



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۱۲۲-۱۰۵

ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک با استفاده از یک سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی و تکنیک ارزیابی چندمعیاره

بهنام آبابایی*^۱، فرهاد میرزایی^۲، تیمور سهرابی^۳، هادی رضانی اعتدالی^۴

۱. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
۴. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱/۱۶

چکیده

در سیاست‌گذاری، اولین گام تشریح اهداف و انتخاب ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی، و پس از آن، ارزیابی و تحلیل اثر هر یک از آنها است. در این مطالعه، واکنش کشاورزان به ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی مختلف با استفاده از یک مدل نیمه‌گسترده برنامه‌ریزی در محدوده مطالعاتی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین بررسی شد. این مدل، انتخاب ترکیب‌های مختلف محصول، تیمار آبیاری و تاریخ کشت را برای هر یک از واحدهای اراضی شبیه‌سازی می‌کند. تکنیک ارزیابی چندمعیاره از دیدگاه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، برای ارزیابی کلی هر یک از سناریوهای مدیریتی به‌کار گرفته شد. ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی در قالب یک مدل پشتیبان برنامه‌ریزی نشان داد که دو سناریوی مدیریتی S2 (کاهش سود بانکی برای حمایت از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار) و S3 (دورنرخ شدن آب و افزایش قیمت فروش آب برای سامانه‌های آبیاری سطحی) را می‌توان سناریوهای برتر پس از سناریوی S5 (تلفیق همه ابزارها) در نظر گرفت. تحلیل عدم قطعیت در انتخاب وزن شاخص‌های ارزیابی (۳۰ درصد \pm خطا در انتخاب وزن‌ها) نشان داد که طبقه‌بندی سناریوهای مدیریتی مختلف، حساسیت زیادی به وزن تعیین شده برای شاخص‌های تحت مطالعه ندارد و این دو سناریو از دیدگاه اقتصادی به ترتیب با احتمال ۱۰۰ و ۶۱ درصد، دومین و سومین سناریوی مدیریتی برتر به‌شمار می‌روند. نتایج این مطالعه نشان داد که ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی مختلف ممکن است آثار متقابل بر یکدیگر داشته باشند و شاید از برخی جهات (مثل اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی) تلفیق این ابزارها در قالب یک سناریوی مدیریتی بهترین گزینه ممکن نباشد.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی خطی، تحلیل منابع، سناریوهای مدیریتی، سیاست‌گذاری، عدم قطعیت.

مقدمه

ابزارهای سیاستی، ابزارهایی هستند که برای دستیابی به اهداف یک سیاست خاص استفاده می‌شوند. ابزارهای سیاستی در بخش کشاورزی به منظور ترغیب کشاورزان به تغییر رفتارشان و با هدف دستیابی به اهداف مشخص به کار می‌روند. کشاورزان با توجه به اهداف، منابع و محدودیت‌های خود، به این ابزارهای سیاستی واکنش نشان می‌دهند. این واکنش‌ها ممکن است در کشاورزان مختلف، متفاوت باشند. تغییر رفتار کشاورزان بر محیط زیست و اهداف دیگر بخش‌های مرتبط با توسعه کشاورزی تأثیرگذار است.

پیش‌ارزیابی ابزارهای سیاستی، مرحله مهمی در تدوین و توسعه سیاست‌های جدید است و به سیاستگذاران امکان می‌دهد که بهترین ابزار سیاستی را از بین ابزارهای تحت ارزیابی، انتخاب کنند. پیش‌ارزیابی ابزارهای سیاستی در بخش کشاورزی چالش‌های فراوانی به همراه دارد، زیرا بخش‌های مختلف را شامل می‌شود که هر یک از آنها، رفتارها و اهداف خاص خود را دارد و از سامانه ارزشیابی یا ارزشگذاری متفاوتی در زمینه شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بهره می‌گیرد. این شاخص‌ها به منظور ارزیابی اثر ابزارهای سیاستی به کار می‌روند [۱۴، ۱۵، ۲۵] و پایه تعامل بخش‌های مختلف و محققان در زمینه‌های گوناگون را ایجاد می‌کنند. در نهایت می‌توان اثر کلی یک سیاست را از نظر شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی با استفاده از روش‌های چندمعیاره ارزیابی کرد [۲۶]. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، روش‌هایی که در بررسی همزمان جنبه‌های مختلف ارزیابی اراضی کارآمد باشند محدودند. مهم‌ترین چالش در توسعه چنین روش‌هایی، تلفیق اطلاعات اجتماعی-اقتصادی و

اطلاعات آگرواکولوژیک است. شاید به همین دلیل است که برنامه‌ریزی ارزیابی اراضی تاکنون به نتایج و اهداف پیش‌بینی شده منجر نشده است [۲۴، ۲۸]. هرچند که اهمیت تلفیق اطلاعات بیوفیزیکی و اطلاعات اجتماعی-اقتصادی و لحاظ اهداف و دیدگاه‌های بخش‌های مختلف در برنامه‌ریزی کاربری اراضی به خوبی شناخته شده است [۱۰، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۸]، این مسئله همچنان حل‌نشده باقی مانده و بنابراین تحقیقات بیشتر را ضرورت بخشیده است [۱۶].

چارچوب مفهومی یک سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی برای تدوین سیاست‌ها و راهکارهای مدیریتی بخش کشاورزی، دارای سه جزء اصلی است: ۱. تحلیل منابع اراضی؛ ۲. ارزیابی آثار سیاست‌ها و راهکارها؛ ۳. تحلیل سیاست‌ها و راهکارها.

تحلیل منابع اراضی، اولین گام در چارچوب پیشنهادی برای برنامه‌ریزی کشاورزی و تحلیل سیاست‌های این حوزه است و فرایندی است که طی آن، درک درستی از ویژگی‌های اساسی منابع و فرایندهایی که این منابع طی آنها تخصیص می‌یابند و به کار می‌روند ایجاد می‌شود [۲۷]. در این فرایند، فاصله بین منابع پتانسیل و کاربرد کنونی آنها تعیین و برای بررسی فرصت‌ها و قیود موجود برای توسعه آتی استفاده می‌شود.

فرایند تدوین سیاست‌ها و راهکارها، شامل تعیین اهداف سیاست‌ها و ابزارهای سیاستی، ارزیابی و تحلیل اثر هر سیاست و انتخاب ابزارهای سیاستی است. هدف این بخش از سامانه (ارزیابی اثر سیاست‌ها)، پشتیبانی از فرایند سیاستگذاری با بررسی واکنش کشاورزان در مقابل ابزارهای سیاستی مختلف و ارزیابی تأثیر آنها بر اهداف هر یک از بخش‌های ذی‌نفع است.

چاه‌های عمیق برای استحصال آب زیرزمینی و تأسیسات تغذیه مصنوعی آبخوان دشت قزوین از طریق حوضچه‌های تغذیه مصنوعی [۴].

براساس طرح‌های کشت موقت صادره از طرف سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین، مساحت خالص اراضی حدود ۵۸۰۰۰ هکتار برآورد می‌شود که ۶۰۰۰ هکتار از هدف برنامه (۵۲۰۰۰ هکتار خالص) بیشتر است. در الگوی کشت طرح‌های صادره و پروانه‌های بهره‌برداری، ۵۰ درصد کشت پاییزه (غلات) و ۱۵ تا ۲۵ درصد کشت بهاره (با نیاز آب در تابستان) و ۲۵ تا ۳۵ درصد آیش براساس برنامه رعایت می‌شود [۴]. تعهدات شرکت بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین، به دلیل تحویل چاه‌های پروژه به کشاورزان ذی‌نفع با رعایت الگوی کشت به حدود ۲۷۸ میلیون متر مکعب (آب تحویلی از سد زیاران) کاهش یافته است. به عبارت دیگر، تعهد شرکت آبیاری برای تحویل آب به نمایندگان کشاورزان در محل کانال‌های فرعی (درجه ۲)، ۲۳۷ میلیون متر مکعب است. بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۱، متوسط حجم آب تحویلی به کشاورزان، ۱۲۳/۵ میلیون متر مکعب گزارش شد که ۱۱۳/۵ میلیون متر مکعب کمتر از تعهدات شرکت آبیاری بود. در محدوده و اطراف شبکه آبیاری و زهکشی قزوین، شش ایستگاه هواشناسی که طول دوره آماری کافی و موقعیت جغرافیایی مناسبی داشتند انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها به نحوی انتخاب شدند که از نظر اطلاعات هواشناسی، پوشش مناسبی در سطح محدوده مطالعاتی ایجاد شود. این ایستگاه‌ها شامل ایستگاه سینوپتیک قزوین، ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی تاکستان، ایستگاه هواشناسی نیروگاه شهید رجایی، ایستگاه هواشناسی مگسال و ایستگاه مستقر در مجاور سد مخزنی طالقان هستند [۴].

