

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

محمود صبوحی<sup>\*</sup> و غلامرضا سلطانی<sup>†</sup>

(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 دهنده 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 ۴۵ و ۶۵ درصد در مقدار مصرف آب آبیاری حل شد. با توجه به نتایج بدست 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 خالص، 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 به عنوان مقدمه‌ای در جهت حرکت به این موضوع نگاه شود.

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

### مقدمه

مؤثر می‌باشدند. برای مثال، کارایی مصرف آب در سطح محلی را می‌توان با استفاده از سیاست قیمت گذاری آب و توسعه تکنولوژی‌های آب انداز 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

بعد از کنفرانس دبلین (۱۹۹۲) این شعار که آب بایستی به عنوان یک کالای اقتصادی در نظر گرفته شود مطرح و کرارآ تکرار شده است. هم‌چنین مطرح شد که اگر با منابع آب به طور صحیحی به عنوان یک کالای اقتصادی برخوردار شود مسائل کمیابی آب، مصرف بی‌رویه و کاهش کیفیت آن حل خواهد شد. اگر آب به عنوان 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 تحقیق چنین کارایی‌هایی عواملی

۱. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

۲. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

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

### 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، حداقل 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 این که 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 حداقل 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 به کار گرفته 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 این که 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 صادرات کشورهایی وارد و سپس با میانگین‌گیری از آنها مقدار آب مجازی که بابت هر کیلوگرم 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

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. اگر کشوری محصولات آب بر (Water-intensive Product) به کشور دیگر صادر کند در واقع به این کشور آب مجازی صادر کرده است. از این طریق 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. بر عکس، 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 به عنوان 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.

به صورتی 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، پی‌ریزی شد.

نظر به این‌که یکی از نهادهای 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 (حریrod و کشف رود) به صورت زیر می‌باشد.

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

$$\begin{aligned} \text{subject.to} \quad & \sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m x_{cd} = \bar{x} \\ & \sum_d^m x_{cd} \leq \bar{x}_c \quad \forall c \\ & \sum_c^n \sum_d^m w_{cd} x_{cd} \leq \bar{w} + NVWI - Z_\alpha \sigma_w \\ & x_{cd} \geq 0 \end{aligned} \quad [1]$$

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  $c$ ،  $sc_c$  هزینه‌های اجتماعی تولید واحد محصول  $c$  در منطقه بدون هزینه آب،  $pw$  قیمت اجتماعی هر مترمکعب آب آبیاری  $x_{cd}$  سطح فعالیت  $c$  در کم آبیاری  $d$  ام،  $\bar{x}$  کل سطح زیرکشت،  $\bar{x}_c$  حداقل سطح زیرکشت محصول  $c$  ام،  $w_{cd}$  نیاز آبی محصول  $c$  در منطقه که مقدار آن بر اساس تنش‌های مختلف در مراحل رشد گیاه بال لحاظ کردن سه سطح کاریابی در سیستم بهره برداری و مصرف آب در سطح مزرعه محاسبه می‌گردد (نحوه به دست 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

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 نظر گرفت. 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 این طریق 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 نظر گرفت. 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 به طور 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 تغییر سطح زیرکشت محصولات وارداتی و صادراتی دنبال گردید. در این حالت کاهش سطح زیرکشت یک محصول وارداتی به معنی کاهش در سطح محصول وارداتی دیگر و یا افزایش و یا کاهش سطح زیرکشت یک محصول صادراتی نیست. در واقع، کاهش سطح زیرکشت یک محصول در چارچوب حداقل شدن منافع اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته است. به بیانی ساده، افزایش خالص واردات آب مجازی الزاماً به معنی حداقل 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

اجتماعی لازم به نظرمی‌رسد.  
جهت تعیین عملکرد واقعی از رابطه<sup>۴</sup>، آلن و همکاران استفاده شد<sup>(۶)</sup>.

$$\frac{y_a}{y_p} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad [4]$$

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<sup>۴</sup>، عملکرد واقعی را از رابطه<sup>۵</sup>، می‌توان بدست آورد:

$$y_a = y_p \times \prod_{i=1}^n \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad [5]$$

حداکثر سطح زیرکشت محصولات در مدل برابر با مقدار موجود آنها در نمونه در سطح اهکتار در نظرگرفته شد. هر فعالیت در مدل به صورت 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 گسترش داده اند. برای میزان تنش گیاهان نمونه در هر مرحله از مراحل پنجگانه رشد آنها در نظرگرفته شد (گیاهانی مثل چغندر قند 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 و ۹۰ و ۹۵ درصد برای مقدار  $Z_a$  در مدل، در نظرگرفته شد. از طرف دیگر به دلیل اهمیت راندمان آبیاری، در آبیاری محصولات زراعی سه سطح کارایی ۴۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در نظرگرفته شد. افزایش سطح کارایی به منزله استفاده کاراتر از آب موجود و یا

