

مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی

محمد کاظم شعبانی^۱، تورج هنر^{۲*} و منصور زیبایی^۲

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۳)

چکیده

کمی بارندگی و محدودیت منابع آب سطحی باعث شده کشاورزان برای تأمین آب لازم جهت کشت گیاهان مختلف از منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت تلفیقی استفاده کنند. تحقیق حاضر مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی در سطح مزرعه را مورد مطالعه قرار داد و هم‌چنین اثر درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی در دوره‌های مختلف رشد به عنوان راه کارهای آبیاری بر الگوی کشت غالب (گندم، جو، برنج، چغندر قند، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای) در منطقه درودزن استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل تهیه شده نشان داد که الگوی بهینه کشت در فصل اول گندم و در فصل دوم ذرت دانه‌ای و برنج می‌باشد. هم‌چنین در این تحقیق سیاست‌های مختلفی جهت تعدیل تقاضای آب مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به این که میزان آب مصرفی در فصل دوم به مراتب بیشتر از فصل اول می‌باشد به نظر می‌رسد از بین سیاست‌ها و راه کارهای مختلف ذکر شده، محدود کردن کشت گیاهان پر مصرف در فصل دوم بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعدیل تقاضای آب باشد.

واژه‌های کلیدی: راه کارهای آبیاری، منابع آب سطحی و زیرزمینی، الگوی بهینه کشت، کم آبیاری

مقدمه

با فرا رسیدن فصل گرما، به ویژه تابستان، آب‌های سطحی غالباً کاهش پیدا می‌کند. در این شرایط کشاورزان برای تأمین آب مورد نیاز خود جهت کشت گیاهان مختلف علاوه بر آب‌های سطحی از آب‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌کنند. از طرف دیگر در این شرایط کشاورزان برای رسیدن به سود بیشتر با توجه به در اختیار داشتن آب کافی (آب سطحی و زیرزمینی)، به کشت گیاهانی با نیاز آبی زیاد از جمله برنج و ذرت روی آورده‌اند. در صورتی که با توجه به شرایط اقلیمی کشور، برداشت بی‌رویه

ایران در جنوب منطقه معتدل‌له شمالی واقع شده و به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهمواری‌های بسیار پراکنده و تأثیر دیگر عوامل (مانند توده‌های هوایی) از مناطق خشک جهان به شمار می‌رود. میزان متوسط بارندگی سالانه ایران (۲۵۰ میلی‌متر) کمتر از یک سوم حد متوسط باران سالانه کره زمین (۸۶۰ میلی‌متر) می‌باشد (۵). لذا کمی بارندگی باعث شده در میزان آب‌های سطحی نوسانات شدید مشاهده شود به طوری که

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
toorajhonar@yahoo.com

داده‌های آب و هوا، نیاز آبی روزانه گیاه را شبیه‌سازی کردند. هم‌چنین عملکرد نسبی را برای هفت گیاه در دو منطقه به‌دست آوردند. سپس با استفاده از عملکرد نسبی و نیاز آبی در الگوریتم ژنتیک، تابع هدف را براساس حداقل درآمد طرح بهینه و در نهایت الگوی بهینه کشت را ارایه نمودند.

در این تحقیق، ضمن این‌که هدف بهینه کردن الگوی کشت در شرایط استفاده از منابع سطحی و زیرزمینی می‌باشد، راهکارهایی نیز جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب ارایه گردیده است.

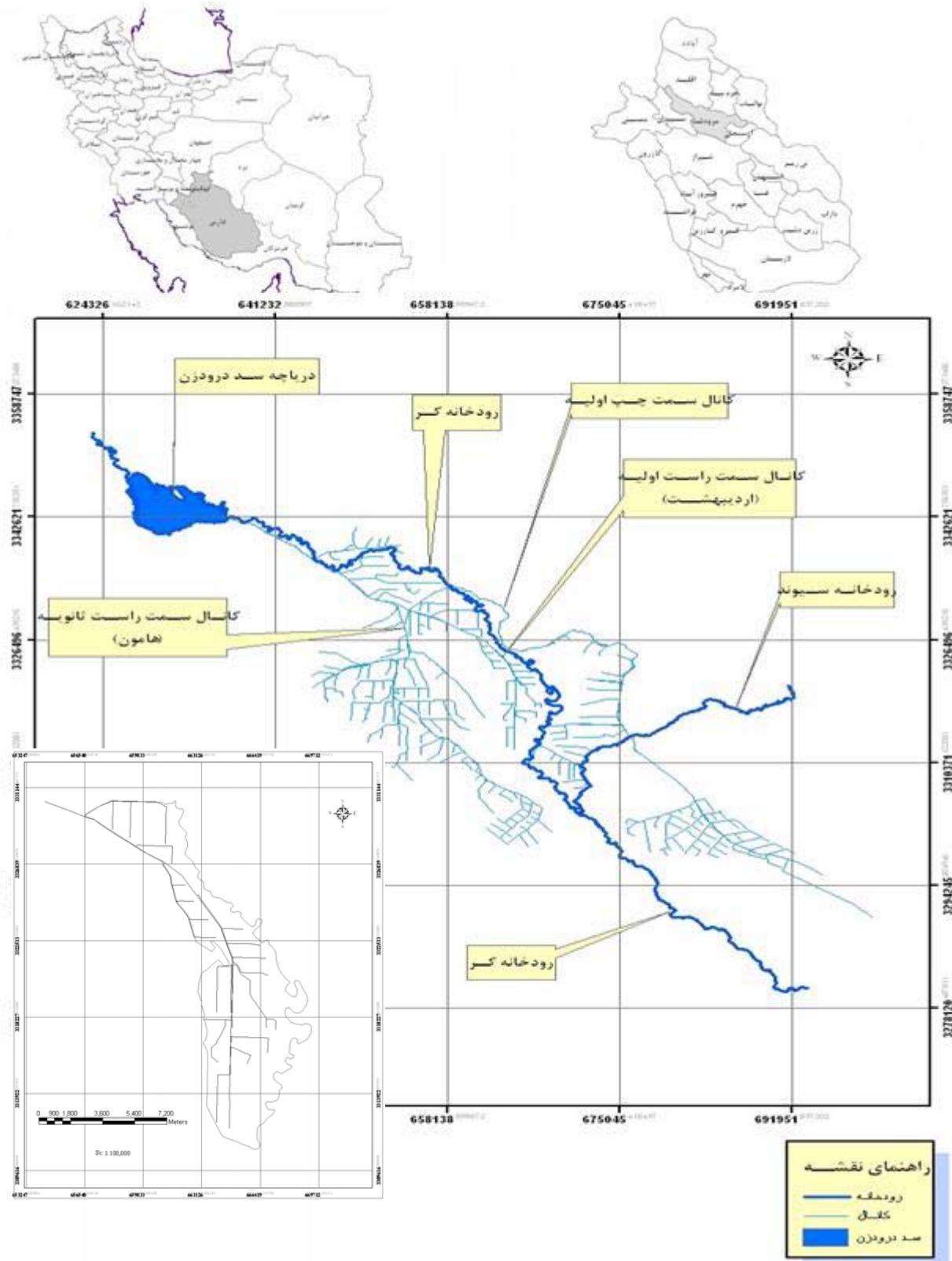
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی زیر دست کانال اردیبهشت از جمله کانال‌های درجه یک شبکه آبیاری سد درودزن در استان فارس می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هم‌چنین در این تحقیق جهت بهینه کردن الگوی کشت از برنامه ریزی خطی (LP) و نرم افزار QSB استفاده گردید.