تحلیل سیاست‌ها و راهکارها، شامل ارزیابی اثر هر یک از سیاست‌های مورد نظر از دیدگاه بخش‌های ذی‌نفع و انتخاب بهترین ابزارهای سیاستی از نظر سطح تحقق اهداف این ذی‌نفعان است. هدف از این ارزیابی، پاسخ به این پرسش است که با در نظر گرفتن اولویت‌های بخش‌های مختلف ذی‌نفع، کدام ابزار(های) سیاستی برای دستیابی به هدف (اهداف) توسعه‌ای مورد نظر مناسب است (هستند)؛ موضوعی که تاکنون کمتر به آن توجه شده و به طور معمول به ارزیابی ابزارهای سیاستی از یک منظر (عمدتاً اقتصادی) پرداخته شده است. در نهایت، هدف این است که فهرستی از سیاست‌ها، راهکارها و ابزارهای سیاستی مناسب در اختیار سیاستگذاران قرار گیرد که در آن، نتایج و عواقب انتخاب هر یک از آنها، تحت فرضیه‌های اساسی مختلف، مشخص شده باشند. از این رو هدف این مطالعه، ارزیابی ابزارهای سیاستی مختلف و تأثیر هر یک از آنها، تحت فرضیه‌های اساسی مختلف و با توجه به اولویت‌های مطلوب توسعه، با استفاده از یک مدل پشتیبان برنامه‌ریزی است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

طرح عمران دشت قزوین، شامل مجموعه‌ای از پروژه‌های توسعه منابع آب و خاک است که در طول سه دهه (۱۳۴۰ تا ۱۳۶۰) در دشت قزوین مطالعه و سپس اجرا شده است. فعالیت‌ها در دو بخش اصلی، یکی طرح آبیاری دشت قزوین و دیگری سازمان عمران دشت قزوین وابسته به وزارت کشاورزی وقت ادامه یافت. اجزای تشکیل‌دهنده طرح آبیاری دشت قزوین عبارت بودند از سد مخزنی طالقان، سد انحرافی سنگبان، تونل انحراف و انتقال آب طالقان، سد انحرافی زیاران، شبکه آبیاری دشت قزوین،

ساختار مدل

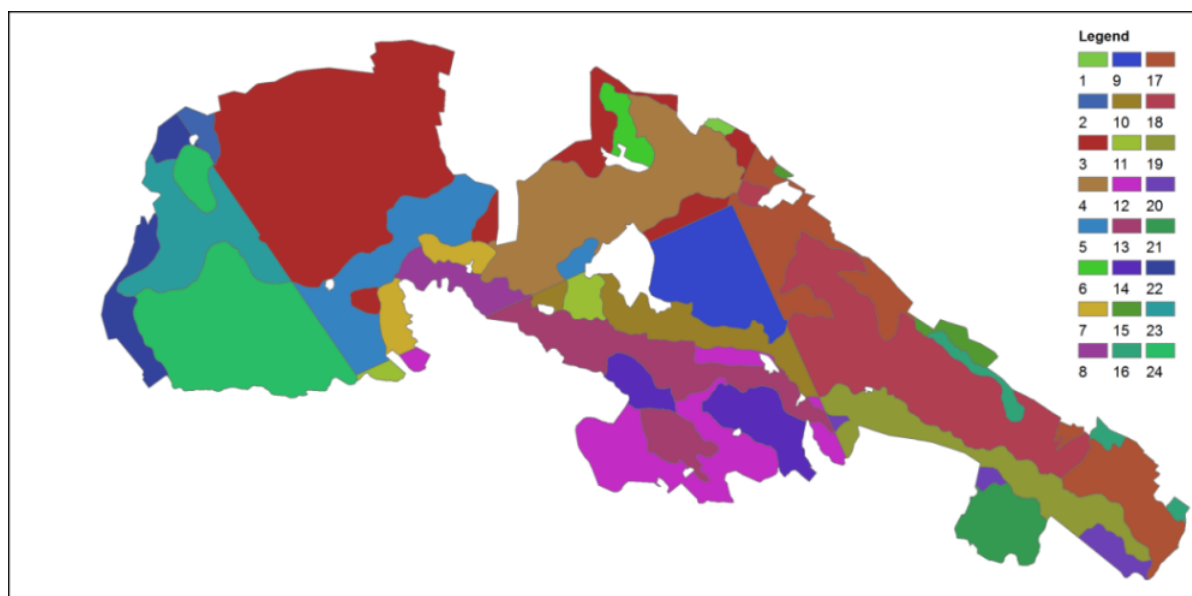
مرحله اول در تدوین مدل برنامه‌ریزی، تشریح ویژگی‌های هر یک از انواع بهره‌وری کشاورزی^۱ (LUT) در سطح منطقه است. هر یک از انواع بهره‌وری اراضی، از تلفیق یکی از تیمارهای کشت (محصول + تاریخ کشت + رژیم آبیاری) با انواع سامانه آبیاری (سطحی یا بارانی) تشکیل می‌شود. از ترکیب انواع بهره‌وری و واحدهای اراضی، واحدهای مدیریت اراضی^۲ (LMU) تشکیل می‌شوند که از نظر پتانسیل‌های بیوفیزیکی، منابع و نحوه مدیریت کشاورز، همگن هستند. سپس، یک مدل برنامه‌ریزی برای کل شبکه آبیاری قزوین ایجاد می‌شود. بخشی از متغیرهای تصمیم‌گیری عبارتند از سطح اختصاص یافته به انواع بهره‌وری کشاورزی که خود دارای ویژگی‌هایی از جمله نوع سامانه کشت، سامانه‌های مختلف آبیاری (سطحی و بارانی) و سطوح مختلف آبیاری (آبیاری کامل و سطوح مختلف کم آبیاری) هستند. بخش دیگر متغیرهای تصمیم‌گیری، مربوط به حجم رهاشده از مخزن سد طالقان برای تأمین اهداف زیست‌محیطی است. برای توسعه این مدل، از نرم‌افزارهای LINGO و MATLAB استفاده شد. مراحل توسعه و ارزیابی این مدل، در تحقیقی تشریح شده است [۱].

برای تشریح ساختار مدل، ابتدا سامانه‌های تولید کشاورزی مورد نظر تشریح می‌شوند (انواع بهره‌وری اراضی، LUT). به این منظور، شبکه اطلاعات هواشناسی منطقه با استفاده از روش چندضلعی‌های تیسن ترسیم شد. برای ترسیم این شبکه، از اطلاعات چهار ایستگاه هواشناسی منطقه استفاده شد (قزوین، تاکستان، مگسال و

نیروگاه شهیدرجایی) استفاده شد. واحدهای اراضی (LUs)، با روی هم قرار دادن نقشه‌های خاک‌شناسی (کلاس‌های خاک) و شبکه اطلاعات هواشناسی با استفاده از امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترسیم شدند. شکل ۱ نقشه واحدهای اراضی در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. در نهایت، واحدهای مدیریت اراضی (LMU) با تخصیص اراضی هر واحد اراضی (LU) به بهره‌وری‌های مختلف (LUT) ایجاد می‌شوند. برای هر واحد برنامه‌ریزی، یک مدل برنامه‌ریزی توسعه داده می‌شود و این مدل‌ها در سطح پایین‌تر (LMU) با هم ترکیب می‌شوند و سطح بالاتر (واحدهای اراضی) را تشکیل می‌دهند.

کشاورزان، تصمیم‌گیران نهایی در بخش کشاورزی هستند و اهداف خاصی را دنبال می‌کنند که اغلب با هم متفاوتند [۱۱، ۱۸، ۲۱، ۲۴]. در محدوده مطالعاتی، درآمد خالص می‌تواند بهترین هدف برای فرایند بهینه‌سازی باشند. مجموع درآمد خالص کشاورزان کل شبکه (که به عنوان تابع هدف انتخاب شده است)، به صورت مجموع درآمد ناخالص منطقه، منهای مجموع هزینه‌های کشت و منهای هزینه‌های احداث سامانه‌های آبیاری تحت فشار برآورد می‌شود. درآمد ناخالص هر محصول، براساس بازده تولید سامانه آبیاری مربوط، تلفات محصول به دلیل تجمع نمک در محیط ریشه (۱۰ درصد) و مقدار تولید محصول اصلی و فرعی (کاه) در واحد مربوط محاسبه می‌شود. هزینه احداث سامانه‌های آبیاری تحت فشار، با توجه به نرخ بهره ۱۸ درصد و طول دوره بازپرداخت پنج‌ساله، به هزینه در زمان حال تبدیل شد. شرح کامل‌تر اجزای مدل و روابط ریاضی مربوط در [۱] موجود است.

