

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هجدهم، شماره ۷۱، پاییز ۱۳۸۹

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد درودزن با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی و استراتژیهای کم آبیاری

رباب محسن پور*، دکتر منصور زیبایی**

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۲

چکیده

در این مطالعه تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد درودزن با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی مطلوبیت کارا و استراتژیهای کم آبیاری، با توجه به مشکلات کمبود آب و خشکسالیهای پی در پی در استان فارس، مورد توجه قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان داد که لزوماً جهت حداکثر کردن مطلوبیت، استراتژیهای کامل آبیاری به کار نمی‌رود. لذا کشت ذرت ۱ (کشت یک هکتار ذرت در شرایط آبیاری کامل) و ذرت ۷ (کشت یک هکتار ذرت با اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری) که نسبت به برنج نیاز آبی کمتری دارند، حداکثر مطلوبیت را به همراه آورده است. همچنین بر پایه نتایج این مطالعه مشخص شد که در سال زراعی ۱۳۸۴-۸۵، رهاسازی آب از دریچه سد درودزن بهینه نبوده است.

* کارشناس مرکز تحقیق و توسعه بانک کشاورزی (نویسنده مسئول)

e-mail: zibaei@shirazu.ac.ir

** دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

کلید واژه‌ها:

مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا، کم‌آبیاری، الگوی کشت، سد درودزن

مقدمه

افزایش تولید محصولات کشاورزی و درآمد کشاورزان از هدفهای مهم سیاست‌گذاران بخش کشاورزی به‌شمار می‌رود. بدیهی است که تأمین آب مطمئن برای توسعه زمینهای آبی همزمان با افزایش بازده آبیاری، نقش کلیدی و تعیین‌کننده در تحقق این هدفها خواهد داشت. اما به دلیل محدودیت شدید منابع آب به‌ویژه در شرایط خشک و نیمه خشک که کمبود آب یکی از موانع جدی چرخه تولید به حساب می‌آید، استفاده از منابع آب جایگزین و روشهای کم‌آبیاری برای تداوم فعالیتهای کشاورزی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (کیانی و همکاران، ۱۳۸۲). امروزه تکنیک کم‌آبیاری^۱ یکی از راه‌های مؤثر و عملی است که می‌تواند حداقل آب مصرفی با عملکرد قابل قبول و اقتصادی را تعیین و توجیه نماید. کم‌آبیاری در واقع تعیین‌کننده حد مجاز کاهش عملکرد ناشی از کاهش آب مصرفی است. در این تکنیک با کاهش آب مصرفی و تعیین حد بهینه آن، هر چند عملکرد در واحد سطح به‌ظاهر کاهش می‌یابد، ولی با کاهش هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب در نهایت سود خالص بیشتری عاید خواهد گردید (توکلی، ۱۳۷۶).

خیرابی و همکاران (۱۳۷۵) معتقدند که صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند در حکم مدیریت آب در مزرعه، در افزایش سطح زیر کشت و نیز در تعیین الگوی بهینه کمک نماید. کم‌آبیاری به‌عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح است. بنلی و کدال (Benli & Kodal, 2003) مدل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی را برای مشخص کردن الگوی کشت، مقدار آب و درآمد مزرعه

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

تحت شرایط عرضه آب کافی و محدودیت آب بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های غیرخطی ارزش درآمدی بالاتری را تحت شرایط کمبود آب به همراه دارند. هوآری و آزایز (Haouari & Azaiez, 2001) الگوهای بهینه کشت را تحت شرایط کمبود آب مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از یک روش برنامه‌ریزی خطی جهت تخصیص آب و زمین استفاده شده است. یک مدل با سیاست اجرایی بهینه برای هر کشاورز با داشتن میزان مشخص آب تعریف شده و سپس به منظور تخصیص کارای آب بین کشاورزان، مدل برنامه‌ریزی بهینه کشت برای کل منطقه مشخص گردیده است. نتایج، انتخاب محصولات پرسود را پیشنهاد داده است. انگلیش و ناس (English & Nuss, 1982) آبیاری کامل را با کم آبیاری مقایسه کردند و نشان دادند که کم آبیاری باعث افزایش درآمد، کاهش مصرف آب، انرژی و سایر نهاده‌های کشاورزی می‌شود.

جوی (۱۹۶۹) نشان داد که عملی‌ترین روش برای برنامه‌ریزی سیستم‌های زراعی استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد. ابتدایی‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی است (سلطانی و همکاران، ۱۳۷۸).

شعبانی (۱۳۸۵) جهت مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن از برنامه‌ریزی خطی استفاده کرد. نتایج نشان داد که چنانچه کل دوره رشد محصول در نظر گرفته شود، استراتژی آبیاری کامل انتخاب می‌شود، اگر مدل در شرایط دوره‌های مختلف رشد گیاه مورد بررسی قرار گیرد، می‌توان از تکنیک کم آبیاری در دوره‌های مختلف رشد استفاده کرد.

دو انتقاد عمده بر روش برنامه‌ریزی خطی پیشگفته وارد است: نخست آنکه این روش معمولاً بر فرض قطعیت بنا شده در حالی که فرایند تولید کشاورزی همواره همراه با ریسک می‌باشد. دوم اینکه در روش فوق معمولاً تابع هدف خطی (سود یا درآمد خالص) به کار گرفته می‌شود در صورتی که ممکن است کشاورزان تابع هدف غیرخطی داشته باشند و یا دارای تابع مطلوبیت چند منظوره باشند (سلطانی و همکاران، ۱۳۷۸). پس توجه به ریسک در برنامه‌ریزی برای سیستم زراعی امری ضروری به نظر می‌رسد. با این حال، تعریف واحد و فراگیری از ریسک