آمار و اطلاعات مورد نیاز نظری سطح زیر کشت، عملکرد محصولات، هزینه تولید، هزینه نهاده‌ها، قیمت محصولات، تاریخ کشت گیاهان مختلف هزینه استفاده از چاه جهت آبیاری گیاهان مختلف در طول فصل کشت و حداقل امکانات آبی بهره‌برداران مختلف در حالت استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی به طرق مختلف از جمله، تکمیل پرسشنامه جهت زارعین و هم‌چنین از ادارات و سازمان‌های مربوطه در استان فارس تهیه گردید. هم‌چنین اطلاعات مربوط به پرسشنامه از یک نمونه مشتمل بر ۶۰ واحد زراعی به‌دست آمده است. شایان ذکر است سطح مزرعه بهره‌برداران مختلف در زیر شبکه‌های آبیاری عمدتاً بین ۲ تا ۱۵ هکتار می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی تأثیر سطوح مختلف کم آبیاری در سطح مزرعه (راهکارهای آبیاری) از یک بهره‌بردار نماینده ۷ هکتاری که در میانه واحدهای مورد بررسی بود، به عنوان بهره‌بردار نماینده جهت بررسی سطوح مختلف کم آبیاری (راهکار آبیاری)

منابع آب زیرزمینی باعث وارد آمدن صدمات جیران ناپذیری بر پتانسیل آبی هر منطقه می‌شود. آمار و اطلاعات سطح زیر کشت در استان فارس نشان می‌دهد که الگوی کشت در فصل دوم در دهه‌های اخیر به سمت محصولاتی با نیاز آبی بالا تغییر پیدا کرده و هم‌چنین سطح زیر کشت این محصولات نیز افزایش پیدا کرده است به‌طوری که سطح زیر کشت برج در این استان از ۳۳۱۰۲ هکتار در سال ۱۳۶۱-۶۲ به مقدار ۵۵۵۳۸ هکتار در سال ۱۳۸۳-۸۴ رسیده است. هم‌چنین سطح زیر کشت گیاه درت دانه‌ای نیز از ۲۵۷ هکتار در سال ۱۳۶۱-۶۲ به ۸۶۲۰۶ به ۱۳۸۱-۸۴ رسیده است. قابل ذکر است که این محصولات جایگزین کشت گیاهان با نیاز آبی کمتر از قبیل ارزن، کنجد شده‌اند (۴). بنابراین مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی جهت بهینه کردن برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوی کشت مختلف وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر مدل‌سازی ریاضی و تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی (Linear Programming)، غیرخطی (Nonlinear programming)، پویا (Dynamic Programming) متمکی است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوی کشت مختلف انجام شده است (۹، ۱۳ و ۱۶). یارن و دینار (۲۰) نشان دادند که استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی و پویا (NLP-DP) می‌تواند راه حلی برای تخصیص منابع آب، برای الگوی کشت‌های مختلف باشد. قهرمان و سپاسخواه (۱۱) یک الگوریتم ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی (یا غیر خطی) LP(N) و برنامه‌ریزی پویای استوکاستیکی (SDP) جهت تخصیص بهینه آب از یک مخزن سد یک منظوره برای یک الگوی کشت (گندم، جو، چغندر قند و ذرت در ناحیه اردک واقع در استان خراسان) ارائه کردند. کیو و همکاران (۱۴) در تحقیقی از الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی آبیاری در سطح مزرعه استفاده کردند. طرح آنها در دو منطقه دلتا و یوتا به وسعت ۳۹۴/۶ هکتار انجام شد به این ترتیب که آنها با استفاده از



