد. لذا در تحقیق حاضر، شبیه سازی دینامیکی سیاست های عرضه بخش کشاورزی استان زنجان، طی سال های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ بررسی شد. دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ برای ارزیابی و صحت مدل انتخاب گردید. در این دوره بررسی آزمون رفتار با معیار ضریب همبستگی و آزمون شرایط حدی، انجام گرفت. معیار ارزیابی R^2 (ضریب همبستگی) در خصوص مقایسه مقادیر عملکرد محاسباتی و مشاهداتی گیاهان گندم و یونجه با مقادیر ۰/۷۱ صحت کارایی مدل را تأیید نمود. در ادامه طی سال های ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۲ با استفاده از دیدگاه دینامیک، دو سیاست سودآوری (۹ سناریو) و اعمال محدودیت عرضه منابع آب (۷ سناریو) در بخش کشاورزی شبیه سازی گردید. نتایج نشان داد تحت شرایطی که قیمت گیاه گندم مقدار حداقلی و قیمت یونجه، حداکثر مقدار خود را داشته است، سطح زیر کشت گندم حداقل مقدار را به خود اختصاص داده است. درحقیقت، متناسب با سودی که هر گیاه در اختیار کشاورز قرار داده است، سطح زیر کشت تغییر خواهد یافت و در رقابت با گیاه دیگر سطوح مقادیر حداقل و حداکثر خود را جایگزین خواهند نمود. در سیاست سودآوری، با دو برابر شدن قیمت فروش گندم، سطح زیر کشت گندم به طور متوسط ۴۳٪ و در مقادیر حداکثری ۴۰٪ افزایش داشته است. همین رفتار درخصوص گیاه یونجه نیز دیده می شود. با دو برابر شدن قیمت فروش یونجه، سطح زیر کشت یونجه به طور متوسط ۳۷٪ و در مقادیر حداکثری ۲۳٪ افزایش خواهد داشت. در بررسی تغییرات سطح زیر کشت هر گیاه نیز به طور جداگانه، تغییرات سطح زیر کشت یک گیاه، ترجیح بر افزایش سطح زیر کشت، متعاقب افزایش قیمت همان گیاه است و کمتر تحت تأثیر قیمت گیاه رقیب است. لذا سطوح زیر کشت

سناریوهای wh Bnf & al Bnf 2-1.5، wh Bnf & al Bnf 2-1 و wh Bnf & al Bnf 2-2 ارقام بسیار نزدیک به یکدیگر دارند و نیز همین امر درخصوص سناریوهای مشابه با قیمت یکسان گندم به چشم می خورد. درخصوص گیاه یونجه نیز در سناریوهای wh Bnf & al Bnf 1-2، wh Bnf & al Bnf 1.5-2، wh Bnf & al Bnf 2-2 و wh Bnf & al Bnf 2-1 نتایج حاصل از شبیه سازی، اختلاف بسیار کمی را نشان می دهند. در کل دوره، عملکرد، در مقادیر حداکثری، ۱۵٪ و در مقادیر متوسط، ۲۰٪ کاهش یافته است. درخصوص گیاه یونجه نیز چنین مشاهده می شود. با افزایش قیمت، عملکرد کاهش پیدا کرده است. عملکرد گیاه یونجه با افزایش قیمت دوبرابری، به طور متوسط ۱۱٪ کاهش داشته است. کمترین مقادیر نسبت خروجی، مرتبط با سناریوهای افزایش قیمت دوبرابری گندم wh Bnf & al Bnf 2-2، wh Bnf & al Bnf 2-1.5 و wh Bnf & al Bnf 2-1 است. طی سناریوهای یادشده، با هدف افزایش سود، سطح زیر کشت کل استان در بالاترین مقدار خود قرار داشته است. در بین این سه سناریو، سناریوی افزایش قیمت دوبرابری هر دو گیاه wh Bnf & al Bnf 2-2 کمترین میزان خروجی و بیشترین سطح زیر کشت کل استان را به خود اختصاص داده است. همچنین در سناریو wh Bnf & al Bnf 1-1 بیشترین مقدار نسبت خروجی و کمترین سطح زیر کشت استان ثبت شده است. مطابق با نتایج حاصل از شبیه سازی، با اعمال سیاست قیمت گذاری، نسبت خروجی استان با دو برابر شدن قیمت محصول، به طور متوسط، ۶۹٪ کاهش خواهد داشت. سناریوهایی که کمترین میزان نسبت خروجی و بالاترین رقم سطح زیر کشت را داشته اند، دارای بالاترین رقم سود خالص هستند. بیشترین میزان سود مربوط به سناریو wh Bnf & al Bnf 2-1 است. همان گونه که در فوق نیز اشاره شد، در این سناریو سطح کشت گندم در رقابت با یونجه دارای بالاترین رقم بوده است. لذا سود خالص در حداکثر مقدار خود نیز، به این سناریو مرتبط خواهد بود. این مقادیر تأیید می کند مدل سطح بیشتر را به گیاهی اختصاص می دهد که مطابق درخواست کشاورز (ذی نفع) سود بیشتری را داشته باشد. مطابق نتایج حاصل از شبیه سازی با افزایش قیمت دوبرابری

