اقتصادکشاورزی و توسعه، سال هجدهم، شماره ۷۱، پاییز ۱۳۸۹

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

رباب محسن‌پور*، 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 کم‌آبیاری، با توجه به مشکلات کمبود آب و خشکسالیهای پی درپی 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)

** دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز e-mail: zibaei@shirazu.ac.ir

طبقه‌بندی JEL: C0، Q15، R14

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 تعیین کننده 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 به‌حساب می‌آید، استفاده از منابع آب جایگزین و روشهای کم‌آبیاری برای تداوم فعالیتهای کشاورزی اجتناب ناپذیر خواهدبود (کیانی و همکاران، ۱۳۸۲). امروزه تکنیک کم‌آبیاری[1] 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 خواهدگردید(توکلی، ۱۳۷۶).

خیرابی و همکاران (۱۳۷۵) معتقدند که صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند در حکم مدیریت آب در مزرعه، در افزایش سطح زیرکشت و نیز در تعیین الگوی بهینه کمک نماید. کم‌آبیاری‌به‌عنوان‌یک‌استراتژی‌سودمنداقتصادی دروضعیت 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 مشخص‌کردن الگوی کشت، مقدار آب و درآمد مزرعه

1. Deficit Irrigation

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 شده‌است. 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 درنظر گرفته‌شود، استراتژی آبیاری کامل انتخاب می‌شود، اگر مدل در شرایط دوره‌های مختلف رشد گیاه مورد بررسی قرارگیرد، می توان از تکنیک کم‌آبیاری 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) به‌کار گرفته‌می‌شوددرصورتی‌که ممکن‌است‌کشاورزان تابع هدف غیرخطی داشته‌باشند و یا دارای تابع‌مطلوبیت‌چند منظوره باشند(سلطانی‌وهمکاران، ۱۳۷۸). پس توجه به ریسک در برنامه‌ریزی برای‌سیستم زراعی‌امری‌ضروری به‌نظر 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 (صبوحی، 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:

ترکمانی(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 به‌کار 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 قراردادند. در این مطالعه آثار تغییرات سیاستها که منجر به افزایش قیمت تمام شده غلات، بی‌ثباتی قیمت و... می‌شود، مورد بحث قرارگرفته‌است. نتایج حاکی از آن است که در شرایط ماکزیمم‌کردن مطلوبیت، کشاورز ریسک‌گریز ترکیب محصولی با تنوع بیشتر نسبت به کشاورزان با سطح ریسک‌گریزی کمتر انتخاب می‌کند و رفاه کشاورزان ریسک‌گریز به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد.

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 درپی درآن اتفاق می‌افتد (محسن‌پور، 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 استفاده‌شد.

مواد و روشها

مسئله‌تصمیم‌گیری کشاورزان‌را می‌توان در قالب مدل بهینه‌سازی مطلوبیت تحت شرایط ریسک‌وعدم حتمیت شبیه‌سازی کرد. روشهای مختلفی برای بهینه‌سازی مطلوبیت تحت شرایط ریسک ارائه شده‌است (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 etal., 1988) مطرح شد (McCarl and Spreen, 2005).

شکل ریاضی مدل برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا به‌صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$E[U] = pU(z,r) \qquad r \ \text{var}\,ied \ \text{Maximize} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$Ax \le b$$

$$Cx - Iz = uf$$

$$x \ge 0$$

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 برنامه‌ریزی مطلوبیت کارا یک مدل تخصیص زمین است که میزان اراضی موجود یک واحد زراعی را به‌صورت بهینه بین محصولات زراعی در شرایط زیر تخصیص می‌دهد:

-زمانی که آب نامحدود باشد.

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

- زمانی که آب محدود است اما برای هر محصول تنها یک استراتژی آبیاری موردنظر 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 گرفته‌شود. بدین ترتیب برای گندم ۲۶ استراتژی آبیاری، برای چغندرقند ۲۵ استراتژی آبیاری، برای جو ۲۰ استراتژی آبیاری، برای ذرت دانه‌ای ۳۱ استراتژی آبیاری و برنج یک استراتژی آبیاری در نظر گرفته‌شد. هر استراتژی آبیاری به‌صورت یک فعالیت در مدل وارد شده‌است. بر این اساس مدل ۱۰۳ فعالیت دارد. برای مثال گندم۱، کشت یک هکتار گندم در شرایط آبیاری کامل است و گندم۲ کشت یک هکتار گندم در شرایطی می‌باشد که ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله اواخر رشد رویشی اعمال گردد. این روند با اعمال افزایش ۵٪ کم‌آبیاری در هر مرحله انجام می‌شود

تا زمانی که گندم ۷ اعمال ۳۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله اواخر رشد رویشی می‌باشد. سپس این روند در مورد یک مرحله دیگر رشد انجام می‌شود. به این ترتیب گندم۸ اعمال ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله گلدهی می‌باشد و دوباره روند قبلی تکرار می‌شود. در مورد بقیه محصولات نیز به همین ترتیب عمل شد.