ادامه بیان شده است. این محدودیت به دلیل آن که مقدار آب آبیاری در دسترس تصادفی می‌باشد به صورت محدودیت احتمالی و یا تصادفی براساس آنچه که چارنر و کوپر ارایه کردند، در نظرگرفته شد<sup>(۸)</sup>.  $\bar{W}$  مقدار متوسط آب در دسترس  $Z_a$  می‌باشد که در مطالعه حاضر در سطح ۱ هکتار محاسبه شد.  $Z_a$  (مقدار ریسک در مقدار آب در دسترس) را به دو طریق می‌توان تعیین کرد. یکی با فرضی راجع به توزیع احتمال (مثلًاً نرمال) و دیگر به برآورده محافظه کارانه که از نابرابری کیمی شف (Chebyshev's Inequality) بدست آید، بسته شد<sup>(۱۴)</sup>. در مطالعه حاضر روش اول مورد استفاده قرار گرفت.  $s_w$  مقدار انحراف معیار آب آبیاری در واحد سطح است.

نیاز آبی محصول از روش پنمن-مانیت (Penman-Monteit Method) محاسبه شد. کل نیاز آبی گیاه

$$(REQ_t) \text{ در طول ماه } t \text{ با استفاده از رابطه } 2, \text{ محاسبه گردید } (10):$$

$$REQ_T = ET_0 \times K_{ct} \quad [2]$$

که  $ET_0$  مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ماه  $t$  و  $K_{ct}$  ضریب محصول که متناسب با ماههای رشد محصول است. نیاز آبی ناخالص محصول  $Z_a$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$w_j = \frac{REQ_t - EP_t}{IE} \quad [3]$$

که در آن  $EP_t$  بارندگی موثر در ماه  $t$  و  $IE$  شاخصی از سطح 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 این که عملکردهای مشاهده شده در سطح مزرعه و حوضه آبریز علاوه بر آن که تحت تأثیر عوامل جوی هستند، از سیاست‌های حاکم بر بخش کشاورزی (به طور مثال، 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 و گیاه باشد، برای تعیین دقیق‌تر منافع

حل مسئله 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 براساس صلاح‌حدید 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 نظر گرفته 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) کشور در حال حاضر در هردو محصول به سطح خود کفایی رسیده است) به تنها بی و با هم، اهداف ۱ تا (۳) و صادراتی (گوجه فرنگی به علاوه پیاز به علاوه سبزه زمینی، 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 به صورت زیر می‌توان نوشت. ۱ تا (۴) توابع هدفی است که به ترتیب در هر بار حل مدل حداقل می‌شوند.

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize} \quad (1) \quad \sum_{d=1}^m x_{\text{wheat},d} \\
 & \quad (2) \quad \sum_{d=1}^m x_{\text{barely},d} \\
 & \quad (3) \quad \sum_{d=1}^m x_{\text{wheat},d} + \sum_{d=1}^m x_{\text{barely},d} \\
 & \quad (4) \quad \sum_{d=1}^m x_{\text{potato},d} + \sum_{d=1}^m x_{\text{tomato},d} + \sum_{d=1}^m x_{\text{onion},d} \\
 & \text{subject.to} \quad (\sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m [y_{cd} (sp_c - sc_c) - w_{cd} * pw] * x_{cd}) \\
 & \qquad \qquad \qquad \geq (1-0/0.3) * NSB \\
 & \quad \sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m x_{cd} = \bar{x} \\
 & \quad \sum_{d=1}^m x_{cd} \leq \bar{x}_c \quad \forall c \\
 & \quad \sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m w_{cd} x_{cd} \leq \bar{w} + NVWI - Z_\alpha \sigma_w \\
 & \quad x_{cd} \geq 0 \quad [6]
 \end{aligned}$$

تغییر تکنولوژی 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، به علاوه 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 نظر گرفته شده کاهش می‌یابد. در ردیف محدودیت‌های مدل، به دلیل آن که چند رقند در منطقه براساس کار سلطانی و همکاران "تعیین مزیت نسبی محصولات با استفاده از ماتریس تحلیل سیاست (گزارش چاپ نشده، دانشگاه شیراز، بخش اقتصاد کشاورزی) فاقد مزیت نسبی می‌باشد، از محدودیت چند رقند به عنوان ردیف انتقال استفاده شد که در نتیجه سطح زیرکشت آن به محصولات نمونه انتقال می‌یابد و در جواب بهینه مقدار سطح زیرکشت آن صفر است. لازم به ذکر است که در تابع هدف مدل، هزینه اجتماعی آب آبیاری به صورت جداگانه لحاظ شد. به دلیل عملکردهای متفاوتی که از حل مدل برای محصولات به دست 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 به عنوان 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 به کار 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، متعدد می‌باشد. در این روش نخستین گام (Hop-Skip-Jump) HSJ