۲۳٪ افزایش و سود حاصل از بخش کشاورزی، ۴۴٪ کاهش خواهد داشت.

مطابق نتایج شبیه‌سازی، سطح کشت کل استان در سناریو wh Sup & al Sup دارای سطح حداقلی معادل ۳۰۶۵۱ هکتار و در سناریو wh Bnf & al Bnf 2-2 دارای سطح حداکثری معادل ۱۴۱۹۷۹ هکتار است. این رقم در مقایسه با مقدار واقعی ثبت‌شده در استان معادل ۱۶۱۵۴۴ هکتار، تأیید این مطلب است که کشاورز با سودی معادل ۲/۳ برابر سود پایه اقدام به کشت نموده است. این امر معادل ۸۴٪ کاهش نسبت جریان خروجی است؛ لذا سیاست سودآوری منجر به جریان خروجی نسبی معادل ۱۶٪ شرایط پایه خواهد شد.

بهای نبود منابع آب و جریان رودخانه، با اعمال سیاست سودآوری، خسارات جبران ناپذیری را به همراه خواهد داشت. آنچه نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد با اعمال سیاست سودآوری که اغلب ترجیح کشاورز قرار می‌گیرد، جریان‌های خروجی دارای افت بسیار شدید بالای ۸۰٪ خواهند شد. جالب توجه اینکه این امر سبب کاهش عملکرد شده لیکن کشاورز با تصور وجود منابع آب کافی، سودآوری خود را با افزایش سطح زیر کشت مد نظر قرار می‌دهد و توجهی به کاهش سطح زیر کشت نخواهد داشت. تحت شرایطی که اگر سیاست محدودیت عرضه اعمال گردد، با کاهش اجباری سطح زیر کشت، عملکرد گیاهان افزایش خواهند داشت و سود منطقی، به‌موازات حفظ منابع آب را نتیجه خواهد داد. به عبارتی بهتر، با اعمال سیاست سودآوری، کشاورز اقدام به کاهش سطح کشت و متعاقب آن مدیریت اصولی، به ارقام مطلوب‌تری از عملکرد رسیده و از برداشت غیراصولی و هدررفت منابع آب نیز جلوگیری خواهد شد. شایان ذکر است در صورتی که اقدامی در جهت تغییر سیاست‌ها صورت نگیرد، چنین خساراتی قطعاً جبران‌ناپذیر است.

