بهینه سازی الگوهای کشت در سطح حوضه آبریز با تأکید برمنافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی: مطالعه موردی منطقه خراسان

محمود صبوحی[۱*] و غلامرضا سلطانی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۹/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۴/۱۰)

چکیده

هدف مطالعه حاضر ارایه روشی است برای تعیین الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه آبریز (حریرود و کشف رود) که در آن بر منافع اجتماعی (مزیت نسبی محصولات) استفاده کارا از آب آبیاری در دسترس و جهت دهی الگوهای بهینه کشت در راستای حداکثرسازی خالص واردات آب مجازی تأکید شده است. در این راستا، مدلی در سطح حوضه آبریز ساخته شد و در ۵ سطح ریسک در مقدار آب در دسترس و سه سطح راندمان آبیاری ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در مقدار مصرف آب آبیاری حل شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه را به سمتی که دارای ویژگی‌های حداکثرشدن منافع اجتماعی، حداقل استفاده از آب آبیاری و حداکثر شدن خالص واردات آب مجازی است، هدایت کرد. با این حال، برای اظهار نظر روشن راجع به یک الگوی کشت خاص، نیاز به اطلاعات بیشتری در زمینه مقدار دقیق آب مجازی است که برای هر محصول از کشور خارج شده یا وارد می‌گردد. افزون بر آن، لازم است که پیشتر، یک الگوی مناسب واردات و صادرات محصولات زراعی طراحی و سپس الگوهای کشت را درجهت آن هدایت کرد. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مقدمه‌ای در جهت حرکت به این موضوع نگاه شود.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، منافع اجتماعی، الگوهای کشت، واردات، صادرات

مقدمه

بعد ازکنفرانس دبلین (۱۹۹۲) این شعار که آب بایستی به‌عنوان یک کالای اقتصادی در نظرگرفته شود مطرح و کراراً تکرار شده است. هم‌چنین مطرح شد که اگر با منابع آب به‌طور صحیحی به‌عنوان یک کالای اقتصادی برخورد شود مسایل کمیابی آب، مصرف بی رویه و کاهش کیفیت آن حل خواهد شد. اگر آب به‌عنوان یک کالای اقتصادی در نظر گرفته شود، در سه سطح می‌توان به کارایی اقتصادی در مصرف آن نگاه کرد. این سطوح شامل سطح مصرف کننده، حوضه و جهانی است. در تحقق چنین کارایی‌هایی عواملی مؤثر می‌باشند. برای مثال، کارایی مصرف آب در سطح محلی را می‌توان با استفاده از سیاست قیمت گذاری آب و توسعه تکنولوژی‌های آب اندوز افزایش داد. در سطح حوضه، صحبت از ارزش آب در مصارف مختلف می‌باشد که در این راستا سیاست‌های کلان بیشتر موثر است. در سطح جهانی می‌توان از طریق تجارت آب مجازی (Virtual water) بین مناطق کم آب و پر آب، کارایی مصرف آب را افزایش داد. در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی به تعیین الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه با نگاهی به آب مجازی، مزیت نسبی محصولات و پتانسیل

۱. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: msabuhi39@yahoo.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

آبی حوضه آبریز در تولید محصولات زراعی پرداخته شده است.

آب مجازی که در یک محصول خاص وجود دارد عبارت از حجم آب استفاده شده در فرایند تولید آن محصول می‌باشد. آب مجازی نه تنها در کالای کشاورزی بلکه در کالاهای صنعتی و خدمات نیز وجود دارد. با این حال، در بیشتر مطالعات به تعیین مقدار آب مجازی در محصولات زراعی توجه شده است. آب مجازی که در محصولات زراعی وجود دارد، بسته به شرایط آب و هوایی متفاوت است. برای مثال، برای تولید یک کیلوگرم غله تحت کشت دیم و شرایط آب و هوایی مناسب، ۱ تا ۲ مترمکعب آب مورد نیاز است. برای تولید همین مقدار غله در شرایط آب و هوایی خشک و نامناسب (درجه حرارت و تبخیر و تعرق بالا) حدود ۳ تا ۴ مترمکعب آب مورد نیاز است. اگرکشوری محصولات آب بر (Water- intensive Product) به کشور دیگر صادر کند در واقع به این کشور آب مجازی صادرکرده است. از این‌طریق بعضی کشورها به کشورهای دیگر به بر طرف کردن نیاز آبی آنها کمک می‌کنند. برای کشورهایی که کم آب هستند رسیدن به امنیت آبی (Water security) از طریق وارد کردن محصولات آب بر به جای تولید تمام نیاز داخلی در داخل می‌تواند امری جاذب و مطلوب باشد. برعکس، کشورهایی که از لحاظ منابع آب غنی هستند، می‌توانند از منابع آب فراوان خود با تولید محصولات آب بر برای صادرات سود ببرند. نوع دیگر مبادله آب بین کشورهای پرآب و کم آب، مبادله آب حقیقی (Real water) است. اما، این مبادله به دلیل بعد مسافت و هزینه‌های بالای انتقال، عملاً غیر ممکن است ولی تجارت کالای آب بر (تجارت آب مجازی) امری ممکن می‌باشد. تجارت آب مجازی بین کشورها و حتی قاره‌ها، می‌تواند به‌عنوان ابزاری در جهت بهبود کارایی مصرف آب در سطح جهانی و رسیدن کشورهای کم آب به امنیت آبی استفاده شود(۱۳).

مواد و روش‌ها

در این بخش نمونه‌گیری، مدل توسعه یافته و اصلاح آن در جهت تقویت واردات آب مجازی تشریح گردیده است.

مدل برنامه‌ریزی در سطح حوضه آبریز

در این قسمت الگوی طراحی شده در سطح حوضه آبریز جهت تعیین الگوی بهینه کشت با تأکید بر استفاده بهینه از آب آبیاری، حداکثر سازی منافع اجتماعی و تقویت خالص واردات آب مجازی تشریح شده است. چون واردات خالص آب مجازی به ترکیب محصولات صادراتی و وارداتی کشور بستگی دارد و با توجه به این‌که کشور با الگوی واردات – صادرات کنونی محصولات کشاورزی، وارد کننده خالص آب مجازی می‌باشد (۱۳) و با توجه به مفهوم سطح آب که در ادامه تشریح شده، مدل به گونه‌ای پایه‌گذاری شد، که امکان تغییر سطح زیرکشت محصولات وارداتی و صادراتی را به ترتیبی فراهم آورد که امکان افزایش واردات آب مجازی فراهم شود. این امر در ترکیب مدل سطح حوضه با برنامه‌ریزی بهینه تقریبی انجام شد. با توجه به رابطه واردات خالص آب مجازی (واردات ناخالص آب مجازی من‌های صادرات ناخالص آب مجازی) و با توجه به الگوی واردات محصولات کشاورزی کشور، اگر هدف حداکثر شدن واردات آب مجازی باشد، به این معنی است که در داخل، سطح زیرکشت محصولات وارداتی کاهش و محصولات صادراتی (آن مقدار که برای صادرات به‌کارگرفته می‌شود) به صفر برسد. به بیان دیگر، بهترین حالت زمانی روی می‌دهد که واردات ناخالص آب مجازی برابر با واردات خالص آب مجازی شود. برای تعیین این‌که الگوهای بهینه کشت منتج از مدل، از لحاظ واردات خالص آب مجازی در چه وضعیتی هستند، لازم است ابتدا مشخص کرد که محصولات وارداتی از چه کشورهایی وارد و سپس با میانگین گیری از آنها مقدار آب مجازی که بابت هرکیلوگرم کاهش تولید در داخل وارد می‌شود را محاسبه کرد. برای محصولات صادراتی محاسبه مقدار آبی که صادر می‌شود ساده‌تر از محصولات وارداتی است. با این حال، در رابطه با محاسبه خالص واردات آب مجازی حاصل از الگوهای بهینه کشت لازم است نکاتی را بیان کرد. نخست آن که مقدار تولید الگوهای بهینه کشت را نمی‌توان فرض کرد که تمام آن صادر یا وارد می‌شود بلکه درصدی از آنها وارد یا