تابع هدف مدل، مطلوبیت انتظاری می‌باشد که برابر است با حاصل‌ضرب 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 محاسبه‌گردد بدین‌صورت که ابتدا مجموع بازده برنامه‌ای فعالیتها از طریق حاصل‌ضرب میزان فعالیتها در بازده برنامه‌ای هر واحد از آنها محاسبه می‌شود و سپس از این مقدار هزینه‌های ثابت و هزینه آب مصرفی کسر می‌گردد. 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 می‌شود (Hardaker and et al., 2004).

$$U = 1 - \exp[-\{(1-\lambda)r_{\min} + \lambda r_{\max}\}z], \qquad for\ 0 \le \lambda \le 1 \qquad (۲)$$

در این رابطه λ پارامتری است که تغییرات در ترجیحات ریسکی را منعکس می‌کند و $r_{\max}$ و $r_{\min}$ به ترتیب محدوده‌های بالا و پایین ضرایب ریسک‌گریزی مطلق (r_A) است.

در رابطه ۲ پارامتر λ بین صفر و یک نوسان دارد. اگر λ برابر با صفر باشد، ضریب ریسک‌گریزی در حداقل ممکن خود می‌باشد ($r_{\min}$) و در صورتی که λ برابر با یک باشد، ریسک‌گریزی در حداکثر مقدار خود است ($r_{\max}$). z درآمد خالص مزرعه را اندازه می‌گیرد. ضرایب ریسک گریزی با $r_{\max}$، $r_{\min}$ و λ با رابطه ۳ مربوط است (صبوحی، ۱۳۸۵).

$$r_A = (1-\lambda)r_{\min} + \lambda r_{\max}, \qquad for\ 0 \le \lambda \le 1 \qquad (۳)$$

چندین تکنیک برای طراحی و استخراج توابع ترجیحی ریسکی کشاورزان در دسترس است که در این مطالعه از روش معادل اطمینان محتمل برابر (ELCE)[1] برای استخراج توابع مطلوبیت کشاورزان استفاده می‌شود (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 پیش‌داوری در مورد تمایلات بهره‌بردار اجتناب می‌کند. در این مدل از معادل قطعی[1] 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 به‌دست‌آورد. 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 براورد تابع مطلوبیت از داده‌های به‌دست‌آمده از روش ELCE مورد استفاده قرار داد. با توجه به ریسک گریز بودن کشاورزان، استفاده از یک فرم تابع مطلوبیت محدب که در آن $u'(z)\rangle 0$ و $u''(z)\langle 0$ باشد، ضروری است؛ لذا در این مطالعه فرم تابعی توان منفی به صورت رابطه ۴ مورد استفاده قرار گرفته‌است (Hardaker and et al., , 2004).

$$U(z) = 1 - \exp(r_A z) \qquad (۴)$$

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. به‌دنبال 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

1. Equivalent Certainty

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 j در سال t یعنی $g(n)_j$ با استفاده از رابطه ۵ به دست آمد (Hardaker and etal., 2004):

$$g(n)_j = E(g(s)_j) + \{g(h)_j - E(g(h)_j)\}\frac{\sigma(s)_j}{\sigma(h)_j} \qquad (۵)$$

که در آن $E(g(s)_j)$ میانگین ذهنی بازده برنامه‌ای محصول j، $g(h)_j$ بازده برنامه‌ای تاریخی اصلاح شده محصول j در سال، $E(g(h)_j)$ میانگین بازده برنامه‌ای داده‌های تاریخی اصلاح شده برای محصول j، $\sigma(s)_j$ انحراف معیار ذهنی بازده برنامه‌ای برای محصول j و $\sigma(h)_j$ انحراف معیار تاریخی بازده برنامه‌ای محصول j 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 بیشینه‌کردن 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 کم‌آبیاری را نیز مانند استراتژیهای آبیاری کامل برای گیاهان مختلف در مدلهای تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. در این راستا میر و همکاران (Meyer & et al., 1993) برای تخمین عملکرد محصول رابطه ۶ را پیشنهاد نمودند:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^{n}\left[1 - KY_i\left[1 - \frac{W_a}{W_p}\right]_i\right] \qquad (۶)$$

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 آمده‌است)، 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:

$$W_{ai} = (1-h)W_{pi} \qquad (۷)$$

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 خواهدشد.

