

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

محمود صبحی<sup>۱\*</sup> و غلامرضا سلطانی<sup>۲</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 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 به دست آمده، می توان الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه را به سمتی که دارای ویژگی های حداکثر شدن 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 می گردد. افزون بر آن، لازم است که بیشتر، یک الگوی مناسب واردات و صادرات محصولات زراعی طراحی و سپس الگوهای کشت را در جهت آن هدایت کرد. این مطالعه می تواند به عنوان مقدمه ای در جهت حرکت به این موضوع نگاه شود.

واژه های کلیدی: آب مجازی، منافع اجتماعی، الگوهای کشت، واردات، صادرات

### مقدمه

مؤثر می باشند. برای مثال، کارایی مصرف آب در سطح محلی را می توان با استفاده از سیاست قیمت گذاری آب و توسعه تکنولوژی های آب اندوز افزایش داد. در سطح حوضه، صحبت از ارزش آب در مصارف مختلف می باشد که در این راستا سیاست های کلان بیشتر مؤثر است. در سطح جهانی می توان 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 برنامه ریزی 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 کراراً تکرار شده است. هم چنین مطرح شد که اگر با منابع آب به طور صحیحی به عنوان یک کالای اقتصادی برخورد شود مسایل کمیابی آب، مصرف بی رویه و کاهش کیفیت آن حل خواهد شد. اگر آب به عنوان یک کالای اقتصادی در نظر گرفته شود، در سه سطح می توان به کارایی اقتصادی در مصرف آن نگاه کرد. این سطوح شامل سطح مصرف کننده، حوضه و جهانی است. در تحقق چنین کارایی هایی 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، 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 به کارگرفته 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 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. 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.

به صورتی متفاوت از مدل های سطح مزرعه تعیین گردید. در واقع، مدل با فرض هیچ گونه 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 این که یکی از نهاده های اساسی در فرایند تولید محصولات زراعی آب، آبیاری می باشد و با توجه به عدم تعادل موجود در عرضه و تقاضای آن، مدل تنها با فرض محدودیت آب آبیاری طراحی شد.

ساختار مدل برنامه ریزی در سطح حوضه آبریز (حریرود و کشف رود) به صورت زیر می باشد.

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

که NSB منافع خالص اجتماعی،  $y_{cd}$  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 سایه ای واحد محصول  $c$  در منطقه،  $sc_c$  هزینه های 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،  $\bar{x}_c$  حداکثر سطح زیرکشت محصول  $c$  ام،  $w_{cd}$  نیاز آبی محصول  $c$  در منطقه که مقدار آن بر اساس تنش های مختلف در مراحل رشد گیاه با لحاظ کردن سه سطح کارایی در سیستم بهره برداری و مصرف آب در سطح مزرعه محاسبه می گردد (نحوه به دست آوردن آن در ادامه توضیح داده شده است).  $NVWI$  خالص واردات آب مجازی در هر هکتار در سال می باشد که مقدار و نحوه رسیدن به آن در

صادر و بقیه در داخل مصرف می شود. به بیان دیگر باید دید چه مقدار از تولید الگوهای بهینه کشت برای محصولات وارداتی و صادراتی را برای داخل و خارج می توان 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 می شود 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 داده های 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 می توان 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 بهینه سازی 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 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 فعالیت ها، قیمت و یا ارزش اجتماعی آنها منظور شد و ضرایب فنی و مقدار آب در دسترس

اجتماعی لازم به نظر می‌رسد.