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

صادر و بقیه در داخل مصرف می‌شود. به بیان دیگر باید دید چه مقدار از تولید الگوهای بهینه کشت برای محصولات وارداتی و صادراتی را برای داخل و خارج می‌توان در نظرگرفت. یک راه حل ساده آن است که برای محصولات وارداتی در مجموع مقدار واردات و تولید داخل محاسبه شود و سپس آن را بر سطح زیرکشت محصول مورد نظر در کشور تقسیم کرد و از این‌طریق عملکرد را حساب کرد و در مرحله آخر تعیین کرد چند درصد آن مربوط به تولید داخل و چقدر مربوط به واردات است. برای محصول صادراتی کافی است درصدی از کل تولید که صادر می‌شود را محاسبه و این در صد را برای تعیین ناخالص صادرات آب مجازی در الگوهای بهینه کشت در نظرگرفت. در این مطالعه این قسمت از کار به دلیل عدم داده‌های کافی انجام نشده است. با این حال، مقدار تغییر در تولید محصولات در شرایط مختلفی که مدل حل گردیده، محاسبه شده است و در صورت فراهم شدن اطلاعات لازم می‌توان به‌طور دقیق تعیین کرد که هر الگوی بهینه کشت حاصل از مدل از لحاظ وضعیت خالص واردات آب مجازی در چه شرایطی است. نکته مهم دیگر آن است که در این مطالعه با استفاده از تلفیق مدل توسعه یافته و روش بهینه‌سازی تقریبی برای تعیین الگوهای بهینه کشت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی در بهترین وضعیت باشند، استفاده شد. این کار از طریق تغییرسطح زیرکشت محصولات وارداتی و صادراتی دنبال گردید. در این حالت کاهش سطح زیرکشت یک محصول وارداتی به معنی کاهش در سطح محصول واردتی دیگر و یا افزایش و یا کاهش سطح زیرکشت یک محصول صادراتی نیست. در واقع، کاهش سطح زیرکشت یک محصول در چارچوب حداکثر شدن منافع اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته است. به بیانی ساده، افزایش خالص واردات آب مجازی الزاماً به معنی حداکثر شدن منافع اجتماعی نیست.

علاوه بر نکات فوق ویژگی دیگری که در مدل رعایت شد آن است که برای عوامل تولید و فعالیت‌ها، قیمت و یا ارزش اجتماعی آنها منظور شد و ضرایب فنی و مقدار آب در دسترس به‌صورتی متفاوت از مدل‌های سطح مزرعه تعیین گردید. در واقع، مدل با فرض هیچ‌گونه انحراف ناشی از مداخله دولت و یا نقص بازار و بر اساس ایجاد تنش در مراحل مختلف رشد محصولات زراعی نمونه و نگاهی به آب مجازی و لحاظ کردن آن در مدل، پی ریزی شد.

نظر به این‌که یکی از نهاده‌های اساسی در فرایند تولید محصولات زراعی آب، آبیاری می‌باشد و با توجه به عدم تعادل موجود در عرضه و تقاضای آن، مدل تنها با فرض محدودیت آب آبیاری طراحی شد.

ساختار مدل برنامه‌ریزی در سطح حوضه آبریز (حریرود و کشف رود) به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\text{maximise} \qquad NSB = \sum_{c=1}^{n}\sum_{d=1}^{m}[ya_{cd}(sp_c - sc_c) - w_{cd} * pw] * x_{cd}$$

$$\text{subject.to} \qquad \sum_{c}^{n}\sum_{d=1}^{m} x_{cd} = \bar{x}$$

$$\sum_{d}^{m} x_{cd} \le \bar{x}_c \qquad \forall c$$

$$\sum_{c}^{n}\sum_{d}^{m} w_{cd}x_{cd} \le \bar{w} + NVWI - Z_\alpha \sigma_w$$

$$x_{cd} \ge 0 \qquad [1]$$

که NSB منافع خالص اجتماعی، ya_{cd} عملکرد واقعی در واحد سطح محصول c در کم آبیاری d ام، نحوه چگونگی رسیدن به آن در ادامه توضیح داده شده است. sp_c ارزش اجتماعی یا قیمت سایه‌ای واحد محصول c در منطقه، sc_c هزینه‌های اجتماعی تولید واحد محصول c در منطقه بدون هزینه آب، pw قیمت اجتماعی هر مترمکعب آب آبیاری، x_{cd} سطح فعالیت c درکم آبیاری d ام، $\bar{x}$ کل سطح زیرکشت، $\bar{x}_c$ حداکثرسطح زیرکشت محصول c ام، w_{cd} نیاز آبی محصول c در منطقه که مقدار آن بر اساس تنش‌های مختلف در مراحل رشد گیاه با لحاظ کردن سه سطح کارایی در سیستم بهره برداری و مصرف آب در سطح مزرعه محاسبه می‌گردد (نحوه به‌دست آوردن آن در ادامه توضیح داده شده است). NVWI خالص واردات آب مجازی در هر هکتار در سال می‌باشد که مقدار و نحوه رسیدن به آن در

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

ادامه بیان شده است. این محدودیت به دلیل آن که مقدار آب آبیاری در دسترس تصادفی می‌باشد به‌صورت محدودیت احتمالی و یا تصادفی براساس آنچه که چارنر و کوپر ارایه کردند، در نظرگرفته شد(۸). $\bar{w}$ مقدار متوسط آب در دسترس می‌باشد که در مطالعه حاضر در سطح ۱ هکتار محاسبه شد. z_α (مقدار ریسک در مقدار آب در دسترس) را به دو طریق می‌توان تعیین کرد. یکی با فرضی راجع به توزیع احتمال (مثلاً نرمال) و دیگر به برآوردی محافظه کارانه که از نابرابری کیبی شف (Chebyshev's Inequality) به‌دست آید، بسنده کرد (۱۴). درمطالعه حاضر روش اول مورد استفاده قرارگرفت.σ_w مقدار انحراف معیارآب آبیاری در واحد سطح است.

نیاز آبی محصول از روش پنمن- مانتیث (Penman-Monteit Method) محاسبه شد. کل نیاز آبی گیاه (REQ_t) در طول ماه t با استفاده از رابطه ۲، محاسبه گردید (۱۰):

$$REQ_T = ET_O \times K_{ct} \qquad [۲]$$

کهET_o مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ماه t و K_{ct} ضریب محصول که متناسب با ماه‌های رشد محصول است. نیاز آبی ناخالص محصول jام از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$w_j = \frac{REQ_t - EP_t}{IE} \qquad [۳]$$

که در آن EP_t بارندگی موثر در ماه t و IE شاخصی ازسطح کارایی مصرف آب در سطح مزرعه می‌باشد (۱۰).

به دلیل آن که سود اجتماعی، تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله عملکرد محصول می‌باشد و با توجه به این‌که عملکردهای مشاهده شده در سطح مزرعه و حوضه آبریز علاوه بر آن که تحت تأثیر عوامل جوی هستند، از سیاست‌های حاکم بر بخش کشاورزی (به‌طورمثال، سیاست‌های قیمت گذاری نهاده‌های آب آبیاری و کود شیمیایی بر سطح مصرف این عوامل در مزرعه مؤثر بوده و در نتیجه بر مقدار عملکرد محصول) نیز متأثر می‌باشند. لذا، می‌توان گفت عملکرد مشاهده شده در واقع یک عملکرد انحرافی است و در نتیجه تعیین عملکردی که متأثر از این سیاست‌ها نبوده و صرفاً تابعی از رابطه آب و خاک وگیاه باشد، برای تعیین دقیق‌تر منافع اجتماعی لازم به نظرمی‌رسد.