شده است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در یک دوره ۳۰ ساله به صورت روزانه از کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم شناسی و کشاورزی کشور جمع‌آوری و پس از حک و اصلاح در محاسبات استفاده شده‌اند. برای هر کدام 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 فائق پنمن - مانیت در دوره‌های ۰۱روزه و ماهانه به کار گرفته شده است که در نتیجه تبخیر - تعرق، باران مؤثر و نیاز خالص آبیاری در هر دوره، ماه و فصل زراعی محاسبه شده است<sup>(۴)</sup>.

#### سطح آب (Water Footprint) یک کشور

کل آب مصرفی در داخل یک کشور به تنها ی شاخص صحیحی از تخصیص منابع آب جهانی به یک کشور نیست. جهت رسیدن به تصویر واقعی از داشتن منابع آب از منابع آب جهانی در حالت خالص واردات آب مجازی، حجم آب مجازی همراه با واردات می‌باشد که کل مصرف آب داخلی اضافه شود و در حالت صادرات خالص آب مجازی از یک کشور می‌باشد از حجم مصرف آب داخلی کسر گردد. مجموع مصرف آب داخلی و خالص واردات آب مجازی می‌تواند به عنوان 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 به وسیله ساکنین قلمرو یک کشور لازم است، بر می‌گردد. مطالعات نشان داده است که برای بعضی از کشورها سطح اکولوژیکی کوچک‌تر از سطح خاک قلمرو آن کشور است. 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 کشور خودشان دارند. سطح آب یک کشور (بیان شده به صورت حجم آب در سال) براساس رابطه

۷ تعریف می‌شود<sup>(۱۳)</sup>:

#### 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. افرون بر آن، جهت کسب اطلاعات مورد نیاز در سطح مزرعه، ابتداء روستاهای منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز حریرود و کشف رود (دشت‌های مشهد، نریمانی، سنگ بست) با استفاده از اطلاعات GIS شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، به طور تصادفی انتخاب گردیدند. سپس با مصاحبه حضوری با زارعین این روستاهای که آنها نیز به طور تصادفی انتخاب شدند، ۲۷۰ پرسشنامه تکمیل شد. اطلاعات تکمیلی نیاز از طریق مصاحبه و یا استفاده از کارهای تحقیقاتی بعضی از متخصصین منطقه، اساتید دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، بخش اقتصاد کشاورزی، زراعت و آبیاری به دست آمد. این اطلاعات هر جا که در مطالعه حاضر استفاده شده، به منبع آن اشاره گردیده است. داده‌های حجم آوری شده مربوط به سال زراعی ۱۳۸۲ می‌باشد.

برای ساختن مدلی که کم آبیاری در آن در نظر گرفته 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 در ۱۰ سال گذشته و همچنین نظر بعضی از کارشناسان کشاورزی به دست آمد. برای تعیین نیاز آبی گیاهان از تحقیق و مطالعه انجام شده توسط جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی کشور استفاده 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<sup>(۶۲۰)</sup> می‌باشد. علاوه بر آن از نتایج پژوهش‌هایی که قبلًاً در این زمینه صورت گرفته نیز سود جسته

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

	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	كميابي آب (درصد)
۷۲/۹	خودكفايي آب(درصد)
۹۳/۶	وابستگي آب (درصد)
۶/۴	سطح زيرکشت آبي كشور (مليون هكتار)
۷/۶	مترمکعب افزایش در هكتار ناشی از خالص واردات آب مجازی
۷۶۵/۷۵	مانخد: تجارت آب مجازی، هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲)

مجازی به طور 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 کارانی 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 به عنوان محصولات وارداتی (براساس الگوی واردات زمان آغاز تحقیق) به صورت جداگانه و با هم حداقل و در مرحله بعد سطح زیرکشت محصولات صادراتی یعنی

Water Footprint = WU + NVWI

[۷]

که WU کل مصرف آب داخلی (مترمکعب در سال) و NVWI 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 نظر گرفتن 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 قرار گرفته است. نتایج برای هر بار حل مدل که با فرض‌های مختلف حل شد به تفکیک بیان گردیده و مقدار تغییر تولید نیز ذکر شده است. در صورت اطلاعات دقیق از مقدار آب مجازی بابت هر کیلوگرم محصولی که وارد یا خارج می‌شود، می‌توان وضعیت الگوهای بهینه کشت را از بعد خالص واردات آب

