

## تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی

محمود صبوحي\*، دکتر غلامرضا سلطانی\*\*، دکتر منصور زیبایی\*\*

دکتر جواد ترکمانی\*\*

تاریخ دریافت: ۸۴/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۲/۴

### چکیده

مقاله حاضر بخشی از کار تحقیقاتی تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری در منطقه خراسان با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی است. به این منظور مدل برنامه ریزی ریاضی در قالب برنامه ریزی خطی با محدودیت تصادفی ساخته شد و ضرایب فنی به طریقی متفاوت با تعیین ضرایب فنی متعارف در برنامه ریزی خطی مشخص گردید. این مدل در حالت با و بدون ریسک در مقدار آب در دسترس و با و بدون چغندر قند در سه سطح کارایی ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و در نظر گرفتن ۴۵ تنش متفاوت در مراحل مختلف رشد محصولات زراعی نمونه حل شد که نتایج سطح کارایی ۴۵ درصد در این مقاله

e-mail: msabuhi39@yhoo.com

\* عضو هیئت علمی دانشگاه زابل  
\*\* به ترتیب: استاد، استادیار و دانشیار دانشگاه شیراز

ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که سطح کارایی در مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه برای کشاورزان نمونه بیش از ۳۵ درصد است و کاهش مصرف آب در یک فعالیت الزاماً منجر به کاهش مصرف آب در الگوی کشت نمی‌شود. همچنین تخصیص بهینه آب آبیاری در سطح مزرعه زمانی اتفاق می‌افتد که بازده نهایی آب هم در مراحل مختلف رشد گیاه و هم در مراحل مختلف رشد گیاهان کشت شده در مزرعه برابر باشد. امکان افزایش سودخالص اجتماعی نیز هنگامی وجود دارد که چغندر قند با سود اجتماعی منفی در مدل لحاظ شود و نیز در هر مرحله از رشد خود با تنش زیاد مواجه گردد. با کاهش ریسک در مقدار آب آبیاری در دسترس و افزایش کارایی در مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه، سودخالص اجتماعی افزایش می‌یابد. به علاوه، یافته‌ها نشان می‌دهد در تعیین قیمت آب آبیاری باید دو عامل کارایی مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و منافع خالص اجتماعی در نظر گرفته شود با این توجه که از بعد منافع اجتماعی، در افزایش قیمت آب آبیاری محدودیت وجود دارد.

#### کلید واژه‌ها:

برنامه‌ریزی ریاضی، محدودیت تصادفی، کم‌آبایی، سود اجتماعی، کارایی مصرف

آب آبیاری

#### مقدمه

ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و منبع اصلی تأمین آب آن بارشهای جوی است که حدود ۴۲۹ میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود. از این مقدار  $305 \times 10^9$  متر مکعب (۷۱٪) به سبب تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌گردد،  $86 \times 10^9$  متر مکعب (۲۱٪) به صورت آبهای سطحی جریان پیدا می‌کند و  $38 \times 10^9$  متر مکعب به منابع آبهای زیرزمینی نفوذ می‌کند. از  $75 \times 10^9$  متر مکعب آب در دسترس سطحی و زیرزمینی،  $72/5 \times 10^9$  متر مکعب در بخش کشاورزی،  $2 \times 10^9$  متر مکعب در بخش خانوارها و  $0/5 \times 10^9$  متر مکعب در بخش صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب مصرفی در بخش کشاورزی صرف

تعیین راهبردهای مناسب ...

آبیاری ۷/۶ میلیون هکتار زمین در سال می‌شود که آبیاری ۶ میلیون هکتار آن به طور سنتی و ۰/۵ میلیون هکتار از راه آبیاری تحت فشار انجام می‌گیرد و ۱/۱ میلیون هکتار به صورت آیش نگهداری می‌شود (Pazira & Sadeghzadeh, 1999). متوسط بارندگی سالانه کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که ۴۰ درصد کمتر از متوسط بارندگی سالانه آسیا و تقریباً ۳۳ درصد متوسط بارندگی سالانه جهان می‌باشد. افزون بر آن، توزیع بارندگی، توزیع منابع آب (سطحی و زیرزمینی) و توزیع جمعیت با توجه به سطح کشور به شدت نابرابر می‌باشد. به طور مثال، منابع بالقوه آب تهران کمتر از ۲ درصد کل منابع آب کشور است در حالی که ۲۰ درصد جمعیت کشور را در بردارد (Vojdani, 2003).

افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی، بالا رفتن کیفیت سطح زندگی و رشد بخش صنعت باعث تقاضای فزاینده برای آب شده است. جهت پاسخگویی به این تقاضای رو به گسترش، سیاستهای توسعه منابع و افزایش عرضه آب از طریق ساخت سدهای مخزنی و چندمنظوره، احداث بند و کانالهای انتقال آب و سیاستهای توسعه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی مورد توجه بوده است. اما، به دلایل مختلف از جمله طراحی بعضاً ناقص، نگهداری ضعیف، بهره برداری غیر اصولی و پراکندگی مراکز تصمیم‌گیری، کارایی طرحهای آبیاری پایین بوده به طوری که بازده آبیاری در کشور بین ۳۰ تا ۳۵ درصد گزارش شده است (Pazira & Sadeghzadeh, 1999). از طرف دیگر، سیاستهای کلان و خرد با اهداف ایجاد برابری، تأمین امنیت غذایی، تسریع رشد اقتصادی و گسترش فناوری باعث مصرف و بهره برداری بی‌رویه از بعضی نهادهای تولید از جمله آب آبیاری شده، به طوری که در حال حاضر در سطح کشور بیلان آبهای زیرزمینی منفی (۹- کیلومتر مکعب در سال) است (Siadat, 2000).

چنین بهره‌برداری بی‌رویه‌ای در سطح استان خراسان کاملاً مشهود است. آمارهای موجود نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی در حال حاضر ۹/۷ میلیارد متر مکعب در سال است که ۱/۷ میلیارد متر مکعب آن بیش از ظرفیت ذخایر آبهای زیرزمینی استان می‌باشد. این برداشت اضافی باعث کاهش سالانه مقدار آب تعداد زیادی از دشتهای استان

گردیده، به طوری که از ۷۶ دشت استان در ۶۳ دشت بهره‌برداری‌های جدید ممنوع اعلام گردیده است (وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۲).

نظریه اینکه عرضه آب به دلایل محدودیت بودجه‌ای، افزایش هزینه‌های تهیه عرضه آن و حرکت به سمت منابع غیرسنتی، با محدودیت روبه‌روست. تأکیدها جهت بهره‌برداری از منابع آب به سمت مدیریت تقاضای آب در حال تغییر است. در مدیریت تقاضای آب استفاده کارا از منابع آب قابل دسترس مورد توجه است (Johansson & et al., 2002).

در خراسان، به دلیل آنکه بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب (در حدود ۹۶٪) می‌باشد (وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۲)، مدیریت تقاضای آب در سطح منطقه و مزرعه بیشتر مورد توجه است. لذا، در تحقیق حاضر مسئله بهره‌برداری بهینه و افزایش بازده آب آبیاری از منابع موجود از بعد اجتماعی بررسی شده است.

### روش تحقیق

کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در تعیین الگوی بهینه کشت و یا تخصیص نهاده‌های تولید، نظیر آب، در اقتصاد کشاورزی سابقه طولانی دارد. این کاربرد روند تکاملی خود را در سطح مزرعه، منطقه و یا بخش داشته است. در طرح‌های توسعه منابع آب، به دلیل اهمیت اثر مصرف آب در فعالیتهای مختلف بر مقدار درآمدهای حاصل از پروژه، تخصیص بهینه آب در سطح منطقه و یا حوضه آبریز مورد توجه بوده است. افزون بر آن، به دلیل اهمیت زمان مصرف آب در عملکرد محصول، در مدل‌سازی تخصیص بهینه آب به این مسئله به تدریج توجه شده است. برنامه‌ریزی خطی بیشترین کاربرد را در مدل‌سازی تخصیص آب داشته است. این روش را در ایران اولین بار سلطانی (۱۳۷۲) در تعیین الگوی بهینه کشت در زیرسرد درودزن به کار برد. یرون و دینر (Yaron & Dinar, 1982) با تلفیق برنامه‌ریزی خطی و پویا به مسئله زمان آبیاری توجه کردند. علاوه بر برنامه‌ریزی خطی، از جمله روشهای دیگری که در بهینه‌سازی تخصیص آب بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، برنامه‌ریزی چندمنظوره<sup>۱</sup> است. به طور مثال

---

<sup>۱</sup>. multi-objective programming

تعیین راهبردهای مناسب ...

مینودین و همکاران (Mainuddin & et al., 1997) مسئله برنامه‌ریزی زراعی بهینه را در طرح آبیاری آبهای زیرزمینی موجود در تایلند با اهداف حداکثرسازی سودخالص و سطح زیرکشت آبی بررسی کردند.

یکی دیگر از جنبه‌هایی که در مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده تلفیقی از آبهای سطحی و زیرزمینی و همچنین تلفیق جنبه‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی آب است. برای نمونه رزگران و همکاران (Rosegrant & et al., 2000) در مقیاس حوضه آبریز رودخانه میوپادشیلی الگوی تلفیقی از اقتصاد و هیدرولوژی را در بهره‌برداری از این رودخانه ارائه کردند. ماهیت تصادفی مقدار آب قابل دسترس با استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی<sup>۱</sup> در بیشتر مطالعات مورد توجه قرار گرفته است. به طور مثال ماجی و همکاران (Maji & et al., 1978) از این روش در تعیین الگوی بهینه کشت و مدیریت سیاست‌گذاری حوضه آبریز در هند استفاده کردند. در مدل‌سازی تخصیص آب در مقیاس دشت، منطقه و یا حوضه آبریزی شده است که رابطه آب، خاک و گیاه در حداکثرسازی عملکرد محصولات مختلف و یا درآمد مورد توجه بیشتری قرار گیرد. برای مثال قهرمان و سپاسخواه (Gharaman & Sepaskhah, 2004) مسئله حداکثرسازی درآمد ناخالص از مقدار آب محدود در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده تلفیقی از بهینه‌سازی غیرخطی و الگوریتم تراز آب و خاک بررسی کردند. زیبایی (Zibae, 2002) در طراحی راهبردهای آبیاری در استان فارس تمام جنبه‌های فوق را با هدف حداکثرسازی مطلوبیت انتظاری در مدل خود لحاظ کرد. تمام الگوهای فوق به این مسئله که آیا فعالیتهای در نظر گرفته شده از لحاظ اجتماعی دارای مزیت نسبی تولیدند یا خیر، توجهی ندارند.

الگوی به کاررفته در مطالعه حاضر در اصل در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی خطی و استفاده از برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی قرار می‌گیرد. ویژگی‌ای که در این الگو رعایت شده آن است که قیمت یا ارزش اجتماعی عوامل تولید و فعالیتهای منظور شده و همچنین ضرایب فنی

---

<sup>۱</sup>.chance constrained programming

به صورتی متفاوت با مدل سطح مزرعه تعیین گردیده است. در واقع، مدل با فرض نبود هیچ گونه انحراف ناشی از مداخله دولت و یا نقص بازار، پی‌ریزی شده است.

نظریه اینکه یکی از نهاده‌های اساسی در فرایند تولید محصولات زراعی آب آبیاری است و با توجه به نبود تعادل در عرضه و تقاضای آن، مدل تنها با فرض محدودیت آب آبیاری طراحی شده است، به بیان دیگر فرض گردیده سایر عوامل به مقدار کافی وجود دارد.

در سطح حوضه آبریز، تعیین الگوی بهینه کشت از دید سیاستگذار و نه کشاورز مطرح است و لذا فرض حداکثرسازی منافع اجتماعی با توجه به محدودیتهای موجود یکی از اهدافی به شمار می‌آید که می‌توان گفت سیاستگذار به دنبال آن است. این موضوع را با استفاده از نهاده آب می‌توان توضیح داد. در سطح مزرعه، کشاورز در استفاده از آب موجود به دلیل توسعه نیافتگی بازار آب با گزینه مصرف و یا عدم مصرف روبه روست. از طرف دیگر، امکان ذخیره آب برای کشاورز و استفاده از آن در آینده، به دلیل ویژگی دسترسی آزاد به منابع آب، وجود ندارد در نتیجه، تمایلی در وی جهت صرفه جویی در مصرف آب مشاهده نمی‌شود. در این شرایط دولت‌ها می‌کوشند با برگزیدن سیاستهایی همچون قیمتگذاری آب، انگیزه صرفه جویی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب را در کشاورزان ایجاد و تقویت کنند. لذا، چون مدل در شرایط عاری از نقص بازار (دسترسی آزاد) و نبود مداخله دولت (مثلاً سیاست قیمتگذاری) طراحی می‌شود، لازم است ضرایب فنی به گونه‌ای تعیین شود که تحت تأثیر حالات فوق نباشد.