1. Land utilization type
2. Land Management Unit (LMU)



شکل ۱. واحدهای اراضی حاصل از روی هم قرار دادن نقشه‌های خاک‌شناسی و شبکه اطلاعات هواشناسی

محدودیت‌ها

برای اعمال هر یک از قیدها، کل بازه زمانی بهینه‌سازی به بازه‌های ده‌روزه تقسیم و در هر یک از این بازه‌ها، نیاز ناخالص آبیاری هر LMU در هر LU محاسبه می‌شود. محدودیت‌های مرتبط با سطح زیر کشت محصولات مختلف بین ۳۰ تا ۱۱۰ درصد سطوح زیر کشت تعیین شده در طرح اولیه در نظر گرفته شدند. حداقل سطح آیش در منطقه مطالعاتی ۲۰ درصد منظور شد. به علاوه، سطح خالص اراضی کشاورزی، ۸۵ درصد سطح ناخالص در نظر گرفته شده است [۴]. همچنین، برای اینکه سرمایه‌گذاری در کشاورزی منطقه مطالعاتی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و توجیه‌پذیر باشد، حداقل سود خالص در هر واحد مدیریتی (LMU)، ۲۰ درصد از مجموع هزینه کشت آن واحد تعیین شد.

برای تعیین بیلان آب زیرزمینی و برآورد حداکثر برداشت ممکن در هر سال از منابع آب زیرزمینی، یک مدل ساده بیلان آب زیرزمینی براساس مقدار نفوذ عمقی آب آبیاری و حجم تغذیه مصنوعی به‌عنوان بخشی از مدل

برنامه‌ریزی توسعه داده شد [۱].

برای شبیه‌سازی جریان ورودی به مخزن سد طالقان، از تلفیق چند مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های همراشتاین-واینر با استفاده از الگوریتم ترکیب داده‌ها استفاده شد [۱، ۲، ۳]. این الگوریتم، از اطلاعات روزانه هواشناسی (بارندگی و دمای روزانه) به‌عنوان متغیرهای ورودی بهره می‌گیرد و تا حد زیادی دقت شبیه‌سازی را در مقایسه با نتایج حاصل از مدل‌های منفرد بهبود می‌بخشد [۳، ۹]. در مدل بهره‌برداری از مخزن، بیلان آبی مخزن شامل برداشت آب برای تأمین تغذیه مصنوعی آبخوان، نیاز شرب، نیاز کشاورزی و تلفات در کنار جریان ورودی و جریان‌های خروجی (برای تأمین نیازهای محیط زیستی) مدنظر قرار گرفت. در نهایت، فرضیه‌ها و مقادیر انتخاب‌شده برای پارامترهای مدل با استفاده از اطلاعات تاریخی در محدوده مطالعاتی سنجیده شد و توانایی مدل در شبیه‌سازی در سطح پذیرفتنی ارزیابی شد [۱].

مدیریت آب و آبیاری

تعیین ضرایب تکنیکال ورودی و خروجی مدل

به منظور برآورد بازده تولید هر یک از محصولات مطالعه شده تحت آبیاری با دو سیستم آبیاری سطحی و بارانی، از روش پیشنهادی نظری استفاده شد [۶]. این روش، برپایه برآورد مقدار تولید محصول با استفاده از تابع عمق آبیاری-عملکرد محصول برای دهک‌های مختلف مزرعه با توجه به مقدار یکنواختی توزیع، بازده آبیاری (بازده کاربرد آب) و کفایت آبیاری توسعه یافته است. به این ترتیب که ابتدا عمق آب آبیاری متناسب با یکنواختی توزیع فرض شده برای هر یک از دهک‌های سطح مزرعه تعیین و سپس با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز، تأثیر هر یک از این عمق‌ها بر عملکرد گیاه برآورد شده و در نهایت متوسط عملکرد محصول در سطح مزرعه تعیین می‌شود. با مقایسه این مقدار با عملکرد پتانسیل محصول (یکنواختی توزیع ۱۰۰ درصد)، بازده تولید هر یک از محصولات تحت سامانه‌های آبیاری مختلف برآورد می‌شود [۱].

متوسط بازده آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار ۶۹/۲ درصد، و در سامانه‌های آبیاری سطحی ۳۹/۳ درصد در نظر گرفته شد. همچنین بازده انتقال و توزیع در سطح شبکه برای آب سطحی ۷۶/۹ درصد (بازده انتقال \times بازده توزیع) و برای آب زیرزمینی ۹۲ درصد (بازده توزیع) در نظر گرفته شد [۴]. با توجه به اینکه بیش از ۴۰ و ۱۵ درصد از عمق ناخالص آبیاری صرف نفوذ عمقی می‌شود [۷]، در عمل در بسیاری از حالت‌ها، نیاز آبتجویی و حتی بیشتر از آن در مزرعه رخ خواهد داد و در نظر گرفتن نیاز آبتجویی در برآورد عمق ناخالص آبیاری ضرورت ندارد. تلفات نیتروژن نیز با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز رشد بسته نرم‌افزاری DSSAT [۱۹] در هر یک از واحدهای مدیریت اراضی (LMU) محاسبه شد. این مدل‌ها پیشتر با

استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای، واسنجی و اعتبارسنجی شدند [۱].

تعیین ضرایب اجتماعی-اقتصادی ورودی و خروجی مدل

هزینه‌های ثابت و متغیر و نیروی کارگری لازم، با استفاده از اطلاعات بانک هزینه تولید محصولات زراعی [۸] برای هر یک از محصولات برآورد شدند. هزینه‌های متغیر تنها شامل هزینه آبیاری و آب‌بها است. برای تعیین قیمت محصولات تحت مطالعه در سال هدف (سال ۱۳۸۷)، از اطلاعات مرکز آمار ایران [۵] استفاده شد.

تعیین شاخص‌های ارزیابی

مجموعه شاخص‌های انتخاب شده باید معرف همه جنبه‌های مسئله، بدون افزودن بر پیچیدگی‌های آن باشد. شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی براساس اهداف کشاورزان و سیاستگذاران بخش کشاورزی، پایداری در بخش کشاورزی و با مرور مطالعات پیشین انتخاب می‌شوند [۱۷، ۲۱، ۲۸].

ارزیابی اثر سیاست‌ها و راهکارها

در ادامه، سناریوهای مدیریتی زیر ارزیابی خواهند شد که هر کدام، یک یا ترکیبی از چند ابزار سیاستی را ارزیابی می‌کنند:

سناریوی مدیریتی پایه^۱

در سناریوی مدیریتی پایه (مبنا، BS)، کلیه اراضی توسط سامانه‌های آبیاری سطحی آبیاری می‌شوند. هیچ تغییری در نرخ فروش آب برای هیچ یک از سامانه‌های آبیاری در نظر

1. Base run (simulation)

افزایش بازده انتقال و توزیع و بازده کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری سطحی

در سناریوی S4، وضعیتی از سیستم شبیه‌سازی می‌شود که در آن، بازده انتقال و توزیع از ۷۶/۹ درصد به ۸۶/۹ درصد افزایش یابد. در این سناریو، بازده کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری سطحی نیز ۵ درصد افزایش می‌یابد. این افزایش، به کمک آموزش کشاورزان در نحوه استفاده از آب و مدیریت اراضی به دست می‌آید. اثر این افزایش در بازده تولید محصولات زراعی در نظر گرفته نشده است.

ترکیب همه ابزارها

در سناریوی S5، سود بانکی از ۱۸ درصد به ۶ درصد کاهش می‌یابد، قیمت آب برای سامانه‌های آبیاری سطحی ۱/۵ برابر سامانه‌های تحت فشار افزایش می‌یابد و بازده انتقال و توزیع ۱۰ درصد و بازده کاربرد آب در سامانه‌های آبیاری سطحی ۵ درصد در مقایسه با سناریوی مبنا افزایش پیدا می‌کند.

تعیین اولویت اهداف و وزن شاخص‌ها

تعیین وزن‌ها از سه دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام گرفت. به اهداف کلی مرتبط با هر دیدگاه، وزن بیشتر (۰/۶) تخصیص داده شد و برای اهداف کلی دیگر، وزن ۰/۲ در نظر گرفته شد (جدول ۱). به برخی از شاخص‌ها وزن صفر اختصاص یافته است. دلیل این مسئله، لحاظ اثر این شاخص‌ها در شاخص‌های دیگر است. محاسبه و ذکر مقادیر این شاخص‌ها با هدف ایجاد امکان بررسی‌های احتمالی این شاخص‌ها در قالب سناریوهای مدیریتی مختلف صورت پذیرفته است.