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

سطح زیر کشت الگوی موجود در ۱ هکتار (هکتار)					
گندم	جو	سیب زمینی	چغندرقند	گوجه فرنگی	پیاز
۰/۱۲۹	۰/۳۰۶۲	۰/۳۶۰۵	۰/۱۵۷۶	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۴۶
الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت بدون چغندرقند، آب مجازی و ریسک و سطح کارایی ۶۵٪					
محصول	۲۵	۱۷	۶	۴	شماره کم آبیاری
جو	۰/۵۱۸	۰/۳۶۰۵	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۴۶	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
سود (ده ریال)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
جو	۰/۱۲	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸	۰/۳۶۰۵	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۴۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
سود (ده ریال در هکتار)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
جو	۰/۱۲	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸	۰/۳۶۰۵	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۴۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
سود (ده ریال در هکتار)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت عدم ریسک، بدون چغندرقند و در نظر گرفتن آب مجازی و کارایی ۶۵٪ (الگوی کشت مرجع)					
محصول	۲۵	۱۷	۶	۴	شماره کم آبیاری
جو	۰/۱۲	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۵۱۸	۰/۳۶۰۵	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۴۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
سود (ده ریال در هکتار)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
الگوی بهینه کشت در حالت آب مجازی، کارایی ۶۵٪، بدون چغندرقند، عدم ریسک، حداقل کردن جو					
محصول	۲۷	۲۵	۶	۴	شماره کم آبیاری
گندم	۰/۱۲	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۴۷۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
جو (کم آبیاری ۱۷)					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
جو	۰/۱۲	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۴۷۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
جو (کم آبیاری ۱۷)					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۸۴۴۴۴۳/۵۶۲	۴۷۶/۱۲۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، کارایی ۶۵٪، بدون چغندرقند، علم ریسک، حداقل کردن گندم					
محصول	۲۵	۱۹	۱۷	۶	شماره کم آبیاری
جو	۰/۰۱۲	۳۸۶۸۶	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۰۱۲	۰/۰۵۰۶	۰/۰۵۰۶	۰/۰۳۹	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
جو	۰/۰۱۲	۳۸۶۸۶	۴۳۷۵۸/۳	۵۹۲۶۲/۱	۴۱۲۹۴/۸
گوجه فرنگی	۰/۰۱۲	۰/۰۵۰۶	۰/۰۵۰۶	۰/۰۳۹	۸۳۴۱/۵۴۹۶
پیاز					
سیب زمینی					
عملکرد (کیلو گرم / هکتار)					
کل تولید (کیلو گرم)					
آب (مترمکعب / هکتار)	۱۱۱۰/۶۶۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، عدم ریسک، حداقل کردن گندم و جو						
شماره کم آبیاری						محصول
	۴	۶	۱۷	۱۹	۲۵	
◦			◦/۱۲			جو
-۲۵۶۶/۵۸				◦/۵۰۶	◦/۰۱۲	گوجه فرنگی
◦			◦/۱۶			پیاز
◦		◦/۲۰۲				سبز زمینی
	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۳۸۶۸۶	۴۳۷۵۸/۳	عملکرد (کیلو گرم / هکتار)
	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۴۷۶/۱۲۴	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۵۲۵/۰۹۹۶	کل تولید (کیلو گرم)

  

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندرقند، عدم ریسک، حداقل کردن سبز زمینی، پیاز و گوجه فرنگی						
شماره کم آبیاری						محصول
	۴	۶	۱۷	۲۵		
◦/۳۷۶/۹۳۱۵			◦/۲۱۵			جو
◦				◦/۵۱۸		گوجه فرنگی
◦		◦/۱۶				پیاز
-۳۹۲۳/۰۱	◦/۱۰۷					سبز زمینی
	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳		عملکرد (کیلو گرم / هکتار)
	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۸۳/۰۵۵۵	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴		کل تولید (کیلو گرم)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شد و بدین طریق الگوهای بهینه کشت در شرایطی که سطح زیرکشت محصولات وارداتی و صادراتی حداقل شده‌اند، به دست 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 در حالتی که آب مجازی اضافه شده و سپس از مقدار جواب بهینه ۳ درصد کم و محصولات وارداتی یا صادراتی 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 کیلو گرم و گوجه فرنگی ۱۱۹۵ کیلو گرم کاهش یافته‌اند. اما، گندم که یک محصول وارداتی تلقی می‌شود در این حالت به مقدار ۳۵۰ کیلو گرم افزایش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود در این حالت که سطح زیرکشت جو و در نتیجه مقدار تولید آن به عنوان یک محصول وارداتی کاهش