جهت تعیین عملکرد واقعی از رابطه ۴، آلن و همکاران استفاده شد(۶).

$$\frac{y_a}{y_p} = \prod_{i=1}^{n}\left[1 - ky_i\left(1 - \frac{AET_i}{PET_i}\right)\right] \qquad [۴]$$

که n کل مراحل رشد محصول، y_a و y_p به ترتیب عملکرد واقعی و بالقوه، AET_i و PET_i به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه مراحل مختلف رشد گیاه و ky_i فاکتور پاسخ عملکرد در مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. با توجه به رابطه ۴، عملکرد واقعی را از رابطه ۵، می‌توان به‌دست آورد:

$$y_a = y_p \times \prod_{i=1}^{n}\left[1 - ky_i\left(1 - \frac{AET_i}{PET_i}\right)\right] \qquad [۵]$$

حداکثر سطح زیرکشت محصولات در مدل برابر با مقدار موجود آنها در نمونه در سطح ۱هکتار در نظرگرفته شد. هر فعالیت در مدل به‌صورت ۴۵ فعالیت (مقدار m در مدل) درآمد. به عبارت دیگر، ۴۵ کم آبیاری متفاوت برای هر محصول در نظرگرفته شد. ۴۵ فعالیت به دلیل محدودیت نرم افزار مورد استفاده (General Algebraic Modeling Systems) بود. به دلیل آن که امکان جمع‌آوری اطلاعات دقیقی از میزان کم آبیاری که زارعین در عمل استفاده می‌کنند و مقدار آن هم برای هر زارع متفاوت است، نبود، با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده اکسل اعداد تصادفی کوچک‌تر از ۱ و بزرگ‌تر از ۰/۵ برای میزان تنش گیاهان نمونه در هر مرحله از مراحل پنجگانه رشد آنها در نظرگرفته شد (گیاهانی مثل چغندرقند که ریشه آنها استفاده می‌شود تنش در مرحله گل دهی بی معنی است).

با توجه به آن که میزان آب در دسترس زارعین دارای ماهیت تصادفی می‌باشد، مقدار سمت راست محدودیت آب آبیاری با و بدون تصادفی بودن در نظرگرفته شد. مقدار ریسک در میزان آب در دسترس در سطوح ۸۰، ۸۵، ۸۷/۵، ۹۰ و ۹۵ درصد برای مقدار z_α درمدل، در نظرگرفته شد. از طرف دیگر به دلیل اهمیت راندمان آبیاری، در آبیاری محصولات زراعی سه سطح کارایی ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در نظرگرفته شد. افزایش سطح کارایی به منزله استفاده کاراتر از آب موجود و یا

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

تغییرتکنولوژی آب آبیاری می‌تواند تلقی شود. در این مقاله نتایج مدل در سطح ۶۵ درصد کارایی در مقدار مصرف آب ارایه شده است. مقدار آب در دسترس در ۱ هکتار بر اساس میانگین مقادیر آب آبیاری در سطح کارایی ۳۵ درصد برای محصولات نمونه، به‌علاوه خالص واردات آب مجازی در هکتار در نظر گرفته شد. بدیهی است که با افزایش مقدار ریسک یا عدم حتمیت در مقدار آب در دسترس، مقدار در نظرگرفته شده کاهش می‌یابد. در ردیف محدودیت‌های مدل، به دلیل آن که چغندرقند در منطقه براساس کار سلطانی و همکاران" تعیین مزیت نسبی محصولات با استفاده ازماتریس تحلیل سیاست (گزارش چاپ نشده، دانشگاه شیراز، بخش اقتصاد کشاورزی) فاقد مزیت نسبی می‌باشد، از محدودیت چغندرقند به عنوان ردیف انتقال استفاده شد که در نتیجه سطح زیرکشت آن به محصولات نمونه انتقال می‌یابد و در جواب بهینه مقدارسطح زیرکشت آن صفراست. لازم به ذکر است که در تابع هدف مدل، هزینه اجتماعی آب آبیاری به‌صورت جداگانه لحاظ شد. به دلیل عملکردهای متفاوتی که از حل مدل برای محصولات به‌دست می‌آید هزینه اجتماعی تولید ۱ کیلوگرم از محصولات تحت بررسی با استفاده از نتایج ماتریس تحلیل سیاست در سطح حوضه (کار سلطانی و همکاران)، محاسبه و هزینه آب آبیاری از آن کم و به‌عنوان هزینه اجتماعی تولید ۱ کیلوگرم محصول در مدل استفاده شد. باتوجه به آن که در کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران ۴ نرخ بهره و در نتیجه ۴ نرخ آب به‌کار گرفته شده است، مدل سطح حوضه براساس نرخ بهره ۶ درصد و قیمت ۳۰۰,۷۲ ریال برای هر متر مکعب آب آبیاری حل شد. این نرخ بهره به دلیل آن که عوارض جانبی منفی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را بهتر منعکس می‌کند، انتخاب شد.

اصلاح مدل در جهت تقویت واردات آب مجازی

در روش برنامه‌ریزی خطی بهینه تقریبی تکنیک‌های متفاوتی استفاده می‌شود (۱۱). یکی از تکنیک‌های متداول، متد HSJ (Hop-Skip-Jump) می‌باشد. در این روش نخستین گام حل مسأله اصلی برای تعیین جواب بهینه و مقدار تابع هدف می‌باشد. مرحله بعد، لحاظ کردن تابع هدف به محدودیت‌های مدل است که منجر به مجموعه فرصت جدیدی برای مدل اصلی می‌گردد. در این محدودیت جدید از مقدار بهینه جواب مدل اصلی درصدی کم یا اضافه (باتوجه به تابع هدف و بر اساس صلاحدید محقق) و در سمت راست محدودیت جدید قرار می‌گیرد. و در مرحله آخر توابع هدف مختلف با توجه به جواب اصلی مدل اولیه برای این مجموعه فرصت جدید در نظرگرفته می‌شود (۳). در این مطالعه پس از حل مدل ۱، تابع هدف به محدودیت‌های مدل اضافه شد و سپس توابع هدف، حداقل کردن سطح زیرکشت محصولات وارداتی (جو و گندم (کشوردر حال حاضر در هردو محصول به سطح خود کفایی رسیده است) به تنهایی و با هم، اهداف ۱ تا ۳) و صادراتی (گوجه فرنگی به‌علاوه پیاز به‌علاوه سیب‌زمینی، هدف ۴) برای تعیین الگوی بهینه‌های کشتی که علاوه بر حداکثر شدن منافع اجتماعی از لحاظ خالص واردات آب مجازی در شرایط مناسب تری باشند، حل شد. با توجه به آنچه گفته شد مدل را به‌صورت زیر می‌توان نوشت. ۱ تا ۴ توابع هدفی است که به ترتیب در هر بار حل مدل حداقل می‌شوند.

$$
\begin{aligned}
\text{minimize} \quad & (۱) \ \sum_{d}^{m} x_{wheat,d} \\
& (۲) \ \sum_{d}^{m} x_{barely,d} \\
& (۳) \ \sum_{d}^{m} x_{wheat,d} + \sum_{d}^{m} x_{barely,d} \\
& (۴) \ \sum_{d}^{m} x_{potato,d} + \sum_{d}^{m} x_{tomato,d} + \sum_{d}^{m} x_{onion,d} \\
\text{subject.to} \quad & \Big(\sum_{c=۱}^{n}\sum_{d=۱}^{m}\left[ya_{cd}(sp_c - sc_c) - w_{cd} * pw\right] * x_{cd}\Big) \\
& \geq (۱-۰/۰۳) * NSB \\
& \sum_{c}^{n}\sum_{d=۱}^{m} x_{cd} = \bar{x} \\
& \sum_{d}^{m} x_{cd} \leq \bar{x}_c \qquad \forall c \\
& \sum_{c}^{n}\sum_{d}^{m} w_{cd} x_{cd} \leq \bar{w} + NVWI - Z_{\alpha}\sigma_w \\
& x_{cd} \geq ۰ \qquad [۶]
\end{aligned}
$$