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

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

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 ۴، عملکرد واقعی را از رابطه ۵، می‌توان به‌دست آورد:

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

حداکثر سطح زیرکشت محصولات در مدل برابر با مقدار موجود آنها در نمونه در سطح اهکتار در نظر گرفته 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 نظر گرفته 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 نظر گرفته 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 نظر گرفته شد. مقدار ریسک در میزان آب در دسترس در سطوح ۸۰، ۸۵، ۸۷/۵، ۹۰ و ۹۵ درصد برای مقدار  $Z_\alpha$  در مدل، در نظر گرفته شد. از طرف دیگر به دلیل اهمیت راندمان آبیاری، در آبیاری محصولات زراعی سه سطح کارایی ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در نظر گرفته 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 نظر گرفته شد (۸).  $\bar{w}$  مقدار متوسط آب در دسترس می‌باشد که در مطالعه حاضر در سطح ۱ هکتار محاسبه شد.  $Z_\alpha$  (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). در مطالعه حاضر روش اول مورد استفاده قرار گرفت.  $\sigma_w$  مقدار انحراف معیار آب 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):

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

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  $Z$  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 (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 و گیاه باشد، برای تعیین دقیق‌تر منافع

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 صلاحیت 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) (کشوردر حال حاضر در هر دو 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.

$$\begin{aligned} \text{minimize } & (1) \sum_d^m x_{\text{wheat},d} \\ & (2) \sum_d^m x_{\text{barely},d} \\ & (3) \sum_d^m x_{\text{wheat},d} + \sum_d^m x_{\text{barely},d} \\ & (4) \sum_d^m x_{\text{potato},d} + \sum_d^m x_{\text{tomato},d} + \sum_d^m x_{\text{onion},d} \\ \text{subject to } & \left( \sum_{c=1}^n \sum_{d=1}^m [y_{acd} (sp_c - sc_c) - w_{cd} * pw] * x_{cd} \right) \\ & \geq (1 - 0/03) * NSB \\ & \sum_c^n \sum_{d=1}^m x_{cd} = \bar{x} \\ & \sum_d^m x_{cd} \leq \bar{x}_c \quad \forall c \\ & \sum_c^n \sum_d^m w_{cd} x_{cd} \leq \bar{w} + NVWI - Z_\alpha \sigma_w \\ & x_{cd} \geq 0 \end{aligned} \quad [6]$$

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، 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 نظر گرفته شده کاهش می‌یابد. در ردیف محدودیت‌های مدل، به دلیل آن که چغندر قند در منطقه بر اساس 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 چغندر قند 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 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 بر اساس 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 HJS (Hop-Skip-Jump) می‌باشد. در این روش نخستین گام

## 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 هر جا که در مطالعه حاضر استفاده شده، به منبع آن اشاره گردیده است. داده‌های جمع‌آوری 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 به‌دست 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، همسوس است و پاراگراف زیر که 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 صحرائی 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 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 بازدهی‌های محلی و مشاوره با متخصصین کشاورزی محل انجام شده است. برای محاسبات نیاز آبی روش فائو پنمن - مانیت در دوره‌های ۱۰ روزه و ماهانه به‌کار گرفته شده است که در نتیجه تبخیر- تعرق، باران مؤثر و نیازخالص آبیاری در هر 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 در حالت 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 کسر گردد. 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 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 به‌صورت حجم آب در سال) براساس رابطه ۷ تعریف می‌شود (۱۳):

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

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

ماخذ: تجارت آب مجازی، هوکسترا وهانگ (۲۰۰۲)

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

$$\text{Water Footprint} = \text{WU} + \text{NVWI} \quad [7]$$

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 چغندر قند، کارایی ۶۵٪ و....

سطح زیر کشت الگوی موجود در ۱ هکتار (هکتار)					
گندم	جو	گوجه فرنگی	چغندر قند	سیب زمینی	پیاز
۰/۱۲۹	۰/۳۰۶۲	۰/۳۶۰۵	۰/۱۵۷۶	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۲۶

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

محصول	شماره کم آبیاری			
	۴	۶	۱۷	۲۵
جو			۰/۱۲	
گوجه فرنگی				۰/۵۱۸
پیاز		۰/۱۶		
سیب زمینی	۰/۲۰۲			
عملکرد (کیلوگرم / هکتار)	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳
کل تولید (کیلوگرم)	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۴۷۶/۱۲۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴
سود (ده ریال)				۸۴۴۴۳/۵۶۲
آب (مترمکعب / هکتار)				۱۱۱۰/۶۶۹

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت عدم ریسک، بدون چغندر قند و در نظر گرفتن آب مجازی و کارایی ۶۵٪ (الگوی کشت مرجع)