سبز زمینی، 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 نظر ممکن است برای جامعه سودی داشته باشد. به بیان دیگر، در این حالت از لحظه نگاه به خالص واردات آب مجازی بهتر آنست که سطح زیرکشت این محصولات حداقل شود بهینه کشت صفر باشد و وقتی تک تک محصولات در الگوی چنین چیزی در مدل عملأً رخ می‌دهد و در این شرایط نیاز داخلی که از تولید داخلی تأمین می‌شود مورد غفلت قرار گرفته است. با توجه به این مسئله 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

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 در حالت 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، مقدار مصرف آب در الگوی بهینه کشت با حالت آب مجازی از مقدار موجود آب آبیاری (یعنی بدون در نظر گرفتن آب مجازی) کمتر است و نشان می‌دهد در شرایطی که ریسک در مدل لحاظ می‌شود و با واقعیت‌های موجود، مدل بیشتر سازگار می‌شود آب مجازی در حقیقت به صورت مجازی اضافه شده است!

جدول ۳ هم‌چنین الگوهای بهینه کشت در حالتی که سطح زیرکشت جو به عنوان یک محصول وارداتی حداقل شده به علاوه، 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 نظر صریحی کرد. وقتی سطح ریسک ۸۵ درصد در مقدار آب در دسترس مورد بررسی قرار می‌گیرد جدول ۳ نشان می‌دهد که گندم به میزان ۴۵۸ کیلوگرم افزایش یافته و جو، گوجه فرنگی و سیب‌زمینی به ترتیب ۴۷۶ و 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،

می‌باید 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 مقدار خالص 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 مقدار کاهش 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 در حالت آب مجازی و حداکثر کردن سود خالص اجتماعی، در جدول مشخص است) افزایش یافته است.

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در حالت حداقل کردن سطح زیرکشت گندم فقط مقدار گوجه فرنگی که یک محصول صادراتی است به مقدار ۲۵۶۶ کیلو گرم در الگوی بهینه کشت کاهش یافته و مقدار تولید محصولات دیگر تغییر نکرده است. لذا، می‌توان گفت در این حالت الگوی بهینه کشت از لحاظ خالص واردات آب مجازی در وضعیت بهتری نسبت به الگوی کشت مرجع قرار گرفته است. با ایستی اشاره کرد که اضافه کردن آب مجازی به معنای مصرف کامل آن در الگوی بهینه کشت به دست آمده نیست و زمانی که ریسک در مدل مورد نظر قرار گیرد اصولاً مقدار آب مصرفی الگوهای بهینه کشت با حالت شرایط عدم آب مجازی در مدل فرق چندانی ندارد.

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در حالتی 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 و پیاز 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

**جدول ۳. الگوهای بهینه کشت (هکتار) در شرایط کارایی ۶۵٪، بدون چندرقند، سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس و ...**

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت ریسک عدم آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چندرقند، سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					محصول
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
۰/۰۲۷					گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰/۴۶۴	۰/۲۴۲	۰/۱۳۲	۰/۱۲	۰/۱۲	جو (کم آبیاری ۱۷)
۰/۳۴۸	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	۰/۲۴	۰/۲۷۸	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۲۰۲	۰/۰۳۲	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
				۰/۱۶۹	پیاز (کم آبیاری ۶)
۶۳۷۱۰۷/۱۲	۷۳۹۹۲۱/۰۶	۷۷۰۸۹۴/۰۳	۷۹۴۱۵۷/۸۰۹	۸۳۲۸۶۹/۰۱	سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
۷۱۱/۸۸۱	۸۷۳/۲۷۶	۹۲۹/۹۸۳	۹۷۷/۹۶۵	۱۰۶۰/۸۴۴	سبز زمینی (کم آبیاری ۳۵)
					سود اجتماعی (ده ریال)
					آب آبیاری (ده متر مکعب)
کل تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
۱۱۸/۱۹۵۲					۴۳۷۷/۶
۱۸۴۱/۰۱۲۸	۹۶۰/۱۸۳۴	۵۲۳/۷۳۶۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۳۹۶۷/۷
۱۳۴۶۲/۲۲۸					۳۸۶۸۶
۰	۲۰۳۷۹/۰۵۲	۲۰۳۷۹/۰۵۲	۹۴۴۲/۰۳۲		۳۹۳۴۱/۸
۰			۱۲۱۶۴/۸۰۷۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۴۳۷۵۸/۳
۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
۰	۲۴۱۵/۰۶۴	۵۷۳۵/۷۷۷	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۹۶۶۰/۰۲۵۶	۳۰۱۸۸/۳
۰				۶۳۷۷/۰۴۶	۳۷۷۲۴
کل تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
۰/۳۷۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	جو (کم آبیاری ۱۷)
۰/۴۶۶					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
	۰/۴۲۵	۰/۰۵۱			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
	۰/۰۹۳	۰/۴۶۷	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	پیاز (کم آبیاری ۶)
	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۰۵۵	۰/۱۴۷	سبز زمینی (کم آبیاری ۴)
					سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
۶۸۹۲۱۰/۲۵	۷۸۰۷۶۴/۴۴	۸۰۷۷۷۴/۴۹	۸۲۹۹۶۷/۶۶	۸۴۴۴۴۳/۵۶	سبز اجتماعی (ده ریال)
۷۸۸/۴۵۱	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۵۴/۵۳۵	۱۱۱۰/۶۶۹	آب آبیاری (ده متر مکعب)
کل تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
۱۴۸۲/۹۱۹۸	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۳۹۶۷/۷
۱۸۰۲۷/۶۷۶					۳۸۶۸۶
	۱۶۷۲۰/۲۶۵	۲۰۰۶/۴۳۱۸			۳۹۳۴۱/۸
	۴۰۶۹/۵۲۱۹	۲۰۴۳۵/۱۲۶	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۴۳۷۵۸/۳
۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۱۶۶۰/۳۵۶۵	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۴۱۲۹۴/۸
				۵۵۴۶/۸۹۸	۳۰۱۸۸/۳
					۳۷۷۲۴