بین متخصصان اقتصاد کشاورزی وجود ندارد. پتن و همکاران (Patten & et al., 1988) روش برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا را پیشنهاد کردند که با استفاده از آن در شرایطی که اطلاعات ناقص از تمایلات ریسکی کشاورزان در دست است مجموعه جوابهای سودمندی می‌توان ایجاد کرد (صبحی، ۱۳۸۵). لذا در این مطالعه از روش برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا استفاده می‌شود که تخصیص بهینه آب و خاک را همزمان انجام می‌دهد. مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته‌است که به موارد زیر اشاره می‌شود:

ترکماني (۲۰۰۳) مدل‌های دخالت دادن مخاطره در برنامه مزرعه را با کاربرد روش برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا مورد مقایسه قرارداد. در این مطالعه روشهای عمده دخالت دادن مخاطرات در مدل‌های تصمیم‌گیری بررسی و ارزیابی شد. این مطالعه نمایانگر مزایای استفاده از این روش به ویژه در صورت عدم دسترسی به اطلاعات لازم برای تخمین تابع مطلوبیت انفرادی زارع است. نتایج نشان‌دهنده تغییرات لازم در ترکیب فعالیتهای زراعی کشاورزان نماینده برای ایجاد مبادله بین اهداف حداکثر کردن ارزش انتظاری درآمد خالص و حداقل نمودن مخاطرات است. زیبایی و همکاران (۱۳۸۴) سیاستهای مدیریت تقاضای آب در سطح مزرعه را با به کار بردن مدل مطلوبیت کارا - که امکان وارد کردن چندین استراتژی آبیاری برای هر محصول در آن فراهم شده است - مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کشاورزان ریسک‌گریز الگوهایی را انتخاب می‌کنند که تمام امکانات آبی مزرعه را مورد استفاده قرار نمی‌دهند و همچنین اثربخشی بعضی از سیاستها کمتر از حد مورد انتظار بوده ولیکن بعضی دیگر از سیاستها اثر قابل توجهی بر تعدیل تقاضای آب داشته‌اند. رامسدن و ویلسون (Ramsden & Wilson, 2006) تنوع‌پذیری کشاورزان انگلیسی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه آثار تغییرات سیاستها که منجر به افزایش قیمت تمام شده غلات، بی‌ثباتی قیمت و... می‌شود، مورد بحث قرار گرفته‌است. نتایج حاکی از آن است که در شرایط ماکزیمم کردن مطلوبیت، کشاورز ریسک‌گریز ترکیب محصولی با تنوع بیشتر نسبت به کشاورزان با سطح ریسک‌گریزی کمتر انتخاب می‌کند و رفاه کشاورزان ریسک‌گریز به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد.

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

کانال مدنظر در این مطالعه، کانال اردیبهشت از شبکه‌های آبرسانی سد درودزن استان فارس و جزء یکی از مناطق خشک کشور است که خشکسالیهای پی در پی در آن اتفاق می‌افتد (محسن پور، ۱۳۸۷). لذا مدیریت تقاضای آب در سطح مزرعه و منطقه بسیار مهم و مورد توجه می‌باشد. با توجه به موارد یاد شده، در این مطالعه استراتژیهای متفاوت کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه در تعیین الگوی کشت مورد توجه قرار گرفتند. گفتنی است که برای تعیین الگوی کشت با توجه به مزایای روش برنامه‌ریزی غیرخطی مطلوبیت کارا، از این روش استفاده شد.

مواد و روشها

مسئله تصمیم‌گیری کشاورزان را می‌توان در قالب مدل بهینه‌سازی مطلوبیت تحت شرایط ریسک و عدم حتمیت شبیه‌سازی کرد. روشهای مختلفی برای بهینه‌سازی مطلوبیت تحت شرایط ریسک ارائه شده است (Anderson and et al., 1977؛ Hardaker and et al., 2004)، اما زمانی که تعداد زیادی تصمیم‌گیرنده همانند گروهی از کشاورزان وجود دارند که قرار است توصیه‌هایی جهت بهبود وضعیت آنها پیشنهاد شود، مناسب است که به جای یک برنامه، مجموعه‌ای کارا از برنامه‌های زراعی در اختیار آنها قرار گیرد. این هدف از طریق به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا امکان‌پذیر می‌باشد (Hardaker and et al., 2004).

لامبرت و مک کارل (Lambert and McCarl, 1985) چارچوبی از برنامه‌ریزی ریاضی که تعیین جوابهای حداکثر سازی مطلوبیت انتظاری را بدون نیاز به فرض نرمال توزیع درآمدها برای هر نوع تابع مطلوبیت مقعر امکان‌پذیر می‌کرد، ارائه کردند. برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا صورتبندی مجددی از این روش است که در آن می‌توان به هنگام در دسترس بودن اطلاعات ناقص در مورد تمایلات ریسکی کشاورزان، مجموعه جوابهای مفیدتری ایجاد نمود. این روش توسط پتن و همکاران (Patten and et al., 1988) مطرح شد (McCarl and Spreen, 2005).

شکل ریاضی مدل برنامه ریزی مطلوبیت کارا به صورت رابطه زیر می باشد:

$$E[U] = pU(z, r) \quad r \text{ varied Maximize} \quad (1)$$

Subject to:

$$Ax \leq b$$

$$Cx - Iz = uf$$

$$x \geq 0$$

که در آن $E[U]$ مطلوبیت انتظاری، $pU(z, r)$ احتمال دستیابی به مطلوبیت، $U(z, r)$ بردار مطلوبیت درآمد خالص حالت‌های مختلف، z بردار درآمد خالص حالت‌های مختلف، I ماتریس واحد، x سطح رشته فعالیت، C ماتریس درآمد خالص، A ماتریس ضرایب تکنیکی فعالیتها، b موجودی منابع، uf هزینه‌های ثابت (برداری از عدد ۱) است.

مدل برنامه ریزی مطلوبیت کارا یک مدل تخصیص زمین است که میزان اراضی موجود یک واحد زراعی را به صورت بهینه بین محصولات زراعی در شرایط زیر تخصیص می دهد:

- زمانی که آب نامحدود باشد.

- زمانی که آب محدود است اما هدف، حداکثر کردن منافع خالص در هکتار می باشد.