گرفته نمی‌شود. بازده انتقال و توزیع و نیز بازده کاربرد آب نیز بدون تغییر باقی می‌ماند.

توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار

در حال حاضر، در محدوده مطالعاتی، برای اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار در هر هکتار از اراضی، ۷۰ میلیون ریال کمک از سوی بانک‌های عامل به کشاورزان پرداخت می‌شود. نیمی از این مقدار به صورت کمک بلاعوض و نیم دیگر به صورت وام با بازپرداخت ۵ ساله و سود سالانه ۱۸ درصد است. سناریوی S1 شامل شبیه‌سازی شرایط سیستم در صورت توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار با شرایط مذکور است.

کاهش سود بانکی وام‌های مربوط به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار

سناریوی S2 وضعیتی را شبیه‌سازی می‌کند که در آن، نرخ سود بانکی در سناریوی S1، از ۱۸ درصد به ۶ درصد سالانه کاهش پیدا کند. این میزان سود بانکی، بیشتر توسط بانک‌های عامل برای اعطای وام‌های کوتاه مدت به کشاورزان و صنعتکاران اعمال می‌شد.

دونرخی شدن آب و افزایش قیمت فروش آب برای سامانه‌های آبیاری سطحی

سناریوی S3 وضعیتی را شبیه‌سازی می‌کند که در آن، قیمت هر متر مکعب آب برای استفاده در سامانه‌های آبیاری سطحی، ۱/۵ برابر قیمت آب برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در نظر گرفته شود. بنابراین در این سناریو، قیمت هر متر مکعب آب سطحی برابر سامانه‌های آبیاری سطحی، ۱۶۵ ریال و قیمت هر متر مکعب آب زیرزمینی ۵۵۵ ریال (با هزینه‌های استحصال) در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱. وزن‌های اختصاص یافته به اهداف کلی، اهداف جزئی و شاخص‌ها از دیدگاه اقتصادی

اهداف کلی	اهداف جزئی	شاخص‌ها	وزن کلی	
اقتصادی	مجموع درآمدها	مجموع درآمد خالص	۱/۰۰ ۰/۱۸۰۰	
		مجموع درآمد ناخالص	۰/۰۰ ۰/۰۰۰۰	
	مجموع هزینه‌ها	مجموع هزینه‌های کشت	۰/۷۰ ۰/۰۸۴۰	
		هزینه سامانه‌های تحت فشار	۰/۳۰ ۰/۰۳۶۰	
		مجموع محصولات	۰/۳۵ ۰/۰۶۳۰	
	تولید محصولات زراعی	محصولات استراتژیک	۰/۲۵ ۰/۰۴۵۰	
		محصول گندم	۰/۲۰ ۰/۰۳۶۰	
		محصول ذرت علوفه‌ای	۰/۱۰ ۰/۰۱۸۰	
		محصول جو	۰/۱۰ ۰/۰۱۸۰	
		بهره‌وری اقتصادی آب	۰/۵۰ ۰/۰۶۰۰	
اجتماعی	بهره‌وری اقتصادی	بهره‌وری اقتصادی زمین	۰/۲۵ ۰/۰۳۰۰	
		بهره‌وری اقتصادی نیروی کارگری	۰/۲۵ ۰/۰۳۰۰	
		مجموع نیروی کارگری	۱/۰۰ ۰/۱۲۰۰	
	مجموع نیروی کارگری	مجموع تولید به‌ازای نیروی کارگری	۱/۰۰ ۰/۰۷۰۰	
		سطح آبیاری تحت فشار	۱/۰۰ ۰/۰۱۰۰	
	زیست‌محیطی	مصرف آب	مجموع آب استفاده‌شده	۰/۰۰ ۰/۰۰۰۰
			مجموع آب سطحی استفاده‌شده	۰/۰۰ ۰/۰۰۰۰
			مجموع آب زیرزمینی استفاده‌شده	۰/۰۰ ۰/۰۰۰۰
		کاربرد و تلفات کودهای شیمیایی	مجموع آب کشاورزی	۰/۵۰ ۰/۰۶۰۰
			مجموع آب سطحی کشاورزی	۰/۲۵ ۰/۰۳۰۰
مجموع آب زیرزمینی کشاورزی			۰/۲۵ ۰/۰۳۰۰	
نیترژن مصرفی			۰/۲۵ ۰/۰۲۰۰	
تغذیه مصنوعی	کود فسفر مصرفی	۰/۲۵ ۰/۰۲۰۰		
	آبشویی نیترژن	۰/۵۰ ۰/۰۴۰۰		
	تغذیه مصنوعی	۰/۰۰ ۰/۰۰۰۰		

ارزیابی ابزارهای سیاستی

مقادیر شاخص‌ها با استفاده از دو روش استانداردسازی حداکثر و استانداردسازی نمایی، استاندارد شدند. در مورد شاخص‌هایی که بیشتر بودن آنها مطلوب‌تر است (شاخص‌های سود)، استانداردسازی به‌نحوی انجام می‌گیرد

اولین مرحله در ارزیابی ابزارهای سیاستی، استاندارد کردن مقادیر شاخص‌های محاسبه‌شده است، زیرا این شاخص‌ها، دامنه تغییرات و واحدهای متفاوتی دارند. در این مطالعه،

مدیریت آب و آبیاری

کار، به دفعات زیاد (۱۰۰۰ بار) انجام می‌گیرد و در هر نوبت، پس از استاندارد کردن وزن‌ها (جمع وزن‌ها برابر با یک) رتبه‌بندی سناریوهای مدیریتی مجدداً انجام می‌پذیرد. در نهایت، تعداد دفعاتی که هر یک از سناریوها در هر یک از رتبه‌ها قرار گرفته‌اند شمارش و احتمال قرار گرفتن آنها در این رتبه مشخص می‌شود. خطاهای موجود در امتیازها ممکن است به برخی تغییرات در میانه سری رتبه‌بندی منجر شود، اما در صورتی که بهترین و بدترین ابزارهای انتخاب شده دچار تغییر شوند، رتبه‌بندی عدم قطعیت زیادی دارد و باید بیشتر بررسی شود.

نتایج و بحث

ارزیابی سناریوهای مدیریتی

هیچ یک از سناریوهای مدیریتی تحت مطالعه، به کاهش سطح زیر کشت (جدول‌های ۲ و ۳) هیچ یک از محصولات منجر نشده‌اند. در بین همه محصولات، سناریوی S5 به بیشترین افزایش سطح زیر کشت منجر شده است که بخش عمده آن مربوط به محصول سورگوم است. در بین دیگر سناریوهای مدیریتی نیز، سناریوهای S1 تا S3 به بیشترین (۱۱۹ درصد) و سناریوی S4 به کمترین (۳ درصد) متوسط افزایش سطح زیر کشت منجر شده‌اند. در مجموع، بخش عمده اراضی محدوده مطالعاتی به کشت گندم و جو اختصاص پیدا کرده است (متناسب با طرح اولیه محدوده مطالعاتی). هیچ سطحی در محدوده مطالعاتی به محصول ذرت علوفه‌ای ۱ و پنبه اختصاص پیدا نکرده که دلیل آن، عملکرد نامطلوب پنبه و نیاز آبی زیاد هر دو محصول است.

به منظور مقایسه آثار هر یک از این سناریوها، مقادیر این شاخص‌ها در مقایسه با سناریوی مدیریتی مبنا (BS) محاسبه و ارزیابی شدند (جدول‌های ۴ و ۵). ضمن اینکه شاخص‌های هزینه و سطح اختصاص یافته به سامانه‌های آبیاری تحت فشار با سناریوی S1 مقایسه شدند، زیرا در سناریوی BS، این مقادیر صفر هستند.

که بیشترین امتیاز (یک) به شاخصی با بیشترین مقدار اختصاص یابد. در حالی که در مورد شاخص‌هایی که کمتر بودن آنها مطلوب‌تر است (شاخص‌های هزینه)، بیشترین امتیاز به شاخصی با کمترین مقدار اختصاص می‌یابد [۲۶]. کمترین مقدار در این روش استانداردسازی صفر در نظر گرفته می‌شود (رابطه‌های ۱ و ۲):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Benefit: } XS_i = W_i \times \frac{X_i}{\text{Max}(X)} \\ \text{Cost: } XS_i = W_i \times \frac{1/X_i}{\text{Max}(1/X)} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Benefit: } XS_i = W_i \times e^{\frac{X_i}{\text{Max}(X)}} \\ \text{Cost: } XS_i = W_i \times e^{\frac{-X_i}{\text{Max}(X)}} \end{array} \right. \quad (2)$$

در این روابط، W_i : وزن شاخص X_i ؛ X_i : شاخص غیراستاندارد نام؛ XS_i : شاخص استاندارد شده نام؛ e : عدد نپر؛ و علائم Benefit و Cost به ترتیب به معنای شاخص‌های سود و هزینه‌اند. در این مطالعه، از قضاوت کارشناسی و مشاوره با متخصصان و استادان دانشگاه برای تعیین اهمیت نسبی اهداف و شاخص‌ها استفاده شد.