ساختار مدل برنامه‌ریزی شده به صورت زیر است:

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

تعیین راهبردهای مناسب ...

که در آن  $NSB$  منافع خالص اجتماعی،  $ya_{cd}$  عملکرد واقعی محصول  $C$  در واحد سطح در حالت کم آبیاری  $d$  ام ( نحوه به دست آوردن این متغیر در ادامه توضیح داده شده است)،  $SP_C$  ارزش اجتماعی یا قیمت سایه‌ای واحد محصول  $C$  در منطقه و  $SC_C$  هزینه های اجتماعی تولید واحد محصول  $C$  در منطقه بدون هزینه آب است. همچنین  $X_{cd}$  سطح فعالیت  $C$  در کم آبیاری  $d$  ام،  $\bar{x}_c$  کل سطح زیر کشت،  $\bar{x}_c$  حداکثر سطح زیر کشت محصول  $C$  ام و  $w_{cd}$  نیاز آبی محصول  $C$  در منطقه است که مقدار آن براساس تنشهای مختلف در مراحل رشد گیاه با لحاظ کردن سه سطح کارایی در سیستم بهره‌برداری و مصرف آب در سطح مزرعه محاسبه می‌گردد ( نحوه به دست آوردن این متغیر نیز در ادامه توضیح داده شده است). این محدودیت به دلیل تصادفی بودن مقدار آب آبیاری در دسترس، به صورت محدودیت احتمالی و یا تصادفی در نظر گرفته شد.

برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی را چارنزو کوپر (Charnes & Cooper, 1959) پیشنهاد کردند. نبود حتمیت در سمت راست (منابع) مدل برنامه‌ریزی خطی با این فرض که تصمیم گیرنده مایل به ساختن یک وضعیت احتمالی نسبت به فراوانی مقدار منابع موجود می‌باشد، بررسی شده است. احتمال آنکه مقدار محدودیتی بزرگتر یا مساوی مقدار  $\alpha$  از پیش تعیین شده باشد، به صورت زیر می‌توان نشان داد (McCal & Spreen, 2005):

$$pr[\sum a_{ij}x_j \leq b_i] \geq \alpha \quad (2)$$

اگر مقدار متوسط سمت راست  $b_i$  از دو طرف رابطه بالا کسر و هر دو طرف برانحراف معیار ضریب سمت راست ( $\sigma_{b_i}$ ) تقسیم شود، محدودیتهای بالا به صورت زیر درمی‌آید (همان منبع):

$$pr\left[\frac{\sum a_{ij}x_j - \bar{b}_i}{\sigma_{b_i}} \leq \frac{(b_i - \bar{b}_i)}{\sigma_{b_i}}\right] \geq \alpha \quad (3)$$

در رابطه بالا  $\frac{b_i - \bar{b}_i}{\sigma_{b_i}}$  خطاهای استاندارد را به دست می‌دهد که  $b_i$  را از مقدار میانگین آن دور می‌سازد. این عبارت با  $Z$  نشان داده می‌شود. زمانی که از حدیک احتمال خاص ( $\alpha$ ) استفاده شود، مقدار مناسب  $Z_\alpha$ ،  $Z$  است و در نتیجه، محدودیتها به صورت زیر درمی‌آید (همان منبع):

$$pr \left[ \frac{\sum a_{ij} x_j - \bar{b}_i}{\sigma_{b_i}} \leq z_\alpha \right] \geq \alpha \quad (4)$$

و برای نشان دادن ریسک درست راست، محدودیتها را به صورت زیر می‌توان نوشت (همان منبع):

$$\sum a_{ij} x_j \leq \bar{b}_i - z_\alpha \sigma_{b_i} \quad (5)$$

محدودیت‌های فوق نشان می‌دهد که مصرف منبع  $(\sum a_{ij} x_j)$  باید کمتر یا مساوی مقدار متوسط منبع منهای انحراف معیار ضرب در سطح بحران ناشی از سطح احتمال باشد. لذا، در مدل ۱،  $\bar{W}$  مقدار متوسط آب در دسترس است که در مطالعه حاضر در سطح ۱ هکتار محاسبه شد. مقدار  $Z_\alpha$  را به دو طریق می‌توان تعیین کرد: یکی با فرضی راجع به توزیع احتمال (مثلاً نرمال) و دیگری به برآوردی محافظه کارانه از نابرابری کیبی شف<sup>۱</sup>. گفتنی است در مطالعه حاضر روش اول مورد استفاده قرار گرفت.

نیاز آبی محصول از روش پنمن-مونتیث<sup>۲</sup> محاسبه می‌شود. کل نیاز آبی گیاه ( $REQ_t$ ) در طول ماه  $t$  با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Evans & et al., 2003):

$$REQ_t = ET_0 \times K_{ct} \quad (6)$$

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

$$w_j = \frac{REQ_t - EP_t}{IE} \quad (7)$$

که در آن  $EP_t$  بارندگی مؤثر در ماه  $t$  و  $IE$  شاخصی از سطح کارایی سیستم توزیع آب است (Evans & et al, 2003).

به دلیل آنکه سود اجتماعی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عملکرد محصول است و با توجه به اینکه عملکردهای مشاهده شده در سطح مزرعه و حوضه آبریز علاوه بر عوامل جوی، از سیاستهای حاکم بر بخش کشاورزی نیز متأثر می‌باشد (به طور مثال سیاستهای قیمتگذاری نهاده‌های اعتبارات و کود بر سطح مصرف این عوامل در مزرعه و در نتیجه،

۱. Chebyshevs' inequality

۲. Penman-Monteith method



تعیین راهبردهای مناسب ...

بر عملکرد محصول مؤثر است). لذا، می توان گفت عملکرد مشاهده شده در واقع عملکردی انحرافی است و در نتیجه برای تعیین دقیقتر منافع اجتماعی، تعیین عملکردی لازم به نظر می رسد که متأثر از این سیاستها نیست و صرفاً تابعی از رابطه آب و خاک و گیاه است.

جهت تعیین عملکرد واقعی می توان از رابطه زیر، که از سوی آلن و همکاران (Allen & et al., 1988) مطرح شده است، استفاده کرد.

$$\frac{y_a}{y_p} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad (8)$$

که در آن  $n$  کل مراحل رشد محصول،  $y_a$  و  $y_p$  به ترتیب عملکرد واقعی و بالقوه،  $AET$  و  $AEP$  به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه و  $ky$  فاکتور پاسخ عملکرد است. با توجه به رابطه بالا، عملکرد واقعی را از رابطه زیر می توان به دست آورد:

$$y_a = y_p \times \prod_{i=1}^n \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad (9)$$

#### داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

در تهیه اطلاعات مورد نیاز در زمینه قیمت، هزینه و منافع اجتماعی و خصوصی نهاده‌ها و محصولات زراعی تحت بررسی از کار تحقیقاتی "تعیین مزیت نسبی محصولات زراعی" سلطانی و همکاران (گزارش چاپ نشده) استفاده شده است. افزون بر آن، جهت جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از سطح مزرعه، ابتدا روستاهای منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز حریر رود و کشف رود (دشتهای مشهد، نریمان، سنگ بست) با استفاده از اطلاعات GIS شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، به طور تصادفی انتخاب شدند. سپس از راه مصاحبه حضوری با کشاورزان این روستاها، که آنها نیز به طور تصادفی انتخاب شدند، ۲۵۰ پرسشنامه تکمیل گردید. اطلاعات تکمیلی نیز از طریق مصاحبه و یا استفاده از کارهای تحقیقاتی بعضی از متخصصان منطقه و استادان دانشگاه فردوسی به دست آمد.

برای ساختن مدلی که کم آبیاری در آن در نظر گرفته شده باشد به اطلاعاتی درباره عملکرد بالقوه و نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد نیاز است. مقدار عملکرد بالقوه برای محصولات نمونه بر اساس تجربه کشاورزان در ۱۰ سال گذشته و همچنین نظریه‌های

از کارشناسان کشاورزی به دست آمد. مقادیر به دست آمده، در برنامه نوشته شده به زبان GAMS/MINOS (Brooke & et al., 1988) نشان داده شده است. برای تعیین نیاز آبی گیاهان از تحقیق و مطالعه وزارت کشاورزی سابق و سازمان هواشناسی کشور استفاده گردیده است. این تحقیق با روش مطرح شده در این مطالعه همسوست و پاراگراف زیر که نقل قولی است مستقیم از آن مطالعه نشاندهنده این مسئله می باشد.

"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 بر روی کلیه دشتهای کشاورزی کشور (۶۲۰) می باشد. علاوه بر آن از نتایج پژوهش هایی که قبلاً در این زمینه صورت گرفته نیز سود جسته شده است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در یک دوره ۳۰ ساله بصورت روزانه از کلیه ایستگاه های سینوپتیک، اقلیم شناسی و کشاورزی کشور جمع آوری و پس از حک و اصلاح در محاسبات استفاده شده‌اند. برای هر کدام از دشتهای یک یا چند ایستگاه معرف انتخاب و محاسبات بر مبنای داده های 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 - مانیتیت در دوره های ۱۰ روزه و ماهانه بکار گرفته شده است که در نتیجه تبخیر - تعرق، باران موثر و نیاز خالص آبیاری در هر دوره، ماه و فصل زراعی محاسبه شده است." (وزارت کشاورزی، سازمان تات، ۱۳۷۵).

اطلاعات استفاده شده از مطالعه فوق برای هر ۱۰ روز از مراحل رشد گیاهان نمونه و محاسبه آن برای هر یک از مراحل رشد آنها در برنامه نوشته شده آمده است. یادآوری می شود که مدت زمان هر مرحله از مراحل رشد گیاهان نمونه با مشاوره با بخش زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و کشاورزان نمونه تعیین گردیده است.

حداکثر سطح زیر کشت محصولات در مدل برابر با مقدار موجود آنها در نمونه در سطح ۱ هکتار در نظر گرفته شد. به دلیل محدودیت نرم افزار مورد استفاده که حداکثر ۳۰۰ فعالیت را می تواند در نظر بگیرد، هر فعالیت در مدل به صورت ۴۵ فعالیت یا ۴۵ تنش آبی متفاوت برای

تعیین راهبردهای مناسب ...

هر محصول (مجموعاً ۶ محصول) در نظر گرفته شد. به دلیل وجود نداشتن امکان جمع آوری اطلاعات دقیق از میزان تنش که کشاورزان در عمل استفاده می کنند و مقدار آن هم برای هر کشاورز می تواند متفاوت باشد، با استفاده از نرم افزار اکسل، اعداد تصادفی کوچکتر از ۱ و بزرگتر از ۰/۵ برای میزان تنش گیاه در هر مرحله از مراحل پنجگانه رشد گیاهان در نظر گرفته شد (برای گیاهانی مثل چغندر قند که ریشه آنها استفاده می شود، تنش در مرحله گلدهی بدون معنی است). اعداد به دست آمده در برنامه نوشته شده موجود است.

مقدار ریسک در میزان آب در دسترس در سطوح ۸۰، ۸۵، ۸۷/۵، ۹۰ و ۹۵ درصد برای مقدار  $Z_{\alpha}$  در نظر گرفته شد. از طرف دیگر، به دلیل اهمیت بازده آبیاری در آبیاری محصولات زراعی، سه سطح کارایی ۶۵، ۴۵ و ۳۵ درصد منظور گردید. در ردیف محدودیت های مدل، به دلیل آنکه چغندر قند در منطقه بر اساس کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران، فاقد مزیت نسبی است، از محدودیت چغندر قند به عنوان ردیف انتقال استفاده شد و سطح زیر کشت چغندر قند به یکی از محصولات دیگر تقریباً همزمان با آن کشت می شود، انتقال یافت. لذا، در جواب بهینه مقدار سطح زیر کشت چغندر صفر است.