گیاهان، ۷۱٪ سود با ۴۸٪ افزایش سطح زیر کشت کل استان و ۳۰٪ کاهش عملکرد حاصل شده است. این امر ۶۹٪ کاهش جریان خروجی نسبی استان را به همراه داشته است. به عبارتی بهتر ۶۹٪ کاهش خروجی نسبی استان به بهای ۷۱٪ سود بخش کشاورزی نتیجه شده است. این خسارت بسیار جبران ناپذیر بی‌توجه به بهای آب نتیجه شده است. لذا سیاست اعمال محدودیت عرضه منابع آب، اجرا و نتایج نشان داد درخصوص گیاه گندم، در شرایطی که محدودیت عرضه هر دو گیاه اعمال گردد (wh Sup & al Sup)، نسبت به شرایطی که سیاست قیمت‌گذاری حداکثری اعمال می‌شود (wh Bnf & al Bnf 2-2)، سطح کشت گندم ۷۴٪ در بالاترین رقم خود و به‌طور متوسط ۷۱٪ کاهش خواهد داشت. همچنین درخصوص سناریو اعمال محدودیت عرضه منفرد گیاه گندم (wh Sup & al Bnf 2)، نسبت به محدودیت عرضه منفرد گیاه یونجه (wh Bnf & al Sup 2)، سطح کشت گندم ۴/۰۹ برابر (۷۵٪) کاهش خواهد داشت. اما از آنجاکه اعمال محدودیت عرضه تنها یک گیاه سبب ایجاد رقابت و افزایش سطح کشت گیاه دوم خواهد شد، اعمال محدودیت انتخابی (منفرد) گزینه مناسبی برای مدیریت و حفظ منابع آب نخواهد بود. همین امر درخصوص گیاه یونجه نیز صدق می‌کند. سناریو wh Sup & al Bnf 2 دارای سطح حداکثری کشت یونجه و سناریو wh Bnf & al Sup 2 به‌ترتیب دارای سطح حداکثری و حداقلی یونجه هستند. در یک دید کلی سطح کشت کل استان، زمانی که محدودیت عرضه منابع آب برای هر دو گیاه اعمال شود در بالاترین رقم، ۷۴٪ و به‌طور متوسط ۶۸٪ کاهش داشته است. همچنین با اعمال سیاست محدودیت عرضه، نسبت به سیاست سودآوری، متوسط مقدار سود ۴۹٪ کاهش و خروجی ۷۶٪ افزایش داشته است. در همین راستا، زمانی که اعمال محدودیت عرضه صورت گیرد، نسبت به اعمال قیمت پایه بدون افزایش قیمت، جریان خروجی استان

منابع

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- Bekchanov, M. (2024). Conveyance efficiency and irrigation water productivity under varying water supply conditions in arid lowlands of Central Asia. *Agricultural Water Management*, no. 293, 108697. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108697>.
- Borg, H., & Grimes, D.W. (1986). Depth development of roots with time: An empirical description. *Trans of the ASAE*, no. 29, 194-197. doi: 10.13031/2013.30125.
- Chen, L., Gan, X., Yi, B., Qin, Y., & Lu, L. (2022). Domestic water demand prediction based on system dynamics combined with social-hydrology methods. *Hydrology Research*. 53(8), 1107-1128. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.051>.
- Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, Sh., Liao, Zh., Zhang, F., & Wang, Y. (2021). A global meta-analysis of yield and water use efficiency of crops, vegetables and fruits under full, deficit and alternate partial root-zone irrigation. *Agricultural Water Management*, no. 248, 106771. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106771>.
- Cuenca, RH. (1989). Irrigation system design: an engineering approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs. *New Jersey*. 07632.
- Faraji, K., Paimozd, Sh., & Rahimi, M. (2023). dynamic simulation of generic archetype of upstream sefid rud basin and river inflow under influence of dams., 53(12), *Iranian Journal of Soil and Water Research* 2839-2861. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.348421.669357>
- Farg, E., Arafat, S. M., Abd-Elwahed, M.S., & EL-Gindy, A. M. (2012). Estimation of Evapotranspiration ETc and Crop Coefficient Kc of Wheat, in south Nile Delta of Egypt Using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, no. 15, 83-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2012.02.001>
- Forrester, J.W. (1989). The system dynamics national model: macro behavior from microstructure. In: Milling, P.M., Zahn, E.O.K. (Eds.). *Computer-Based Management of Complex Systems*. Springer Berlin Heidelberg. 3-12. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74946-9_1.
- Gastelum, J. R., Krishnamurthy, G., Ochoa, N., Sibbett, S., Armstrong, M., & Kalaria, P. (2018). The use of system dynamics model to enhance integrated resources planning implementation. *Water Resources Management*, 32(7), 2247-2260. doi: 10.1007/s11269-018-1926-4.
- Ghodoosi, M., Morid, S., & Delavar, M. (2014). Comparison of detrending methods for the temperature and precipitations time series. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(2), 32-45. https://www.agrimet.ir/article_87678_d5078e6a0d7e0cf5e86a64b5121220cf.pdf
- Hashemi, S. Z., Darzi-Naftchali, A., Karandish, F., Ritzema, H., & Solaimani, K. (2024). Enhancing agricultural sustainability with water and crop management strategies in modern irrigation and drainage networks. *Agricultural Water Management*, no. 305, 109110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109110>
- Hu, G., Zeng, W., Yao, R., Xie, Y., & Liang, S. (2021). An integrated assessment system for the carrying capacity of the water environment based on system dynamics. *Journal of Environmental Management*, no. 295, 113045. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113045>.
- Huang, M., Li, X., & Wang, J., (2021). Research on regional water demand prediction of the upper and middle reaches of The Pearl River Basin based on system dynamics. *International Energy, Environment and Water Resources Conference. Earth and Environmental Science*, no. 784, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/784/1/012003>.
- Jing, Q., McConkey, B., Qian, B., Smith, W. Grant, B., Shang, J., Liu, J., Bindraban, P., & Luce, M. (2021). Assessing water management effects on spring wheat yield in the Canadian Prairies using DSSAT wheat Models. *Agricultural Water Management*, no. 244, 106591. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106591>
- Jiriae Sharahi, H., & Paimozd, Sh. (2023). *Dynamic simulation downstream water supply index in Zanjan province under the influence of meteorological drought and construction of upstream dams*. M.s. Thesis. Arak University
- Kremsa, V. S. (2021). Sustainable management of agricultural resources (agricultural crops and animals). *Sustainable Resource Management. Elsevier*, 99-145. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824342-8.00010-9>
- Kassua, T., Tilahunb, H., Yareda, D., & Watanabe H. (2017). Effect of irrigation regimes on yield