تحلیل عدم قطعیت

برای ارزیابی صحت روش رتبه‌بندی، تحلیل عدم قطعیت (UA) بر روی وزن‌ها و امتیازهای هر یک از شاخص‌ها انجام می‌گیرد. به این ترتیب که میزان خطای محتمل در تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها (± 10 ، ± 30 ، و ± 50 درصد) در نظر گرفته می‌شود. سپس اعداد تصادفی در این بازه‌ها انتخاب شده و به صورت ضریب بر وزن‌های انتخاب شده برای شاخص‌های ارزیابی اعمال می‌شود. این

سناریوی S3 است (۱۴ درصد) و در سناریوهای S1 تا S3 و سناریوی S5 نیز تولید جو در حدود ۱۲ درصد افزایش نشان می‌دهد که بیانگر تأثیر مستقیم کاربرد سامانه‌های آبیاری بارانی بر بهره‌وری و سوددهی بیشتر محصولات علوفه‌ای، به‌ویژه ذرت علوفه‌ای است.

بیشترین افزایش تولید مربوط به سناریوی S5 است. این سناریو، تولید محصولات استراتژیک را نیز به مقدار ۲ درصد در مقایسه با سناریوی مدیریتی مبنا افزایش می‌دهد، هرچند که تولید گندم ۳ درصد کاهش پیدا می‌کند. افزایش تولید محصول ذرت علوفه‌ای در تمامی سناریوهای مدیریتی در حدود ۱۸ درصد، و بیشترین افزایش تولید جو نیز مربوط به

جدول ۲. سطح اختصاص یافته (هکتار) به هر یک از محصولات در سناریوهای مختلف مدیریتی

نام محصول	BS	S1	S2	S3	S4	S5
جو	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰
ذرت دانه‌ای	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۱۶۰۰	۱۶۵۰	۱۶۰۰	۲۲۸۵
پنبه	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ذرت علوفه‌ای ۱*	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ذرت علوفه‌ای ۲*	۵۲۶۳	۶۵۰۰	۶۵۰۰	۶۵۰۰	۶۲۶۳	۶۵۰۰
سیب‌زمینی	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰
سورگوم	۱۴۶	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۱	۱۵۰۰
سویا	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
گوجه‌فرنگی	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰
گندم	۲۳۱۰۰	۲۳۱۰۰	۲۳۱۰۰	۲۳۱۰۰	۲۳۱۰۰	۲۳۱۰۰

* ذرت علوفه‌ای ۱، کشت اصلی و ذرت علوفه‌ای ۲، کشت دوم بعد از گندم و جو در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۳. حجم تولید (هزار تن) هر یک از محصولات در سناریوهای مختلف مدیریتی

نام محصول	BS	S1	S2	S3	S4	S5
جو	۷۸۱/۵۳	۸۷۳/۱۹	۸۷۵/۰۰	۸۸۸/۱۱	۷۸۲/۰۵	۸۷۳/۲۸
ذرت دانه‌ای	۳۶۹/۹۱	۳۵۹/۸۰	۳۵۹/۸۰	۳۷۰/۲۵	۳۶۹/۹۱	۵۰۷/۱۴
پنبه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ذرت علوفه‌ای ۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ذرت علوفه‌ای ۲	۷۸۳۷/۶۱	۹۲۲۵/۰۱	۹۲۲۱/۱۸	۹۲۱۸/۱۷	۹۲۳۰/۱۲	۹۲۱۵/۱۸
سیب‌زمینی	۱۳۴۴/۵۱	۱۳۲۲/۷۴	۱۴۰۶/۰۰	۱۴۰۴/۴۶	۱۳۴۱/۰۲	۱۴۰۳/۸۲
سورگوم	۱۶/۱۹	۱۹۱/۲۰	۱۹۰/۷۰	۱۹۱/۶۲	۱۶/۷۶	۱۹۱/۵۱
سویا	۴۸/۵۶	۵۳/۴۲	۶۱/۲۴	۶۳/۵۵	۴۸/۵۶	۶۳/۵۵
گوجه‌فرنگی	۳۳۰۲/۹۴	۳۷۵۵/۸۴	۳۷۵۵/۸۴	۳۷۵۵/۸۴	۳۳۰۲/۹۴	۳۷۵۵/۸۴
گندم	۲۹۹۷/۶۴	۲۹۱۶/۹۸	۲۹۰۵/۹۳	۲۹۰۸/۶۶	۲۹۹۷/۲۰	۲۹۱۸/۸۸

سناریوهای S2، S4 و S5 (۳-۴ درصد) است. در زمینه خودکفایی تولید منطقه‌ای، سناریوهای S1، S2، S3 و S5 به متوسط ۹ درصد افزایش تولید محصولات زراعی به‌ازای هر نفر-روز نیروی کارگری مورد نیاز منجر می‌شوند. بیشترین افزایش سطح اختصاص‌یافته به آبیاری تحت فشار نیز (در مقایسه با سناریوی S1) مربوط به سناریوی S5 (۷۱ درصد) و سناریوی S3 (۴۷ درصد) است.

در زمینه مصرف آب در بخش کشاورزی، همه سناریوهای مدیریتی تحت مطالعه به کاهش مصرف منجر می‌شوند. کمترین کاهش مربوط به سناریوی S4 (۱۲ درصد) است، درحالی‌که سناریوهای S1 تا S3 به‌طور متوسط به ۱۵ درصد کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی منجر می‌شوند. این کاهش، برای سناریوی S5 در حدود ۲۶ درصد برآورد می‌شود. این در حالی است که مصرف آب کشاورزی از مخزن سد طالقان در تمامی سناریوها کمابیش ثابت و نزدیک به مقدار برآوردشده در سناریوی مبنا است. در مقابل، متوسط کاهش مصرف آب از منابع زیرزمینی در بخش کشاورزی بین سناریوهای S1 تا S4 در حدود ۲۸ درصد و در سناریوی S5 در حدود ۴۷ درصد پیش‌بینی می‌شود. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که استفاده از منابع آب سطحی انعطاف‌پذیری کمتری در مقایسه با منابع آب زیرزمینی دارد.

در مورد کاربرد و آبتجوی کودهای شیمیایی، همه سناریوهای مدیریتی به افزایش کاربرد کودهای نیتروژن و فسفر منجر می‌شوند. بیشترین افزایش مربوط به سناریوی S5 (۹ درصد) است. روند مشابهی برای مصرف کودهای فسفره وجود دارد. در مقابل، همه سناریوها به کاهش آبتجوی نیتروژن منجر می‌شوند. این مسئله، به کاربرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار با درصد نفوذ عمقی و آبتجوی کمتر در مقایسه با سامانه‌های آبیاری سطحی مرتبط است. سناریوی S5 سبب ۱۹ درصد کاهش آبتجوی نیتروژن می‌شود.

بیشترین افزایش بهره‌وری اقتصادی آب مربوط به سناریوی S5 است (۴۵ درصد). پس از این سناریو، دو سناریوی S1 تا S3 نیز به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱، ۲۷ و ۲۳ درصدی بهره‌وری اقتصادی آب می‌شوند که نشان‌دهنده اهمیت کاربرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار در بهبود بهره‌وری اقتصادی آب در بخش کشاورزی است. در بین سناریوهای مدیریتی تحت مطالعه، اغلب، تغییر عمده‌ای در بهره‌وری اقتصادی زمین ایجاد نمی‌شود. در این بین، بیشترین افزایش بهره‌وری اقتصادی زمین مربوط به سناریوی مدیریتی S4 است. در سناریوی S3 نیز کاهش بهره‌وری اقتصادی زمین (۴ درصد) به‌دلیل افزایش سطح زیر کشت و افزایش هزینه‌های تولید در واحد سطح) مشاهده می‌شود.

از نظر درآمدها و هزینه‌ها، بیشترین افزایش مجموع درآمد خالص منطقه در سناریوهای مدیریتی S2 حاصل می‌شود. هرچند که بیشترین افزایش درآمد ناخالص منطقه مربوط به سناریوی S5 است که نشان‌دهنده بیشتر شدن هزینه‌ها در این سناریو در مقایسه با سناریوی S2 است. از نظر هزینه‌های کشت، تنها سناریوی مدیریتی S4 به کاهش هزینه‌های تولید منجر می‌شود (۱ درصد). بیشترین افزایش هزینه‌های کشت نیز به سناریوی S3 مربوط است (۱۶ درصد) که بیانگر تأثیر چشمگیر افزایش قیمت فروش آب در مجموع هزینه‌های کشت است.