گفتنی است که در تابع هدف مدل، هزینه اجتماعی آب آبیاری به صورت جداگانه لحاظ شده است. به دلیل عملکردهای متفاوتی که از حل مدل برای محصولات به دست می آید، با استفاده از یافته های کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران، هزینه اجتماعی تولید ۱ کیلوگرم از محصولات مورد بررسی محاسبه و هزینه آب آبیاری از آن کم شد و به عنوان هزینه اجتماعی تولید ۱ کیلوگرم محصول بدون هزینه اجتماعی آب در مدل به کار رفت. در کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران ۴ نرخ بهره و در نتیجه، ۴ قیمت آب به کار گرفته شد. در مدل حاضر از نرخ بهره ۶ درصد و قیمت ۳۰/۷۲ تومان برای هر متر مکعب آب استفاده گردید. افزون بر آن، در سطوح کارایی مورد نظر، قیمت های مختلفی در نظر گرفته شد تا قیمتی که به ازای آن، منافع اجتماعی در سه سطح کارایی و در حالت نبود ریسک در مقدار آب در دسترس صفر می گردد، مشخص شود. این قیمت حداکثر قیمتی است که برای آب آبیاری می توان در نظر گرفت.

## نتایج و بحث

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بعضی از نتایج حل مدل در سطح کارایی ۳۵ درصد در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می شود که بیشترین مقدار متوسط آب آبیاری کم آبیاری های در نظر گرفته شده، مربوط به چغندر با ۲۰۱۸۵ و کمترین مربوط به جو با ۶۰۴۰ مترمکعب در هکتار می باشد. مقایسه بین حداقل میزان آب آبیاری مورد نیاز برای محصولات نشان می دهد که بیشترین و کمترین آب آبیاری مورد نیاز به ترتیب مربوط به چغندر قند با ۱۷۰۱۸ و جو با ۴۷۰۸ مترمکعب در هکتار است. ملاحظه می شود که دامنه تغییرات بین حداقل و حداکثر آب آبیاری مورد نیاز در چغندر قند نسبت به سایر محصولات نمونه کمتر و نسبت حداکثر به حداقل آن برابر ۱/۴۹۷ می باشد. این مقدار برای سیب زمینی به بیشترین مقدار خود یعنی ۱/۷۸۴ می رسد. مقایسه بین متوسط آب آبیاری نمونه و کم آبیاری های در نظر گرفته شده، نشان می دهد که مقدار آب مصرفی در یک هکتار کشت موجود در گندم و پیاز به ترتیب ۱۰ و ۱۶ درصد بیشتر و برای جو، چغندر قند، گوجه فرنگی و سیب زمینی به ترتیب ۲/۹۵، ۲۳/۵۴، ۱۰/۸۶ و ۱۶/۷۹ درصد کمتر است. مقایسه بین میانگین متوسط کم آبیاری های در نظر گرفته شده و متوسط آب آبیاری در کشت موجود نشان می دهد که در کشت موجود در هر هکتار ۹ درصد آب آبیاری کمتر مصرف می شود. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می گردد که عملکرد موجود و متوسط عملکرد واقعی به دست آمده با یکدیگر اختلاف دارند و برای گندم، چغندر، پیاز و سیب زمینی به ترتیب ۲/۵، ۵/۴، ۲/۴، ۱۱/۹ درصد عملکرد موجود از عملکرد واقعی کمتر است. برای جو و گوجه فرنگی عملکرد موجود از عملکرد واقعی به ترتیب ۱/۲ و ۳۸/۳ درصد بیشتر است. اختلاف زیاد در گوجه فرنگی به نسبت عملکرد واقعی به عملکرد بالقوه برمی گردد که هم حداکثر و هم حداقل آن نسبت به محصولات دیگر کمتر می باشد و کلاً دامنه خوبی برای آن به دست نیامده است. یادآوری می شود که مقادیر تنش به طور تصادفی بین ۱ و ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

تعیین راهبردهای مناسب ...

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۱ می توان نتیجه گرفت که بازده آبیاری در سطح نمونه بین محصولات متفاوت است و کارایی مصرف آب در کل نمونه بیشتر از ۳۵ درصد می باشد. افزون بر آن، به نظرمی رسد که اگر مقدار سطوح کم آبیاری در نظر گرفته شده بیشتر می بود نتایج احتمالاً به واقعیت های موجود نزدیکتر می شد. با این حال، نتایج به دست آمده در سطح کارایی ۳۵ درصد خیلی به واقعیت های موجود در سطح مزرعه نزدیک است. شاید بتوان گفت روش عملی تعیین بازده آب آبیاری در سطح مزرعه روش به کار گرفته شده در این مطالعه می باشد: یعنی الف) تعیین مقادیر آب آبیاری در سطوح مختلف کارایی با سطوح متفاوت تنش در مراحل رشد گیاه، ب) مقدار آب آبیاری مورد نیاز و عملکرد واقعی و ج) مقایسه نتایج به دست آمده با وضعیت موجود در سطح مزرعه. احتمالاً همکاری با متخصصان آب و خاک بتواند به تقویت این روش جهت تعیین حدود کارایی آب آبیاری در سطح مزرعه کمک کند. به نظرمی رسد اختلاف حدود ۱۲ درصدی بین مصرف متوسط آب در نمونه با متوسط به دست آمده از مدل، شاخص خوبی برای توجه به بهبود این روش جهت تعیین حدود بازده آب آبیاری در سطح مزرعه باشد و لذا ممکن است لازم باشد از بعد فنی، روابط دیگری نیز در نظر گرفته شود که نیاز به زمینه های تخصصی دیگر داشته باشد که از آنها غفلت شده است.

به نظرمی رسد تحلیل بالا اگر بر اساس سطح زیر کشت موجود محصولات در نمونه صورت گیرد، تصویر دقیقتری از کارایی آب آبیاری در کل سطح مزرعه و نه تک تک محصولات به دست دهد. در جدول ۱، مقادیر سطح زیر کشت محصولات و یا به عبارت بهتر، الگوی کشت موجود در مقیاس ۱ هکتار نشان داده شده است. برای تعیین حدود کارایی در مصرف آب آبیاری در سطح کل مزرعه، مقدار آب مصرفی موجود در هکتار و متوسط آب آبیاری مورد نیاز در سطح کارایی ۳۵ درصد ضرب در سطح زیر کشت محصولات شد که نتایج در جدول ۱ ملاحظه می شود. سپس کل آب مصرفی در ۱ هکتار با توجه به الگوی کشت برای مدل و مقدار موجود، محاسبه شد که به ترتیب ۱۳۳۵۴ و ۱۱۷۹۷ متر مکعب در هکتار به دست آمد. ملاحظه می شود که مقدار آب مصرفی الگوی کشت موجود ۱۱ درصد از مدل کمتر

است. با توجه به این امر می توان نتیجه گرفت که کارایی مصرف آب در سطح مزرعه قطعاً از ۳۵ درصد بیشتر است. بی گمان همین تحلیل رامی توان برای سایر سطوح کارایی در نظر گرفته شده در مدل انجام داد و به این ترتیب حدود کارایی مصرف آب در سطح مزرعه را به دست آورد.

**جدول ۱. مقدار آب مصرفی و عملکرد در نمونه و کم آبیاری در سطح ۳۵ درصد مدل**

(متر مکعب و کیلوگرم/هکتار)

شرح	سبب زمینی	پیاز	گوجه فرنگی	چغندر قند	جو	گندم	
متوسط آب آبیاری	۱۹۳۶۸/۰	۱۵۱۷۸/۷	۱۸۰۹۷/۴	۲۰۱۸۵/۳	۶۰۳۹/۸	۷۰۲۷/۶	
حداکثر آب آبیاری	۲۵۶۰۱/۴	۱۹۰۳۱/۱	۲۲۳۷۱/۹	۲۵۴۷۷/۰	۷۲۰۰/۷	۸۶۱۵/۳	
حداقل آب آبیاری	۱۴۳۵۱/۹	۱۱۶۴۷/۷	۱۳۴۹۷/۳	۱۷۰۱۸/۲	۴۷۰۸/۹	۵۳۱۱/۰	
نسبت حداکثر به حداقل	۱/۷۸۴	۱/۶۳۴	۱/۶۵۸	۱/۴۹۷	۱/۵۲۹	۱/۶۲۲	
متوسط عملکرد واقعی	۲۹۷۰۱/۷	۴۳۲۸۷/۷	۲۷۷۴۵/۹	۳۴۹۳۸/۷	۳۰۵۱/۷	۴۰۶۲/۹	
حداکثر عملکرد واقعی	۴۱۲۹۴/۸	۵۹۲۶۲/۱	۴۳۷۵۸/۳	۵۰۰۵۴/۲	۳۹۶۷/۷	۵۰۴/۸	
حداقل عملکرد واقعی	۲۱۲۸۸/۶	۳۱۵۲۷/۶	۱۳۰۹۲/۶	۲۵۳۴۴/۴	۲۲۲۵/۱	۲۹۲۳/۲	
حداکثر نسبت عملکرد واقعی به بالقوه	۰/۹۰۱	۰/۸۶۲	۰/۷۰۸	۰/۸۹۸	۰/۹۴۵	۰/۸۸۰	
حداقل نسبت عملکرد واقعی به بالقوه	۰/۴۶۴	۰/۴۵۹	۰/۲۱۲	۰/۴۵۵	۰/۵۲۰	۰/۵۱۱	
مقدار آب مصرفی موجود	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۱۵۴۳۳/۶۰	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	
درصد تغییر نسبت به میانگین کم آبیاری ها	-۱۶/۸۰	۱۶/۳۹	-۱۰/۸۶	-۲۳/۵۴	-۲/۹۶	۱۰/۱۴	
عملکرد موجود در نمونه	۲۶۵۳۴/۵۵	۴۲۳۷۲/۸۸	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۳۱۴۵/۳۷	۳۰۸۹/۲۹	۳۹۶۴/۵۴	
درصد تغییر عملکرد نسبت به میانگین کم آبیاری ها	-۱۱/۹	-۲/۴	۳۸/۳	-۵/۴	۱/۲	-۲/۵	
متوسط آب آبیاری مدل والگوی کشت موجود							
موجود	۱۱۷۹۷	مدل	۱۳۳۵۴	درصد تغییر میانگین آب کم آبیاری ها نسبت به میانگین آب آبیاری موجود			۱۲
آب مصرفی با توجه به الگوی کشت مزرعه و مصرف آب آبیاری در:							
وضعیت موجود	۷۱۰/۶۷	۴۵/۹۳	۵۸۱۵/۲۷	۲۴۳۲/۳۴	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲	
مدل	۸۵۴/۱۳	۳۹/۴۶	۶۵۲۴/۱۱	۳۱۸۱/۲۰	۱۸۴۹/۳۸	۹۰۶/۵۶	

مأخذ: یافته های تحقیق

نتایج مدل در سطح کارایی ۶۵، ۴۵ و ۳۵ درصد در حالت نبود ریسک و سطوح ریسک ۸۰، ۸۵، ۸۷/۵ و ۹۰ و ۹۵ درصد در مقدار دسترسی به آب آبیاری نیز به دست آمد که به دلیل طولانی شدن مقاله فقط به ارائه نتایج سطح کارایی ۴۵ درصد بسنده می شود.

تعیین راهبردهای مناسب ...

نتایج جدول ۲ براساس حذف چغندر قند (محصولی که براساس کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران فاقد مزیت نسبی بود) و جایگزینی محصولاتی می‌باشد که تقریباً همزمان با این محصول کشت می‌شوند. لذا، سطح زیر کشت چغندر قند در جواب بهینه صفر است. با این حال، مدل برای حالتی که چغندر قند به عنوان یک فعالیت با سود اجتماعی منفی لحاظ شد، حل گردید که نتایج آن در ادامه بررسی می‌شود.