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز در رابطه با قیمت، هزینه و منافع اجتماعی و خصوصی نهاده‌ها و محصولات زراعی تحت بررسی از کار تحقیقاتی، "تعیین مزیت نسبی محصولات زراعی" سلطانی و همکاران استفاده شد. افزون بر آن، جهت کسب اطلاعات مورد نیاز در سطح مزرعه، ابتداء روستاهای منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز حریررود و کشف رود(دشت‌های مشهد، نریمانی، سنگ بست) با استفاده از اطلاعات GIS شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، به‌طور تصادفی انتخاب گردیدند. سپس با مصاحبه حضوری با زارعین این روستاها که آنها نیز به‌طور تصادفی انتخاب شدند، ۲۷۰ پرسش‌نامه تکمیل شد. اطلاعات تکمیلی نیز از طریق مصاحبه و یا استفاده از کارهای تحقیقاتی بعضی از متخصصین منطقه، اساتید دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، بخش اقتصاد کشاورزی، زراعت و آبیاری به‌دست آمد. این اطلاعات هرجا که در مطالعه حاضر استفاده شده، به منبع آن اشاره گردیده است. داده‌های جمع آوری شده مربوط به سال زراعی ۱۳۸۲ می‌باشد.

برای ساختن مدلی که کم آبیاری در آن در نظرگرفته شود، اطلاعاتی راجع به عملکرد بالقوه و نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد آن می‌باشد. مقدار عملکرد بالقوه برای محصولات نمونه براساس تجربه زارعین در۱۰ سال گذشته و هم‌چنین نظر بعضی از کارشناسان کشاورزی به‌دست آمد. برای تعیین نیاز آبی گیاهان از تحقیق و مطالعه انجام شده توسط جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی کشوراستفاده شد. این تحقیق با روش مطرح شده در این مطالعه، همسو است و پاراگراف زیرکه بدون حذف و اضافه‌ای از آن مطالعه گرفته شده، نشان دهنده این موضوع می‌باشد:

"در این طرح داده‌های مربوط به تاریخ کاشت و برداشت و طول دوره رشد محصولات زراعی و باغی و ضرایب گیاهی آنها براساس مطالعات صحرایی انجام شده روی کلیه دشت‌های کشاورزی کشور(۶۲۰) می‌باشد. علاوه بر آن از نتایج پژوهش‌هایی که قبلاً در این زمینه صورت گرفته نیز سود جسته شده است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در یک دوره ۳۰ ساله به‌صورت روزانه از کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم شناسی و کشاورزی کشور جمع‌آوری و پس از حک و اصلاح در محاسبات استفاده شده‌اند. برای هرکدام از دشت‌ها یک یا چند ایستگاه معرف انتخاب و محاسبات بر مبنای داده‌های آن ایستگاه بوده است. انتخاب ایستگاه معرف با توجه به موقعیت دشت و ایستگاه و بازدیدهای محلی و مشاوره با متخصصین کشاورزی محل انجام شده است. برای محاسبات نیاز آبی روش فائو پنمن – مانتیت در دوره‌های ۱۰روزه و ماهانه به‌کارگرفته شده است که در نتیجه تبخیر– تعرق، باران مؤثر و نیازخالص آبیاری درهر دوره، ماه و فصل زراعی محاسبه شده است(۴).

سطح آب (Water Footprint) یک کشور

کل آب مصرفی در داخل یک کشور به تنهایی شاخص صحیحی از تخصیص منابع آب جهانی به یک کشور نیست. جهت رسیدن به تصویر واقعی از داشتن منابع آب از منابع آب جهانی درحالت خالص واردات آب مجازی، حجم آب مجازی همراه با واردات می‌بایستی به کل مصرف آب داخلی اضافه شود و در حالت صادرات خالص آب مجازی از یک کشور می‌بایستی از حجم مصرف آب داخلی کسرگردد. مجموع مصرف آب داخلی و خالص واردات آب مجازی می‌تواند به‌عنوان نوعی از سطح آب یک کشور شبیه به سطح اکولوژیکی (Ecological footprint) آن کشور دیده شود. در بیانی ساده، ترم سطح اکولوژیکی به مقدار زمینی که برای تولید کالا و خدمات به‌وسیله ساکنین قلمرو یک کشورلازم است، بر می‌گردد. مطالعات نشان داده است که برای بعضی از کشورها سطح اکولوژیکی کوچک‌تر از سطح خاک قلمرو آن کشوراست. ترم سطح اکولوژیکی اصطلاحاً به این معنی است که ظاهراً بعضی از کشورها برای تولید کالا و خدمات نیاز به زمین‌های خارج از قلمرو خاک کشورخودشان دارند. سطح آب یک کشور (بیان شده به‌صورت حجم آب در سال) براساس رابطه ۷ تعریف می‌شود (۱۳):

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

جدول ۱. شاخص‌های مطرح در رابطه با آب مجازی (ایران) (۱۹۹۹-۱۹۹۵)

حجم خالص واردات آب مجازی ۱۹۹۹-۱۹۹۵(میلیارد مترمکعب)	۱/۲۹
جمعیت (نفر)	۶۲۷۶۲۱۱۶
برداشت آب(میلیون مترمکعب در سال)	۸۵۶۰۸
دسترسی آب (میلیون مترمکعب در سال)	۱۱۷۵۰۰
ناخالص صادرات آب مجازی (میلیون مترمکعب در سال)	۸۰۳/۴
ناخالص واردات آب مجازی(میلیون مترمکعب در سال)	۶۶۲۳/۱
خالص واردات آب مجازی(میلیون مترمکعب در سال)	۵۸۱۹/۷
سطح آب (میلیون متر مکعب در سال سرانه)	۱۴۵۷
کمیابی آب (درصد)	۷۲/۹
خودکفایی آب(درصد)	۹۳/۶
وابستگی آب (درصد)	۶/۴
سطح زیرکشت آبی کشور (میلیون هکتار)	۷/۶
مترمکعب افزایش در هکتار ناشی از خالص واردات آب مجازی	۷۶۵/۷۵

ماخذ: تجارت آب مجازی، هوکسترا وهانگ (۲۰۰۲)

$$\text{Water Footprint} = WU + NVWI \qquad [۷]$$

که WU کل مصرف آب داخلی (مترمکعب در سال) وNVWI خالص واردات آب مجازی یک کشور که می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در این مطالعه مقدار آب مجازی از جدول ۱ گرفته شد.

ستون آخر با توجه به ارقام سایر ستون‌ها محاسبه شده و ارتباطی به منبع ذکر شده ندارد. رقم ستون آخر به میانگین مقدار آب در دسترس مدل اضافه شده و هرگاه گفته می‌شود که مدل با در نظرگرفتن آب مجازی، یعنی این مقدار آب به سمت راست مدل (۱ و ۶) در ردیف محدودیت‌های آب اضافه شده است.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل مورد بحث و بررسی قرارگرفته است. نتایج برای هر بار حل مدل که با فرض‌های مختلف حل شد به تفکیک بیان گردیده و مقدار تغییر تولید نیز ذکرشده است. درصورت اطلاعات دقیق از مقدار آب مجازی بابت هرکیلوگرم محصولی که وارد یا خارج می‌شود، می‌توان وضعیت الگوهای بهینه کشت را از بعد خالص واردات آب مجازی به‌طور دقیق ارزیابی کرد.