افزایش نیاز کارگری در سناریوهای S1 تا S3 و سناریوی S5 نشان از تأثیر کاربرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار در افزایش سطح زیر کشت و افزایش نیروی کارگری مورد نیاز دارد. هرچند که نیروی کارگری مورد نیاز برای آبیاری در این سامانه‌ها کمتر از سامانه‌های سطحی است، افزایش مشاغل مرتبط با این سامانه‌ها (طراحی، اجرا، تعمیرات و ...) این مسئله را جبران می‌کند. بیشترین رشد بهره‌وری اقتصادی نیروی کارگری نیز مربوط به

از نظر نیاز به تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی، همه سناریوها کمابیش به کاهش حجم تغذیه مصنوعی منجر می‌شوند (به جز سناریوی S4). دلیل این مسئله را می‌توان کاهش مصرف منابع آب زیرزمینی در این سناریوها دانست. بیشترین کاهش حجم تغذیه مصنوعی مربوط به سناریوی S5 (۲۷ درصد) و کمترین آن مربوط به سناریوی S3 (۵ درصد) است.

جدول ۴. شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی

سناریوهای مدیریتی						شاخص‌ها	اهداف جزئی	اهداف کلی
S5	S4	S3	S2	S1	BS			
۱۳/۸۲	۱۳/۵۱	۱۳/۱۰	۱۳/۸۶	۱۳/۶۱	۱۲/۸۹	مجموع درآمد خالص (۱۰ ^{۱۲} ریال)	مجموع درآمدها	اقتصادی
۲۵/۹۹	۲۴/۱۱	۲۵/۵۹	۲۵/۵۰	۲۵/۳۹	۲۳/۶۵	مجموع درآمد ناخالص (۱۰ ^{۱۲} ریال)		
۱۲/۱۷	۱۰/۶۰	۱۲/۵۰	۱۱/۶۴	۱۱/۷۷	۱۰/۷۶	مجموع هزینه‌های کشت (۱۰ ^{۱۲} ریال)	مجموع هزینه‌ها	
۱/۰۴	۰/۰۰	۱/۲۰	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۰۰	هزینه سامانه‌های تحت فشار (۱۰ ^{۱۲} ریال)		
۱۸/۹۳	۱۸/۰۹	۱۸/۸۰	۱۸/۷۸	۱۸/۷۰	۱۶/۷۰	مجموع محصولات (۱۰ ^۹ کیلوگرم)	تولید محصولات زراعی	
۴/۸۳	۴/۷۱	۴/۶۸	۴/۶۷	۴/۶۰	۴/۷۱	محصولات استراتژیک (۱۰ ^۹ کیلوگرم)		
۲/۹۲	۳/۰۰	۲/۹۱	۲/۹۱	۲/۹۲	۳/۰۰	محصول گندم (۱۰ ^۹ کیلوگرم)		
۹/۲۲	۹/۲۳	۹/۲۲	۹/۲۲	۹/۲۳	۷/۸۴	محصول ذرت علوفه‌ای (۱۰ ^۹ کیلوگرم)		
۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۷۸	محصول جو (۱۰ ^۹ کیلوگرم)		
۱/۶۷	۱/۳۸	۱/۴۲	۱/۴۷	۱/۴۱	۱/۱۶	بهره‌وری اقتصادی آب (۱۰ ^۳ ریال/متر مکعب)	بهره‌وری اقتصادی	
۲۹۶/۹	۳۰۵/۲	۲۸۵/۳	۳۰۲/۳	۲۹۶/۹	۲۹۸/۰	بهره‌وری اقتصادی زمین (۱۰ ^۶ ریال/هکتار)		
۸۲۹۴/۹	۸۳۴۷/۴	۷۹۲۶/۱	۸۳۹۲/۷	۸۲۴۴/۵	۸۰۷۰/۱	بهره‌وری اقتصادی نیروی کارگری (۱۰ ^۳ ریال/انفرروز)		
۱۶۶۵/۶	۱۶۱۸/۳	۱۶۵۲/۴	۱۶۵۱/۴	۱۶۵۱/۴	۱۵۹۷/۴	مجموع نیروی کارگری (۱۰ ^۳ نفر-روز)	مجموع نیروی کارگری	اجتماعی
۱۱/۳۶	۱۱/۱۸	۱۱/۳۸	۱۱/۳۷	۱۱/۳۲	۱۰/۴۵	مجموع تولید به‌ازای نیروی کارگری (۱۰ ^۳ کیلوگرم/انفرروز)			خودکفایی تولید
۲۰/۰۲	۰/۰۰	۱۷/۱۹	۱۴/۲۰	۱۱/۷۰	۰/۰۰	سطح آبیاری تحت فشار (۱۰ ^۳ هکتار)	سطح آبیاری تحت فشار	
۹/۶۵	۱۱/۲۶	۱۰/۶۶	۱۰/۸۴	۱۱/۰۸	۱۲/۵۸	مجموع آب استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)		
۵/۰۹	۵/۱۴	۵/۱۴	۵/۱۴	۵/۱۲	۵/۱۴	مجموع آب سطحی استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)	مصرف آب	
۴/۵۵	۶/۱۱	۵/۵۲	۵/۷۰	۵/۹۶	۷/۴۴	مجموع آب زیرزمینی استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)		
۸/۲۵	۹/۸۰	۹/۲۳	۹/۴۴	۹/۶۹	۱۱/۱۴	مجموع آب کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)		
۴/۹۶	۴/۹۵	۴/۹۷	۵/۰۰	۴/۹۸	۴/۹۶	مجموع آب سطحی کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)		
۳/۲۹	۴/۸۵	۴/۲۶	۴/۴۴	۴/۷۰	۶/۱۸	مجموع آب زیرزمینی کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)		
۱۲۴/۹۴	۱۱۸/۱۷	۱۲۲/۹۱	۱۲۲/۷۶	۱۲۲/۷۶	۱۱۴/۷۵	نیترژن مصرفی (۱۰ ^۶ کیلوگرم)	کاربرد و تلفات کودهای شیمیایی	
۱۰/۶۰	۱۰/۰۲	۱۰/۴۸	۱۰/۴۷	۱۰/۴۷	۹/۶۹	کود فسفر مصرفی (۱۰ ^۶ کیلوگرم)		
۱۵/۲۸	۱۶/۷۷	۱۶/۸۴	۱۷/۱۰	۱۷/۱۴	۱۸/۷۹	آبشویی نیترژن (۱۰ ^۶ کیلوگرم)	تغذیه مصنوعی	
۱۳۳/۴۴	۱۹۵/۳۶	۱۷۳/۵۱	۱۴۳/۱۷	۱۳۵/۵۶	۱۸۲/۶۹	تغذیه مصنوعی (۱۰ ^۶ متر مکعب)		

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک با استفاده از یک سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی و تکنیک ارزیابی چندمعیاره

جدول ۵. نسبت شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای سناریوهای مدیریتی در مقایسه با سناریوی مبنا (BS)