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (کanal اردیبهشت و سطح زیر کشت کanal‌های فرعی آن)

تابع تولید مورد استفاده در این تحقیق برای تعیین عملکرد واقعی محصول در هکتار (Y_j) براساس تحقیقات محققین مختلف (۱۵، ۱۷) به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left(1 - Ky_i \left(1 - \frac{W_a}{W_p} \right)_i \right) \quad [2]$$

که در آن، Y_p : حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، Y_a : مقدار محصول تولیدی در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)، i : مرحله مشخص از رشد، n : تعداد مراحل رشد، Ky_i : ضریب حساسیت گیاه به کم آبی در مرحله رشد: i (استقرار)، اوایل دوره رویشی (Early vegetation)، اوخر دوره رویشی (Late vegetation)، گل‌دهی (Flowering)، شکل‌گیری عملکرد محصول (Yield formation)، رسیدن (Ripening). مقادیر ضریب حساسیت (Ky_i) با توجه به جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

W_{p_i} : حداکثر آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد و W_{a_i} : مقدار آب مصرفی گیاه در دوره‌های مختلف رشد که مقدار آن از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_{a_i} = (1-x)W_{p_i} \quad [3]$$

برای تعیین راهکارهای آبیاری و همچنین اثر کم آبیاری در طول دوره‌های تفکیک شده رشد، از رابطه فوق استفاده گردید که در آن x ، مقدار کاهش نسبی مصرف آب طی دوره رشد (کوچکتر از یک) می‌باشد. در واقع در این تحقیق راهکارهای آبیاری براساس مقادیر مختلف x تعریف می‌شود. همچنین حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل با توجه به پژوهش‌های گذشته که در منطقه برای گیاهان مختلف انجام شده بود، مطابق جدول ۴ اعمال گردید.

محدودیت زمین برای کشت گیاهان مختلف به صورت زیر در مدل اعمال گردید:

$$\sum_{j=1}^{ncrop} A_j \leq A_{Total} \quad [4]$$

که در آن، A_j سطح زیر کشت گیاه j (ha)، A_{Total} : کل سطح زمین موجود برای کشت گیاهان مختلف (ha) می‌باشد.

استفاده گردید. شایان ذکر است که این بهره‌بردار هم‌زمان از آب سطحی (کanal) و آب زیر زمینی (چاه) برای کشت گیاهان مختلف استفاده می‌کند.

همان‌طور که ذکر شد بسیاری از بهره‌برداران منطقه به علت محدودیت آب در کanalها و توزیع نامناسب آن از منابع آب زیر زمینی (چاه) نیز استفاده می‌کنند. در جدول ۱ درصد بهره‌برداران زیر شبکه‌های مختلف کanal ارتباط داشت که از منابع آب سطحی و زیر زمینی به صورت هم‌زمان استفاده می‌کنند، نشان داده شده است.

در طراحی مدل، یک سال زراعی براساس امکانات آبی موجود و تاریخ‌های آبیاری به صورت جدول ۲ تقسیم گردید، که در آن تاریخ کشت گیاهان مختلف (الگوی کشت غالب) در منطقه لحاظ شده است. با توجه به این که از اول ماه آبان تا آخر اسفند بیشتر نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تأمین می‌شود و کم آبیاری در این دوره (اول آبان تا آخر اسفند) تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد گیاه گندم (الگوی کشت غالب در فصل اول) می‌گذارد بنابراین این دوره برای گیاه گندم بسیار حیاتی است. به همین علت از اول آبان تا آخر اسفند به عنوان یک دوره در نظر گرفته شده و کم آبیاری نیز در این دوره اعمال نشد. بقیه دوره‌ها برای سهولت انطباق با دوره‌های رویشی گیاه به صورت ۱۰ روزه در نظر گرفته شد.

تابع هدف در این تحقیق در شرایط استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت طراحی گردید.

$$Z = \sum_{j=1}^n (P_{c_j} Y_j - C_j) A_j - P_w^S \sum_{j=1}^n IR_j^S - P_w^G \sum_{j=1}^n IR_j^G \quad [1]$$

که در آن، Z : تابع هدف، P_w^S : قیمت آب سطحی (Rial/m³), P_w^G : قیمت آب زیرزمینی (Rial/m³), IR_j^S : مقدار آب سطحی مصرفی گیاه j (Rial/m³), IR_j^G : مقدار آب زیرزمینی مصرفی گیاه j (Rial/kg), C_j : قیمت محصول برای گیاه j (Rial/kg)، Y_j : عملکرد در هکتار برای گیاه j (kg/ha)، A_j : سطح زیر کشت گیاه j (ha) و P_{c_j} : هزینه کشت گیاه j (Rial/ha) می‌باشد.

جدول ۱. درصد بهره‌برداران زیر کanal اردبیهشت که از منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده می‌کنند.*

کanal‌های درجه ۳ (کanal اردبیهشت)	درصد
T15	۴۶
T16	۲۹
T17	۷۰
T18	۱۸
T19	۳۰
T20	۱۵
T21	۵۰
T22	۶
T23	۴۰
T24	۴۰

*. نتایج پرسش‌نامه

جدول ۲. تاریخ کشت گیاهان مختلف در منطقه براساس تاریخ‌های آبیاری

نام گیاه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردبیهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
دهد	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱	۳۲۱
گندم	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
جو	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
چغندر قند	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت دانه‌ای	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت علوفه‌ای	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
برنج	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

محدودیت امکانات آبی برای کشت گیاهان مختلف در دوره‌های زمانی مختلف نیز به صورت زیر در مدل اعمال می‌آید:

$$q_j = \frac{W_{a_j}}{Ea} \times A_j \times 10 \quad [6]$$

که در آن، W_{a_j} مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه زام (mm/10day)، Ea : راندمان کاربرد آب در مزرعه (اعشار)، عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر (mm) به مترمکعب در هکتار (m^3/ha) می‌باشد. مقدار W_{a_j} با توجه به رابطه ۷ به دست می‌آید.