### الگوی بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد و نبود ریسک در مدل

در جدول ۲ الگوی بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد و حالت بدون ریسک در مقدار آب آبیاری در دسترس نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که در الگوی بهینه کشت گندم وارد نشده است. سطح کم آبیاری برای جو، سیب زمینی و پیاز به ترتیب شماره ۱۷، ۱۹ و ۶ است. گوجه فرنگی با دوسطح کم آبیاری شماره ۲۵ و ۲۰ در جواب بهینه آمده است. سطح زیر کشت در الگوی بهینه نسبت به الگوی کشت موجود برای جو ۶۰ درصد کاهش، برای گوجه فرنگی با شماره کم آبیاری بیست و پنج ۱/۲ درصد افزایش، برای گوجه فرنگی با شماره کم آبیاری بیست ۵۷/۲ درصد کاهش و برای سیب زمینی و پیاز به ترتیب ۳۵۸ و ۶۰۵۳/۸ درصد افزایش داشته است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که بیشترین تنش برای جو در مرحله ۵، گوجه فرنگی با سطح کم آبیاری ۲۵ در مرحله ۱، گوجه فرنگی با سطح کم آبیاری ۲۰ در مرحله ۱، سیب زمینی در مرحله ۲ و پیاز مرحله ۵ رشد گیاه اتفاق افتاده است. مقایسه سطح کم آبیاری گوجه فرنگی ۲۵ و ۲۰ نشان می‌دهد که مقدار تنش برای گوجه فرنگی ۲۰ در مراحل ۱، ۲ و ۵ بیشتر از گوجه فرنگی ۲۵ است. عملکرد واقعی برای جو ۳۹۶۷، گوجه فرنگی بیست و پنج ۴۳۷۵۸، گوجه فرنگی بیست ۳۹۳۴۱، سیب زمینی ۳۰۱۸۸ و پیاز ۵۹۲۶۲ کیلوگرم در هکتار است که نسبت به عملکرد موجود، برای جو ۲۸ درصد افزایش، گوجه فرنگی ۲/۷۴ و ۱۲/۵۵ درصد کاهش و برای سیب زمینی و پیاز به ترتیب ۱۳ و ۴۰ درصد افزایش داشته است. جدول ۲ مقدار آب آبیاری مورد نیاز و مقدار موجود را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که درصد تغییر نسبت به آب مصرفی موجود برای جو ۴/۴۵ درصد کاهش، گوجه فرنگی ۲۵ و ۲۰ به ترتیب ۷/۸۷ درصد افزایش و ۵/۶۹

درصد کاهش و برای سیب زمینی و پیاز به ترتیب حدود ۱۹ و ۱۷ درصد کاهش داشته است. مقایسه سودخالص اجتماعی درهکتار هر فعالیت در الگوی کشت موجود و بهینه نشان می‌دهد که در الگوی بهینه کشت برای جو ۴۸ درصد کاهش، گوجه فرنگی ۲۵ و ۱۱ درصد کاهش، گوجه فرنگی ۲۰ و ۱۳۴ درصد افزایش و برای سیب زمینی و پیاز به ترتیب ۶۸۶ و ۱۰۷۵۸ درصد افزایش مشاهده می‌شود. توجه اینک گوجه فرنگی در دو سطح کم آبیاری در جواب بهینه در سطح کارایی ۴۵ درصد آمده است مشکل می‌باشد. آیا کم آبیاری تابع قانون بازده نزولی است؟ در قسمت نتیجه گیری این مبحث سعی شده است پاسخی برای این یافته که برای محصولات دیگر نیز تکرار شده، بیان شود. سودخالص اجتماعی درهکتار در سطح کارایی ۴۵ درصد نیز نسبت به سطح موجود افزایش و از مقدار ۲۵۷۲۰۰ به ۶۶۴۹۹۰ تومان درهکتار رسیده که درصد تغییر آن نسبت به سودخالص اجتماعی موجود ۱۵۸ درصد است. بازده خالص هر متر مکعب آب آبیاری نیز نسبت به وضع موجود افزایش و از ۲۱/۸ به ۴۶/۴۴ تومان در متر مکعب رسیده است. مقدار آب مورد نیاز در الگوی بهینه کشت در مقایسه با الگوی کشت موجود از مقدار ۱۱۷۹۷ به ۱۴۳۱۸ متر مکعب درهکتار رسیده که حدود ۲۱ درصد افزایش در مصرف آب آبیاری را نشان می‌دهد. دقت شود که برای هر فعالیت به جز گوجه فرنگی ۲۵، مقدار آب مورد نیاز کاهش یافته است. لذا، می‌توان گفت کاهش مصرف آب در یک فعالیت الزاماً به معنی کاهش آب در الگوی کشت نیست و اصولاً هدف از به کارگیری مدل‌های برنامه ریزی ریاضی کاربرد نهاده‌ها در بهترین وضعیت سود دهی آنهاست نه تعیین الگوی بهینه کشت با مقدار کمتر مصرف نهاده‌ها. گفتنی است که مقدار آب در دسترس بر اساس بازده ۳۵ درصد (و مقدار مورد نیاز بر اساس ۴۵ درصد) محاسبه شده و همان طور که گفته شد از مقدار مصرف در الگوی کشت موجود بیشتر و مبین آن است که بازده آبیاری در سطح مزرعه قطعاً از ۳۵ درصد بیشتر می‌باشد.

با لحاظ کردن نبود حتمیت در مقدار آب آبیاری قابل دسترس، مدل به واقعیت‌های موجود در سطح مزرعه نزدیکتر می‌شود و لذا، انتظار آن است که مقدار آب آبیاری مورد نیاز هیچ الگوی بهینه کشتی بیشتر از مقدار جاری درهکتار نباشد.



تعیین راهبردهای مناسب ...

جدول ۲

### الگوی بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد و وجود ریسک در مدل

نتایج مدل سطح حوضه در بازده ۴۵ درصد آب آبیاری در سطح مزرعه و در سطح ریسک تحت بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. در سطح ریسک ۹۵ درصد و کارایی ۴۵ درصد، مدل فاقد جواب است. در سطح ریسک ۹۰ درصد و پایین تر، مدل جواب بهینه دارد. با توجه به جدول ۳ ملاحظه می شود که در سطح ریسک ۹۰ درصد پیاز با دوسطح کم آبیاری در جواب بهینه آمده است. نسبت به الگوی کشت موجود، الگوی بهینه سطح زیر کشت گندم تغییری نداشته، جو و گوجه فرنگی به ترتیب ۰/۱ و ۴۴ درصد کاهش و سیب زمینی و پیاز ۱۱ و ۲۴ به ترتیب ۳۵۸ و ۵۸۲۳/۱ و ۱۳۰/۸ درصد افزایش یافته اند. در جواب بهینه، گندم با سطح کم آبیاری ۲۳، جو ۱۲، گوجه فرنگی ۸، سیب زمینی ۲۷ و پیاز ۱۱ و ۲۴ وارد شده اند. نسبت عملکرد واقعی به بالقوه در گندم ۰/۵۲۹۰، جو ۰/۵۵۳۰، گوجه فرنگی ۰/۵۷۶۰، سیب زمینی ۰/۴۶۴۰، پیاز ۱۱ و ۰/۷۴۶۰ و پیاز ۲۴ است. درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود، فقط در پیاز ۱۱ افزایش ۲۱ درصدی داشته و در سایر محصولات کاهش یافته است. مقدار سودخالص اجتماعی در هکتار در الگوی بهینه کشت ۴۰۲۶۲۸ تومان است که ۱/۵۶ برابر الگوی کشت موجود است. مقدار آب آبیاری مورد نیاز در الگوی بهینه کشت ۸۷۳۷ مترمکعب در هکتار است که ۷۴ درصد مقدار الگوی کشت موجود می باشد. بازده هر مترمکعب آب آبیاری در الگوی بهینه کشت افزایش یافته به طوری که حدود ۲/۱ برابر الگوی کشت موجود است.

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می شود که در سطح ریسک ۸۷/۵ درصد، وضعیت محصولات الگوی بهینه کشت با سطح ۹۰ درصد فرقی نکرده و پیاز فقط با یک سطح کم آبیاری در جواب بهینه ظاهر شده و مقدار سطح زیر کشت سیب زمینی کاهش و گوجه فرنگی افزایش یافته است. افزون بر آن، سطح کم آبیاری برای گندم، جو و گوجه فرنگی تغییر نکرده اما سیب زمینی از سطح کم آبیاری ۲۷ به ۲۴ و پیاز از ۱۱ و ۲۴ به ۷ تغییر کرده است. بدیهی است که این تغییرات سودخالص اجتماعی و مقدار آب مورد نیاز را

تعیین راهبردهای مناسب ...

تغییر می دهند. در مقایسه با الگوی کشت موجود، سطح زیر کشت گندم تغییری نکرده و سطح زیر کشت محصولات جو و گوجه فرنگی به ترتیب ۱/۰ و ۶ درصد کاهش و سیب زمینی و پیاز به ترتیب ۴۷ و ۶۰۵۳ درصد افزایش یافته است. کمترین مقدار نسبت عملکرد واقعی به بالقوه در گندم با مقدار ۰/۵۲۹۰ مشاهده می شود. سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی بهینه کشت ۴۶۴۰۲۴ تومان است که درصد تغییر آن نسبت به الگوی کشت موجود ۸۰/۴۱ درصد افزایش نشان می دهد. مقدار آب مورد نیاز الگوی بهینه کشت ۹۲۹۱ مترمکعب در هکتار است که حدود ۷۸ درصد الگوی کشت موجود می باشد. بازده هر مترمکعب آب آبیاری در الگوی بهینه کشت ۴۹/۹۴ تومان است که درصد تغییر آن نسبت به بازده الگوی کشت موجود، مثبت و ۱۲۹ درصد می باشد. در واقع بازده هر مترمکعب آب آبیاری ۲/۲۹ برابر شده است.

در جدول ۳ نتایج در سطح ۸۵ درصد ریسک نیز مشاهده می شود. این جدول نشان می دهد که سیب زمینی از الگوی بهینه کشت حذف شده و جو با دوسطح کم آبیاری در جواب بهینه حضور یافته است. در این سطح از ریسک، گندم با سطح کم آبیاری ۲۰، جو ۲۱ و ۳۴، گوجه فرنگی ۸ و پیاز ۶ در الگوی بهینه کشت مشاهده می شوند. نسبت به الگوی کشت موجود، در الگوی بهینه کشت سطح زیر کشت گندم تغییری نکرده، جو ۲۱ به میزان ۱۷، جو ۳۴ به مقدار ۸۲/۷ و سیب زمینی ۱۰۰ درصد کاهش و گوجه فرنگی و پیاز به ترتیب ۱۲/۱ و ۶۰۵۳ درصد افزایش داشته است. سطح زیر کشت جو در مجموع، ۰/۲۴ درصد افزایش نشان می دهد. بیشترین تنش در هر دو سطح کم آبیاری ۲۱ و ۳۴ جو در مرحله ۴ رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۵۱۰۷ و ۰/۵۴۶۳ می باشد. مقدار سودخالص اجتماعی هر هکتار الگوی بهینه کشت ۵۰۲۹۳۰ تومان است که ۱/۹۵ برابر الگوی کشت موجود می باشد. مقدار آب مورد نیاز الگوی بهینه کشت ۹۷۷۵ مترمکعب در هکتار می باشد که ۸۲ درصد مصرف آب در الگوی کشت موجود است. بازده هر مترمکعب آب آبیاری در این سطح از ریسک ۵۱/۴۵ تومان است که ۲/۳۶ برابر الگوی کشت موجود می باشد.

در جدول ۳ همچنین الگوی بهینه کشت در سطح ۸۰ درصد ریسک نشان داده شده است. در این سطح از ریسک، گندم با سطح کم آبیاری ۱۴، جو ۱۷ و ۲۰، گوجه فرنگی ۱۹ و پیاز ۶ مشاهده می شوند. مقدار سطح زیر کشت سیب زمینی در الگوی بهینه صفر است. در الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت موجود، سطح زیر کشت گندم تغییری نکرده، جو ۱۷ و ۲۰ به ترتیب ۴۷ و ۵۲ درصد کاهش و گوجه فرنگی و پیاز ۱۲/۱ و ۶۰۵۳ درصد به ترتیب افزایش داشته اند. سطح زیر کشت جو در مجموع تغییری نکرده است. مقدار بیشترین تنش در جو با تغییر مقدار ریسک تغییر کرده به طوری که در جو ۱۷ در مرحله ۵ و در جو ۲۰ در مرحله ۴ رشد گیاه اتفاق افتاده است؛ در حالی که در سطح ریسک ۸۵ درصد، بیشترین تنش برای هر دو سطح کم آبیاری در مرحله ۴ مشاهده شد. مقدار سود خالص اجتماعی هر هکتار الگوی بهینه کشت ۵۴۸۲۰۹ تومان است که ۴۸ درصد الگوی کشت موجود می باشد. مقدار آب مورد نیاز الگوی بهینه کشت ۱۰۶۰۳ مترمکعب در هکتار است که ۸۹ درصد مصرف آب در الگوی کشت موجود می باشد. بازده هر مترمکعب آب آبیاری ۵۱/۷ تومان به دست آمد که نسبت به مقدار مشابه در الگوی کشت موجود ۲/۳۷ برابر افزایش نشان می دهد.