سناریوهای مدیریتی							شاخص‌ها	اهداف جزئی	اهداف کلی
S5	S4	S3	S2	S1	BS				
۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۲	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۰	مجموع درآمد خالص (۱۰ ^{۱۲} ریال)	مجموع درآمدها	اقتصادی	
۱/۱۰	۱/۰۲	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۰	مجموع درآمد ناخالص (۱۰ ^{۱۲} ریال)			
۱/۱۳	۰/۹۹	۱/۱۶	۱/۰۸	۱/۰۹	۱/۰۰	مجموع هزینه‌های کشت (۱۰ ^{۱۲} ریال)	مجموع هزینه‌ها	اقتصادی	
۱/۲۷	۰/۰۰	۱/۴۷	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۰۰	هزینه سامانه‌های تحت فشار (۱۰ ^{۱۲} ریال)			
۱/۱۳	۱/۰۸	۱/۱۳	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۰	مجموع محصولات (۱۰ ^۹ کیلوگرم)	تولید محصولات زراعی	اقتصادی	
۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۰	محصولات استراتژیک (۱۰ ^۹ کیلوگرم)			
۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۱/۰۰	محصول گندم (۱۰ ^۹ کیلوگرم)			
۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۰۰	محصول ذرت علوفه‌ای (۱۰ ^۹ کیلوگرم)			
۱/۱۲	۱/۰۰	۱/۱۴	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۰۰	محصول جو (۱۰ ^۹ کیلوگرم)	بهره‌وری اقتصادی	اجتماعی	
۱/۴۵	۱/۱۹	۱/۲۳	۱/۲۷	۱/۲۱	۱/۰۰	بهره‌وری اقتصادی آب (۱۰ ^۲ ریال/مترمکعب)			
۱/۰۰	۱/۰۲	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	بهره‌وری اقتصادی زمین (۱۰ ^۶ ریال/هکتار)			
۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۰۰	بهره‌وری اقتصادی نیروی کارگری (۱۰ ^۳ ریال/انفر-روز)			
۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۰	مجموع نیروی کارگری (۱۰ ^۳ نفر-روز)	مجموع نیروی کارگری	اجتماعی	
۱/۰۹	۱/۰۷	۱/۰۹	۱/۰۹	۱/۰۸	۱/۰۰	مجموع تولید به ازای نیروی کارگری (۱۰ ^۳ کیلوگرم/انفر-روز)			
۱/۷۱	۰/۰۰	۱/۴۷	۱/۲۱	۱/۰۰	۰/۰۰	سطح آبیاری تحت فشار (۱۰ ^۳ هکتار)	سطح آبیاری تحت فشار	زیست‌محیطی	
۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۸	۱/۰۰	مجموع آب استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)			
۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	مجموع آب سطحی استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)	صرف آب	زیست‌محیطی	
۰/۶۱	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۰	۱/۰۰	مجموع آب زیرزمینی استفاده‌شده (۱۰ ^۹ متر مکعب)			
۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۷	۱/۰۰	مجموع آب کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)			
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	مجموع آب سطحی کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)			
۰/۵۳	۰/۷۸	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۶	۱/۰۰	مجموع آب زیرزمینی کشاورزی (۱۰ ^۹ متر مکعب)	کاربرد و تلفات کودهای شیمیایی	زیست‌محیطی	
۱/۰۹	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۰	نیترژن مصرفی (۱۰ ^۶ کیلوگرم)			
۱/۰۹	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۰	کود فسفر مصرفی (۱۰ ^۶ کیلوگرم)			
۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۰۰	آبشویی نیترژن (۱۰ ^۶ کیلوگرم)			
۰/۷۳	۱/۰۷	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۷۴	۱/۰۰	تغذیه مصنوعی (۱۰ ^۶ متر مکعب)	تغذیه مصنوعی	زیست‌محیطی	

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

رتبه‌بندی سناریوهای مدیریتی

جدول ۶ مقادیر شاخص‌های استاندارد شده را نشان می‌دهد. به غیر از اهداف اقتصادی، هر دو روش استاندارد سازی به انتخاب سناریوی S5 به عنوان بهترین سناریوی مدیریتی منجر شده‌اند. پس از این سناریو، سناریوهای مدیریتی S2 و S4 نیز عملکرد مناسبی در زمینه اهداف کلی تحقیق داشته‌اند. به ویژه، در مورد اهداف اقتصادی، روش استاندارد سازی حداکثر، سناریوی S4 را بهترین سناریوی مدیریتی انتخاب کرده است. به غیر از سناریوی S5، بهترین عملکرد از دیدگاه اقتصادی مربوط به سناریوهای S2 و S4 است. از دیدگاه اجتماعی و زیست محیطی، عملکرد سناریوهای S2 و S3 نیز شایان توجه است. مشخصاً دیدگاه استفاده شده در انتخاب بهترین سناریوها، بر انتخاب بهترین سناریوی مدیریتی تأثیر نداشته است. دلیل این مسئله این است که اکثر اهداف تحقیق، همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. برای مثال، افزایش سود خالص اغلب به

افزایش سطح زیر کشت بستگی دارد و افزایش سطح زیر کشت نیز موجب افزایش نیاز به نیروی کارگری می‌شود. این مسئله ممکن است همواره مصداق نداشته باشد.

تحلیل عدم قطعیت

به منظور ارزیابی پایداری و صحت رتبه‌بندی، تحلیل عدم قطعیت بر روی وزن‌های اختصاص یافته به هر یک از شاخص‌ها انجام گرفت. میزان عدم قطعیت، ± 10 ، ± 30 و ± 50 درصد در نظر گرفته شد. جدول ۷ مقادیر احتمال اختصاص رتبه یک تا شش برای هر یک از سناریوهای مدیریتی در صورت تغییر وزن شاخص‌ها به مقدار تعیین شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، حتی با قبول بیش از ۵۰ درصد عدم قطعیت (خطا) در مقادیر وزن‌ها، از دیدگاه اقتصادی، با احتمال ۱۰۰ درصد سناریوی S5 سناریوی برتر انتخاب خواهد شد.

جدول ۶. رتبه‌بندی کلی و رتبه‌بندی اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی

استاندارد سازی نمایی						استاندارد سازی حداکثر						سناریوی مدیریتی
S5	S4	S3	S2	S1	BS	S5	S4	S3	S2	S1	BS	
۱/۹۷	۱/۹۲	۱/۹۰	۱/۹۴	۱/۹۲	۱/۸۳	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۹	کل اهداف - دیدگاه اقتصادی
۲/۱۷	۲/۰۶	۲/۱۲	۲/۱۲	۲/۱۰	۱/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۸۹	کل اهداف - دیدگاه اجتماعی
۱/۲۶	۱/۲۰	۱/۲۱	۱/۲۲	۱/۲۱	۱/۱۴	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۸۵	کل اهداف - دیدگاه زیست محیطی
۲/۲۴	۲/۲۰	۲/۱۴	۲/۲۲	۲/۱۸	۲/۱۰	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۹۲	اهداف اقتصادی
۲/۷۲	۲/۵۷	۲/۶۸	۲/۶۶	۲/۶۴	۲/۴۹	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۰	اهداف اجتماعی
۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۲	اهداف زیست محیطی

ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک با استفاده از یک سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی و تکنیک ارزیابی چندمعیاره

جدول ۷. احتمال اختصاص رتبه یک تا شش به سناریوهای مدیریتی به دلیل عدم قطعیت در تخصیص وزن شاخص‌ها

عدم قطعیت		۱۰ درصد						۳۰ درصد						۵۰ درصد					
		سناریوهای مدیریتی						سناریوهای مدیریتی						سناریوهای مدیریتی					
رتبه		S5	S4	S3	S2	S1	BS	S5	S4	S3	S2	S1	BS	S5	S4	S3	S2	S1	BS
دیدگاه اقتصادی	۱	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۹۵/۵	.	.
	۳	.	۲۴/۳	۷۵/۷	.	.	.	.	۳۸/۶	۶۱/۴	.	.	.	.	۴۰/۸	۵۴/۷	۴/۵	.	.
	۴	.	۷۵/۷	۲۴/۳	.	.	.	.	۴۴/۶	۳۸/۶	.	۱۶/۸	.	.	۲۸/۵	۴۵/۳	.	۲۶/۲	.
	۵	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	۱۶/۸	.	.	۸۳/۲	.	.	۲۶/۲	.	.	۷۳/۷	۰/۱
	۶	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	۰/۱	۹۹/۹
دیدگاه اجتماعی	۱	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.
	۳	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.
	۴	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.
	۵	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.
	۶	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰
دیدگاه زیست‌محیطی	۱	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.
	۳	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.
	۴	.	۱/۷	.	.	۹۸/۳	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	۱/۷	.	.	۹۸/۳	.
	۵	.	۹۸/۳	.	.	۱/۷	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	۱/۷	.
	۶	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰	.	.	.	.	.	۱۰۰

دومین گزینه برتر انتخاب خواهد شد و احتمال انتخاب سناریوی S3 به‌عنوان سومین گزینه برتر به ۶۱/۴ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. از دیدگاه اجتماعی، میزان عدم قطعیت، تأثیری در انتخاب گزینه‌های برتر نخواهد داشت. از این دیدگاه و با احتمال ۱۰۰ درصد، سناریوی S5 اولین گزینه برتر، سناریوی S2 دومین گزینه و سناریوی S3 سومین گزینه برتر انتخاب خواهند شد. از دیدگاه زیست‌محیطی و با قبول ۵۰ درصد عدم قطعیت در تعیین وزن شاخص‌ها، با احتمال ۱۰۰ درصد سناریوی S5 اولین

از دیدگاه اجتماعی و زیست‌محیطی نیز هیچ احتمالی برای عدم انتخاب سناریوی S5 به‌عنوان گزینه برتر وجود نخواهد داشت و تغییر وزن‌ها، تنها تغییراتی در میانه رتبه‌بندی ایجاد می‌کند. از دیدگاه اقتصادی با احتمال ۹۵/۵ درصد سناریوی مدیریتی S2 دومین گزینه برتر، با احتمال ۵۴/۷ درصد سناریوی S3 سومین گزینه برتر و با احتمال ۴۰/۸ درصد سناریوی S4 سومین گزینه برتر انتخاب خواهند شد. از این دیدگاه و با قبول ۳۰ درصد عدم قطعیت در تعیین وزن‌ها، با احتمال ۱۰۰ درصد سناریوی S2

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

گزینه برتر، سناریوی S2 دومین گزینه برتر و سناریوی S3 سومین گزینه برتر برگزیده می‌شوند.