محدودیت امکانات آبی برای کشت گیاهان مختلف در دوره‌های زمانی مختلف نیز به صورت زیر در مدل اعمال می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^{n_{crop}} q_j \leq q_{Total}^s + q_{Total}^g \quad [5]$$

که در آن، q_{Total}^s : حداکثر امکانات آب سطحی موجود، q_{Total}^g : حداکثر امکانات آب زیرزمینی موجود ($m^3/ha-10day$) و q_j : مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه موجود ($m^3/ha-10day$)

جدول ۳. ضریب واکنش عملکرد به آب

مرحله رشد							گیاه
رسیدن	عملکرد محصول	شکل گیری	گل دهی	اوآخر رشد	اوایل رشد رویشی	استقرار رویشی	
۰/۲	۰/۳۳	۲/۱	۰/۱۵	۰/۱۲	۰		آرین و سپاسخواه (۱) گندم
۰/۱۴	۰/۴	۱/۵	۰/۱۵	۰/۱۲	۰		آرین و سپاسخواه (۱) جو
۰/۳	۰/۹۱	۰/۸۷	۱/۴۲	۱/۴۲	۰/۱		هنر و سپاسخواه (۶) ذرت
۰/۱۲	۰/۳۶	-	۲	۲	۰/۱۲		هیل و همکاران (۱۲) چغندر قند
۱/۳۵							اطلاعات شخصی سپاسخواه، ۱۳۸۲ برنج

جدول ۴. حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل

درصد کاهش آب مصرفی	منبع مورد استفاده	گیاه
۴۰	حسینی (۳)	گندم
۴۰	حسینی (۳)	جو
۳۶	پیرمرادیان (۲)	برنج
۳۰	سپاسخواه و پرند (۱۹)	ذرت دانه‌ای
۳۰	سپاسخواه و پرند (۱۹)	ذرت علوفه‌ای
۲۰	سپاسخواه و کامگار (۱۸)	چغندر قند

که در آن ET_0 : تبخیر - تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع (mm/10day)، K_c : ضریب گیاهی در این تحقیق تبخیر - تعرق سطوح گیاهی مرجع به روش پنمن - فائو (۱۰)، با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه مرجع کوشک محاسبه گردید و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی فائو ارائه شده توسط آلن و همکاران (۷) و (۸) مقادیر تبخیر - تعرق بالقوه گیاهان زراعی به دست آمد.

$$W_{aj} = ET_{crop_j} - P_e \quad [V]$$

که در آن، P_e : بارندگی مؤثر در ماه آم، مقدار آن با استفاده از نرم افزار CROPWAT و از روش USDA برای ماههایی که در آن بارندگی اتفاق می‌افتد، تعیین گردیده است.

ET_{crop_j} : تبخیر - تعرق گیاه زام (mm/10day) از طریق رابطه محاسبه می‌گردد:

$$ET_{crop_j} = k_c \cdot ET_0 \quad [A]$$

بیشتر تمام سطح زمین خود را در فصل دوم زیر کشت گیاهان مختلف می‌برد. البته این سطح زیر کشت بیشتر به گیاه برنج به دلیل داشتن درآمد بیشتر اختصاص می‌یابد. شکل ۳ مقادیر آب مصرفی از چاه را در دهه‌های مختلف نشان می‌دهد. در واقع این مقادیر نیز حاصل از اجرای مدل می‌باشد زیرا مدل به گونه‌ای طراحی شده است که این مقادیر را نیز نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، بیشترین میزان آب زیرزمینی مورد استفاده در دهه‌های اول تیر، دوم تیر و سوم تیر به ترتیب به مقدار ۴۵۷۲، ۴۶۷۴ و ۴۵۱۸ متر مکعب می‌باشد. هم‌چنین در ماه مرداد نیز نسبت به سایر ماه‌ها بیشتر از آب زیرزمینی استفاده شده است. بنابراین می‌توان گفت محدودیت آب بیشتر در این ماه‌ها وجود دارد. شایان ذکر است نتایج پرسش‌نامه از کشاورزان نیز نشان می‌دهد بیشترین محدودیت آب، مربوط به همین ماه‌ها می‌باشد. در دوره اول (اول آبان تا آخر اسفند) مقدار آب زیرزمینی مورد استفاده صفر می‌باشد علت امر این است که در این دوره بارندگی و آب سطحی میزان نیاز گیاه را بر طرف می‌سازد و دیگر نیازی به استفاده از منابع زیرزمینی نمی‌باشد. در ماه خرداد نیز این مقادیر صفر می‌باشد علت امر این است که چغندر قند وارد برنامه بهینه نشده است و تمام نیاز گندم از طریق منابع سطحی تأمین می‌شود. هم‌چنین نتایج این شکل نشان می‌دهد که در کدام دوره‌ها محدودیت آب وجود دارد و منابع زیرزمینی می‌تواند این محدودیت را بر طرف سازد. نکته دیگر این که در این تحقیق دبی چاه ۱۰ لیتر بر ثانیه و میزان ساعت بهره‌برداری از چاه ۲۰ ساعت در نظر گرفته شده است که با توجه به این مقادیر کشاورز در هر دهه ۷۲۰۰ متر مکعب آب در اختیار دارد که به جز در دوره اول که کشاورز از چاه استفاده نمی‌کند در بقیه دوره‌ها می‌تواند به میزان بیشتر از نیاز گیاه آبیاری را انجام دهد و این حالت با در نظر گرفتن راه‌کارهای آبیاری کامل می‌باشد. بنابراین مقادیر زیادی از آب بیهوده هدر می‌رود.