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

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

که در آن X_j سطح زیرکشت گیاه j (هکتار) و X_{Total} کل اراضی موجود در مزرعه نماینده (هکتار)می‌باشد. محدودیت زمین بیانگر آن است که کل اراضی تخصیص‌یافته 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 شده‌است، 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. درنتیجه جهت تخصیص بهینه آب، اثر محدودیت ماهانه تأمین آب نیز در این مطالعه به صورت زیر وارد شده است. در واقع محدودیت امکانات

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 بازده آبیاری توزیع و انتقال ضرب شده‌است، بیشتر شود.

$$\sum_{j=1}^{n} W_{aj} \le q_{Total} \qquad (۹)$$

که در آن q_{Total} حداکثر امکانات آبی موجود برای یک دوره ۱۰ روزه[1] و W_{aj} مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه jام (مترمکعب بر هکتار در ۱۰ روز) می‌باشد که از رابطه ۱۰ به دست می‌آید:

$$W_{aj} = (1-h)W_{pi} \qquad (۱۰)$$

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

$$W_{pi} = IN_j \times 10 \qquad (۱۱)$$

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

$$IN_j = ET_{Crop_i} - P_e \qquad (۱۲)$$

که در آن P_e بارندگی مؤثر در ۱۰ روز iام 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 jام (mm/10day) می‌باشد و از طریق رابطه ۱۳ به دست می‌آید:

$$ET_{Crop_I} = K_c . ET_o \qquad (۱۳)$$

1. m^3/ha-10day

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 – مانتیث (Doorenbos & Priutt, 1977) و با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه مرجع کوشککک 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 [1] 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. علاوه‌براین، 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 [2] استفاده شد و اطلاعات مورد نیاز از اداره هواشناسی کوشککک، شبکه تجهیز و نوسازی سد درودزن و با تکمیل ۱۶۰پرسشنامه 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

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 به‌صورت 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 شده‌است. الگوی بهینه اول مربوط به زمانی است که واحد حداکثرکننده سود انتظاری است و به‌عبارت 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 شده‌است.

جدول۱. الگوی بهینه فعالیتها برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن بهره‌برداران منبع آب سطحی (کانال اردیبهشت)

(هکتار- ریال و مترمکعب)

		حداکثرکننده سود انتظاری	الگوی حداکثرکننده مطلوبیت در سطوح مختلف ریسک‌گریزی		
			ریسک‌گریزی پایین	ریسک‌گریزی متوسط	ریسک‌گریزی بالا
مقدار فعالیتها(هکتار)	گندم۱	۰	۱/۳۴۳	۳/۰۴۷	۴/۹۲۵
	گندم۱۴	۰/۶۰۴	۰	۰	۰
	گندم۱۸	۵/۱۲۴	۰	۰	۰
	گندم۱۹	۰	۴/۳۸۵	۲/۶۸۱	۰
	ذرت۱	۰	۱/۸۱۲	۰	۰
	ذرت۷	۰	۰	۲/۵۰۲	۲/۵۰۲
	چغندرقند۲۵	۱/۲۷۲	۱/۲۷۲	۰	۰
	برنج	۱/۷۳۵	۰	۰	۰
سود انتظاری شتوی (ریال)		۳۶۴۹۴۳۹۰	۳۶۴۷۴۴۱۰	۳۸۱۹۳۰۹۰	۳۵۱۶۵۵۷۰
سود انتظاری صیفی (ریال)		۳۰۱۵۳۷۶۰	۲۹۴۵۷۹۸۰	۲۲۵۶۷۲۶۰	۲۲۵۶۷۲۶۰
سود انتظاری (ریال)		۶۶۶۴۸۱۵۰	۶۵۹۳۲۴۰۰	۶۰۷۶۰۳۵۰	۵۷۷۳۲۸۶۰
آب مصرفی (مترمکعب)		۱۴۷۳۱۹	۱۳۳۰۷۸	۱۰۹۵۱۶	۱۰۵۲۴۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در الگوی حداکثرکننده مطلوبیت، فعالیتهای گندم۱ (کشت یک هکتار گندم در شرایط آبیاری کامل) با سطح ۳/۰۴۷ هکتار، گندم۱۹(کشت یک هکتار گندم با اعمال ۳۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) با سطح ۲/۶۸۱ هکتار و ذرت ۷ (کشت یک هکتار ذرت با اعمال ۳۰٪ کم‌آبیاری 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.