- and water use efficiencies of potato. *International Journal of Plant Production*, 11(3), 389-406. <http://dx.doi.org/10.22069/ijpp.2017.3547>
19. Kunsook, K., Thammaboosadee, S., & Chuckpaiwong, R. (2024). Sustainable Organic Farming Maturity Model. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 14(2), 706-716. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.19504>.
 20. Liao, D., Niu, J., Ciais, P., Du, T., Zhang, B., & Kang, S. (2024). Changing climate threatens irrigation benefits of maize gross primary productivity in China. *Earth's Future*, no. 12, 1-24. <https://doi.org/10.1029/2022EF003474>
 21. Mohammed, M. K., Hameed, K. A., & Musa, A. J. (2023). Water Savings, Yield, and Economic Benefits of Using SRI Methods with Deficit Irrigation in Water-Scarce Southern Iraq. *Agronomy*, 13(6), 1481. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061481>
 22. Naeem, Kh., Aloui, S., Zghibi, A., Mazzoni, A., Triki, Ch., & Elomri, A. (2024). A system dynamics approach to management of water resources in Qatar. *Sustainable Production and Consumption*, no. 46, 733-753. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.024>.
 23. Nazarialamdarloo, T., Ali Jamali, H., Nazari, B., Emamjomeh, M., & Karyab, H. A. (2020). System dynamics approach for water resources management with focusing on domestic water demand. *Environ. Health Eng. Manag*, 7(4), 229-235. <http://dx.doi.org/10.34172/EHEM.2020.27>
 24. Paimozd, Sh. (2021). Simulating Surface Water Allocation and Identifying Systemic Archetype Using Vensim Software: A Case Study of Qorveh Dehgolan's Basin. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(31), 123-141. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112744.html
 25. Paimozd, Sh., Morid, S., Bagheri, A., & Torabi, S. (2011). Inter State water allocation in common basin, using a system dynamics approach: A case study in the Qezel ozan basin. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University.
 26. Patel, H. A., Thanki, J. D., & Joshi M. P. (2022). Studies on Growth, Yield, Soil Nutrient Status and Economics of Chickpea as Influenced by INM in Chickpea-fodder Maize Cropping Sequence. *Indian Journal of Agricultural Research*, 56(4): 435-438. doi: 10.18805/IJARe.A-5918.
 27. Rao, P. S., Saraswathyamma, S.K., & Sethuraj M.R. (1998). Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Agricultural and Forest Meteorology*, 90 (3), 235-245. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(98\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(98)00051-3).
 28. Sabzzadeh, I., & Shourian, M. (2020). Maximizing crops yield net benefit in a groundwater-irrigated plain constrained to aquifer stable depletion using a coupled PSO-SWAT-MODFLOW hydro-agronomic model. *Journal of Cleaner Production*, no. 262, 121349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121349>.
 29. Saman, M. K., & Tariq, H. (2023). Interactive effects of mulching and deficit irrigation on yield, oil content and water use efficiency of Sesame in a semiarid environment Caspian. *Journal of Environmental Sciences*, 21(1), 85-93. Doi: 10.22124/CJES.2023.6198
 30. Sarkar, S., Sarkar, A., & Zaman, A. (2016). Yield, water use and economics of chickpea (*Cicero arietinum*) as influenced by different levels of irrigation and mulches. *Indian Journal of Agronomy*, 61(4), 479-483.
 31. Shanasyk, D. S., Mapfumo, E., & Chaikowsky, C. L. A. (2006). Estimating actual evapotranspiration using water budget and soil water reduction methods. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(4), 757-766. <http://dx.doi.org/10.4141/S05-063>
 32. Tian, Y., Li, C., Yi, Y., Wang, X., & Shu, A. (2020). Dynamic Model of a Sustainable Water Resources Utilization System with Coupled Water Quality and Quantity in Tianjin City. *Sustainability*, 12(10), 4254. <https://doi.org/10.3390/su12104254>
 33. Wang, B., Tian, Y., Li, X., & Li, C. (2021). Analysis and Prediction of Sustainable Utilization of Water Resources in Chengde City Based on System Dynamics Model. *Water*, 13(24), 3534. <https://doi.org/10.3390/w13243534>
 34. Wang, X., Tan, M., & Xiao, X. (2025). Estimation of unplanned water use based on system dynamics model in arid areas. *Agricultural Water Management*, no. 312, 109448. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109448>.
 35. Zhang, X., Xu, L., & Li, C. (2022). Sustainability of water resources in Shandong province based on a system dynamics model of water-economy-society for the Lower Yellow River. *Sustainability*, no. 14, 3412. <https://doi.org/10.3390/su14063412>.
 36. Zhang, H. & Oweis, T. (1999). Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. *Agricultural Water Management*, no. 38, 195-211. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9)