اولین سیاستی که برای تعدیل تقاضای آب در این تحقیق

نتایج و بحث

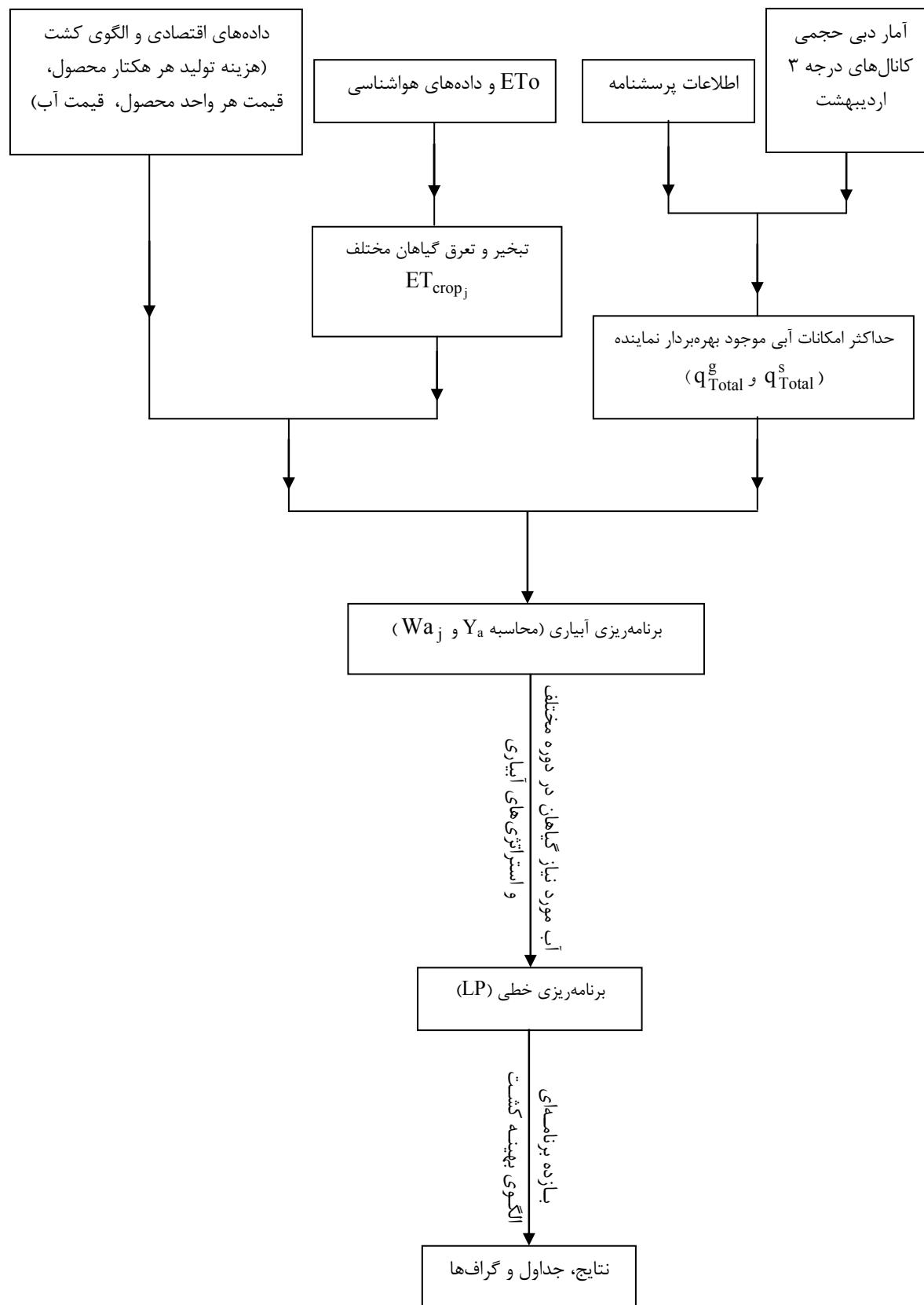
متغیرهای تصمیم در مدل به صورت جدول ۵ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مطابق این جدول بازی در صدای راه‌کارهای مختلف کاهش آب مصرفی راه‌کارهای آبیاری (متغیرهای تصمیم) مختلفی برای هر گیاه تعریف گردیده است (به طور مثال ۳۲ راه‌کار آبیاری برای گیاه گندم). پس از تعیین این راه‌کارها برای گیاهان مختلف، سود خالص برای هر کدام از آنها محاسبه و در تابع هدف وارد گردید.

شکل ۲ فلوچارت مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل می‌تواند پارامترهایی مثل عملکرد حداکثر گیاهان مختلف، قیمت محصولات، قیمت آب مصرفی، هزینه کشت گیاهان مختلف در هکتار و حداکثر امکانات آبی سطحی و زیرزمینی را در دوره‌های زمانی مختلف را به عنوان ورودی بگیرد و الگوی بهینه را برای کانال‌های مختلف تخمین بزند.