الگوی حداکثرکننده سود انتظاری در سال نرمال، فعالیتهای گندم۱۴(کشت یک هکتار گندم با اعمال ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) با سطح ۰/۶۰۴ هکتار، گندم۱۸ (کشت یک هکتار گندم با اعمال ۲۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) با سطح ۵/۱۲۴ هکتار، چغندرقند۲۵ (کشت یک هکتار چغندر با اعمال ۳۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن) با سطح ۱/۲۷۲ هکتار و برنج با سطح ۱/۷۳۵ هکتار را انتخاب می‌کند که سود انتظاری حاصل از آن برابر با ۶۶۶۴۸۱۵۰ ریال است که به‌دلیل خنثی در نظر گرفتن ریسک نسبت به‌الگوی مطلوبیت کارا افزایش داشته‌است و این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد. آنچه در این الگوها به وضوح دیده می‌شود این است که مدل الزاماً استراتژیهای با آبیاری کامل را جهت حداکثر کردن مطلوبیت انتخاب نمی‌کند. مثلاً گندم ۱۸ و ۱۹ هم وارد الگوی کشت شده‌اند که اختلاف نیاز آبی خالص گندم۱ و گندم ۱۸ معادل ۳۹۲ مترمکعب می‌باشد. همچنین در الگوهای حداکثر کننده مطلوبیت ذرت ۱ (کشت یک هکتار ذرت در شرایط آبیاری کامل) و ذرت ۷ جایگرین برنج که نیاز آبی بالایی‌دارد، شده‌اند که نیاز آبی خالص ذرت۷ نسبت به برنج ۳۰٪ کمتر می‌باشد. طبق موارد یاد شده، صرفه‌جویی در مصرف آب به وضوح در این مدل دیده می‌شود.

همان‌طور که گفته‌شد، آب یکی از مهمترین منابع در کشاورزی محسوب می‌شود و کمبود آن در شرایطی که ضریب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب بالاست می‌تواند اثر بسیار زیادی بر کاهش عملکرد محصول داشته‌باشد. در این قسمت قیمت سایه‌ای آب در مزارع تحت آبیاری کانال، در دهه‌های مختلف سال در جدول۲ آورده شده است. یادآور می‌شود که این قیمتها از الگوی حداکثرکردن سود انتظاری محاسبه شده‌اند.

جدول۲. 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 خواهدبود. 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 خواهدشد. همان‌طور که گفته‌شد، اعمال کم‌آبیاری در مراحلی از 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

هرچه ضریب واکنش عملکرد به آب بالا باشد، اعمال کم‌آبیاری در آن مرحله منجر به کاهش بیشتر عملکرد می‌شود. پس بهتر است که در صورت اعمال کم‌آبیاری، این عمل در آبان ماه تا دهه اول فروردین انجام گیرد که به ترتیب معادل با مرحله استقرار و رشد رویشی می‌باشد و ضریب واکنش عملکرد به آب در حداقل مقدار ممکن خود است. همان‌طور که از جدول ۲ پیداست، در دهه‌های اول و سوم اردیبهشت قیمت سایه‌ای آب به‌ترتیب برابر با ۱۰۳۹۴ و ۱۱۹۹۳ ریال است. در واقع کم‌آبیاری دقیقاً در مراحلی انجام گرفته که ضریب واکنش عملکرد گیاه نسبت به آب بالاست. در سال خشک قیمتهای سایه‌ای محاسبه شده بالاتر است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت که الگوی رهاسازی آب در دهه‌های اول و سوم اردیبهشت سال زراعی ۱۳۸۴-۸۵ بهینه‌نبوده است. در این مراحل تا حد ممکن نباید کم‌آبیاری صورت گیرد و باید آب مورد نیاز در اختیار کشاورزان قرار داده‌شود و به‌جای آن در مراحل استقرار و رسیدن گیاه که تنش نسبت به کم‌آبی زیاد نمی‌باشد، میزان آب کمتری در اختیار کشاورز قرار گیرد.