### جدول ۳. الگوی بهینه کشت در سطح ۴۵ درصد کارایی مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و سطوح

#### مختلف ریسک

در سطح ۹۰٪							شرح
محصول							
پیاز	پیاز	سیب زمینی	چغندر قند	گوجه فرنگی	جو	گندم	
۰/۰۰۶	۰/۱۵۴	۰/۲۰۲	۰	۰/۲۰۳	۰/۳۰۶	۰/۱۲۹	سطح زیر کشت مدل (هکتار)
۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۶	۰/۰۴۴۱	۰/۱۵۷۶	۰/۳۶۰۵	۰/۳۰۶۲	۰/۱۲۹۰	سطح زیر کشت موجود (هکتار)
۱۳۰/۸	۵۸۲۳/۱	۳۵۸/۰	-۱۰۰/۰	-۴۳/۷	-۰/۱	۰/۰	درصد تغییر نسبت به الگوی کشت موجود
۲۴	۱۱	۲۷		۸	۱۲	۲۳	شماره سطح کم آبیاری
۰/۶۹۸۹	۰/۶۷۸۴	۰/۵۸۴۶		۰/۵۵۴۹	۰/۹۳۷۵	۰/۵۳۷۷	تنش در مرحله ۱ رشد گیاه
۰/۷۲۷۶	۰/۸۷۱۱	۰/۵۲۸۱		۰/۵۶۹۴	۰/۶۴۶۴	۰/۷۴۴۱	تنش در مرحله ۲ رشد گیاه
				۰/۷۷۵۳	۰/۶۱۹۰	۰/۵۷۵۴	تنش در مرحله ۳ رشد گیاه
۰/۵۱۸۷	۰/۹۱۵۹	۰/۵۴۵۵		۰/۹۴۴۹	۰/۵۴۹۷	۰/۵۰۶۷	تنش در مرحله ۴ رشد گیاه

تعیین راهبردهای مناسب ...

۰/۵۰۸۹	۰/۵۰۴۷	۰/۸۳۴۸		۰/۹۲۸۷	۰/۵۷۷۷	۰/۷۱۶۸	تنش در مرحله ۵ رشد گیاه
۰/۴۵۹۰	۰/۷۴۶۰	۰/۴۶۴۰		۰/۵۷۶۰	۰/۵۵۳۰	۰/۵۲۹۰	نسبت عملکرد واقعی به بالقوه
۳۱۵۲۷/۶	۵۱۲۵۱/۳	۲۱۲۸۸/۶		۳۵۶۳۱/۸	۲۳۲۱/۶	۳۰۲۷/۰	عملکرد واقعی (کیلو گرم/هکتار)
۹۰۵۹/۳۴	۱۲۶۴۸/۹۱	۱۱۱۶۲/۵۹		۱۳۹۲۳/۰۵	۳۶۶۲/۴۳	۴۱۳۳/۵۱	آب مورد نیاز در سطح کم آبی و کارایی مورد نظر (متر مکعب/هکتار)
۴۲۳۷۲/۸۸	۴۲۳۷۲/۸۸	۲۶۵۳۴/۵۵	۳۳۱۴۵/۳۷	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۰۸۹/۲۹	۳۹۶۴/۵۴	عملکرد موجود (کیلو گرم/هکتار)
۱۷۶۶۶/۰۰	۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۵۴۳۳/۶۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	آب مصرفی در الگوی موجود (متر مکعب/ هکتار)
۷۸۹۸۹۳/۲۹	۷۸۹۸۹۳/۲۹	۲۵۸۹۶۲/۹	-۵۶۰۱۷۰/۱۹	۷۲۶۷۴۷/۴۴	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۲۱۴۲۶/۹۳	سود خالص اجتماعی (تومان/هکتار)
-۲۵/۵۹	۲۰/۹۵	-۱۹/۷۷		-۲۰/۸۰	-۲۴/۸۵	-۲۳/۶۵	درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود
-۴۸/۷۲	-۲۸/۴۰	-۳۰/۷۳	-۱۰۰/۰۰	-۱۳/۶۹	-۳۷/۵۱	-۴۶/۶۰	درصد تغییر نسبت به آب مصرفی موجود
۲۰/۸۲	۲۰/۸۲	۵۱/۸۳	۱۹/۳۴	۱۴/۷۳	۷۹/۰۳	۸۰/۸۶	هزینه اجتماعی تولید بدون هزینه اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/کیلو گرم)
۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۳	۳۰/۷۲	قیمت اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان / متر مکعب)
۵۱/۹۲	۵۱/۹۲	۷۹/۷۹	۱۴/۳۲	۴۱/۵۹	۱۸۱/۴۹	۱۶۳/۸۳	قیمت اجتماعی (تومان / کیلو گرم)
۲۰۵۳/۷۲	۲۰۵۳/۷۲	۱۱۴۲۰/۲۶	-۸۸۲۸۲/۸۲	۲۶۱۹۹۲/۴۵	۵۴۳۵۲/۸۶	۱۵۶۶۴/۰۷	سود خالص اجتماعی جاری هر فعالیت
۲۵۷۲۰۰/۵۶	سود خالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود						
۴۲۱۳/۲۳	۱۸۵۶۲۲/۵۶	۵۰۹۶۷/۳۳	۰/۰۰	۱۰۷۴۵۹/۰۰	۳۸۳۴۸/۷۲	۱۶۰۱۷/۴۶	سود خالص اجتماعی هر فعالیت در مدل
۴۰۲۶۲۸/۳۰	سود خالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت مدل						
۱۰۵	۸۹۳۸	۳۴۶	۱۰۰	-۵۹	-۲۹	۲	درصد تغییر سود خالص اجتماعی هر فعالیت نسبت به وضع موجود
۵۶/۵۴	درصد تغییر سود خالص اجتماعی در هکتار نسبت به الگوی کشت موجود						
۵۴/۴	۱۹۴۷/۹	۲۲۵۴/۸	۰/۰	۲۸۲۶/۴	۱۱۲۰/۷	۵۳۳/۲	کل آب مصرفی در هر فعالیت مدل
۴۵/۹۳		۷۱۰/۶۷	۲۴۳۲/۳۴	۵۸۱۵/۲۷	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲	کل آب مصرفی در هر فعالیت موجود
در سطح ۸۷/۵٪							
محصول							شرح
پیاز	سیب زمینی	چغندر قند	گوجه فرنگی	جو	گندم		
۰/۱۶	۰/۰۶۵	۰	۰/۳۳۹	۰/۳۰۶	۰/۱۲۹		سطح زیر کشت مدل (هکتار)
۰/۰۰۲۶	۰/۰۴۴۱	۰/۱۵۷۶	۰/۳۶۰۵	۰/۳۰۶۲	۰/۱۲۹۰		سطح زیر کشت موجود (هکتار)
۶۰۵۳/۸	۴۷/۴	-۱۰۰/۰	-۶/۰	-۰/۱	۰/۰		درصد تغییر نسبت به الگوی کشت موجود
۷	۲۴		۸	۱۲	۲۳		شماره سطح کم آبیاری

۰/۷۲۰۰	۰/۷۶۳		۰/۵۵۴۹	۰/۹۳۷۵	۰/۵۳۷۷	تنش در مرحله ارشد گیاه	
۰/۹۸۶۳	۰/۵۲۶۹		۰/۵۶۹۴	۰/۶۴۶۴	۰/۷۴۴۱	تنش در مرحله ۲ رشد گیاه	
			۰/۷۷۵۳	۰/۶۱۹۰	۰/۵۷۵۴	تنش در مرحله ۳ رشد گیاه	
۰/۸۵۷۱	۰/۷۶۵۱		۰/۹۴۴۹	۰/۵۴۹۷	۰/۵۰۶۷	تنش در مرحله ۴ رشد گیاه	
۰/۶۷۸۰	۰/۹۵۵۱		۰/۹۲۸۷	۰/۵۷۷۷	۰/۷۱۶۸	تنش در مرحله ۵ رشد گیاه	
۰/۷۹۳۰	۰/۵۸۴۰		۰/۵۷۶۰	۰/۵۵۳۰	۰/۵۲۹۰	نسبت عملکرد واقعی به بالقوه	
۵۴۵۰۲/۸	۲۶۷۵۶/۸		۳۵۶۲۱/۸	۲۳۲۱/۶	۳۰۲۷/۰	عملکرد واقعی (کیلو گرم/هکتار)	
۱۳۲۸۳/۱۱	۱۲۱۸۸/۵۱		۱۳۹۲۳/۰۵	۳۶۶۲/۴۳	۴۱۳۳/۵۱	آب مورد نیاز در سطح کم آبی و کارایی مورد نظر (مترمکعب/هکتار)	
۴۲۳۷۲/۸۸	۲۶۵۳۴/۵۵	۳۳۱۴۵/۳۷	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۰۸۹/۲۹	۳۹۶۴/۵۴	عملکرد موجود (کیلو گرم/هکتار)	
۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۵۴۳۳/۶۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	آب مصرفی در الگوی موجود (مترمکعب/هکتار)	
۷۸۹۸۹۳/۳۹	۲۵۸۹۶۲/۹	-۵۶۰۱۷۰/۱۹	۷۲۶۷۴۷/۴۴	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۲۱۴۲۶/۹۳	سودخالص اجتماعی (تومان/هکتار)	
۲۸/۶۳	۰/۸۴		-۲۰/۸۰	-۲۴/۸۵	-۲۲/۶۵	درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود	
-۲۴/۸۱	-۲۴/۳۶	-۱۰۰/۰۰	-۱۳/۶۹	-۳۷/۵۱	-۴۶/۶۰	درصد تغییر نسبت به آب مصرفی موجود	
۲۰/۸۲	۵۱/۸۳	۱۹/۳۴	۱۴/۷۳	۷۹/۰۳	۸۰/۸۶	هزینه اجتماعی تولید بدون هزینه اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/کیلو گرم)	
۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۳	۳۰/۷۲	قیمت اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان / مترمکعب)	
۵۱/۹۲	۷۹/۷۹	۱۴/۳۲	۴۱/۵۹	۱۸۱/۴۹	۱۶۳/۸۳	قیمت اجتماعی محصول (تومان / کیلو گرم)	
۲۰۵۳/۷۲	۱۱۴۲۰/۲۶	-۸۸۲۸۲/۸۲	۲۶۱۹۹۲/۴۵	۵۴۳۵۲/۸۶	۱۵۶۶۴/۰۷	سودخالص اجتماعی جاری هر فعالیت	
۲۵۷۲۰۰/۵۶	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود						
۲۰۵۹۱۶/۷۷	۲۴۲۸۹/۸۴	۰/۰۰	۱۷۹۴۵۱/۳۳	۳۸۳۴۸/۷۲	۱۶۰۱۷/۴۶	سودخالص اجتماعی هر فعالیت در مدل	
۴۶۴۰۲۴/۰۲	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت مدل						
۹۹۲۷	۱۱۳	۱۰۰		-۳۲	-۲۹	۲	درصد تغییر سودخالص اجتماعی هر فعالیت نسبت به وضع موجود
۸۰/۴۱	درصد تغییر سودخالص اجتماعی در هکتار نسبت به الگوی کشت موجود						
۲۱۲۵/۳	۷۹۲/۳	۰/۰	۴۷۱۹/۹	۱۱۲۰/۷	۵۳۳/۲		کل آب مصرفی در هر فعالیت مدل
۴۵/۹۳	۷۱۰/۶۷	۲۴۲۲/۳۴	۵۸۱۵/۲۷	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲		کل آب مصرفی در هر فعالیت موجود
در سطح ۸۵٪							
محصول							
							شرح
پیاز	سیب زمینی	چغندر قند	گوجه فرنگی	جو	جو	گندم	سطح زیر کشت مدل (هکتار)
۰/۱۶	.	.	۰/۴۰۴	۰/۰۵۳	۰/۲۵۴	۰/۱۲۹	سطح زیر کشت موجود (هکتار)
۰/۰۰۲۶	۰/۰۴۴۱	۰/۱۵۷۶	۰/۳۶۰۵	۰/۳۰۶۲	۰/۳۰۶۲	۰/۱۲۹۰	درصد تغییر نسبت به الگوی کشت موجود
۶۰۵۲/۸	-۱۰۰/۰	-۱۰۰/۰	۱۲/۱	-۸۲/۷	-۱۷/۰	۰/۰	شماره سطح کم آبیاری
۶			۸	۳۴	۲۱	۲۰	

تعیین راهبردهای مناسب ...