محصول	شماره کم آبیاری			
	۴	۶	۱۷	۲۵
جو			۰/۱۲	
گوجه فرنگی				۰/۵۱۸
پیاز		۰/۱۶		
سیب زمینی	۰/۲۰۲			
عملکرد (کیلوگرم / هکتار)	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳
کل تولید (کیلوگرم)	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۴۷۶/۱۲۴	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴
سود (ده ریال در هکتار)				۸۴۴۴۳/۵۶۲
آب (مترمکعب / هکتار)				۱۱۱۰/۶۶۹

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

محصول	شماره کم آبیاری				
	۴	۴	۶	۲۵	۲۷
گندم					۰/۱۲
گوجه فرنگی				۰/۴۷۹	
پیاز			۰/۱۶		
سیب زمینی	۰/۲۰۲				
جو (کم آبیاری ۱۷)					
عملکرد (کیلوگرم / هکتار)	۴۱۲۹۴/۸	۱۳۰۹۲/۶	۵۹۲۶۲/۱	۴۳۷۵۸/۳	۲۹۲۳/۲
کل تولید (کیلوگرم)	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۵۱۰۶/۱۱۴	۹۴۸۱/۹۳۶	۲۰۹۶۰/۲۲۵۷	۳۵۰/۷۸۴

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

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



الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند، عدم ریسک، حداقل کردن گندم و جو					
محصول	شماره کم آبیاری				
	۴	۶	۱۷	۱۹	۲۵
جو			۰/۱۲		
گوجه فرنگی				۰/۵۰۶	۰/۰۱۲
پیاز		۰/۱۶			
سیب زمینی	۰/۲۰۲				
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۳۸۶۸۶	۴۳۷۵۸/۳
کل تولید (کیلوگرم)	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۴۷۶/۱۲۴	۱۹۵۷۵/۱۱۶	۵۲۵/۰۹۹۶

  

الگوی بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند، عدم ریسک، حداقل کردن سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی					
محصول	شماره کم آبیاری				
	۴	۶	۱۷	۲۵	
جو			۰/۲۱۵		
گوجه فرنگی				۰/۵۱۸	
پیاز		۰/۱۶			
سیب زمینی	۰/۱۰۷				
عملکرد (کیلو گرم /هکتار)	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	
کل تولید (کیلوگرم)	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۸۵۳/۰۵۵۵	۲۲۶۶۶/۷۹۹۴	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شد و بدین‌طریق 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 درحالی 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 کیلوگرم و گوجه فرنگی ۱۱۹۵ کیلوگرم 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

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 نظر ممکن است برای جامعه سودی داشته باشد. به بیان دیگر، در این حالت از لحاظ نگاه به خالص واردات آب مجازی بهتر است 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 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 چغندرقد، 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 گوجه‌فرنگی 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، گوجه‌فرنگی 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،

می‌یابد حداکثر شدن منافع اجتماعی حکم می‌کند سطح زیرکشت کاهش یافته به محصولاتی اختصاص یابد که منافع اجتماعی حداکثر شود 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 گوجه‌فرنگی 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 گوجه‌فرنگی که یک محصول صادراتی است به مقدار ۲۵۶۶ کیلوگرم 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. بایستی 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 (گوجه‌فرنگی، 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