جدول ۲ الگوی بهینه کشت موجود و بهینه را در شرایط با و بدون آب مجازی و عدم ریسک در مقدار آب در دسترس و ۶۵ درصد کارایی در مصرف آب در سطح حوضه نشان می‌دهد. با توجه به آن که براساس کار سلطانی و همکاران چغندر قند فاقد مزیت نسبی است در تمام الگوهای بهینه کشت مقدار آن صفر و سطح زیرکشت آن به یکی از محصولات موجود در الگوی کشت انتقال یافته است. چون هدف اصلی تأکید روی آب مجازی و جهت دهی الگوهای کشت به سمت ترکیبی از محصولات زراعی است که در عین آن که دارای مزیت نسبی تولید هستند، خالص واردات آب مجازی را نسبت به شرایط موجود بهتر کند، می‌باشد به اینطریق عمل شد که ابتداء به مدل مقدار آب مجازی که برای هر هکتار ۷۶۵/۷ مترمکعب بود اضافه و مدل با و بدون آن حل شد. سپس سطح زیرکشت جو و گندم به‌عنوان محصولات وارداتی (براساس الگوی واردات زمان آغاز تحقیق) به‌صورت جداگانه و با هم حداقل و در مرحله بعد سطح زیرکشت محصولات صادراتی یعنی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

جدول ۲. الگوهای بهینه کشت در شرایط بدون چغندرقند، کارایی ۶۵٪ و....

سطح زیر کشت الگوی موجود در ۱ هکتار (هکتار)					
گندم	جو	گوجه‌فرنگی	چغندرقند	سیب‌زمینی	پیاز
۰/۱۲۹	۰/۳۰۶۲	۰/۳۶۰۵	۰/۱۵۷۶	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۲۶

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت بدون چغندرقند، آب مجازی و ریسک و سطح کارایی ۶۵٪

محصول	شماره کم آبیاری			
	۲۵	۱۷	۶	۴
جو		۰/۱۲		
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸			
پیاز			۰/۱۶	
سیب‌زمینی				۰/۲۰۲
عملکرد (کیلوگرم /هکتار)	۴۳۷۵۸/۳	۳۹۶۷/۷	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
کل تولید (کیلوگرم)	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
سود (ده ریال)	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲			
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹			

الگوی بهینه کشت (هکتار) درحالت عدم ریسک، بدون چغندرقند ودر نظرگرفتن آب مجازی و کارایی ۶۵٪ (الگوی کشت مرجع)

محصول	شماره کم آبیاری			
	۲۵	۱۷	۶	۴
جو		۰/۱۲		
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸			
پیاز			۰/۱۶	
سیب‌زمینی				۰/۲۰۲
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۳۷۵۸/۳	۳۹۶۷/۷	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
کل تولید (کیلو گرم)	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
سود (ده ریال در هکتار)	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲			
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹			

الگوی بهینه کشت در حالت آب مجازی، کارایی ۶۵٪، بدون چغندرقند، عدم ریسک،حداقل کردن جو

محصول	شماره کم آبیاری					افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم)
	۲۷	۲۵	۶	۴	۴	
گندم	۰/۱۲					۳۵۰/۷۸۴
گوجه فرنگی		۰/۴۷۹		۰/۰۳۹		-۱۱۹۵/۹۶
پیاز			۰/۱۶			۰
سیب‌زمینی					۰/۲۰۲	۰
جو(کم آبیاری ۱۷)						-۴۷۶/۱۲۴
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۲۹۲۳/۲	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۱۳۰۹۲/۶	۴۱۲۹۴/۸	
کل تولید (کیلو گرم)	۳۵۰/۷۸۴	۲۰۹۶۰/۲۲۵۷	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۱۰/۶۱۱۴	۸۳۴۱/۵۴۹۶	

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪، بدون چغندرقند، عدم ریسک، حداقل کردن گندم

محصول	شماره کم آبیاری					افزایش یا کاهش تولید (کیلو گرم)
	۲۵	۱۹	۱۷	۶	۴	
جو			۰/۱۲			۰
گوجه فرنگی	۰/۰۱۲	۰/۵۰۶				-۲۵۶۶/۵۸
پیاز				۰/۱۶		۰
سیب‌زمینی					۰/۲۰۲	۰
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۳۷۵۸/۳	۳۸۶۸	۳۹۶۷/۷	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸	
کل تولید (کیلو گرم)	۵۲۵/۰۹۹۶	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، عدم ریسک،حداقل کردن گندم و جو

محصول	شماره کم آبیاری					افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم)
	۲۵	۱۹	۱۷	۶	۴	
جو			۰/۱۲			۰
گوجه فرنگی	۰/۰۱۲	۰/۵۰۶				-۲۵۶۶/۵۸
پیاز				۰/۱۶		۰
سیب‌زمینی					۰/۲۰۲	۰
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۳۷۵۸/۳	۳۸۶۸۶	۳۹۶۷/۷	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸	
کل تولید (کیلوگرم)	۵۲۵/۰۹۹۶	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، عدم ریسک،حداقل کردن سیب‌زمینی، پیاز و گوجه فرنگی

محصول	شماره کم آبیاری				افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم)
	۲۵	۱۷	۶	۴	
جو		۰/۲۱۵			۳۷۶/۹۳۱۵
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸				۰
پیاز			۰/۱۶		۰
سیب‌زمینی				۰/۱۰۷	-۳۹۲۳/۰۱
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۳۷۵۸/۳	۳۹۶۷/۷	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸	
کل تولید (کیلو گرم)	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۸۵۳/۰۵۵۵	۹۴۸۱/۹۳۶	۴۴۱۸/۵۴۳۶	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

سیب‌زمینی، پیاز و گوجه فرنگی هم‌زمان حداقل شدند. این رویه در تمام الگوهای کشتی که به دنبال می‌آید، رعایت شده است. علت حداقل کردن سطح زیرکشت محصولات صادراتی به این دلیل بود که با توجه به رابطه خالص واردات آب مجازی، بهترین شرایط زمانی است که آبی صادر نشود صرف نظر از آن که صادرات آب مجازی یعنی صادرات محصولات مورد نظرممکن است برای جامعه سودی داشته باشد. به بیا ن دیگر، در این حالت از لحاظ نگاه به خالص واردات آب مجازی بهترآنست که سطح زیرکشت این محصولات در الگوی بهینه کشت صفر باشد و وقتی تک تک محصولات حداقل شود چنین چیزی در مدل عملاً رخ می‌دهد و در این شرایط نیاز داخلی که از تولید داخلی تأمین می‌شود مورد غفلت قرارگرفته است. با توجه به این مسأله مجموع سطح زیرکشت این محصولات حداقل شده است. در تمام الگوهای کشتی که به دنبال می‌آید بعد از آن که به مدل، مقدار خالص واردات آب مجازی اضافه شد، حل گردید و سپس با استفاده از بهینه سازی تقریبی ۳ درصد از مقدار تابع هدف (سود خالص اجتماعی) کم شد و بدینطریق الگوهای بهینه کشت در شرایطی که سطح زیرکشت محصولات وارداتی و صادرتی حداقل شده‌اند، به‌دست آمد. اضافه کردن آب مجازی الزاماً به افزایش سود اجتماعی و مصرف آب آبیاری بیشتر منجر نمی‌شود. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود مدل با و بدون آب مجازی دارای مقدار سود اجتماعی و مصرف آب آبیاری یکسان است.

در جدول ۲ ستونی با عنوان افزایش و یا کاهش تولید وجود دارد و مقدار افزایش یا کاهش تولید الگوی کشت بهینه را درحالتی که آب مجازی اضافه شده و سپس از مقدار جواب بهینه ۳ درصد کم و محصولات وارداتی یا صادرتی حداقل شده است را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول مشاهده می‌شود زمانی که سطح زیرکشت جو حداقل می‌شود در الگوی بهینه کشت مقدار جو ۴۷۶ کیلوگرم و گوجه فرنگی ۱۱۹۵ کیلو گرم کاهش یافته‌اند. اما، گندم که یک محصول وارداتی تلقی می‌شود در این حالت به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم افزایش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود در این حالت که سطح زیرکشت جو و در نتیجه مقدار تولید آن به‌عنوان یک محصول وارداتی کاهش

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

می‌یابد حداکثرشدن منافع اجتماعی حکم می‌کند سطح زیرکشت کاهش یافته به محصولاتی اختصاص یابد که منافع اجتماعی حداکثرشود و این الزاماً محصولات صادراتی نخواهد بود. تعیین مقدارخالص واردات آب مجازی به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات لازم امکان پذیر نبود با این حال، جهت تغییرات مقدار تولید الگوهای بهینه کشت افزایش یا کاهش آن را نشان می‌دهد. به دلیل افزایش بیشتر در مقدارکاهش تولید گوجه فرنگی از افزایش گندم و در عین حال کاهش مقدار جو می‌توان گفت خالص واردات آب مجازی در این حالت نسبت به الگوی کشت مرجع (الگوی بهینه کشت درحالت آب مجازی و حداکثرکردن سودخالص اجتماعی، درجدول مشخص است) افزایش یافته است.