۰/۹۱۸۳			۰/۵۵۴۹	۰/۹۹۲۳	۰/۹۰۳۳	۰/۵۵۰۱	تنش در مرحله ۱ رشد گیاه
۰/۱۸۵۳۰			۰/۵۶۹۴	۰/۷۱۷۵	۰/۵۴۰۱	۰/۹۷۲۰	تنش در مرحله ۲ رشد گیاه
			۰/۷۷۵۳	۰/۹۳۵۲	۰/۷۵۵۹	۰/۸۴۶۱	تنش در مرحله ۳ رشد گیاه
۰/۹۸۳۳			۰/۹۴۴۹	۰/۵۴۶۳	۰/۵۱۰۷	۰/۵۲۷۱	تنش در مرحله ۴ رشد گیاه
۰/۷۸۸۵			۰/۹۲۸۷	۰/۶۵۹۲	۰/۸۸۲۸	۰/۶۳۷	تنش در مرحله ۵ رشد گیاه
۰/۱۸۶۲۰			۰/۵۷۶۰	۰/۶۹۹۰	۰/۵۸۴۰	۰/۶۸۴۰	نست عملکرد واقعی به بالقوه
۵۹۲۶۲/۱			۳۵۶۳۱/۸	۲۹۳۴/۴	۲۴۵۳/۵	۳۹۱۴/۲	عملکرد واقعی (کیلو گرم/هکتار)
۱۴۶۲۵/۶۶			۱۳۹۲۳/۰۵	۴۲۶۵/۶۶	۳۷۹۱/۷۷	۴۸۱۱/۳۷	آب مورد نیاز در سطح کم آبی لایه کارایی مورد نظر (متر مکعب/هکتار)
۴۲۳۷۲/۸۸	۲۶۵۳۴/۵۵	۳۳۱۴۵/۳۷	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۰۸۹/۲۹	۳۰۸۹/۲۹	۳۹۶۴/۵۴	عملکرد موجود (کیلو گرم/هکتار)
۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۵۴۳۳/۶۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	آب مصرفی در الگوی موجود (متر مکعب/هکتار)
۷۸۹۸۹۳/۲۹	۲۵۸۹۶۲/۹	-۵۶۰۱۷۰/۱۹	۷۲۶۷۴۷/۴۴	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۲۱۴۲۶/۹۳	سود خالص اجتماعی (تومان/هکتار)
۳۹/۸۶	-۱۰۰/۰۰		-۲۰/۸۰	-۵/۰۱	-۲۰/۵۸	-۱/۲۷	درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود
-۱۷/۲۱	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۳/۶۹	-۲۷/۲۲	-۳۵/۳۱	-۳۷/۸۴	درصد تغییر نسبت به آب مصرفی موجود
۲۰/۸۲	۵۱/۸۳	۱۹/۳۴	۱۴/۷۳	۷۹/۰۳	۷۹/۰۳	۸۰/۸۶	هزینه اجتماعی تولید بدون هزینه اجتماعی آب لاد زرخ بهره ۶ درصد (تومان/کیلو گرم)
۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	قیمت اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/متر مکعب)
۵۱/۹۲	۷۹/۷۹	۱۴/۳۲	۴۱/۵۹	۱۸۱/۴۹	۱۸۱/۴۹	۱۶۳/۸۳	قیمت اجتماعی محصول (تومان/کیلو گرم)
۲۰۵۳/۷۲	۱۱۴۲۰/۲۶	-۸۸۲۸۲/۸۲	۲۶۱۹۹۲/۴۵	۵۴۳۵۲/۸۶	۵۴۳۵۲/۸۶	۱۵۶۶۴/۰۷	سود خالص اجتماعی جاری هر فعالیت
۲۵۷۲۰۰/۵۶	سود خالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود						
۲۲۳۰۰۰/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱۳۸۵۹/۲۹	۸۹۸۷/۳۷	۳۴۲۵۵/۷۷	۲۲۸۲۷/۶۹	سود خالص اجتماعی هر فعالیت در مدل
۵۰۲۹۳۰/۳۶	سود خالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت مدل						
۱۰۷۵۸	-۱۰۰	۱۰۰	-۱۸	-۸۳	-۳۷	۴۶	درصد تغییر سود خالص اجتماعی هر فعالیت نسبت به وضع موجود
۹۵/۵۴	درصد تغییر سود خالص اجتماعی در هکتار نسبت به الگوی کشت موجود						
۲۳۴۰/۱	۰/۰	۰/۰	۵۶۲۴/۹	۲۲۶/۱	۹۶۳/۱	۶۲۰/۷	کل آب مصرفی در هر فعالیت مدل
۴۵/۹۳	۷۱۰/۶۷	۲۴۲۲/۳۴	۵۸۱۵/۲۷	۱۷۹۴/۶۷	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲	کل آب مصرفی در هر فعالیت موجود
<b>در سطح ۸۰٪</b>							
<b>محصول</b>							<b>شرح</b>
<b>پیاز</b>	<b>سیب زمینی</b>	<b>چغندر قند</b>	<b>گوجه فرنگی</b>	<b>جو</b>	<b>جو</b>	<b>گندم</b>	
۰/۱۶	۰	۰	۰/۴۰۴	۰/۱۴۵	۰/۱۶۲	۰/۱۲۹	سطح زیر کشت مدل (هکتار)
۰/۰۰۲۶	۰/۰۴۴۱	۰/۱۵۷۶	۰/۳۶۰۵	۰/۳۰۶۲	۰/۳۰۶۲	۰/۱۲۹۰	سطح زیر کشت موجود (هکتار)

۶۰۵۲/۸	-۱۰۰/۰	-۱۰۰/۰	۱۲/۱	-۵۲/۶	-۴۷/۱	۰/۰	درصد تغییر نسبت به الگوی کشت موجود
۶			۱۹	۲۰	۱۷	۱۴	شماره سطح کم آبیاری
-۰/۹۱۸۳			-۰/۶۷۱۳	۰/۸۰۹۲	۰/۷۹۹۰	۰/۷۹۱۱	تنش در مرحله ۱ رشد گیاه
-۰/۸۵۳۰			-۰/۶۵۶۲	۰/۷۶۷۵	۰/۸۶۷۴	۰/۹۴۶۴	تنش در مرحله ۲ رشد گیاه
			-۰/۹۱۷۱	۰/۹۹۳۲	۰/۹۸۰۹	۰/۹۸۸۹	تنش در مرحله ۳ رشد گیاه
-۰/۹۸۳۳			-۰/۸۱۶۶	۰/۵۷۹۱	۰/۹۷۶۱	۰/۵۶۳۶	تنش در مرحله ۴ رشد گیاه
-۰/۷۸۸۵			-۰/۸۴۵۸	۰/۷۱۰۸	۰/۵۵۵۳	۰/۷۳۶۱	تنش در مرحله ۵ رشد گیاه
-۰/۸۶۲۰			-۰/۶۲۶۰	۰/۷۴۶۰	۰/۹۴۵۰	۰/۷۶۵۰	نسبت عملکرد واقعی به بالقوه
۵۹۲۶۲/۱			۳۸۶۸۶/۰	۳۱۳۳/۹	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۷/۶	عملکرد واقعی (کیلوگرم/هکتار)
۱۴۶۲۵/۶۶			۱۴۹۱۹/۵۲	۴۴۸۳/۹۵	۵۶۰۰/۵۵	۵۲۵۷/۵۹	آب مورد نیاز در سطح کم آبی و کارایی مورد نظر (مترمکعب/هکتار)
۴۲۳۷۲/۸۸		۳۳۱۴۵/۳۷	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۰۸۹/۳۹	۳۰۸۹/۲۹	۳۹۶۴/۵۴	عملکرد موجود (کیلوگرم/هکتار)
۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۵۴۳۳/۶۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	آب مصرفی در الگوی موجود (مترمکعب/هکتار)
۷۸۹۸۹۳/۲۹	۲۵۸۹۶۲/۹	-۵۶۰۱۷۰/۱۹	۷۲۶۷۴۷/۴۴	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۲۱۴۲۶/۹۳	سودخالص اجتماعی (تومان/هکتار)
۳۹/۸۶			-۱۴/۰۱	۱/۴۴	۲۸/۴۳	۱۰/۴۲	درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود
-۱۷/۲۱	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۷/۵۱	-۲۳/۵۰	-۴/۴۵	-۳۲/۰۸	درصد تغییر نسبت به آب مصرفی موجود
۲۰/۸۲	۵۱/۸۳	۱۹/۳۴	۱۴/۷۳	۷۹/۰۳	۷۹/۰۳	۸۰/۸۶	هزینه اجتماعی تولید بدون هزینه اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/کیلوگرم)
۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۳	۳۰/۷۳	۳۰/۷۲	قیمت اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/مترمکعب)
۵۱/۹۲	۷۹/۷۹	۱۴/۳۲	۴۱/۵۹	۱۸۱/۴۹	۱۸۱/۴۹	۱۶۲/۸۳	قیمت اجتماعی محصول (تومان/کیلوگرم)
۲۰۵۳/۷۲	۱۱۴۲۰/۲۶	-۸۸۲۸۲/۸۲	۲۶۱۹۹۲/۴۵	۵۴۳۵۲/۸۶	۵۴۳۵۲/۸۶	۱۵۶۶۴/۰۷	سودخالص اجتماعی جاری هر فعالیت
۲۵۷۲۰۰/۵۶	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود						
۲۲۳۰۰۰/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۳۴۶۳۴/۰۶	۲۶۵۷۹/۷۸	۳۷۹۷۷/۱۴	۲۶۰۱۸/۴۴	سودخالص اجتماعی هر فعالیت در مدل
۵۴۸۲۰۹/۶۵	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت مدل						
۱۰۷۵۸	-۱۰۰	۱۰۰	-۱۰	-۵۱	-۳۰	۶۶	درصد تغییر سودخالص اجتماعی هر فعالیت نسبت به وضع موجود
۱۱۳/۱۴	درصد تغییر سودخالص اجتماعی در هکتار نسبت به الگوی کشت موجود						
۲۳۴۰/۱	۰/۰	۰/۰	۶۰۲۷/۵	۶۵۰/۲	۹۰۷/۳	۶۷۸/۲	کل آب مصرفی در هر فعالیت مدل
۴۵/۹۳	۷۱۰/۶۷	۲۴۳۲/۳۴	۵۸۱۵/۲۷	۱۷۹۴/۶۷	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲	کل آب مصرفی در هر فعالیت موجود

مأخذ: یافته‌های تحقیق

### ارزیابی الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه



تعیین راهبردهای مناسب ...

مدل سطح حوضه ۱۸ بارحل و منجر به ۱۳ جواب بهینه گردید که بعضی از آنها در اینجا مورد بررسی قرار گرفت. با نگاهی به سطوح کم آبیاری در الگوهای بهینه کشت مشاهده می شود که دامنه تغییرات این سطوح محدود است و آنها در حالت نبود ریسک و ریسک در مدل تکرار شده اند. در بعضی از الگوهای بهینه کشت، به جز گندم، سایر محصولات در دو سطح کم آبیاری در الگوی بهینه کشت مشاهده می شوند. برای توجیه این امر به نظر می رسد که توضیحی لازم است. سلطانی و همکاران (Soltani & et al., 1992) در بررسی مسائل انتقال توابع تولید به کشورهای در حال توسعه، مشکلات مبتلا به انتقال انواع توابع را بررسی کردند. در بخشی از مقاله درباره تعیین مقدار بهینه آب بحث و کلاً از دوروش اساسی تخصیص آب در سطح مزرعه صحبت شده است: یکی تعیین مقدار بهینه فصلی آبی که می بایست به هر محصول اختصاص یابد و دیگری، تخصیص بهینه آب در طول فصل رشد هر محصول. در روش اول، مقدار بهینه آب آبیاری از برابری ارزش محصول نهایی با هزینه نهایی آب به دست می آید. به عبارت دیگر، ارزش نهایی آخرین واحد آبی که مصرف می شود باید برابر با هزینه تولید آن واحد آب باشد. اما چون مدتی که آب در اختیار گیاه قرار می گیرد در مقدار محصول تولیدی بسیار مؤثر است، باید در تخصیص آب به این مسئله توجه کرد. لذا، برای تعیین تخصیص بهینه آب، به جای یک تابع تولید، برای هر مرحله از رشد گیاه به توابع تولید مختلف نیاز است. با چنین توابع زمانداری، تخصیص بهینه مقدار محدود آب در دسترس زمانی تحقق می یابد که ارزش انتظاری محصول نهایی آب در تمام مراحل رشد گیاه با هم برابر شود. با توجه به الگوهای بهینه کشت در مطالعه حاضر، که در حقیقت از توابع تولید زماندار به دست آمده اند، به نظر می رسد اصل بیان شده برای تخصیص آب در سطح مزرعه کافی نباشد. بدیهی است اگر یک محصول در سطح مزرعه کاشته می شد، اصل فوق برای تخصیص آب محدود کافی می بود. اما اکثر کشاورزان بیش از یک محصول در مزرعه می کارند و به همین دلیل تعیین الگوی بهینه کشت در اقتصاد کشاورزی اهمیت ویژه ای دارد. در واقع کشاورزان محصولاتی را در مزرعه می کارند که مراحل رشد آنها متفاوت است و این امکان برای آنها