- زمانی که آب محدود است اما برای هر محصول تنها یک استراتژی آبیاری مورد نظر است.

اما در صورتی که آب محدود باشد و هدف تخصیص بهینه منابع آب و خاک هر دو باشد، چنین مدلهایی به دلیل عدم تخصیص بهینه آب کارایی لازم را ندارند. بنابراین، ضروری است که استراتژیهای آبیاری متفاوتی برای هر محصول در نظر گرفته شود. بدین ترتیب برای گندم ۲۶ استراتژی آبیاری، برای چغندر قند ۲۵ استراتژی آبیاری، برای جو ۲۰ استراتژی آبیاری، برای ذرت دانه‌ای ۳۱ استراتژی آبیاری و برنج یک استراتژی آبیاری در نظر گرفته شد. هر استراتژی آبیاری به صورت یک فعالیت در مدل وارد شده است. بر این اساس مدل ۱۰۳ فعالیت دارد. برای مثال گندم ۱، کشت یک هکتار گندم در شرایط آبیاری کامل است و گندم ۲ کشت یک هکتار گندم در شرایطی می باشد که ۵ درصد کم آبیاری در مرحله اواخر رشد رویشی اعمال گردد. این روند با اعمال افزایش ۵٪ کم آبیاری در هر مرحله انجام می شود

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

تا زمانی که گندم ۷ اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در مرحله اواخر رشد رویشی می باشد. سپس این روند در مورد یک مرحله دیگر رشد انجام می شود. به این ترتیب گندم ۸ اعمال ۵ درصد کم آبیاری در مرحله گلدهی می باشد و دوباره روند قبلی تکرار می شود. در مورد بقیه محصولات نیز به همین ترتیب عمل شد.

تابع هدف مدل، مطلوبیت انتظاری می باشد که برابر است با حاصل ضرب مطلوبیت در دوره t در احتمال وقوع این سطح از مطلوبیت. برای محاسبه مطلوبیت در دوره t ، ابتدا لازم است که سود خالص دوره t محاسبه گردد بدین صورت که ابتدا مجموع بازده برنامه ای فعالیتها از طریق حاصل ضرب میزان فعالیتها در بازده برنامه ای هر واحد از آنها محاسبه می شود و سپس از این مقدار هزینه های ثابت و هزینه آب مصرفی کسر می گردد. بعد از محاسبه سود خالص در دوره t از طریق رابطه ۲ که یک تابع نمایی منفی است، سود خالص به مطلوبیت در دوره t تبدیل می شود (Hardaker and et al., 2004).

$$U = 1 - \exp[-\{(1 - \lambda)r_{\min} + \lambda r_{\max}\}z], \quad \text{for } 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (2)$$

در این رابطه λ پارامتری است که تغییرات در ترجیحات ریسکی را منعکس می کند و r_{\min} و r_{\max} به ترتیب محدوده های بالا و پایین ضرایب ریسک گریزی مطلق (r_A) است. در رابطه ۲ پارامتر λ بین صفر و یک نوسان دارد. اگر λ برابر با صفر باشد، ضریب ریسک گریزی در حداقل ممکن خود می باشد (r_{\min}) و در صورتی که λ برابر با یک باشد، ریسک گریزی در حداکثر مقدار خود است (r_{\max}). z درآمد خالص مزرعه را اندازه می گیرد. ضرایب ریسک گریزی با r_{\min} ، r_{\max} و λ با رابطه ۳ مربوط است (صبوحی، ۱۳۸۵).

$$r_A = (1 - \lambda)r_{\min} + \lambda r_{\max}, \quad \text{for } 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (3)$$

چندین تکنیک برای طراحی و استخراج توابع ترجیحی ریسکی کشاورزان در دسترس است که در این مطالعه از روش معادل اطمینان محتمل برابر (ELCE)^۱ برای استخراج توابع مطلوبیت کشاورزان استفاده می شود (Anderson and et al., 1977) و (Hardaker and et al., 2004).

1. Equality Likely Certainly Equivalent

روش ELCE برای اجتناب از احتمالات ترجیحی طراحی شده است. به عبارت دیگر از پیش داوری در مورد تمایلات بهره‌بردار اجتناب می‌کند. در این مدل از معادل قطعی^۱ متغیرهای ریسکی برای تعیین نحوه گرایش کشاورزان استفاده می‌شود. پس از تعیین نقاط معادل مطمئن، با تخمین رابطه بین هر یک از نقاط معادل و مطلوبیت آنها می‌توان تابع مطلوبیت را به دست آورد. در این روش برای پیامد مثبت و منفی احتمال برابر یعنی $p=1-p=0.5$ استفاده می‌شود. کشاورزان با دو چشم‌انداز ریسکی با احتمال برابر مواجه می‌شوند. علت استفاده از این روش کم هزینه بودن و زمان اندوز بودن آن می‌باشد (ترکمانی، ۱۳۷۵). قدم بعدی در تعیین ضریب ریسک‌گریزی، تعیین یک تابع مطلوبیت مناسب است. انواع توابع مختلف را می‌توان برای برآورد تابع مطلوبیت از داده‌های به دست آمده از روش ELCE مورد استفاده قرار داد. با توجه به ریسک‌گریزی بودن کشاورزان، استفاده از یک فرم تابع مطلوبیت محدب که در آن $u'(z) > 0$ و $u''(z) < 0$ باشد، ضروری است؛ لذا در این مطالعه فرم تابعی توان منفی به صورت رابطه ۴ مورد استفاده قرار گرفته است (Hardaker and et al., 2004).