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، بدون چغتارقند، حداقل کردن جو به عنوان یک محصول وارداتی				
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)				
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰
-۰/۲۱۷	۰/۰۰۷	۰/۱۵۷	۰/۱۲	گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۰۰۷	۰/۳۱۴	گندم آبیاری (۲۷)
۰/۱۲۸	۰/۷۰۸	۰/۳۳۸	۰/۲۰۳	گندم (کم آبیاری ۴۰)
۰/۳۹		۰/۱۷۹	۰/۱۶	جو (کم آبیاری ۱۷)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)
۰/۲۰۲		۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۹۹۴/۸۹۴	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۵۴/۵۴۳	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
فاقد جواب	فاقد جواب	جواب	جواب	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس				
	۸۷/۵	۸۵	۸۰	عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
۲۰/۴۶۲۴	۴۵۸/۹۴۲۴	۳۵۰/۷۸۴	۴۳۷۷/۶	
۴۷۱/۳۰۰۴				۲۹۱۳/۲
				۴۱۷۰/۸
		۹۱/۶۴۸۲		۳۹۶۷/۷
۱۳۰/۷۵/۸۶۸		۱۲۱۴۷/۴۰۴		۱۳۰۹۲/۶
				۳۸۶۸/۶
۷۸۳۲/۷۳۵۷	۲۲۳۶۰/۴۹۱۳	۸۸۸۲/۹۳۴۹		۳۹۳۴۱/۸
۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶		۴۳۷۵۸/۳
	۶۸۱۳/۶۴۲	۸۳۴۱/۵۴۹۶		۵۹۲۶۲/۱
				۴۱۲۹۴/۸
۷۶۲۲/۲۶۸				۳۰۱۸۸/۳
				۳۷۷۲۴
افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن جو				
۸۷/۵	۸۵	۸۰	محصول	
۴۹۱/۷۶۲۸	۴۵۸/۹۴۲۴	۳۵۰/۷۸۴	گندم (کم آبیاری ۱۴)	
-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴	گندم آبیاری (۲۷)	
			گندم (کم آبیاری ۴۰)	
			جو (کم آبیاری ۱۷)	
-۱۵۳۲/۹۵۴	-۳۰۶/۳۰۸۱	-۱۶۳۶/۴۶۱	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)	
۰	۰	۰	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)	
۱۵۲۴/۲۳۱۴	-۳۹۳/۸۱۲۵	۰	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)	
			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	
			پیاز (کم آبیاری ۶)	
			سیب زمینی (کم آبیاری ۴)	
			سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)	
			سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)	