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

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت ریسک عدم آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند،					
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					گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)
	۰/۵۱۸	۰/۵۱۸	۰/۲۴		گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)
			۰/۲۷۸	۰/۵۱۸	گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)
۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	پیاز (کم آبیاری ۶)
	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۲۰۲	۰/۰۳۲	سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)
				۰/۱۶۹	سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)
۶۳۷۱۰۷/۱۲	۷۳۹۹۲۱/۰۶	۷۷۰۸۹۴/۰۳	۷۹۴۱۵۷/۸۰۹	۸۳۲۸۶۹/۰۱	سود اجتماعی (ده ریال)
۷۱۱/۸۸۱	۸۷۲/۲۷۶	۹۲۹/۹۸۳	۹۷۷/۹۶۵	۱۰۶۰/۸۴۴	آب آبیاری (ده متر مکعب)
کل تولید (کیلوگرم) 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
۱۳۴۶۲/۷۲۸					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	۹۶۶/۰۲۵۶	۳۰۱۸۸/۳
۰				۶۳۷۷/۰۴۶	۳۷۷۳۴
الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت ریسک، بدون چغندر قند و در نظر گرفتن آب مجازی و کارایی ۶۵٪ (الگوی کشت مرجع)					
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					محصول
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	سیب زمینی (کم آبیاری ۴)
	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۰۵۵		سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)
			۰/۱۴۷		سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)
۶۸۹۲۱۰/۲۵	۷۸۰۷۶۴/۴۴	۸۰۷۷۷۴/۴۹	۸۲۹۹۶۷/۶۶	۸۴۴۴۴۳/۵۶	سود اجتماعی (ده ریال)
۷۸۸/۴۵۱	۹۴۹/۸۴۶	۱۰۰۶/۵۵۳	۱۰۵۴/۵۳۵	۱۱۱۰/۶۶۹	آب آبیاری (ده متر مکعب)
کل تولید (کیلوگرم) 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
				۸۳۴۱/۵۴۹۶	۴۱۲۹۴/۸
	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۶۰۹۸/۰۳۶۶	۱۶۶۰/۳۵۶۵		۳۰۱۸۸/۳
			۵۵۴۶/۸۹۸		۳۷۷۳۴

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند، حداقل کردن جو به عنوان یک محصول وارداتی

محصول	سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)		
	۸۰	۸۵	۸۷/۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)	۰/۱۲	۰/۱۵۷	۰/۰۰۷
گندم آبیاری (۲۷)			۰/۱۱۳
گندم (کم آبیاری ۴۰)			۰/۳۴۸
جو (کم آبیاری ۱۷)		۰/۰۰۷	
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)	۰/۳۱۴	۰/۳۳۸	۰/۷۰۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)			۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)	۰/۲۰۳	۰/۵۱۱	۰/۳۹
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰/۲۰۲	۰/۱۶۵	۰/۲۰۲
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)			۰/۲۰۲
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)			۹۹۴/۸۹۴
سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)			۹۴۹/۸۴۶
آب آبیاری (ده متر مکعب)	۱۰۴۴/۴۱۳	۱۰۵۴/۵۳۵	۱۰۰۶/۵۵۳
مدل دارای ...	جواب	جواب	جواب
عملکرد (کیلو گرم/هکتار)	۸۰	۸۵	۸۷/۵
	۴۳۷۷/۶	۴۵۸/۹۴۲۴	۲۰/۴۶۲۴
	۲۹۲۳/۲	۴۷۱/۳۰۰۴	
	۴۱۷۰/۸		
	۳۹۶۷/۷	۹۱/۶۴۸۲	
	۱۳۰۹۲/۶		
	۳۸۶۸۶		۱۳۰۷۵/۸۶۸
	۱۲۱۴۷/۴۰۴		
	۳۹۳۴۱/۸		
	۴۳۷۵۸/۳	۲۲۲۶۰/۴۹۱۳	۷۸۳۲/۷۳۵۷
	۵۹۲۶۲/۱	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶
	۴۱۲۹۴/۸	۶۸۱۳/۶۴۲	
	۳۰۱۸۸/۳		
	۳۷۷۳۴		۷۶۲۲/۲۶۸
افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن جو	۸۰	۸۵	۸۷/۵
گندم (کم آبیاری ۱۴)			
گندم آبیاری (۲۷)			
گندم (کم آبیاری ۴۰)	۳۵۰/۷۸۴	۴۵۸/۹۴۲۴	۴۹۱/۷۶۲۸
جو (کم آبیاری ۱۷)	-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴	-۴۷۶/۱۲۴
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۴)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۱۹)			
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)	-۱۶۳۶/۴۶۱	-۳۰۶/۳۰۸۱	-۱۵۳۲/۹۵۴
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰	۰	۰
پیاز (کم آبیاری ۶)			
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)			
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)			
سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)	۰	-۳۹۳/۶۱۲۵	۱۵۲۴/۲۳۱۴