$$U(z) = 1 - \exp(r_A z) \quad (4)$$

برای ساختن محدودیتهای ریسکی لازم است که کوواریانس تاریخی بین بازده برنامه‌ای فعالیتها با واریانس ذهنی کشاورزان ادغام شود. در ابتدا برای تعیین میانگین و واریانس ذهنی کشاورزان از توزیع مثلثی استفاده می‌شود (Anderson and et al., 1977). توزیع احتمالات ذهنی کشاورزان در زمینه متغیرهای قیمت و عملکرد با استفاده از روش فوق تعیین شد. به دنبال آن، پس از جمع‌آوری مجموعه‌ای از داده‌های سری‌زمانی مربوط به قیمت عملکرد و بازده برنامه‌ای فعالیتها، این اعداد برای تورم اصلاح شد و با استفاده از تابع روند روندزدایی گردید و برای تلفیق واریانس ذهنی و کوواریانس تاریخی بین فعالیتها، بازده برنامه‌ای برای هر فعالیت به صورت زیر بازسازی شد. ابتدا بازده برنامه‌ای تاریخی که برای

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

تورم و روند اصلاح شده بودند به صورت انحراف نرمال از میانگین درآمدند و به دنبال آن انحراف میانگین بازده برنامه‌ای ذهنی کشاورزان، جایگزین انحراف میانگین بازده برنامه‌ای تاریخی شد. بنابراین بازده برنامه‌ای بازسازی شده برای محصول زدر سال t یعنی $g(n)_j$ با استفاده از رابطه ۵ به دست آمد (Hardaker and et al., 2004):

$$g(n)_j = E(g(s)_j) + \{g(h)_j - E(g(h)_j)\} \frac{\sigma(s)_j}{\sigma(h)_j} \quad (5)$$

که در آن $E(g(s)_j)$ میانگین ذهنی بازده برنامه‌ای محصول z ، $g(h)_j$ بازده برنامه‌ای تاریخی اصلاح شده محصول زدر سال، $E(g(h)_j)$ میانگین بازده برنامه‌ای داده‌های تاریخی اصلاح شده برای محصول z ، $\sigma(s)_j$ انحراف معیار ذهنی بازده برنامه‌ای برای محصول z و $\sigma(h)_j$ انحراف معیار تاریخی بازده برنامه‌ای محصول z است که با استفاده از داده‌های اصلاح شده محاسبه گردیده است.

بازده برنامه‌ای بازسازی شده از یک سو و واریانس ذهنی کشاورزان از سوی دیگر، کوواریانس تاریخی بین فعالیتها را منعکس می‌سازند. داده‌های بازسازی شده بازده برنامه‌ای به عنوان حالت‌های مختلف طبیعی در مدل برنامه‌ریزی واحد نماینده مورد استفاده قرار گرفته‌است (صبوحی، ۱۳۸۵؛ زیبایی و همکاران، ۱۳۸۴).

به دلیل مشکلات کمبود آب، انتخاب استراتژیهای مناسب برای پیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است. کم آبیاری به عنوان یک راهبرد عملی و روشی اقتصادی در حصول الگوی بهینه مصرف آب به شمار می‌رود. بنابراین با توجه به منابع محدود (آب و زمین) می‌توان استراتژیهای کم آبیاری را نیز مانند استراتژیهای آبیاری کامل برای گیاهان مختلف در مدل‌های تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. در این راستا میسر و همکاران (Meyer & et al., 1993) برای تخمین عملکرد محصول رابطه ۶ را پیشنهاد نمودند:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left[1 - KY_i \left[1 - \frac{W_a}{W_p} \right]_i \right] \quad (6)$$

که در آن Y_p حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، Y_a مقدار محصول واقعی در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)، i مرحله مشخصی از رشد، n تعداد مراحل رشد، KY_i ضریب واکنش عملکرد نسبت به آب در مرحله رشد i (که از پژوهشهای گذشته به دست آمده است)، W_p حداکثر آب آبیاری مورد نیاز گیاه و W_a مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه است که در دوره‌های مختلف رشد مقدار آن در شرایط آبیاری کامل برابر $W_a = W_p$ و در شرایط اعمال کم آبیاری از طریق رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$W_{ai} = (1 - h)W_{pi} \quad (۷)$$

که در آن h مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) است.

تابع هدف با توجه به محدودیتهایی که در زیر تعیین می‌شود حداکثر خواهد شد.

محدودیت زمین برای کشت گیاهان مختلف به صورت رابطه ۸ است:

$$\sum_{j=1}^n X_j \leq X_{Total} \quad (۸)$$

که در آن X_j سطح زیر کشت گیاه j (هکتار) و X_{Total} کل اراضی موجود در مزرعه نماینده (هکتار) می‌باشد. محدودیت زمین بیانگر آن است که کل اراضی تخصیص یافته بین فعالیتها نمی‌تواند بیش از کل اراضی موجود باشد. لحاظ نمودن محدودیت زمین در دوره‌های مختلف باعث می‌گردد تا مدل بتواند روابط رقابتی و تکمیلی بین محصولات را در الگوی بهینه منظور نماید. از آنجا که این محدودیت به صورت دهه به دهه در مدل منظور شده است، امکان انتخاب فعالیتها به صورت کشت مجدد در مدل وجود دارد.

با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالیهای متناوب و نیز با توجه به اهمیت زمان در مورد این منبع، لازم است تا تخصیص این منبع به صورت بهینه صورت گیرد. در نتیجه جهت تخصیص بهینه آب، اثر محدودیت ماهانه تأمین آب نیز در این مطالعه به صورت زیر وارد شده است. در واقع محدودیت امکانات

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

آبی برای کشت گیاهان مختلف در دوره‌های زمانی مختلف به صورت رابطه ۹ می‌باشد. به عبارت دیگر محدودیت آب بیانگر آن است که جمع مقدار آب مورد نیاز هر یک از گیاهان در دوره‌های مختلف نمی‌تواند از کل آب در دسترس بهره‌بردار که در بازه آبیاری توزیع و انتقال ضرب شده‌است، بیشتر شود.