جدول ۶ الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای مدل را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که، فعالیت‌های X1 با سطح ۷ هکتار (گندم با راه‌کار آبیاری کامل)، X۵۸ با سطح ۳ هکتار (ذرت با راه‌کار آبیاری کامل) و X۱۳۱ با سطح ۴ هکتار (برنج با راه‌کار آبیاری کامل) وارد الگوی کشت شده‌اند و در نهایت بازده برنامه‌ای کل به دست آمده از الگوی بهینه برابر ۲۰۰۰۳۶۲۰۰ ریال می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد با توجه به این که نیاز آبی گیاه با توجه به منابع سطحی و زیرزمینی کاملاً تأمین شده مدل راه‌کارهای آبیاری کامل را برای گیاهان مختلف انتخاب کرده است.

جدول ۷ الگوی فعلی بهره‌بردار نماینده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بهره‌بردار نماینده نیز در شرایط استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی قسمت اعظم زمین خود را در فصل اول به گندم و در فصل دوم به برنج و ذرت دانه‌ای اختصاص می‌دهد. هم‌چنین در این حالت بهره‌بردار به دلیل در اختیار داشتن امکانات آبی

جدول هشتم ف متنغه های تضمیمه و تصدیه کاہش، آب مصروف، دم و دم های مختلف



شکل ۲. فلوچارت مدل برنامه‌ریزی آبیاری

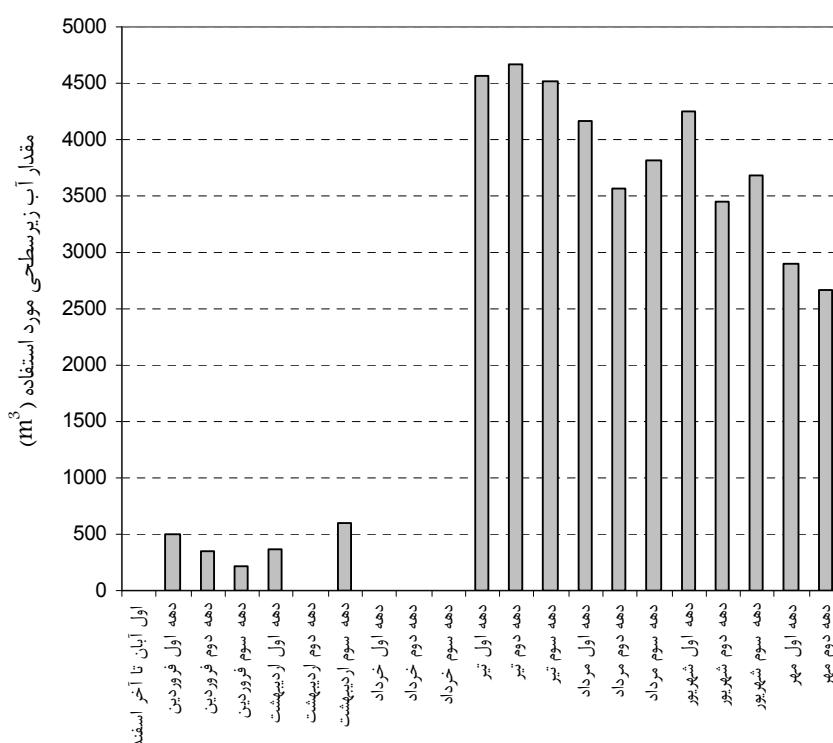
جدول ۶. الگوی بهینه کشت حاصل از مدل

سطح زیر کشت (هکتار)	گیاه
۷	گندم (X1)
۰	جو
۳	ذرت دانه‌ای (X58)
۰	ذرت علوفه‌ای
۰	چغندر قند
۴	برنج (X131)
۱۹۶۲۴۵/۵	مقدار آب مصرفی (m^3)
۲۰۰۰۸۴۱۰۰	بازدہ برنامه‌ای (ریال)