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در حالت حداقل کردن سطح زیرکشت گندم فقط مقدارگوجه فرنگی که یک محصول صادراتی است به مقدار ۲۵۶۶ کیلو گرم در الگوی بهینه کشت کاهش یافته و مقدار تولید محصولات دیگرتغییر نکرده است. لذا، می توان گفت در این حالت الگوی بهینه کشت از لحاظ خالص واردات آب مجازی در وضعیت بهتری نسبت به الگوی کشت مرجع قرارگرفته است. بایستی اشاره کرد که اضافه کردن آب مجازی به معنای مصرف کامل آن در الگوی بهینه کشت به‌دست آمده نیست و زمانی که ریسک در مدل مورد نظرقرارگیرد اصولاً مقدار آب مصرفی الگوهای بهینه کشت با حالت شرایط عدم آب مجازی درمدل فرق چندانی ندارد.

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که درحالتی که سطح زیرکشت جو و گندم هم‌زمان حداقل شده‌اند نسبت به حالت حداقل کردن گندم اختلافی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۲ هم‌چنین الگوی بهینه کشت را در حالتی که سطح زیرکشت محصولات صادراتی (گوجه فرنگی، سیب‌زمینی و پیاز) حداقل شده‌اند، نشان می‌دهد. در این حالت سیب‌زمینی حدود ۴ تن کاهش و جو ۳۷۶ کیلوگرم افزایش یافته است. در اینجا نیز می‌توان گفت الگوی بهینه کشت از لحاظ خالص واردات آب مجازی نسبت به الگوی کشت مرجع در وضعیت بهتری می‌باشد.

الگوهای بهینه کشت در حالت بدون چغندرقند، با و بدون آب مجازی در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس و کارایی ۶۵ درصد در مصرف آب در سطح حوضه در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

مقایسه الگوهای بهینه کشت درحالت با و بدون آب مجازی نشان می‌دهد که در تمام سطوح مختلف ریسک تحت بررسی، مقدار مصرف آب آبیاری و سود اجتماعی افزایش یافته است. با این حال، مقدارمصرف آب در الگوی بهینه کشت با حالت آب مجازی از مقدار موجود آب آبیاری (یعنی بدون در نظرگرفتن آب مجازی) کمتراست و نشان می‌دهد درشرایطی که ریسک درمدل لحاظ می‌شود و با واقعیت‌های موجود، مدل بیشتر سازگار می‌شود آب مجازی در حقیقت به‌صورت مجازی اضافه شده است!

جدول ۳ هم‌چنین الگوهای بهینه کشت درحالتی که سطح زیرکشت جو به‌عنوان یک محصول وارداتی حداقل شده به‌علاوه، مقدار تغییر در تولید نسبت به الگوی کشت مرجع را نشان می‌دهد. در سطح ۸۷,۵ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس، ملاحظه می‌شود که گندم و سیب‌زمینی به ترتیب ۴۹۱ و ۱۵۲۴ کیلوگرم افزایش و جو و گوجه فرنگی به ترتیب به میزان ۴۷۶ و ۱۵۳۲ کیلوگرم کاهش یافته‌اند. مقدار تولید پیاز در این حالت تغییری نکرده است. با توجه به تغییرات در مقدار تولید نمی‌توان راجع به وضعیت خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع اظهار نظرصریحی کرد. وقتی سطح ریسک ۸۵ درصد در مقدار آب در دسترس مورد بررسی قرارمی گیرد جدول ۳ نشان می‌دهد که گندم به میزان ۴۵۸ کیلوگرم افزایش یافته و جو، گوجه فرنگی و سیب‌زمینی به ترتیب ۴۷۶، ۳۰۶ و ۳۹۳ کیلوگرم کاهش یافته‌اند. در این حالت در مقایسه با الگوی کشت مرجع می‌توان گفت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت در وضعیت بهتری قرار دارد. در حالت ۸۰ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس و حداقل کردن سطح زیرکشت جو،

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

جدول ۳. الگوهای بهینه کشت (هکتار) درشرایط کارایی ۶۵٪، بدون چغندرقند، سطوح مختلف ریسک در مقدارآب در دسترس و...

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت ریسک عدم آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند،

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)					۰/۰۲۷
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳۲	۰/۲۴۲	۰/۴۶۴
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۳۴۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)		۰/۲۴	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۵۱۸	۰/۲۷۸			
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۱۹)	۰/۰۳۲	۰/۲۰۲	۰/۱۹	۰/۰۸	
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)	۰/۱۶۹				
سود اجتماعی(ده ریال)	۸۳۲۸۶۹/۰۱	۷۹۴۱۵۷/۸۰۹	۷۷۰۸۹۴/۰۳	۷۳۹۹۲۱/۰۶	۶۳۷۱۰۷/۱۲
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۶۰/۸۴۴	۹۷۷/۹۶۵	۹۲۹/۹۸۳	۸۷۳/۲۷۶	۷۱۱/۸۸۱

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
۴۳۷۷/۶					۱۱۸/۱۹۵۲
۳۹۶۷/۷	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۵۲۳/۷۳۶۴	۹۶۰/۱۸۳۴	۱۸۴۱/۰۱۲۸
۳۸۶۸					۱۳۴۶۲/۷۲۸
۳۹۳۴۱/۸		۹۴۴۲/۰۳۲	۲۰۳۷۹/۰۵۲	۲۰۳۷۹/۰۵۲	۰
۴۳۷۵۸/۳	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۱۲۱۶۴/۸۰۷۴			۰
۵۹۲۶۲/۱	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
۳۰۱۸۸/۳	۹۶۶/۰۲۵۶	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۵۷۳۵/۷۷۷	۲۴۱۵/۰۶۴	۰
۳۷۷۳۴	۶۳۷۷/۰۴۶				۰

الگوهای بهینه کشت (هکتار) درحالت ریسک، بدون چغندرقند و در نظرگرفتن آب مجازی و کارایی ۶۵٪ (الگوی کشت مرجع)

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۷۴
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۴۶۶
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)			۰/۰۵۱	۰/۴۲۵	
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	۰/۴۶۷	۰/۰۹۳	
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۴)	۰/۲۰۲				
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۱۹)		۰/۰۵۵	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵		۰/۱۴۷			
سود اجتماعی (ده ریال)	۸۴۴۴۴۳/۵۶	۸۲۹۹۶۷/۶۶	۸۰۷۷۷۴/۴۹	۷۸۰۷۶۴/۴۴	۶۸۹۲۱۰/۲۵
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۱۱۰/۶۶۹	۱۰۵۴/۵۳۵	۱۰۰۶/۵۵۳	۹۴۹/۸۴۶	۷۸۸/۴۵۱

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
۳۹۶۷/۷	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۱۴۸۳/۹۱۹۸
۳۸۶۸۶					۱۸۰۲۷/۶۷۶
۳۹۳۴۱/۸			۲۰۰۶/۴۳۱۸	۱۶۷۲۰/۲۶۵	
۴۳۷۵۸/۳	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۲۰۴۳۵/۱۲۶	۴۰۶۹/۵۲۱۹	
۵۹۲۶۲/۱	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
۴۱۲۹۴/۸	۸۳۴۱/۵۴۹۶				
۳۰۱۸۸/۳		۱۶۶۰/۳۵۶۵	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۶۰۹۸/۰۳۶۶	
۳۷۷۳۴		۵۵۴۶/۸۹۸			