$$\sum_{j=1}^n W_{aj} \leq q_{Total} \quad (9)$$

که در آن q_{Total} حداکثر امکانات آبی موجود برای یک دوره ۱۰ روزه^۱ و W_{aj} مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه j ام (مترمکعب بر هکتار در ۱۰ روز) می‌باشد که از رابطه ۱۰ به دست می‌آید:

$$W_{aj} = (1-h)W_{pi} \quad (10)$$

که در آن W_{pi} حداکثر آب آبیاری مورد نیاز گیاه j ام (مترمکعب بر هکتار در ۱۰ روز) می‌باشد که از طریق رابطه ۱۱ به دست می‌آید:

$$W_{pi} = IN_j \times 10 \quad (11)$$

که در آن IN_j مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه j ام (میلی‌متر بر ۱۰ روز) می‌باشد. گفتنی است عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر به متر مکعب در هکتار می‌باشد. مقدار IN_j با توجه به رابطه ۱۲ به دست می‌آید:

$$IN_j = ET_{Crop_i} - P_e \quad (12)$$

که در آن P_e بارندگی مؤثر در ۱۰ روز نام ماه است و مقدار آن با استفاده از نرم افزار CROPWAT و از روش USDA برای ماههایی که در آن بارندگی اتفاق می‌افتد، به دست می‌آید. ET_{Crop_i} نیز تبخیر-تعرق گیاه j ام (mm/10day) می‌باشد و از طریق رابطه ۱۳ به دست می‌آید:

$$ET_{Crop_i} = K_c \cdot ET_o \quad (13)$$

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال هجدهم، شماره ۷۱

که در آن ET_o تبخیر- تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع ($mm/10day$) و K_c ضریب گیاهی است.

در این مطالعه تبخیر- تعرق سطوح گیاهی مرجع به روش پنمن - مانیت (Doorenbos & Priutt, 1977) و با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه مرجع کوشک محاسبه گردید و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی فائو ارائه شده توسط آلن و همکاران (Allen & et al., 1997 & 1998) مقادیر تبخیر-تعرق بالقوه گیاهان زراعی به دست آمد. تخصیص بهینه آب و زمین با استفاده از روش برنامه ریزی خطی مطلوبیت کارا به کمک بسته نرم افزاری GAMS22.5^۱ انجام شد. به این منظور Y_{ai} و درآمد خالص (بازده برنامه‌ای) از طریق نرم افزار Excel برای استراتژیهای مختلف آبیاری محاسبه شده و سپس در مدل برنامه‌ریزی به کار رفته است.

اطلاعات مورد نیاز این مطالعه شامل داده‌های سری‌زمانی و مقطعی می‌باشد. داده‌های سری‌زمانی مورد استفاده، قیمت و عملکرد محصولات می‌باشند که اطلاعات مربوط به عملکرد در هکتار از بانک اطلاعات کشاورزی و آمارنامه‌های کشاورزی طی سالهای ۱۳۸۴-۱۳۶۱ تهیه شد. علاوه بر این، اطلاعات مربوط به قیمت از آمارنامه‌های قیمت فروش محصولات و هزینه خدمات کشاورزی در مناطق روستایی کشور (مرکز آمار ایران) جمع‌آوری گردید.

برای جمع‌آوری داده‌های مقطعی از روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی شده دو مرحله‌ای^۲ استفاده شد و اطلاعات مورد نیاز از اداره هواشناسی کوشک، شبکه تجهیز و نوسازی سد درودزن و با تکمیل ۱۶۰ پرسشنامه از کشاورزان جمع‌آوری گردید. در اراضی زیر سد دو نوع بهره‌بردار وجود دارد: بهره‌بردارانی که تنها از آب سد استفاده می‌کنند و بهره‌بردارانی که علاوه بر آب سد از آب چاه نیز مصرف می‌نمایند؛ البته بیشتر این چاه‌ها سطحی هستند. لذا در این مطالعه هر دو گروه مورد بررسی قرار گرفتند.

-
1. General Algebraic Modeling System
 2. Two-Stage Stratified Sampling

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

نتایج و بحث

تعیین الگوی بهینه کشت در مزرعه نماینده گروه همگن بهره‌برداران منابع آب سطحی کنترل‌شده (کانال اردیبهشت)

در ابتدا باید گفت که بهره‌برداران این منبع آب با محدودیتهایی در مورد کشت برنج مواجهند؛ از جمله اینکه اجازه کشت برنج به صورت ۰/۳ هکتار در سال نرمال به هر کشاورز داده می‌شود. در جدول ۱ چهار الگوی بهینه کشت یا فعالیت برای واحد نماینده این گروه تعیین شده است. الگوی بهینه اول مربوط به زمانی است که واحد حداکثرکننده سود انتظاری است و به عبارت دیگر واحد نسبت به ریسک خنثی است. سایر الگوهای بهینه مربوط به واحدهای حداکثرکننده مطلوبیت در سطوح مختلف ریسک‌گریزی است. همان‌گونه که از جدول ۱ پیداست، با افزایش ریسک‌گریزی، از مقدار مصرف آب کاسته می‌شود. مقدار مصرف آب در سطح ریسک‌گریزی پایین ۱۳۳۰۷۸ مترمکعب است که در سطح ریسک‌گریزی متوسط به حدود ۱۰۹۵۱۶ متر مکعب تقلیل می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان ریسک‌گریز الگوهایی را انتخاب می‌کنند که لزوماً تمامی امکانات آبی مزرعه را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. از آنجا که الگوی بهینه فعالیتها در سطح ریسک‌گریزی متوسط بسیار شبیه الگوی فعلی واحد نماینده مورد بررسی است، در تحلیل سیاستها از این سطح ریسک‌گریزی و همچنین الگوی حداکثرکننده سود انتظاری استفاده شده است.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال هجدهم، شماره ۷۱

جدول ۱. الگوی بهینه فعالیتها برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن بهره‌برداران منبع آب سطحی (کانال اردیبهشت)

(هکتار - ریال و مترمکعب)