37. Zhao, L., Xia, J., Xu, Cy., Whang, Zh., Sobkowiak, L., & Long, C. (2013). Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. *Journal of photogrammetry, Remote sensing and Geoformation Science*, no. 23, 359–369. <https://doi.org/10.1007/s11442-013-1015-9>

Dynamic Simulation of the Impact of Profitability Policies on Capital Outflow in Zanjan Province

Shahla Paimozd,^{*1,2} Hosein Jiriae Sharahi³

Received: 06/08/2025

Accepted: 14/10/2025

Extended Abstract

Introduction: Water resources are critical yet finite, supplying a vast number of consumers. Their management, therefore, demands meticulous planning and heightened sensitivity. As human life and ecological stability depend on the reliable availability of these resources in specific quantities, locations, and times, strategic and foresighted approaches to water storage and allocation are paramount. The decisions made by policymakers and managers in this realm—whether for the short or long term—carry profound consequences, ranging from detrimental to highly beneficial. In a society characterized by one-sided and predominantly exploitative practices, the emergence of water-related disputes and challenges is not merely a possibility but an inevitability.

This study investigates this critical balance through a dynamic simulation. We defined 16 distinct scenarios for the agricultural sector to model the impact of two key policy levers—profitability incentives and water supply restrictions—on the outflow of water resources from Zanjan Province. The simulation was conducted on a monthly scale, covering a 30-year period from 1993 to 2023, to capture both seasonal variations and long-term trends.

Materials and Methods: The methodology of this study is grounded in System Dynamics (SD), a simulation approach specifically designed for modeling complex, non-linear, and multi-variable systems. Unlike static models, SD captures the dynamic interplay of variables over time, making it an effective tool for supporting complex decision-making in resource management.

Following the collection and verification of historical statistics and data, a system dynamics model was developed to simulate the effects of two key policy interventions—profitability incentives and water supply restrictions—on agricultural planning. The model explicitly represents how these policies influence the selection of cultivated areas for two key crops, wheat and alfalfa, and subsequently impact the hydrological balance of the province, measured as the ratio of water outflow to inflow.

The simulation was built upon a set of interconnected equations that dynamically determine crop yield and, consequently, the allocation of cultivated area through feedback mechanisms. These relationships were encoded in detail within the model structure. The statistical period (1993–2023) was divided into two phases to ensure model robustness: Calibration and Validation: The first segment of the data was used to calibrate the model parameters and verify its efficiency in replicating observed historical behavior. Policy Testing: The second segment was used to test and evaluate the outcomes of the 16 predefined policy scenarios. Finally, for each of the 16 scenarios, the model simulated output values for key variables, including total cultivated area, crop yield, economic benefit, and the critical water balance indicator—the ratio of the province's total water outflow to inflow.