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، حداقل کردن جو به‌عنوان یک محصول وارداتی

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)				-۰/۲۱۷	
گندم آبیاری۲۷)	۰/۱۲	۰/۱۵۷	۰/۰۰۷		
گندم (کم آبیاری ۴۰)			۰/۱۱۳		
جو (کم آبیاری ۱۷)				۰/۳۴۸	۰/۱۲
گوجه فرنگی (کم آبیاری۴)		۰/۰۰۷			
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)	۰/۳۱۴		۰/۳۳۸	۰/۷۰۸	
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۰)					۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۵)	۰/۲۰۳	۰/۵۱۱	۰/۱۷۹		۰/۳۹
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۴)	۰/۲۰۲	۰/۱۶۵			
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)			۰/۲۰۲		
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۴۴/۴۱۳	۱۰۵۴/۵۳۵	۱۰۰۶/۵۵۳	۹۴۹/۸۴۶	۹۹۴/۸۹۴
مدل دارای...	جواب	جواب	جواب	فاقد جواب	فاقد جواب

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
۴۳۷۷/۶			
۲۹۲۳/۲	۳۵۰/۷۸۴	۴۵۸/۹۴۲۴	۲۰/۴۶۲۴
۴۱۷۰/۸			۴۷۱/۳۰۰۴
۳۹۶۷/۷			
۱۳۰۹۲/۶		۹۱/۶۴۸۲	
۳۸۶۸۶	۱۲۱۴۷/۴۰۴		۱۳۰۷۵/۸۶۸
۳۹۳۴۱/۸			
۴۳۷۵۸/۳	۸۸۸۲/۹۳۴۹	۲۲۳۶۰/۴۹۱۳	۷۸۳۲/۷۳۵۷
۵۹۲۶۲/۱	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
۴۱۲۹۴/۸	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۶۸۱۳/۶۴۲	
۳۰۱۸۸/۳			
۳۷۷۳۴			۷۶۲۲/۲۶۸

محصول	افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن جو		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)			
گندم آبیاری۲۷)			
گندم (کم آبیاری ۴۰)	۳۵۰/۷۸۴	۴۵۸/۹۴۲۴	۴۹۱/۷۶۲۸
جو (کم آبیاری ۱۷)	-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴
گوجه فرنگی (کم آبیاری۴)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۰)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۵)	-۱۶۳۶/۴۶۱	-۳۰۶/۳۰۸۱	-۱۵۳۲/۹۵۴
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰	۰	۰
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۴)			
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۱۹)			
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)	۰	-۳۹۳/۶۱۲۵	۱۵۲۴/۲۳۱۴

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، حداقل کردن گندم به‌عنوان یک محصول وارداتی

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)				-۰/۲۱۷	
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰/۲۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۱۲
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)		۰/۵۰۶	۰/۴۴۵	۰/۷۰۸	
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۰)					۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۵۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۷۳		۰/۳۹
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)	۰/۱۰۷	۰/۲۰۲	۰/۰۶۵		
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)			۰/۱۳۶		
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۱۶/۳۸۳	۱۰۲۳/۸۰۱	۱۰۰۶/۵۵۳	۹۴۹/۸۴۶	۹۹۴/۸۹۴
مدل دارای...	جواب	جواب	جواب	فاقد جواب	فاقد جواب

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
۴۳۷۷/۶			
۳۹۶۷/۷	۸۵۳/۰۵۵۵	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴
۳۸۶۸۶		۱۹۵۷۵/۱۱۶	۱۷۲۱۵/۲۷
۳۹۳۴۱/۸			
۴۳۷۵۸/۳	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۳۱۹۴/۳۵۵۹
۵۹۲۶۲/۱	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
۴۱۲۹۴/۸	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۲۶۸۴/۱۶۲
۳۰۱۸۸/۳			
۳۷۷۳۴			۵۱۳۱/۸۲۴

محصول	افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)	۰	۰	۰
جو (کم آبیاری ۱۷)	۳۷۶/۹۳۱۵	۰	۰
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری۲۰)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	-۲۰۳۱/۹۳۲
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰	۰	۰
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)			
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)			
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)	-۳۹۲۳/۰۰۶	۱۱۳۴/۲۹۵۱	۱۷۱۷/۹۴۹۴

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، حداقل کردن گندم و جوبه‌عنوان محصولات وارداتی

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)				-۰/۲۱۷	
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۱۲
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)	۰/۰۶۲				
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)		۰/۵۰۶	۰/۴۴۵	۰/۷۰۸	
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)					۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۴۵۵	۰/۰۱۲	۰/۰۷۳		۰/۳۹
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۰۶۵		
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)			۰/۱۳۶		
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۸۰/۸۶۱	۱۰۲۳/۸۰۱	۱۰۰۶/۵۵۳	۹۴۹/۸۴۶	۹۹۴/۸۹۴
مدل دارای...	جواب	جواب	جواب	فاقد جوب	فاقد جوب

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵		
					۴۳۷۷/۶
	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴		۳۹۶۷/۷
	۸۱۱/۷۴۱۲				۱۳۰۹۲/۶
		۱۹۵۷۵/۱۱۶	۱۷۲۱۵/۲۷		۳۸۶۸۶
					۳۹۳۴۱/۸
	۱۹۹۱۰/۰۲۷	۵۲۵/۰۹۹۶	۳۱۹۴/۳۵۵۹		۴۳۷۵۸/۳
	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶		۵۹۲۶۲/۱
	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۲۶۸۴/۱۶۲		۴۱۲۹۴/۸
					۳۰۱۸۸/۳
			۵۱۳۱/۸۲۴		۳۷۷۳۴

محصول	افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم وجو				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵		
گندم (کم آبیاری ۱۴)	۰	۰	۰		
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰	۰	۰		
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	-۱۹۴۵/۰۳۲	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	-۲۰۳۱/۹۳۲		
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰	۰	۰		
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)					
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)					
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)	۰	۱۱۳۴/۲۹۵۱	۱۷۱۷/۹۴۹۴		

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، حداقل کردن سیب‌زمینی،پیاز، گوجه فرنگی به‌عنوان محصولات صادراتی

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (٪)				
	۸۰	۸۵	۸۷/۵	۹۰	۹۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)				-۰/۲۱۷	
جو (کم آبیاری ۱۷)	۰/۲۱۵	۰/۲۱۵	۰/۲۰۹	۰/۳۴۸	۰/۱۲
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)				۰/۷۰۸	
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)					۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸		۰/۳۹
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	۰/۰۳۲		
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)			۰/۰۸۲		
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۱۶/۳۸۳	۱۰۱۶/۳۸۳	۱۰۰۶/۵۵۳	۹۴۹/۸۴۶	۹۹۴/۸۹۴
مدل دارای...	جواب	جواب	جواب	فاقد جواب	فاقد جواب

عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
			۴۳۷۷/۶
	۸۵۳/۰۵۵۵	۸۵۳/۰۵۵۵	۸۲۹/۲۴۹۳
			۳۸۶۸۶
			۳۹۳۴۱/۸
	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹
	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۱۳۲۱/۴۳۳۶
			۳۰۱۸۸/۳
			۳۰۹۴/۱۸۸

محصول	افزایش یا کاهش تولید(کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گوجه فرنگی، پیاز و سیب‌زمینی به‌عنوان محصولات صادراتی		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)	۰	۰	۰
جو (کم آبیاری ۱۷)	۳۷۶/۹۳۱۵	۳۷۶/۹۳۱۵	۳۵۳/۱۲۵۳
گوجه فرنگی (کم آبیاری۱۹)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰	۰	۲۲۵/۲۴۱۵
پیاز (کم ابیاری ۶)	۰	۰	۰
سیب‌زمینی (کم ابیاری ۴)			
سیب رمینی (کم آبیاری ۱۹)			
سیب‌زمینی (کم آبیاری ۳۵)	-۳۹۲۳/۰۰۶	-۲۷۸۸/۷۱۰۹	-۱۶۸۲/۴۱۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مقدار تولید پیاز و سیب‌زمینی تغییرنکرده‌اند. جو و گوجه فرنگی به ترتیب ۴۷۶ و ۱۶۳۶ کیلوگرم کاهش و گندم ۳۵۰ کیلوگرم افزایش یافته است. با توجه به تغییرات در مقدار تولید، می‌توان گفت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع در وضعیت بهتری قراردارد.