نتیجه‌گیری نهایی

اولین گام در سیاستگذاری، تشریح اهداف و انتخاب ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی و پس از آن، ارزیابی و تحلیل آثار هر یک از آنهاست. سیاستگذاران به‌طور معمول اهداف مختلف و گاه متضادی دارند. در این میان، ابزارها و راهکارهای متفاوتی وجود دارند که امکان بهره‌گیری از هر یک از شرایط مختلف وجود دارد. اغلب، هدف از کاربرد این ابزارها، تغییر رفتار کشاورزان به‌منظور دستیابی به اهداف کلان سیاسی است. برای انتخاب بهترین گزینه‌های مدیریتی، پیش‌تحلیل هر یک از این ابزارها ضروری است.

در این مطالعه، واکنش کشاورزان به ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی مختلف با استفاده از یک مدل نیمه‌گسترده برنامه‌ریزی بررسی شد. این مدل، انتخاب ترکیب‌های مختلف محصول، تیمار آبیاری و تاریخ کشت را برای هر یک از واحدهای اراضی شبیه‌سازی می‌کند. شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مناسب برای ارزیابی هر یک از ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی انتخاب و برای هر یک از سناریوهای مدیریتی محاسبه شدند. تکنیک ارزیابی چندمعیاره از دیدگاه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای ارزیابی کلی هر یک از سناریوهای مدیریتی به‌کار گرفته شد. ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی در قالب یک مدل پشتیبان برنامه‌ریزی نشان داد که کاهش سود بانکی برای حمایت از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار از ۱۸ درصد به ۶ درصد در سال (سناریوی مدیریتی S2) می‌تواند اثر چشمگیری بر شاخص‌های مدل برنامه‌ریزی داشته باشد. به‌علاوه، نشان داده شد که دو سناریوی مدیریتی S2

(کاهش سود بانکی برای حمایت از توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار) و S3 (دورنرخ‌ی شدن آب و افزایش قیمت فروش آب برای سامانه‌های آبیاری سطحی) را می‌توان دو سناریوی برتر پس از سناریوی S5 در نظر گرفت. این دو سناریو، بیشترین نقش را در انتخاب سناریوی S5 به‌عنوان گزینه برتر دارند، چراکه با تشویق کشاورزان به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، سبب کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش تولید بهره‌وری و نیز، بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی می‌شوند. امری که با توجه به گسترش محدود سامانه‌های آبیاری تحت فشار در سطح محدوده مطالعاتی، اهمیت زیادی دارد. نتایج نشان داد که ابزارهای سیاستی و راهکارهای مدیریتی مختلف می‌توانند آثار متقابل بر یکدیگر داشته باشند و ممکن است از برخی جهات (مثل اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی) تلفیق این ابزارها در قالب یک سناریوی مدیریتی بهترین گزینه ممکن نباشد. با این حال، تلفیق ابزارها و راهکارهای مدیریتی از دیدگاه اقتصادی به بهترین نتیجه منجر می‌شوند. هرچند که در برخی موارد، اختلاف این سناریوی تلفیقی با سناریوهای دیگر شایان توجه نیست.

منابع

۱. آبابایی ب (۱۳۹۱) توسعه و کاربرد سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی برای ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک جهت سازگاری با تغییر اقلیم. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران. ۳۲۷ صفحه.
۲. آبابایی ب، سهرابی تم، میرزایی ف (۱۳۹۲) شبیه‌سازی جریان ورودی به سد طالقان با استفاده از مدل‌های همراشتین-واینر. مدیریت آب و آبیاری. ۱۲-۱: (۱)۳.

11. Bartolini F, Bazzani GM, Gallerani V, Raggi M, and Viaggi D (2007) The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agricultural Systems*. 93(1-3): 90-114.
12. Bazzani GM, Di Pasquale S, Gallerani V, Morganti S, Raggi M and Viaggi D (2005) The sustainability of irrigated agricultural systems under the Water Framework Directive: first results. *Environmental Modelling & Software*. 20(2): 165-175.
13. Bouman BAM, Schipper RA, Nieuwenhuysen A, Hengsdijk H and Jansen HGP (1998) Quantifying economic and biophysical sustainability trade-offs in land use exploration at the regional level: a case study for the Northern Atlantic Zone of Costa Rica. *Ecological Modelling*. 114(1): 95-109.
14. European Commission (2005) Impact assessment guidelines. SEC(2005) 791, Brussels, Belgium.
15. Ewert F, Van Ittersum MK, Bezlepikina I, Oude Lansink AGJM, Brouwer FM, Andersen E, Flichman G, Heckelet T, Olsson J, Olsson L, Rizolli A, Van der Wal T and Wery J (2005) Development of a conceptual framework for integrated analysis and assessment of agricultural systems in SEAMLESS-IF. SEAMLESS, Wageningen, The Netherlands, 62pp.
- Farhadi Bansouleh B (2009) Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar & Meymeh district, Iran. Ph.D dissertation. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC), Enschede, the Netherlands.
۳. آبابایی ب، میرزایی ف، سهرابی تم (۱۳۹۲) مطالعه اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد طالقان با استفاده از روش ترکیب اطلاعات. مدیریت آب و آبیاری. ۳(۲): ۱۳-۲۸.
۴. شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران (۱۳۸۴) مطالعات بازنگرگی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین. مهندسین مشاور پندام.
۵. مرکز آمار ایران (۱۳۸۷) سالنامه آماری کشور (<http://salnameh.sci.org.ir>).
۶. نظری (۱۳۹۲) مدلسازی دینامیک شبکه آبیاری با رویکرد بهره‌وری مصرف آب. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ۱۸۰ صفحه.
۷. وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۸) مطالعات طرح بهنگام‌سازی و اجرایی نمودن سند ملی الگوی مصرف بهینه آب کشاورزی در سطح دو دشت پایلوت قزوین و فومنات. مهندسین مشاور لار.
۸. وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد) (۱۳۹۲). سیستم هزینه‌تولید (<http://dbagri.maj.ir/cost>).
9. Ababaei B, Mirzaei F, Sohrabi TM and Araghinejad S (2013) Reservoir daily inflow simulation using data fusion method. *Irrigation and Drainage*. 62: 468-476.
10. Aggarwal PK, Roetter RP, Kalra N, Van Keulen H, Hoanh CT and Van Laar HH (Eds.). (2001) Land use analysis and planning for sustainable food security: with an illustration for the state of Haryana, India. IARI, India, IRRI, Philippines and WUR, The Netherlands, 167 pp.

16. Fresco LO, Huizing HGJ, Van Keulen H, Luning HA and Schipper RA (1992) Land evaluation and farming systems analysis for land use planning. Working Document. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 209pp.
17. Gomez-Limon JA and Riesgo L (2004) Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agricultural Economics*. 31(1): 47-66.
18. Hoogenboom G, Jones JW, Porter CH, Wilkens PW, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA and Tsuji GY (2003) Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
19. Janssen S, Van Ittersum M (2007) Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems*. 94: 622-636.
20. Laborte AG (2006) Multi-scale land use analysis for agricultural policy assessment: A model-based study in Ilocos Norte province, Philippines. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 206 pp.
21. Louhichi K, Blanco Fonseca M, Flichman G, Janssen SJC and Hengsdijk H (2005) A generic template for FSSIM. SEAMLESS Report No. 4, SEAMLESS Integrated Project, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 39 pp.
22. Mohamed AA (1999) An integrated agro-economic and agro-ecological framework for land use planning and policy analysis. Ph.D. Thesis, ITC/Wageningen University, Enschede/Wageningen, The Netherlands, 188 pp.
23. Mohamed AA, Sharifi MA and Van Keulen H (2000) An integrated agro-economic and agro-ecological methodology for land use planning and policy analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2(2): 87-103.
24. Rossing WAH, Zander P, Josien E, Groot JCJ, Meyer BC and Knierim A (2007) Integrative modelling approaches for analysis of impact of multifunctional agriculture: A review for France, Germany and The Netherlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 120(1): 41-57.
25. Sharifi MA (2005) Spatial multi criteria decision making. Lecture notes. ITC, Enschede, The Netherlands.
26. Sharifi MA and Van Keulen H (1994) A decision support system for land use planning at farm enterprise level. *Agricultural Systems*. 45(3): 239-257.
27. Stomph TJ, Fresco LO and Van Keulen H (1994) Land use system evaluation: Concepts and methodology. *Agricultural Systems*. 44(3): 243-255.