جدول ۷. الگوی فعلی بهره‌بردار نماینده*

سطح زیر کشت (هکتار)	گیاه
۶	گندم
۲	ذرت دانه‌ای
۱	چغندر قند
۴	برنج

* : نتایج پرسشنامه



شکل ۳. مقادیر آب مصرفی از چاه در دهه‌های مختلف

جدول ۸. تأثیر تغییر قیمت بر الگوی بهینه

فعالیت (هکتار)	↓	قیمت (تومان)	۱۰۰	۲۵	۵۰	۷۵	۹۰
$P_w^s : ۰-۵۴/۵۲۷۹$		X1	X58	X131			۱۹۶۲۴۵/۵
$P_w^g : ۰-۶۵/۵۲۷۹$		۷/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۵۴/۵۲۷۹-۵۵/۵۵۵۶$		X1	X58	X131			۱۴۰۸۶۵/۲۵
$P_w^g : ۶۵/۵۲۷۹-۶۶/۶۳۴۸$		۷/۰۰۰۰	۰/۸۹۲۷	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۵۵/۵۵۵۶-۶۱/۶۶۵۹$		X1	X58	X131			۱۴۰۷۳۹/۷۰
$P_w^g : ۶۶/۶۳۴۸-۷۴/۳۴۹۵$		۷/۰۰۰۰	۰/۸۸۷۹	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۶۱/۶۶۵۹-۶۴/۶۰۸۱$		X1	X58	X131			۱۳۶۲۵۴/۹۵
$P_w^g : ۷۴/۳۴۹۵-۷۹/۰۱۵۷$		۷/۰۰۰۰	۰/۶۹۴۹	۴/۰۰۰۰			
$: P_w^s ۶۴/۶۰۸۱-۷۱/۳۵۷۷$		X1	X58	X131			۱۳۵۸۸۵/۸۲
$P_w^g : ۷۹/۰۱۵۷-۹۲/۱۲۱۳$		۷/۰۰۰۰	۰/۶۷۷۸	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۷۱/۳۵۷۷-۷۷/۲۷۸۹$		X1	X58	X131			۱۳۴۰۶۶/۴۵
$P_w^g : ۹۲/۱۲۱۳-۱۰۷/۱۵۲۳$		۷/۰۰۰۰	۰/۶۰۷۹	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۷۷/۲۷۸۹-۸۳/۱۲۰۲$		X1	X64	X131			۱۲۹۸۴۳/۶۱
$P_w^g : ۱۰۷/۱۵۲۳-۱۲۲/۵۱۶۵$		۷/۰۰۰۰	۰/۳۶۷۵	۴/۰۰۰۰			
$P_w^s : ۸۳/۱۲۰۲-۸۸/۶۴۲۰$		X17	X21	X131			۱۲۰۸۶۲/۲۷
$P_w^g : ۱۲۲/۵۱۶۵-۱۳۱/۹۰۷۱$		۶/۵۷۴۹	۰/۴۲۵۱	۰	۳/۹۵۸۲		
$P_w^s : ۸۸/۶۴۲۰-۹۵/۶۹۸۰$		X17	X21	X131			۱۰۲۳۰۸/۹۴
$P_w^g : ۱۳۱/۹۰۷۱-۱۳۸/۱۶۵۱$		۶/۵۷۴۹	۰/۴۲۵۱	۰	۳/۲۲۲۵		

همچنین الگوی بهینه به سمت گیاهانی با میزان آب مصرفی کمتر پیش می‌رود (راه کارهای آبیاری). به عنوان مثال مطابق جدول ۸ X17 و X21 گندم با ۵ و ۲۵ درصد کاهش آب مصرفی در دوره ۰/۳۳ Ky می‌باشد. با توجه به این که گیاه برنج دارای نیاز

مورد بررسی قرار گرفت تغییر قیمت آب، و اثر آن بر الگوی کشت و میزان آب مصرفی بود که نتایج آن به صورت جدول ۸ خلاصه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب از سطح زیر کشت فعالیت‌های بهینه کاسته شده و

جدول ۹. الگوی بهینه کشت حاصل از حذف گیاه برنج

گیاه	سطح زیر کشت (هکتار)
X1 (گندم آبیاری کامل)	۷
جو	۰
X58 (ذرت دانه‌ای آبیاری کامل)	۷
ذرت علوفه‌ای	۰
چغندر قند	۰
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۵۴۳۰۹/۵۰
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۶۴۸۲۸۰۰۰

جدول ۱۰. الگوی بهینه کشت حاصل از کاهش بهره‌برداری از چاه

گیاه	سطح زیر کشت (هکتار)
X1 (گندم آبیاری کامل)	۷/۰۰۰۰
جو	۰/۰۰۰۰
X59 (ذرت دانه‌ای ۵ درصد در دوره $Ky=۰/۱$)	۱/۵۳۲۵
. (ذرت دانه‌ای ۱۰ درصد در دوره $Ky=۰/۱$) X60	۱/۸۲۱۷
ذرت علوفه‌ای	۰/۰۰۰۰
چغندر قند	۰/۰۰۰۰
X131 (برنج آبیاری کامل)	۳/۲۳۳۴
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۸۰۴۰۲/۶۲
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۸۹۶۴۸۸۰

جدول ۱۱. الگوی بهینه کشت حاصل از حذف فعالیت‌های بهینه

گیاه	سطح زیر کشت (هکتار)
X1 (گندم آبیاری کامل ۵ درصد در دوره $Ky=۰/۱۵$)	۷
جو	۰
X59 (ذرت دانه‌ای ۵ درصد در دوره $Ky=۰/۱$)	۷
ذرت علوفه‌ای	۰
چغندر قند	۰
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۵۳۰۳۵/۵۰
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۶۳۶۱۳۰۰۰

در عوض مقدار آب مصرفی به میزان ۲۱/۳۴ درصد کاهش یافته است. بنابراین حذف برنج از الگوی کشت زارعین و به صورت کلی محدود کردن کشت جایگزین در فصل دوم در تعديل تقاضای آب مؤثر می‌باشد.

آبی بالا می‌باشد یک سیاست دیگر جهت تعديل تقاضای آب حذف گیاه برنج از الگوی کشت می‌باشد که نتایج آن در جدول ۹ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بازده برنامه‌ای نسبت به جدول ۶ به میزان ۱۷/۶۲ درصد کاهش یافته است ولی

زهکشی سد درودزن)، مدیریت دقیق و مناسب منابع سطحی و زیرزمینی می‌تواند باعث افزایش راندمان بهره‌برداری از آب و افزایش تولیدات زراعی شود. نتایج تحقیق نشان داد که الگوی بهینه کشت در فصل اول گندم و در فصل دوم ذرت دانه‌ای و برنج با راه‌کار آبیاری کامل می‌باشد. علت انتخاب راه‌کارهای آبیاری کامل این است که نیاز آبی گیاهان در دوره‌های مختلف کاملاً تأمین شده، بنابراین مدل راه‌کارهای آبیاری کامل را برای آنها انتخاب می‌کند. همچنین در این مدل سیاست‌های مختلفی جهت تعديل تقاضای آب مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به این که میزان آب مصرفی در فصل دوم به مراتب بیشتر از فصل اول می‌باشد به نظر می‌رسد از بین سیاست‌ها و راه‌کارهای مختلف ذکر شده، محدود کردن کشت گیاهان پر مصرف در فصل دوم بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعديل تقاضای آب باشد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به محدودیت منابع آب در ماههای تیر و مرداد اشاره کرد به طوری که کشاورزان در این ماه‌ها بیشتر از منابع زیرزمینی استفاده می‌کنند.