جدول ۳ هم‌چنین حالتی که سطح زیر کشت گندم به‌عنوان یک محصول وارداتی حداقل می‌شود را نشان می‌دهد. در این حالت مدل در سه سطح ۸۷/۵، ۸۵ و ۸۰ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس دارای جواب می‌باشد. با توجه به جدول، ملاحظه می‌شود که در سطح ۸۷/۵ درصد ریسک در مقدار آب

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

در دسترس گوجه فرنگی ۲۰۳۱ و سیب‌زمینی ۱۷۱۷ کیلو گرم به ترتیب کاهش و افزایش یافته‌اند. با توجه به تغییرات تولید نمی‌توان اظهار نظرصریحی نسبت به خالص واردا ت آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع بیان کرد. در سطح ۸۵ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس، گوجه فرنگی ۲۵۶۲ و سیب‌زمینی ۱۱۳۴ کیلوگرم به ترتیب کاهش و افزایش یافته‌اند و دیگر محصولات نمونه مقدار تولید آنها در الگوی بهینه کشت تغییری نسبت به الگوی کشت مرجع نکرده‌اند. با توجه به تغییرات تولید که در الگوی بهینه کشت دیده می‌شود می‌توان گفت نسبت به الگوی کشت مرجع از لحاظ خالص واردات آب مجازی در وضعیت مناسب تری است. در سطح ریسک ۸۰ درصد در مقدار آب در دسترس، جو ۳۷۶ و سیب‌زمینی ۳۹۲۳ کیلوگرم به ترتیب افزایش وکاهش تولید نشان می‌دهند و بقیه محصولات نمونه مقدار تولید آنها نسبت به الگوی کشت مرجع تغییری نکرده است. با توجه به تغییرات مشاهده شده می‌توان گفت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت در شرایط مناسب تری نسبت به الگوی کشت مرجع می‌باشد.

مدل هم‌چنین در حالتی که سطح زیرکشت گندم و جو هم‌زمان حداقل شده‌اند، حل گردید و نتایج آن درجدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مدل در سطح ۹۵ و ۹۰ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس فاقد جواب می‌باشد. جواب الگوی بهینه کشت نسبت به حالت حداقل کردن سطح زیرکشت گندم به تنهایی در سطوح ریسک ۸۷/۵ و ۸۵ درصد در مقدار آب در دسترس فرقی نکرده است. در سطح ۸۰ درصد، تنها محصولی که مقدار تولید آن تغییرکرده گوجه فرنگی است و به میزان ۱۹۴۵ کیلو گرم کاهش یافته است. لذا، می‌توان گفت نسبت به الگوی کشت مرجع از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت در وضعیت بهتری است.

درحالت حداقل کردن سطح زیرکشت محصولات صادراتی (گوجه فرنگی، سیب‌زمینی و پیاز) مدل در سطوح ۹۵ و ۹۰ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس فاقد جواب می‌باشد. در سطح ۸۷/۵ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس، جو و گوجه فرنگی به ترتیب ۳۵۳ و ۲۲۵ کیلوگرم افزایش و سیب‌زمینی ۱۶۸۲ کیلوگرم کاهش تولید نشان می‌دهند. گندم و پیاز مقدار تولید آنها فرقی نکرده است. با توجه به تغییرات تولید در الگوی بهینه کشت می‌توان گفت که نسبت به الگوی کشت مرجع از لحاظ خالص واردات آب مجازی در وضعیت نسبتاً بهتری قراردارد. در سطح ۸۵ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس، مقدار تولید گندم، گوجه فرنگی و پیاز تغییری نکرده و جو و سیب‌زمینی به ترتیب ۳۷۶ کیلوگرم افزایش و ۲۷۸۸ کیلوگرم کاهش داشته‌اند. لذا، می‌توان گفت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع در وضعیت مناسب تری قراردارد. در سطح ۸۰ درصد ریسک در مقدار آب در دسترس تنها تغییر مشاهده شده در مقایسه با سطح ۸۵ درصد، کاهش بیشتر سیب‌زمینی از ۲۷۸۸ به ۳۹۲۲ کیلو گرم است. لذا، می‌توان گفت که الگوی کشت بهینه از لحاظ خالص واردات آب مجازی نسبت به الگوی کشت مرجع در وضعیت مناسب تری است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از حل مدل توسعه یافته در این مطالعه می‌توان الگوهای بهینه کشت را در سطح حوضه به سمتی که دارای ویژگی‌های، حداکثرشدن منافع اجتماعی، حداقل استفاده از آب آبیاری و حداکثرشدن خالص واردات آب مجازی است، هدایت کرد. با این حال، برای اظهار نظر روشن راجع به یک الگوی کشت خاص نیاز به اطلاعات بیشتری در زمینه مقدار دقیق آب مجازی که برای هر محصول وارد و یا خارج از کشورمی شود، می‌باشد. افزون بر آن، لازم است که پیشتر یک الگوی مناسب واردات- صادرات محصولات زراعی طراحی و سپس الگوهای کشت را در جهت آن هدایت کرد. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مقدمه‌ای درجهت حرکت به این سمت تلقی شود.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]

منابع مورد استفاده

۱. سلطانی، غ. ۱۳۷۲. تعیین آب بهاء و تخصیص بهینه آب در اراضی زیر سدها: مطالعه موردی سد درودزن. مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم سیاست کشاورزی ایران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. سلطانی،غ. و م. زیبایی. ۱۳۷۵. نرخ گذاری آب کشاورزی. فصلنامه آب و توسعه ۳:۲۴-۵.

۳. صبوحی، م. و غ. سلطانی. ۱۳۷۵. مدل سازی ایجاد گزینه، ابزاری در برنامه‌ریزی کشاورزی: تعیین مناسب ترین جیره برای گاوهای شیری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس اقتصاد کشاورزی، انجمن اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان و سازمان عمران سیستان.

۴. وزارت کشاورزی، سازمان تات. ۱۳۷۵. سند ملی آب کشور. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مشهد.

۵. وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان. ۱۳۸۲. آب محور توسعه خراسان. معاونت برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت.

6. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. S. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.
7. Brooke, A., D. Kendric. and A. Meeraus. 1988. GAMS: A User's Guide. The Scientific Press., Uk.
8. Charnes, A. and W. W. Cooper. 1959. Chance constrained programming. Manag. Sci. 6: 73-79.
9. Dinar, A. and J. Mody. 2003. Irrigation water management policies: allocation and pricing principles and implementation experiences.http://www.worldbank.org/agadir conference.
10. Evans, E. M., D. R. Lee, R. N. Boisvert., B. Arec, T. S. Steenhuis, M. Prano and S. V. Poats. 2003. Achieving efficiency and equity in irrigation management: an optimization model of the EL Angel watershed, Carchi, Ecuador. Agric. Sys. 77: 1-22.
11. Geidely, J. S. and M. F. Bari. 1986. Modeling to generate alternatives in: M. Karamous, R. R. Baumli and W. J. Brick(Ed.), Water Forum.
12. Hazell, P. B. R. and R. D. Norton. 1986. Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. Macmillan Pub., New York.
13. Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung. 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11, IHE, the Netherlands.
14. McCarl, B. A. and T. H. Spreen. 2005. Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems. University of California. mccarl@tamu.edu.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-06-06]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.43.25.8]