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند، حداقل کردن گندم به عنوان یک محصول وارداتی					
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					
محصول	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 آبیاری ۲۰)					۰/۱۲۸
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰/۵۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۷۳		۰/۳۹
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)	۰/۱۰۷	۰/۲۰۲	۰/۰۶۵		
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب زمینی (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
	۸۵۳/۰۵۵۵	۴۷۶/۱۲۴	۴۷۶/۱۲۴		۳۹۶۷/۷
		۱۹۵۷۵/۱۱۶	۱۷۲۱۵/۲۷		۳۸۶۸۶
					۳۹۳۴۱/۸
	۲۲۶۶۶/۷۹۹	۵۲۵/۰۹۹۶	۳۱۹۴/۳۵۵۹		۴۳۷۵۸/۳
	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶	۹۴۸۱/۹۳۶		۵۹۲۶۲/۱
	۴۴۱۸/۵۴۳۶	۸۳۴۱/۵۴۹۶	۲۶۸۴/۱۶۲		۴۱۲۹۴/۸
					۳۰۱۸۸/۳
			۵۱۳۱/۸۲۴		۳۷۷۳۴
افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم					
محصول	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 آبیاری ۲۰)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	۰	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	-۲۰۳۱/۹۳۲		
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰	۰	۰		
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)					
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)					
سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)	-۳۹۲۳/۰۰۶	۱۱۳۴/۲۹۵۱	۱۷۱۷/۹۴۹۴		

الگوهای بهینه کشت (هکتار) در حالت آب مجازی، ۶۵٪ کارایی، بدون چغندر قند، حداقل کردن گندم و جوبه عنوان محصولات وارداتی					
سطح ریسک در مقدار آب در دسترس (%)					
محصول	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 آبیاری ۱۹)		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 آبیاری ۶)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)	۰/۲۰۲	۰/۲۰۲	۰/۰۶۵		
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)					۰/۲۰۲
سیب زمینی (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
					۳۹۶۷/۷
	۸۱۱/۷۴۱۲				۱۳۰۹۲/۶
		۱۹۵۷۵/۱۱۶	۱۷۲۱۵/۲۷		۳۸۶۸۶
					۳۹۳۴۱/۸
					۴۳۷۵۸/۳
	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
					۳۷۷۳۴
افزایش یا کاهش تولید (کیلوگرم) در سطوح مختلف ریسک و حداقل کردن گندم و جو					
محصول	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 آبیاری ۱۹)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۰)					
گوجه فرنگی (کم آبیاری ۲۵)	-۱۹۴۵/۰۳۲	-۲۵۶۶/۵۸۳۸	-۲۰۳۱/۹۳۲		
پیاز (کم آبیاری ۶)	۰	۰	۰		
سیب زمینی (کم آبیاری ۴)					
سیب زمینی (کم آبیاری ۱۹)					
سیب زمینی (کم آبیاری ۳۵)	۰	۱۱۳۴/۲۹۵۱	۱۷۱۷/۹۴۹۴		



در دسترس گوجه فرنگی ۲۰۳۱ و سیبزمینی 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 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 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 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 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، 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 قرار دارد. 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 قرار دارد. 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 به دست آمده از حل مدل توسعه یافته در این مطالعه می‌توان الگوهای بهینه کشت را در سطح حوضه به سمتی که دارای ویژگی‌های، حداکثر شدن 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 که برای هر محصول وارد و یا خارج از کشور می‌شود، می‌باشد. افزون بر آن، لازم است که بیشتر یک الگوی مناسب واردات-صادرات محصولات زراعی طراحی و سپس الگوهای کشت را در جهت آن هدایت کرد. این مطالعه می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای در جهت حرکت به این سمت تلقی شود.



## 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. صبحی، م. و غ. سلطانی. ۱۳۷۵. مدل سازی ایجاد گزینه، ابزاری در برنامه ریزی 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 برنامه ریزی 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. Kendrick. 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).