هست که براساس باورذهنی خود نسبت به تأثیر آبیاری در کل سوددهی مزرعه و نه یک محصول، درمراحل از رشد محصول یا برخی از محصولات آب کمتری مصرف کنند تا آبی که از این طریق برای آنها باقی می ماند به محصولی دیگر در مزرعه اختصاص یابد. بدیهی است این مسئله یک تصمیم گیری اقتصادی است و زمانی منجر به حداکثر سود مزرعه می شود که کاهش درآمد ناشی از آبیاری کمتر با افزایش درآمد حاصل از به کارگیری آب در محصول دیگر، برابر شود. به عبارت دیگر بازده نهایی آب نه تنها در مراحل مختلف رشد گیاه بلکه در مراحل رشد گیاهانی که در مزرعه کاشته می شوند و قطعاً مراحل رشد متفاوت با یکدیگر دارند باید برابر شود. برای مثال، زمانی که گندم در مرحله آخر رشد خود قرار دارد، در منطقه چغندر و یا گوجه فرنگی کاشته می شود. لذا، بازده آب در مرحله جوانه زنی چغندر علاوه بر مراحل مختلف رشد گندم باید برابر با بازده آب در مرحله بلوغ گندم نیز شود تا حداکثر سود تحقق پیدا کند. با توجه به این امر، این امکان وجود دارد که در الگوی بهینه کشت یک محصول، چند سطح متفاوت کم آبیاری دیده شود. نکته دیگری که در همین راستا به ذهن می رسد این است که آیا کم آبیاری تابع قانون بازده نزولی می باشد؟ روشن است که در هر مرحله از رشد گیاه می توان انتظار بازده نزولی را داشت؛ یعنی در هر مرحله از رشد گیاه واحدهای اولیه آب آبیاری بازده بیشتری دارند تا واحدهای بعدی یا در فاصله ای در مرحله رشد گیاه این امر تحقق پیدا می کند. این گفته با توجه به اینکه در هر مرحله از رشد گیاه تابع تولیدی می توان داشت، به نظر صحیح می رسد. گفتنی است که در اصل "برابری بازده نهایی با هزینه نهایی" تلویحاً این قانون وجود دارد و می توان گفت به دلیل وجود چنین قانونی، برابری بازده نهایی آب در مراحل مختلف رشد یک گیاه و بین مراحل مختلف رشد گیاهان با هزینه نهایی آب معنی پیدا می کند.

مروری بر الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه نشان می دهد که بیشترین سودخالص اجتماعی در شرایطی به دست می آید که کارایی مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه بالاست و در دسترسی به آب آبیاری ریسکی وجود ندارد. هرچقدر کارایی کاهش و مقدار ریسک

تعیین راهبردهای مناسب ...

افزایش یابد، سودخالص اجتماعی کاهش پیدا می کند. به عبارت دیگر، درشرایطی که سطح کارایی پایین است، سودخالص اجتماعی بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می گیرد و اگر منطقه با خشکسالیهای دوره ای مواجه باشد، پایین بودن سطح کارایی موجب تشدید پیامدهای منفی خشکسالی می شود. نتایج سطوح کارایی پایین ترو مقدار ریسک بیشتر به واقعتهای موجود منطقه نزدیکتر است و لذا می توان پی به زمینه ای که لازم است در آن بیشتر سرمایه گذاری شود برد. همان طور که پیشتر گفته شد، مدل دردو حالت با وبدون چغندر قند به عنوان یک فعالیت حل شد که نتایج بالا مربوط به حالتی است که چغندر قند به دلیل داشتن سودخالص اجتماعی منفی در هکتار، از پیش به گونه ای در مدل برنامه ریزی شد که سطح زیر کشت آن به یکی از محصولات هم دوره با آن انتقال یابد. در ادامه، نتایج حالت وجود چغندر به عنوان یک فعالیت در مدل، مورد بحث قرار گرفته است.

#### **الگوهای بهینه کشت در سطح حوضه با لحاظ کردن چغندر قند**

نتایج مدل سطح حوضه با در نظر گرفتن چغندر قند به عنوان یک فعالیت، در جدول ۴ برای سطوح مختلف کارایی مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و شرایط نبود ریسک در مقدار آب آبیاری در دسترس نشان داده شده است.

#### **الگوی بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد و نبود ریسک در مدل**

جدول ۴ نتایج سطح کارایی ۴۵ درصد را نشان می دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می شود که سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی بهینه کشت ۲۷۲۷۱۲ تومان است که نسبت به الگوی کشت موجود ۶ درصد افزایش یافته است. مقدار آب آبیاری مورد نیاز الگوی بهینه کشت ۱۱۸۱۳ متر مکعب می باشد که از مقدار مصرف موجود ۰/۱۴ درصد بیشتر است؛ در واقع در هر هکتار، مصرف آب آبیاری ۱۶ متر مکعب بیشتر است. بازده هر متر مکعب آب آبیاری در الگوی بهینه کشت ۲۳/۰۸ تومان است که حدود ۶ درصد بیشتر از مقدار مشابه در الگوی کشت موجود است.

جدول ۴. الگوهای بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد در شرایط نبود ریسک و در نظر گرفتن چندرقتند به عنوان یک فعالیت

شرح	محصول				
	گندم	جو	گوجه فرنگی	چغندر قند	سیب زمینی
سطح زیر کشت مدل (هکتار)	۰/۱۲۹	۰/۳۰۶	۰/۳۶	۰/۱۵۸	۰/۰۴۴
سطح زیر کشت موجود (هکتار)	۰/۱۲۹۰	۰/۳۰۶۲	۰/۳۶۰۵	۰/۱۵۷۶	۰/۰۴۴۱
درصد تغییر نسبت به الگوی کشت موجود	۰/۰	-۰/۱	-۰/۱	۰/۳	-۰/۲
شماره سطح کم آبیاری	۲۵	۱۷	۲۵	۲۲	۴
تنش در مرحله ۱ رشد گیاه	۰/۶۴۱۹	۰/۷۹۹۰	۰/۶۷۸۶	۰/۵۲۳۴	۰/۶۱۵۱
تنش در مرحله ۲ رشد گیاه	۰/۹۱۰۴	۰/۸۶۷۴	۰/۹۶۷۵	۰/۶۵۹۴	۰/۹۷۷۳
تنش در مرحله ۳ رشد گیاه	۰/۹۲۸۸	۰/۹۸۰۹	۰/۹۷۲۱		
تنش در مرحله ۴ رشد گیاه	۰/۸۸۳۴	۰/۹۷۶۱	۰/۷۱۱۸	۰/۵۸۵۱	۰/۹۶۱۳
تنش در مرحله ۵ رشد گیاه	۰/۸۱۱۶	۰/۵۵۵۳	۰/۹۱۰۶	۰/۵۶۵۳	۰/۷۱۴۶
نسبت عملکرد واقعی به بالقوه	۰/۸۸۰۰	۰/۹۴۵۰	۰/۷۰۸۰	۰/۵۰۱	۰/۹۰۱۰
عملکرد واقعی (کیلو گرم/هکتار)	۵۰۴۰/۸	۳۹۶۷/۷	۴۳۷۵۸/۳	۲۷۹۳۹/۳	۴۱۲۹۴/۸
آب مورد نیاز در سطح کم آبی و کارایی مورد نظر (مترمکعب/هکتار)	۶۳۹۱/۰۸	۵۶۰۰/۵۵	۱۷۴۰۰/۴	۱۳۲۳۶/۴	۱۹۹۱۲/۲
عملکرد موجود (کیلو گرم/هکتار)	۳۹۶۴/۵۴	۳۰۸۹/۲۹	۴۴۹۸۹/۹۲	۳۳۱۴۵/۳۷	۲۶۵۳۴/۵۵

تعیین راهبردهای مناسب ...

۱۷۶۶۶/۰۰	۱۶۱۱۴/۸۶	۱۵۴۳۳/۶۰	۱۶۱۳۱/۱۱	۵۸۶۱/۱۱	۷۷۴۰/۴۳	آب مصرفی در الگوی موجود (مترمکعب/هکتار)
۷۸۹۸۹۳/۲۹	۲۵۸۹۶۲/۹	-۵۶۰۱۷۰/۱۹	۷۲۶۷۴۷/۴۴	۱۷۷۵۰۷/۷۲	۱۲۱۴۲۶/۹۳	سودخالص اجتماعی (تومان/هکتار)
۳۹/۸۶	۵۵/۶۳	-۱۵/۷۱	-۲/۷۴	۲۸/۴۳	۲۷/۱۵	درصد تغییر نسبت به عملکرد موجود
-۱۷/۲۱	۲۳/۵۶	-۱۴/۲۴	۷/۸۷	-۴/۴۵	-۱۷/۴۳	درصد تغییر نسبت لبه آب مصرفی موجود
۲۰/۸۲	۵۱/۸۳	۱۹/۳۴	۱۴/۷۳	۷۹/۰۳	۸۰/۸۶	هزینه اجتماعی تولید بدون هزینه اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/کیلو گرم)
۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۲	۳۰/۷۳	۳۰/۷۲	قیمت اجتماعی آب در نرخ بهره ۶ درصد (تومان/مترمکعب)
۵۱/۹۲	۷۹/۷۹	۱۴/۳۲	۴۱/۵۹	۱۸۱/۴۹	۱۶۳/۸۳	قیمت اجتماعی محصول (تومان / کیلو گرم)
۲۰۵۳/۷۲	۱۱۴۲۰/۲۶	-۸۸۲۸۲/۸۲	۲۶۱۹۹۲/۴۵	۵۴۳۵۲/۸۶	۱۵۶۶۴/۰۷	سودخالص اجتماعی جاری هر فعالیت
۲۵۷۲۰۰/۵۶	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود					
۴۱۸۱/۲۵	۲۳۸۸۷/۵۸	-۸۶۴۰۶/۵۳	۲۳۰۶۹۰/۶۳	۷۱۷۳۴/۵۹	۲۸۶۲۴/۹۴	سودخالص اجتماعی هر فعالیت در مدل
۲۷۲۷۱۲/۴۷	سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت مدل					
۱۰۴	۱۰۹	-۲	-۱۲	۳۲	۸۳	درصد تغییر سودخالص اجتماعی هر فعالیت نسبت به وضع موجود
۶/۰۳	درصد تغییر سودخالص اجتماعی در هکتار نسبت به الگوی کشت موجود					
۴۳/۸۸	۸۷۶/۱۴	۲۰۹۱/۳۵	۶۲۶۴/۱۴	۱۷۱۳/۷۷	۸۲۴/۴۵	کل آب مصرفی در فعالیت مدل
۴۵/۹۳	۷۱۰/۶۷	۲۴۳۲/۳۴	۵۸۱۵/۲۷	۱۷۹۴/۶۷	۹۹۸/۵۲	کل آب مصرفی در

						فعالیت موجود
--	--	--	--	--	--	--------------

مأخذ: یافته‌های تحقیق

### الگوی بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد و وجود ریسک درمدل

در جدول ۵ نتایج مدل در سطح کارایی ۴۵ درصد و وجود ریسک و در نظر گرفتن چغندر قند به عنوان یک فعالیت دارای سودخالص اجتماعی منفی نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود در سطح کارایی ۴۵ درصد، سودخالص اجتماعی در هکتار الگوهای بهینه کشت کمتر از سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود است. با این حال، در سطح کارایی ۴۵ درصد، سودخالص اجتماعی در هکتار الگوهای بهینه کشت مثبت می‌باشد و با کاهش مقدار ریسک، به سودخالص اجتماعی در هکتار الگوی کشت موجود نزدیک می‌شود به طوری که در سطح ریسک ۸۰ درصد، ۳/۵ درصد کمتر از مقدار الگوی کشت موجود است.