الگوی حداکثر کننده مطلوبیت در سطوح مختلف ریسک‌گریزی			حداکثر کننده سود انتظاری	مقدار فعالیتها (هکتار)
ریسک‌گریزی بالا	ریسک‌گریزی متوسط	ریسک‌گریزی پایین		
۴/۹۲۵	۳/۰۴۷	۱/۳۴۳	۰	گندم ۱
۰	۰	۰	۰/۶۰۴	گندم ۱۴
۰	۰	۰	۵/۱۲۴	گندم ۱۸
۰	۲/۶۸۱	۴/۳۸۵	۰	گندم ۱۹
۰	۰	۱/۸۱۲	۰	ذرت ۱
۲/۵۰۲	۲/۵۰۲	۰	۰	ذرت ۷
۰	۰	۱/۲۷۲	۱/۲۷۲	چغندر قند ۲۵
۰	۰	۰	۱/۷۳۵	برنج
۳۵۱۶۵۵۷۰	۳۸۱۹۳۰۹۰	۳۶۴۷۴۴۱۰	۳۶۴۹۴۳۹۰	سود انتظاری شتوی (ریال)
۲۲۵۶۷۲۶۰	۲۲۵۶۷۲۶۰	۲۹۴۵۷۹۸۰	۳۰۱۵۳۷۶۰	سود انتظاری صیفی (ریال)
۵۷۷۳۲۸۶۰	۶۰۷۶۰۳۵۰	۶۵۹۳۲۴۰۰	۶۶۶۴۸۱۵۰	سود انتظاری (ریال)
۱۰۵۲۴۳	۱۰۹۵۱۶	۱۳۳۰۷۸	۱۴۷۳۱۹	آب مصرفی (مترمکعب)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در الگوی حداکثر کننده مطلوبیت، فعالیت‌های گندم ۱ (کشت یک هکتار گندم در شرایط آبیاری کامل) با سطح ۳/۰۴۷ هکتار، گندم ۱۹ (کشت یک هکتار گندم با اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) با سطح ۲/۶۸۱ هکتار و ذرت ۷ (کشت یک هکتار ذرت با اعمال ۳۰٪ کم آبیاری در مرحله استقرار) با سطح ۲/۵۰۲ هکتار وارد الگوی کشت شده‌اند و در نهایت سود انتظاری به دست آمده از الگوی بهینه برای ۷ هکتار زمین در طول یک سال زراعی برابر ۶۰۷۶۰۳۵۰ ریال می‌باشد.

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

الگوی حداکثرکننده سود انتظاری در سال نرمال، فعالیتهای گندم ۱۴ (کشت یک هکتار گندم با اعمال ۵ درصد کم آبیاری در مرحله شکل گیری عملکرد محصول) با سطح ۰/۶۰۴ هکتار، گندم ۱۸ (کشت یک هکتار گندم با اعمال ۲۵ درصد کم آبیاری در مرحله شکل گیری عملکرد محصول) با سطح ۵/۱۲۴ هکتار، چغندر قند ۲۵ (کشت یک هکتار چغندر با اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن) با سطح ۱/۲۷۲ هکتار و برنج با سطح ۱/۷۳۵ هکتار را انتخاب می کند که سود انتظاری حاصل از آن برابر با ۶۶۶۴۸۱۵۰ ریال است که به دلیل خنثی در نظر گرفتن ریسک نسبت به الگوی مطلوبیت کارا افزایش داشته است و این نتیجه دور از انتظار نمی باشد. آنچه در این الگوها به وضوح دیده می شود این است که مدل الزاماً استراتژیهای با آبیاری کامل را جهت حداکثر کردن مطلوبیت انتخاب نمی کند. مثلاً گندم ۱۸ و ۱۹ هم وارد الگوی کشت شده اند که اختلاف نیاز آبی خالص گندم ۱ و گندم ۱۸ معادل ۳۹۲ مترمکعب می باشد. همچنین در الگوهای حداکثر کننده مطلوبیت ذرت ۱ (کشت یک هکتار ذرت در شرایط آبیاری کامل) و ذرت ۷ جایگزین برنج که نیاز آبی بالایی دارد، شده اند که نیاز آبی خالص ذرت ۷ نسبت به برنج ۳۰٪ کمتر می باشد. طبق موارد یاد شده، صرفه جویی در مصرف آب به وضوح در این مدل دیده می شود.

همان طور که گفته شد، آب یکی از مهمترین منابع در کشاورزی محسوب می شود و کمبود آن در شرایطی که ضریب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب بالاست می تواند اثر بسیار زیادی بر کاهش عملکرد محصول داشته باشد. در این قسمت قیمت سایه ای آب در مزارع تحت آبیاری کانال، در دهه های مختلف سال در جدول ۲ آورده شده است. یادآور می شود که این قیمتها از الگوی حداکثر کردن سود انتظاری محاسبه شده اند.

جدول ۲. قیمت سایه‌ای آب در دهه‌های مختلف سال

مقاطع زمانی	ضریب واکنش عملکرد به آب گندم	قیمت سایه‌ای آب (ریال)
آبان تا دی	۰/۰۱	۰
دهه اول بهمن	۰۰/۰۱	۰
دهه دوم بهمن	۰/۰۱	۰
دهه سوم بهمن	۰/۰۱	۰
دهه اول اسفند	۰/۲	۰
دهه دوم اسفند	۰/۲	۰
دهه سوم اسفند	۰/۲	۰
دهه اول فروردین	۰/۲	۳۳۸۰
دهه دوم فروردین	۰/۶	۴۵۱۴
دهه سوم فروردین	۰/۶	۵۴۸۰
دهه اول اردیبهشت	۰/۵	۱۰۳۹۴
دهه دوم اردیبهشت	۰/۵	۵۰۲۱
دهه سوم اردیبهشت	۰/۵	۱۱۹۹۳
دهه اول خرداد	۰/۰۱	۱۳۲۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