Results: Following the simulation of the two policy types and their associated scenarios, key outcomes for cultivation patterns, economic benefit, and water balance were observed.

Impact of Profitability Policy (Price Increase): Cultivated Area: A doubling of the selling price for a crop led to a significant expansion in its cultivated area, with a weaker cross-effect on the competing crop. Wheat: Cultivated area increased by an average of 43% (Note: The original text had a discrepancy between average (43%) and maximum (40%). This version uses the average. Please verify your data). Alfalfa: Cultivated area increased by an average of 37%. Crop Yield (Performance): Contrary to area expansion, crop yields decreased under the profitability policy. Wheat: Yield decreased by an average of 20%. Alfalfa: Yield decreased by an average of 11% when its price was doubled. Economic and Hydrological Outcomes: When prices for both crops were doubled, the model resulted in: A 71% increase in total profit. A 48% increase in the total cultivated area of the province. A 30% decrease in overall crop performance. A 69% decrease in the province's water outflow ratio.

1. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran, Corresponding author; Email: s-paimozd@araku.ac.ir

2. Research Institute for water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran

3. M.Sc Graduate of Water Science and Engineering, College of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

Impact of Water Supply Limitation Policy: Cultivated Area: Imposing water supply limitations significantly reduced cultivation. When applied to both crops, the wheat cultivation area decreased by an average of 71% and the total provincial cultivated area decreased by an average of 68%. A single-crop limitation proved ineffective. For instance, limiting only wheat led to a 75% decrease in wheat area but induced competitive cultivation of alfalfa, making it an unsuitable strategy for water conservation. The same dynamic held true for alfalfa. Crop Yield: Under supply limitations, yields increased, likely due to a concentration of limited water on a smaller area. Wheat yield increased by 42%. Alfalfa yield increased by 25%. Economic and Hydrological Outcomes: Compared to the baseline, the supply limitation policy resulted in: A 44% decrease in agricultural benefit. A 23% increase in the province's water outflow.

Policy Comparison and Synthesis A direct comparison between the two policies reveals a clear trade-off: The profitability policy boosted economic returns (+71% benefit) and improved water retention (-69% outflow). The supply limitation policy reduced economic output (-49% benefit) and worsened the water outflow situation (+76% outflow). The scenario analysis further contextualizes farmer behavior. The maximum simulated cultivated area (141,979 hectares in the "wh Bnf & al Bnf 2-2" scenario) is lower than the actual recorded area of 161,544 hectares. This suggests that real-world farmers are operating at a profitability level equivalent to 2.3 times the base benefit, which aligns with a significant 84% decrease in the outflow ratio. Consequently, implementing the profitability policy would result in a relative outflow of just 16% of the baseline conditions.

Conclusion and Discussion: The simulation results underscore a critical dilemma: while a profitability policy aligns with farmer incentives, its long-term implementation in the face of finite water resources risks causing irreversible damage to the region's hydrological system. The model clearly demonstrates that a profitability policy, which is naturally preferred by farmers, leads to a dramatic reduction in provincial water outflow—exceeding 80%. This occurs because farmers, operating under the assumption of abundant water, prioritize profit maximization by expanding their cultivated area. This expansion compensates for the associated decrease in crop yield, making the strategy financially rational from an individual perspective, but hydrologically detrimental at a systemic level. Conversely, a policy of mandatory water supply limitation forces a reduction in the total cultivated area. While this may seem restrictive, it induces a more efficient and sustainable agricultural model. The simulation confirms that this policy leads to: Increased Crop Yield: A concentration of limited water resources on a smaller area enhances productivity per unit of land. Reasonable Economic Benefit: Farmers can maintain viable operations through higher efficiency rather than sheer scale. Significant Water Conservation: It directly curbs the irrational withdrawal and waste of water, preserving the resource base. In essence, by forgoing the short-term appeal of the profitability policy and implementing managed supply constraints, farmers are guided toward a more sustainable equilibrium. This approach secures better yields through improved management and prevents the over-exploitation that threatens the province's water future. The findings lead to an unequivocal recommendation for policymakers: maintaining the status quo is not an option. Without a decisive shift away from purely profit-driven water allocation toward an integrated strategy that balances economic incentives with physical supply limits, the cumulative damage to Zanjan Province's water resources will be severe and irreversible.

Keywords: Benefit, Simulation, Supply, Water Resource Limitations.