### جدول ۵. الگوهای بهینه کشت در سطح کارایی ۴۵ درصد با وجود ریسک و در نظر گرفتن

#### چغندر به عنوان یک فعالیت

سطح ریسک در مقدار آب آبیاری در دسترس					محصول
%۹۵	%۹۰	%۸۷/۵	%۸۵	%۸۰	
			۰/۱۲۹	۰/۱۲۹	گندم سطح کم آبیاری ۱۴
	۰/۱۲۹	۰/۱۲۹			گندم سطح کم آبیاری ۲۳
۰/۱۲۹					گندم سطح کم آبیاری ۲۷
۰/۳۰۶	۰/۳۰۶	۰/۳۰۶			جو سطح کم آبیاری ۱۲
				۰/۳۰۶	جو سطح کم آبیاری ۱۷
			۰/۳۰۶		جو سطح کم آبیاری ۲۰
۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	چغندر قند سطح کم آبیاری ۲۲
۰/۳۶	۰/۱۵۸				گوجه فرنگی سطح کم آبیاری ۴
	۰/۲۰۳	۰/۳۶	۰/۳۴۶		گوجه فرنگی سطح کم آبیاری ۸
			۰/۰۱۴		گوجه فرنگی سطح کم آبیاری ۱۹
				۰/۳۴۴	گوجه فرنگی سطح کم آبیاری ۲۰
				۰/۰۱۷	گوجه فرنگی سطح کم آبیاری ۲۵
			۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	پیاز سطح کم آبیاری ۶
		۰/۰۰۳			پیاز سطح کم آبیاری ۷

تعیین راهبردهای مناسب ...

۰/۰۰۳	۰/۰۰۳				پیاز سطح کم آبیاری ۲۴
			۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	سیب زمینی سطح کم آبیاری ۱۹
		۰/۰۱۶			سیب زمینی سطح کم آبیاری ۲۴
۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۲۸			سیب زمینی سطح کم آبیاری ۲۷
-۹۳۸۷/۷۳۷	۹۳۰۲۶/۲۲۳	۱۷۵۳۰۶/۶۰۴	۲۱۰۶۷۰/۱۰۹	۲۴۸۰۶۴/۵۵۳	سودخالص اجتماعی (تومان/هکتار)
۸۰۳۸/۶۴	۸۷۳۲/۷۶	۹۲۹۹/۸۳	۹۷۷۹/۶۵	۱۰۶۰۸/۴۴	آب آبیاری مورد نیاز (مترمکعب/هکتار)
-۱۰۳/۶۵	-۶۳/۸۳	-۳۱/۸۴	-۱۸/۰۹	-۳/۵۵	درصد تغییر سودخالص اجتماعی در هکتار [الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت موجود
-۳۱/۸۶	-۲۵/۹۸	-۲۱/۱۷	-۱۷/۱۰	-۱۰/۰۸	درصد تغییر آب آبیاری مورد نیاز در هکتار [الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت موجود

مأخذ: یافته‌های تحقیق

ارزیابی الگوهای بهینه کشت با در نظر گرفتن چغندر قند به عنوان یک فعالیت

با نگاهی به نتایج مدل در شرایطی که چغندر قند به عنوان یک فعالیت در نظر گرفته شد، مشاهده می‌شود که امکان افزایش سودخالص اجتماعی در هکتار وجود دارد. این امر در شرایطی تحقق می‌یابد که چغندر قند با تنش زیاد در هر مرحله از رشد خود مواجه شود (در این شرایط عملکرد واقعی نسبت به عملکرد موجود ۱۵/۷ درصد کاهش می‌یابد) و در عین حال سطح کارایی آب آبیاری در سطح مزرعه بیشتر از ۴۵ درصد باشد و مقدار ریسک دسترسی به مقدار آب آبیاری نیز کاهش یابد. ملاحظه می‌شود که هرچه مقدار ریسک در مقدار آب آبیاری افزایش یابد، سودخالص اجتماعی کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که با حفظ الگوی کشت موجود و افزایش کارایی مصرف آب آبیاری و به کارگیری تنش مناسب برای فعالیت چغندر قند، که دارای سودخالص اجتماعی منفی است، امکان کاهش بخش زیانده اجتماعی الگوهای کشت موجود و در نتیجه افزایش سودخالص اجتماعی وجود دارد. باید گفت که افزایش کارایی بدون هزینه نیست و لذا خود مسئله‌ای اقتصادی است که

باید هزینه و منافع آن برای بخش خصوصی و دولتی مورد ارزیابی قرار گیرد. در بیشتر مطالعات افزایش کارایی با فرض هزینه صفر ارزیابی و لذا روی آن تأکید بسیار شده است.

### نتیجه گیری

مدل برنامه ریزی ریاضی برای تعیین راهبرد مناسب آبیاری در سطح مزرعه به گونه ای که منافع اجتماعی حداکثر شود، ساخته شد. مدل در سه سطح کارایی ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد در مصرف آب آبیاری در سطح مزرعه و نیز در حالت با وبدون ریسک در مقدار آب آبیاری و همچنین در حالت با وبدون لحاظ کردن چغندر قند (محصولی که بر اساس کار تحقیقاتی سلطانی و همکاران فاقد مزیت نسبی و در نتیجه دارای سودخالص اجتماعی منفی بود) حل شد. مقدار تنش در مراحل مختلف رشد گیاه با استفاده از نرم افزار اکسل، به طور تصادفی بین ۱-۰/۵ تعیین گردید. افزون بر آن، هر محصول زراعی در قالب ۴۵ فعالیت جدا، که تنشهای مختلفی بر مراحل رشد آنها اعمال گردید، در نظر گرفته شد. برنامه نوشته شده علاوه بر الگوی بهینه کشت، نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل، عملکرد واقعی، مقدار آب آبیاری در هر مرحله از رشد گیاه در سطوح بازده مختلف و کل آب آبیاری مورد نیاز را برای هر سطح کم آبیاری مورد نظر به دست داد.

با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که بازده آبیاری در سطح نمونه بین محصولات متفاوت است و کارایی مصرف آب در کل نمونه بیشتر از ۳۵ درصد می باشد. افزون بر آن، به نظر می رسد اگر مقدار سطوح کم آبیاری مورد نظر بیشتر می بود، احتمالاً نتایج به واقعیت های موجود نزدیکتر می شد. با این حال، نتایج به دست آمده در سطح کارایی ۳۵ درصد خیلی به واقعیت های موجود در سطح مزرعه نزدیک است. شاید یک روش عملی در تعیین بازده آب آبیاری در سطح مزرعه، روش به کار گرفته شده در همین مطالعه باشد: یعنی تعیین مقادیر آب آبیاری در سطوح مختلف کارایی با توجه به سطوح متفاوت تنش در مراحل رشد گیاه و در نتیجه، تعیین مقدار آب آبیاری مورد نیاز و عملکرد واقعی و سپس مقایسه نتایج به دست آمده با وضعیت موجود در سطح مزرعه. نتایج مدل در سطح کارایی ۳۵، ۴۵ و ۶۵ درصد



تعیین راهبردهای مناسب ...

در حالت نبود ریسک و سطوح ریسک ۸۰، ۸۵، ۸۷/۵، ۹۰ و ۹۵ درصد درمقدار دسترسی به آب آبیاری نیز به دست آمد که بیان تمامی نتایج به دست آمده منجر به طولانی شدن مقاله می شود و لذا نتایج سطح کارایی ۴۵ درصد ارائه شد که نشان می دهد کاهش مصرف آب در یک فعالیت الزاماً به معنی کاهش آب درالگوی کشت نیست.

با توجه به الگوهای بهینه کشت، که درحقیقت از توابع تولید زماندار به دست آمده اند، به نظر رسید که اصل بیان شده برای تخصیص آب، یا برابری بازده نهایی آب در مراحل مختلف رشد گیاه، در سطح مزرعه کافی نباشد. بدیهی است که اگر یک محصول در سطح مزرعه کاشته می شد، اصل فوق برای تخصیص آب محدود کافی می بود. اما اکثر کشاورزان بیش از یک محصول در مزرعه می کارند؛ محصولاتی که مراحل رشد آنها متفاوت است و این امکان برای کشاورزان هست که براساس باور ذهنی خود نسبت به تأثیر آبیاری در کل سوددهی مزرعه و نه یک محصول، به مراحل از رشد بعضی از محصولات یا محصولات آب کمتری دهند تا آبی که از این طریق برای آنها باقی می ماند به محصولی دیگر در مزرعه اختصاص یابد. انتظار آن است که این مسئله تا جایی ادامه یابد که کاهش درآمد حاصل از آبیاری کمتر، با افزایش درآمد حاصل از به کارگیری آب در محصول دیگر برابر شود؛ به عبارت دیگر بازده نهایی آب نه تنها در مراحل مختلف رشد یک گیاه بلکه در مراحل رشد گیاهان مختلفی که در مزرعه کاشته می شوند قطعاً این مراحل با یکدیگر متفاوتند، باید برابر شود. نتایج همچنین نشان داد که سطوح کارایی پایین تر و مقدار ریسک بالاتر به واقعتهای موجود منطقه نزدیکتر است و لذا زمینه ای که لازم است در آن بیشتر تحقیق و سرمایه گذاری شود، مشخص گردید.

با نگاهی به نتایج مدل در شرایط لحاظ چغندر قند به عنوان یک فعالیت، مشخص شد که امکان افزایش سودخالص اجتماعی در هر هکتار وجود دارد. این امر در شرایطی تحقق یافت که چغندر قند با تنش زیاد در هر مرحله از رشد خود مواجه شد (در این شرایط عملکرد واقعی نسبت به عملکرد موجود ۱۵/۷ درصد کاهش داشت). در این حالت، امکان افزایش سودخالص

اجتماعی زمانی بیشتر است که سطح کارایی آب آبیاری در سطح مزرعه بیشتر از ۴۵ درصد می باشد و مقدار ریسک دسترسی به مقدار آب آبیاری نیز کاهش می یابد.

### منابع

۱. سلطانی، غ. (۱۳۷۲)، تعیین آب بها و تخصیص بهینه آب در اراضی زیر سدها: مطالعه موردی سد درودزن، مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم سیاست کشاورزی ایران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۹۵-۲۱۱.
۲. وزارت کشاورزی، سازمان تات (۱۳۷۵)، سند ملی آب کشور، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
۳. وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان (۱۳۸۲)، آب محور توسعه خراسان، معاونت برنامه ریزی و بهبود مدیریت، ص: ۱۴.
4. Allen, R. G.; L. S. Pereira; D. Raes and M. S. Smith (1988), Crop evapotranspiration, *Irrigation and Drainage Paper*, No. 56, FAO, Rome, PP: 300.
5. Brooke, A.; D. Kendric and A. Meeraus (1988), GAMS, A User's Guide, *The Scientific Press*. P: 273.
6. Charnes, A. and W. W. Cooper (1959), Chance constrained programming, *Manag. Sci.*, 6:73-79.
7. 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.
8. Gharaman, B. & A.R. Sepaskhah (2004), Linnear and non Linnear optimization models for Allocation of limited water, supply, *Irrig. Drain.*, 53:39-54

تعیین راهبردهای مناسب ...

9. Johansson, R. C.; Y. Tsur.; T. L. Roe and R. Doukkali (2002), Pricing irrigation water: a review of theory and practice, *Water Policy*, 4:173–199.
10. Mainuddin, M.; A. D. Gupta and P. R. Onta (1997), Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand, *Agric. Water Manag.*, 33: 43-62.
11. McCarl, B. A. and T. H. Spreen (2005), Applied mathematical programming using algebraic systems, University of California, mccarl@tamu.edu.
12. Maji, C. O. and E. O. Heady (1978), Intertemporal allocation of irrigation water in the Mayurakshiproject (India): an application of chance-constrained linear programming, *Water Resour. Res.*, 14(2): 190-196.
13. Pazira, E. and K. Sadeghzadeh (1999), Sustainable soil and water use in agricultural sector of Iran, International Conference on Agricultural Engineering, Beijing, China.
14. Rosegrant, M. W.; C. Ringler.; D. C. McKinney.; X. Cai.; A. Keller and G. Donoso (2000), Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo River Basin. EPTD Discussion, Paper NO. 36., International Food Policy Research Institute, Washington D.C. , U.S.A.
15. Siadat, H. (2000), Iranian agriculture and salinity, Soil and Water Research Institue of Iran.

16. Soltani, G. R.; S. Pandey and W. F. Musgrave (1992), Problems of transferring crop-water production knowledge to developing countries, *Water Resour. Res.*, 96-101.
  17. Vojdani, F. (2003), Water management in Iran: challenges and opportunities, Tehran Province Water and Wastewater Company  
E- mail: fovjdani@ hotmail.com.
  18. Yaron, D. and A. Dinar (1982), Optimal allocation of farm irrigation water peak season, *Amer. J. Agric. Econ.*, 64:681-689.
  19. Zibae, M. (2002), The optimization of irrigation strategies, cropping patterns and conjunctive use of groundwater and surface water under risk: a case study, Ph.D Dissertation., University of Shiraz, Shiraz, Iran.
-