قیمت سایه‌ای هر منبع حداکثر میزان هزینه‌ای می‌باشد که بهره‌بردار حاضر است برای در اختیار گرفتن یک واحد اضافی از محدودیتی که به‌طور کامل مورد استفاده قرار گرفته‌است، پرداخت کند. بی‌گمان اگر در یک دهه تمام منابع آب موجود مورد استفاده قرار نگیرد، قیمت سایه‌ای آن صفر خواهد بود. با توجه به نتایج جدول ۲، قیمت سایه‌ای آب در سال نرمال در بیشتر دهه‌ها بزرگتر از صفر می‌باشد. مثلاً در مورد دهه اول فروردین قیمت سایه‌ای ۳۳۸۰ ریال بیانگر این است که یک متر مکعب آب اضافی منجر به افزایش تولید به‌ارزش ۳۳۸۰ ریال خواهد شد. همان‌طور که گفته شد، اعمال کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد گیاه تأثیر بسیار زیادی در کاهش عملکرد خواهد داشت. این دهه عمدتاً معادل با مرحله گلدهی محصولات می‌باشد. به عبارت دیگر این دهه بدترین زمان اعمال کم‌آبیاری است که تأثیر بسیار زیادی در عملکرد دارد و عملکرد را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. به‌طور کلی

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

هرچه ضریب واکنش عملکرد به آب بالا باشد، اعمال کم آبیاری در آن مرحله منجر به کاهش بیشتر عملکرد می شود. پس بهتر است که در صورت اعمال کم آبیاری، این عمل در آبان ماه تا دهه اول فروردین انجام گیرد که به ترتیب معادل با مرحله استقرار و رشد رویشی می باشد و ضریب واکنش عملکرد به آب در حداقل مقدار ممکن خود است. همان طور که از جدول ۲ پیداست، در دهه های اول و سوم اردیبهشت قیمت سایه ای آب به ترتیب برابر با ۱۰۳۹۴ و ۱۱۹۹۳ ریال است. در واقع کم آبیاری دقیقاً در مراحل انجام گرفته که ضریب واکنش عملکرد گیاه نسبت به آب بالاست. در سال خشک قیمت های سایه ای محاسبه شده بالاتر است. با توجه به نتایج حاصله می توان گفت که الگوی رهاسازی آب در دهه های اول و سوم اردیبهشت سال زراعی ۱۳۸۴-۸۵ بهینه نبوده است. در این مراحل تا حد ممکن نباید کم آبیاری صورت گیرد و باید آب مورد نیاز در اختیار کشاورزان قرار داده شود و به جای آن در مراحل استقرار و رسیدن گیاه که تنش نسبت به کم آبی زیاد نمی باشد، میزان آب کمتری در اختیار کشاورز قرار گیرد.

تعیین الگوی بهینه کشت در مزرعه نماینده گروه همگن بهره برداران منابع آب تلفیقی (آب سطحی کنترل شده - کانال اردیبهشت - و آب زیرزمینی - چاه-)

همان گونه که در جدول ۳ ملاحظه می شود، در این الگو نیز مانند الگوی قبل با افزایش ریسک گریزی از مقدار مصرف آب کاسته می شود. مقدار مصرف آب در سطح ریسک گریزی پایین برابر ۱۴۱۹۹۴ متر مکعب است که در سطح ریسک گریزی بالا به حدود ۱۳۹۸۷۱ متر مکعب تقلیل می یابد.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال هجدهم، شماره ۷۱

جدول ۳. الگوی بهینه فعالیتها برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن بهره‌برداران منبع

آب تلفیقی (چاه و کانال اردیبهشت)

(هکتار - ریال و مترمکعب)

الگوی حداکثر کننده مطلوبیت در سطوح مختلف ریسک‌گزینی			حداکثر کننده سود انتظاری	مقدار فعالیت‌ها (هکتار)
ریسک‌گزینی بالا	ریسک‌گزینی متوسط	ریسک‌گزینی پایین		
۶/۹۷۸	۶/۹۲۵	۶/۹۲۵	۶/۵۵۳	گندم ۱
۰	۰	۰	۰/۴۴۷	گندم ۱۴
۰	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰	گندم ۱۹
۰	۰	۳/۱۳۵	۰	ذرت ۱
۳/۱۳۵	۳/۱۳۵	۰	۰	ذرت ۷
۰	۰	۰	۲/۸۸۸	برنج
۴۹۸۱۶۹۰	۴۹۹۰۱۷۱۰	۴۹۹۰۱۷۱۰	۴۹۹۰۲۴۵۰	سود انتظاری شتوی (ریال)
۲۸۲۷۷۸۲۰	۲۸۲۷۷۸۲۰	۲۹۸۷۵۶۸۰	۲۹۹۰۹۸۶۰	سود انتظاری صیفی (ریال)
۷۸۰۹۴۷۸۰	۷۸۱۷۹۵۳۰	۷۹۷۷۷۴۰۰	۷۹۸۱۲۳۱۰	سود انتظاری (ریال)
۱۳۹۸۷۱	۱۳۹۹۹۱	۱۴۱۹۹۴	۱۶۹۰۵۷	آب مصرفی (مترمکعب)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان ریسک‌گزین الگوهای را انتخاب می‌کنند که لزوماً تمامی امکانات آبی مزرعه را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. بنابراین در الگوی حداکثر کننده مطلوبیت، در سال نرمال، فعالیت گندم ۱ با سطح ۶/۹۲۵ هکتار و گندم ۱۹ با سطح ۰/۰۷۵ هکتار به عنوان فعالیت‌های شتوی و ذرت ۷ با سطح ۳/۱۳۵ هکتار به عنوان فعالیت صیفی وارد الگوی کشت شده‌اند و در نهایت سود انتظاری به دست آمده از الگوی بهینه برای ۱۰ هکتار زمین در طول یک سال زراعی ۷۸۱۷۹۵۳۰ ریال می‌باشد. در این مدل نیز با افزایش

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

ریسک‌گریزی، محصولاتی مانند برنج با نیاز آبیاری خالص ۱۱۰۲۹ مترمکعب از الگو حذف و به جای آن محصولی مانند ذرت ۷ با نیاز خالص آبیاری ۷۶۶۶ مترمکعب به الگو اضافه می‌شوند.