الگوی کشتی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، الگوی کشت غالب منطقه می‌باشد. پیشنهاد می‌شود گیاهان دیگری که میزان نیاز کمتری به آب در طی دوره‌های مختلف رشد دارند نیز بررسی شود و تا بتوان آنها را جایگزین گیاهان پر مصرف کرد و میزان تقاضای آب را نیز کاهش داد.

در این تحقیق ساعت‌های بهره‌برداری از چاه ۲۰ ساعت در شب‌انه روز در نظر گرفته شد که کاهش ساعت‌های بهره‌برداری نیز می‌تواند به عنوان یک سیاست دیگر در تعديل تقاضای آب مورد بررسی قرار بگیرد. جدول ۱۰ الگوی بهینه کشت در حالتی که ساعت‌بهره‌برداری از آب چاه از ۲۰ ساعت به ۱۰ ساعت تغییر یابد را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که سطح زیر کشت در فصل دوم کاهش یافته و مدل راه‌کارهای دیگری غیر از آبیاری کامل را انتخاب می‌کند. همچنین آب مصرفی نیز به میزان ۸/۰۷ درصد کاهش یافته است. البته به دلیل این که بهره‌بردار از آب سطحی (کanal) نیز استفاده می‌کند این میزان کاهش در مقابل کاهش ساعت‌بهره‌برداری از چاه ناچیز می‌باشد. البته این سیاست به دلیل این که اکثر چاه‌های منطقه دیزلی می‌باشد چندان رهگشای نمی‌باشد.

سیاست دیگری که می‌تواند در تعديل تقاضای آب مؤثر باشد این است که راه‌کارهای آبیاری کامل از برنامه بهینه حذف شود. جدول ۱۱ نتایج این تغییر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود میزان آب مصرفی به میزان ۲۲/۰ درصد کاهش می‌یابد و مدل می‌تواند راه‌کارهای دیگری غیر از آبیاری کامل را انتخاب کند.

نتیجه‌گیری

در محدوده پروژه‌های بزرگ آبیاری (نظیر شبکه آبیاری و

منابع مورد استفاده

۱. آرین، ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۰. معرفی و برآش مدل شبیه‌سازی محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک (CRPSM). چهارمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه کرمان، ایران.
۲. پیرمرادیان، ن. ۱۳۸۲. برهمکنش کم آبیاری و مصرف کود نیتروژن در محصول برنج منطقه کوشک (استان فارس). پایان‌نامه دکترای آبیاری و زهکشی، دانشگاه شیراز.
۳. حسینی، ن. ۱۳۸۴. اثر آبیاری جویچه‌ای یک در میان با سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد گندم در دو منطقه باجگاه و کوشک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شیراز.
۴. سایت وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۸۵. <<http://www.agri-jahad.org>>.
۵. کردوانی، پ. ۱۳۸۱. منابع و مسائل آب در ایران. جلد اول، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.
۶. هنر، ت. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۵. اصلاح مدل CRPSM برای تخمین محصول و مدیریت آبیاری ذرت. هشتمین سمینار کمیته

ملی آبیاری و زهکشی ایران، وزارت نیرو، تهران.

7. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrig. Drain., Paper 56, FAO, United Nations, Rome, Italy.
8. 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.
9. Beruardo, D. J. 1988. Irrigation optimization under water supply. ASAE 31(3): 712-719.
10. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrig. Drain. paper 24. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
11. Ghahraman, B. and A. R. Sepaskhah. 2002. Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping pattern. Irrig. Sci. 21: 127-137.
12. Hill, R. W., K. H. Rayan., R. L. Buttars, A. A. Keller, L. M. Mulkary., F. R. Stewart. and B. J. Bomen. 1983. CRPSM yield simulation model. Utah State University, Logan, Utah.
13. Jackson, B. S., T. J. Gerik and D. F. Wanjura. 1990. Use of COTTAM for scheduling limited irrigation. J. Prod. Agric. 3(4): 420-425.
14. Kuo, S-F., G. P. Merkley and C-W. Liu. 2000. Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm. Agric. Water Manag. 45: 243-266.
15. Meyer, S. J., K. G. Hubbard and D. A. Wilhite. 1993. A crop – specific drought index for corn : I. Model development and validation. Agron. J. 85: 388-395.
16. Paul, S., S. N. Panda and D. Nagesh Kumar. 2000. Optimal irrigation allocation: A multilevel approach. J. Irrig. Drain. Eng. 126(3): 149-156.
17. Rao, N. H., P. B. S. Sarma and S. Chander. 1988a. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. Agric. Water Manag. 13: 25-32.
18. Sepaskhah, A. R. and A. A. Kamgar-Haghghi. 1997. Water use and yield of sugerbeet grown under every-other-furrow irrigation with different irrigation intervals. Agirc. Water Manag. 34: 71-79.
19. Sepaskhah, A. R. and A. Parand. 2006. Effects of alternate furrow irrigation with supplemental every-furrow irrigation at different growth stages on the yield of maize (*Zea mays* L.). Plant Prod. Sci. 9(4): 415-421.
20. Yaron, D. and A. Dinar. 1982. Optimal allacation of water on a farm during feed season. J. Agric. Econ. 64: 452-458.