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، بدون چوندرقد، حداقل کردن گندم به عنوان یک محصول وارداتی سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					محصول
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
-۰/۲۱۷					گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲۱۵	جو (کم آبیاری ۱۷)
۰/۱۲۸	۰/۷۰۸	۰/۴۴۵	۰/۵۰۶		گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۰/۳۹		۰/۰۷۳	۰/۰۱۲	۰/۵۱۸	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	پیاز (کم آبیاری ۶)
۰/۲۰۲		۰/۰۶۵	۰/۲۰۲	۰/۱۰۷	سبز زمینی (کم آبیاری ۴)
۹۹۴/۸۹۴	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۲۳/۸۰۱	۱۰۱۶/۳۸۳	سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
فاقد جواب	فاقد جواب	جواب	جواب	جواب	آب آبیاری (ده متر مکعب)
کل تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
	۸۷/۵	۸۵	۸۰		۴۳۷۷/۶
۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۸۵۳/۰۵۵۵			۳۹۶۷/۷
۱۷۲۱۵/۲۷	۱۹۵۷۵/۱۱۶				۳۸۶۸/۶
۳۱۹۴/۳۵۵۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۲۲۶۶۶/۷۹۹			۳۹۳۴/۱
۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶			۵۹۲۶۲/۱
۲۶۸۴/۱۶۲	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۴۴۱۸/۵۴۳۶			۴۱۲۹۴/۸
۵۱۳۱/۸۲۴					۳۰۱۸۸/۳
					۳۷۷۳/۴
افزایش یا کاهش تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم					محصول
	۸۷/۵	۸۵	۸۰		
۰	۰	۰			گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰	۰	۳۷۶/۹۳۱۵			جو (کم آبیاری ۱۷)
-۲۰۳۱/۹۳۲	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	۰			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۰	۰	۰			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
۱۷۱۷/۹۴۹۴	۱۱۳۴/۲۹۵۱	-۳۹۲۳/۰۰۶			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
					پیاز (کم آبیاری ۶)
					سبز زمینی (کم آبیاری ۴)
					سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
					سبز زمینی (کم آبیاری ۳۵)

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، بدون چغندرقند، حداقل کردن گندم و جو به عنوان محصولات وارداتی

سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)

محصول

۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
	-۰/۲۱۷				گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	جو (کم آبیاری ۱۷)
				۰/۰۶۲	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)
	۰/۷۰۸	۰/۴۴۵	۰/۵۰۶		گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۰/۱۲۸					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
۰/۳۹		۰/۰۷۳	۰/۰۱۲	۰/۴۵۵	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	پیاز (کم آبیاری ۶)
		۰/۰۶۵	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	سبز زمینی (کم آبیاری ۴)
۰/۲۰۲		۰/۱۳۶			سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
۹۹۴/۸۹۴	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۲۳/۸۰۱	۱۰۸۰/۸۶۱	آب آبیاری (ده متر مکعب)
فاقد جوب	فاقد جوب	جواب	جواب	جواب	مدل دارای ...
کل تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
	۸۷/۵	۸۵	۸۰		۴۳۷۷/۶

۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴	۳۹۶۷/۷
		۸۱۱/۷۴۱۲	۱۳۰۹۲/۶
۱۷۲۱۵/۲۷	۱۹۵۷۵/۱۱۶		۳۸۶۸/۶
			۲۹۳۴۱/۸
۳۱۹۴/۳۵۵۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۱۹۹۱۰/۰۲۷	۴۳۷۵۸/۳
۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۵۹۲۶۲/۱
۲۶۸۴/۱۶۲	۸۲۴۱/۵۴۹۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۴۱۲۹۴/۸
			۳۰۱۸۸/۳
۵۱۳۱/۸۲۴			۳۷۷۳۴

افزایش یا کاهش تولید (کیلو گرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم و جو

محصول

۸۷/۵	۸۵	۸۰	
°	°	°	گندم (کم آبیاری ۱۴)
°	°	°	جو (کم آبیاری ۱۷)
			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)
			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
			گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
-۲۰۳۱/۹۳۲	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	-۱۹۴۵/۰۳۲	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
		°	پیاز (کم آبیاری ۶)
			سبز زمینی (کم آبیاری ۴)
			سبز زمینی (کم آبیاری ۱۹)
۱۷۱۷/۹۴۹۴	۱۱۳۴/۲۹۵۱	°	سبز زمینی (کم آبیاری ۳۵)