بنابر نتایج این دو مدل می‌توان چنین گفت که در شرایط خشکسالی با مدیریت بهینه تقاضای آب و اعمال کم‌آبیاری در مراحلی که گیاه تنش شدید نسبت به کم‌آبیاری ندارد، می‌توان بحران کم‌آبی را پشت سر گذاشت به نحوی که خسارات بسیار جدی به کشاورز وارد نشود.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتایج هر دو مدل نشان می‌دهد که کشاورزان ریسک‌گریز الگوهایی را انتخاب می‌کنند که لزوماً تمامی امکانات آبی مزرعه را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. هر دوی این الگوها استراتژیهای با آبیاری کامل را جهت حداکثر کردن مطلوبیت انتخاب نمی‌کنند، بنابراین می‌توان از استراتژیهای کم‌آبیاری برای حداکثر کردن مطلوبیت استفاده کرد. از طرف دیگر در این الگوها میزان آب مصرفی به شدت کاهش یافته‌است. با محاسبه قیمت‌های سایه‌ای می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الگوی رهاسازی آب در دهه‌های اول و سوم اردیبهشت سال زراعی ۱۳۸۴-۸۵ بهینه نبوده‌است.

با توجه به نتایج حاصله پیشنهاد می‌شود که در شرایط خشکسالی، مدیریت بهینه تقاضای آب انجام شود و تا حد ممکن اعمال کم‌آبیاری در مراحل استقرار و رسیدن گیاه که تنش نسبت به کم‌آبی زیاد نمی‌باشد، صورت گیرد و از طرف دیگر در مراحلی که گیاه به کمبود آب حساس می‌باشد، آب مورد نیاز در اختیار کشاورزان قرار داده شود.

منابع

۱. خیرابی، ج.، ع. توکلی، م. انتظاری و ع. سلامت (۱۳۷۵)، دستورالعمل‌های کم‌آب‌آب‌آب‌آب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی گروه کاراب مورد نیاز گیاهان نشریه ۲: ۲۱۳-۱۹۷.
۲. ترکمانی، ج. (۱۳۷۵)، استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی توأم با ریسک در تعیین کارایی بهره‌برداران کشاورزی، علوم کشاورزی ایران، ۲۷(۴): ۹۵-۱۰۴.
۳. توکلی، ع. (۱۳۷۶)، بهره‌برداری پایدار از منابع آب از طریق بهینه‌سازی کم‌آب‌آب‌آب، بولتن کمیسیون آب، شماره ۲۲.
۴. زیبایی، م.، غ. سلطانی و م. بخشوده (۱۳۸۴)، مدیریت تقاضای آب کشاورزی در سطح مزرعه، مطالعه موردی: دشت فیروزآباد، پنجمین کنفرانس دو سالانه اقتصاد کشاورزی، زاهدان.
۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۴)، قیمت فروش محصولات و هزینه خدمات رسانی در مناطق روستایی کشور، تهران: مرکز آمار ایران، دفتر انتشارات و اطلاع رسانی.
۶. سلطانی، غ.، ر. م. زیبایی و ا.ع. کهخا (۱۳۷۸)، کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.
۷. شعبانی، م. ک. (۱۳۸۵)، مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۸. صبوحی صابونی، م. (۱۳۸۵)، بهینه‌سازی الگوهای کشت با توجه به مزیت نسبی حوضه آبریز در تولید محصولات زراعی: مطالعه موردی استان خراسان، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۹. کیانی، ع.، ر. م. میرلطفی، م. همایی و ن.م. آبیاری (۱۳۸۲)، بررسی اقتصادی تولید گندم در شرایط شوری و کم‌آب‌آب‌آب، اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۱۱، شماره ۴۳ و ۴۴، ص ۱۷۸-۱۶۳.

تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی.....

۱۰. محسن پور، ر. (۱۳۸۷)، بررسی پیامدهای خشکسالی در سطح مزرعه: مطالعه موردی منطقه مرودشت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

11. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998), Crop evapotranspiration irrigation and drainage paper, No. 56, AAO, United Nations, Rome, Italy.

12. Allen, R. G., H. Smith, L. S. Pereira and W. D. Pruitt (1997), Proposed revision to the FAO procedure for estimating evapotranspiration, The Second Iranian Congress on Soil and Water Hssues, Feb, 15-18, Tehran, I.R. Iran.

13. Anderson, J. R., J. L. Dillon and J. B. Hardaker (1977), Agricultural decision analysis, Iowa State University Press, Ames, IA, USA.

14. Benli, B. and S. Kodal (2003), A nonlinear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: application to the South-east Anatolia project (GAP) region, *Agriculture and Water Management*, 62: 187-203.

15. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt (1977), Guidelines for predicting crop water requirements, Copyright 1997-2009, FAO publication.

16. English, M. J. and G. S. Nuss (1982), Desining for deficit irrigation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 108(2):91-106.

17. Hardaker, J. B., R. B. M. Huirne and J. R. Anderson (2004), Coping with risk in agriculture, CAB International, New York.

18. Haouari, M. and M. N. Azaiez (2001), Optimal cropping patterns under water deficit, *European Journal of Operational Research*, 130: 133-146.
 19. Lambert, D. K. and B. A. McCarl (1985), Risk modeling using direct solution of nonlinear approximation of the utility function, *American Journal of Agricultural Economics*, 67(4):846-858.
 20. McCarl, B. A. and T. H. Spreen (2005), Applied mathematical programming using algebraic system, University of California.
 21. Meyer, S. J., K. G. Hubbard and D. A. Wilhite (1993), A crop-specific drought index for corn: i. model development and validation, *Agronomy Journal*, 85: 388-395.
 22. Patten, L. H., J. B. Hardaker and D. J. Pannell (1988), Utility-efficient programming for whole-farm planning, *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39 (2): 88-97.
 23. Ramsden, S. and P. Wilson (2006), Are English farmers diversified enough? risk management for combinable crops under the Mid Term Review, Paper Presented at the Agricultural Economics Society Conference, Paris.
 24. Torkamani, J. (2003), Comparison of the programming models for considering risk in farm planning: application of utility efficient programming, *Iran Agricultural Research*, 22 (1): 1-14.
-