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

همان‌گونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، در این الگو نیز مانند الگوی قبل با افزایش ریسک‌گریزی‌ازمقدار مصرف آب کاسته می‌شود. مقدار مصرف آب در سطح ریسک‌گریزی پایین برابر ۱۴۱۹۹۴ مترمکعب است که در سطح ریسک‌گریزی بالا به حدود ۱۳۹۸۷۱ متر مکعب تقلیل می‌یابد.

جدول۳. الگوی بهینه فعالیتها برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن بهره‌برداران منبع آب تلفیقی (چاه و کانال اردیبهشت)

(هکتار- ریال و مترمکعب)

		حداکثرکننده سود انتظاری	الگوی حداکثرکننده مطلوبیت در سطوح مختلف ریسک‌گریزی		
			ریسک‌گریزی پایین	ریسک‌گریزی متوسط	ریسک‌گریزی بالا
مقدار فعالیت‌ها(هکتار)	گندم۱	۶/۵۵۳	۶/۹۲۵	۶/۹۲۵	۶/۹۷۸
	گندم۱۴	۰/۴۴۷	۰	۰	۰
	گندم۱۹	۰	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰
	ذرت۱	۰	۳/۱۳۵	۰	۰
	ذرت۷	۰	۰	۳/۱۳۵	۳/۱۳۵
	برنج	۲/۸۸۸	۰	۰	۰
سود انتظاری شتوی (ریال)		۴۹۹۰۲۴۵۰	۴۹۹۰۱۷۱۰	۴۹۹۰۱۷۱۰	۴۹۸۱۶۹۰
سود انتظاری صیفی (ریال)		۲۹۹۰۹۸۶۰	۲۹۸۷۵۶۸۰	۲۸۲۷۷۸۲۰	۲۸۲۷۷۸۲۰
سود انتظاری (ریال)		۷۹۸۱۲۳۱۰	۷۹۷۷۷۴۰۰	۷۸۱۷۹۵۳۰	۷۸۰۹۴۷۸۰
آب مصرفی (مترمکعب)		۱۶۹۰۵۷	۱۴۱۹۹۴	۱۳۹۹۹۱	۱۳۹۸۷۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان ریسک‌گریز الگوهایی را انتخاب می‌کنند که لزوماً تمامی امکانات آبی مزرعه را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. بنابراین در الگوی حداکثرکننده مطلوبیت، در سال نرمال، فعالیت گندم۱ با سطح ۶/۹۲۵ هکتار و گندم۱۹ با سطح ۰/۰۷۵ هکتار به عنوان فعالیتهای شتوی و ذرت۷ با سطح ۳/۱۳۵ هکتار به عنوان فعالیت صیفی وارد الگوی کشت شده‌اند و در نهایت سود انتظاری به دست‌آمده از الگوی بهینه برای ۱۰ هکتار زمین در طول یک سال زراعی ۷۸۱۷۹۵۳۰ ریال می‌باشد. در این مدل نیز با افزایش

ریسک‌گریزی، محصولاتی مانند برنج با نیاز آبیاری خالص ۱۱۰۲۹ مترمکعب از الگو حذف و به جای آن محصولی مانند ذرت۷ 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 سرگذاشت به‌نحوی 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 استراتژیهایِ با آبیاری کامل را جهت حداکثر کردن مطلوبیت انتخاب نمی‌کنند، بنابراین می‌توان از استراتژیهای کم آبیاری 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 بهینه‌نبوده‌است.

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 داده‌شود.

منابع

۱.خیرابی، ج.، ع. توکلی، م. انتظاری و ع. سلامت (۱۳۷۵)، دستورالعمل‌های کم‌آبیاری، 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 کم‌آبیاری، 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. آبیار (۱۳۸۲)، بررسی اقتصادی تولید گندم در شرایط شوری و کم‌آبیاری، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، سال۱۱، شماره ۴۳و۴۴، ص۱۷۸-۱۶۳.

۱۰.محسن‌پور، ر. (۱۳۸۷)، بررسی پیامدهای خشکسالی در سطح مزرعه: مطالعه موردی منطقه مرودشت، پایان‌نامه 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.