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، بدون چگندرفت، حداقل کردن سیبزمینی، پیاز، گوجه فرنگی به عنوان محصولات صادراتی					
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					محصول
۹۵	۹۰	۸۷/۵	۸۵	۸۰	
-۰/۲۱۷					گندم (کم آبیاری ۱۴)
۰/۱۲	۰/۳۴۸	۰/۲۰۹	۰/۲۱۵	۰/۲۱۵	جو (کم آبیاری ۱۷)
	۰/۷۰۸				گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
۰/۱۲۸					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
۰/۳۹		۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	پیاز (کم آبیاری ۶)
		۰/۰۳۲	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	سیبزمینی (کم آبیاری ۴)
۰/۲۰۲		۰/۰۸۲			سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)
۹۹۴/۸۹۴	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۱۶/۳۸۳	۱۰۱۶/۳۸۳	آب آبیاری (ده متر مکعب)
فاقد جواب	فاقد جواب	جواب	جواب	جواب	مدل دارای ...
کل تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک در مقدار آب در دسترس					عملکرد (کیلو گرم/هکتار)
	۸۷/۵	۸۵	۸۰		
					۴۳۷۷/۶
	۸۲۹/۲۴۹۳	۸۵۳/۰۵۵۵	۸۵۳/۰۵۵۵		۳۹۶۷/۷
					۳۸۶۸/۶
					۳۹۳۴/۱/۸
	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹		۴۳۷۵/۸/۳
	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶		۵۹۲۶۲/۱
	۱۳۲۱/۴۳۳۶	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۴۴۱۸/۵۴۳۶		۴۱۲۹۴/۸
		۳۰۹۴/۱۸۸			۳۰۱۸۸/۳
					۳۷۷۲۳/۴
افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گوجه فرنگی، پیاز و سیبزمینی به عنوان محصولات صادراتی					محصول
	۸۷/۵	۸۵	۸۰		
	۰	۰	۰		گندم (کم آبیاری ۱۴)
	۳۵۳/۱۲۵۲	۳۷۶/۹۳۱۵	۳۷۶/۹۳۱۵		جو (کم آبیاری ۱۷)
					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
	۲۲۵/۲۴۱۵	۰	۰		گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
	۰	۰	۰		پیاز (کم آبیاری ۶)
					سیبزمینی (کم آبیاری ۴)
	-۱۶۸۲/۴۱۵	-۲۷۸۸/۷۱۰۹	-۳۹۲۳/۰۰۶		سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)
					سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)

مأخذ: یافته های تحقیق

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

مقدار تولید پیاز و سیبزمینی تغییر نکرده اند. 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، می توان گفت که از لحاظ خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع در وضعیت بهتری قرار دارد.

در صد ریسک در مقدار آب در دسترس فاقد جواب می‌باشد. در سطح ۸۷/۵ در صد ریسک در مقدار آب در دسترس، جو و گوجه فرنگی به ترتیب ۳۵۳ و ۲۲۵ کیلوگرم افزایش و سیب زمینی 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 قرار دارد. در سطح ۸۵ در صد ریسک در مقدار آب در دسترس، مقدار تولید گندم، گوجه فرنگی و پیاز تغییری نکرده و جو و سیب زمینی 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 قرار دارد. در سطح ۸۰ در صد ریسک در مقدار آب در دسترس تنها تغییر مشاهده شده ۲۷۸۸ در مقایسه با سطح ۸۵ در صد، کاهش بیشتر سیب زمینی از 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 به دست 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 روش 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 کشور می‌شود، 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 به عنوان مقدمه‌ای درجهت حرکت به این سمت تلقی شود.

در دسترس گوجه فرنگی ۲۰۳۱ و سیب زمینی ۱۷۱۷ کیلو گرم به ترتیب کاهش و افزایش یافته‌اند. با توجه به تغییرات تولید نمی‌توان اظهار نظر صریحی نسبت به خالص واردات آب مجازی الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت مرجع بیان کرد. در سطح ۸۵ در صد ریسک در مقدار آب در دسترس، گوجه فرنگی ۲۵۶۲ و سیب زمینی 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 در صد در مقدار آب در دسترس، جو ۳۷۶ و سیب زمینی ۳۹۲۳ کیلوگرم به ترتیب افزایش و کاهش 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 در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مدل در سطح ۹۵ و ۹۰ در صد ریسک در مقدار آب در دسترس فاقد جواب می‌باشد. جواب الگوی بهینه کشت نسبت به حالت حداقل کردن سطح زیرکشت گندم به تنها در سطوح ریسک ۸۷/۵ و ۸۵ در صد در مقدار آب در دسترس فرقی نکرده است. در سطح ۸۰ در صد، تنها محصولی که مقدار تولید آن تغییر کرده 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.

در حالت حداقل کردن سطح زیرکشت محصولات صادراتی (گوجه فرنگی، سیب زمینی و پیاز) مدل در سطوح ۹۵ و ۹۰

## 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 ۵-۳:۲۴.
۳. صبوحی، م. و غ. سلطانی. ۱۳۷۵. مدل سازی ایجاد گزینه، ابزاری در برنامه‌ریزی کشاورزی: تعیین مناسب ترین جیره برای گاوها 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](mailto:mccarl@tamu.edu).