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

محمد کاظم شعبانی[۱]، تورج هنر[۱*] 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 به‌صورت 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 به‌عنوان راه‌کارهای 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 این‌که میزان آب مصرفی در فصل دوم به مراتب بیشتر از فصل اول می‌باشد به‌نظر می‌رسد از بین سیاست‌ها و راه‌کارهای مختلف ذکر شده، محدود کردن کشت گیاهان پر مصرف در فصل دوم بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعدیل تقاضای آب باشد.

واژه‌های کلیدی: راه‌کارهای آبیاری، منابع آب سطحی و زیرزمینی، الگوی بهینه کشت، کم‌آبیاری

مقدمه

ایران در جنوب منطقه معتدله 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 به‌طوری که 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

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

۲. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: toorajhonar@yahoo.com

منابع آب زیرزمینی باعث وارد آمدن صدمات جبران 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 برنج در این استان از ۳۳۱۰۲ هکتار در سال ۶۲-۱۳۶۱ به مقدار ۵۵۵۳۸ هکتار در سال ۸۴-۱۳۸۳ رسیده است. هم‌چنین سطح زیر کشت گیاه ذرت دانه‌ای نیز از ۲۵۷ هکتار در سال ۶۲-۱۳۶۱ به ۸۶۲۰۶ هکتار در سال ۸۴-۱۳۸۳ 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 به‌نظر می‌رسد.

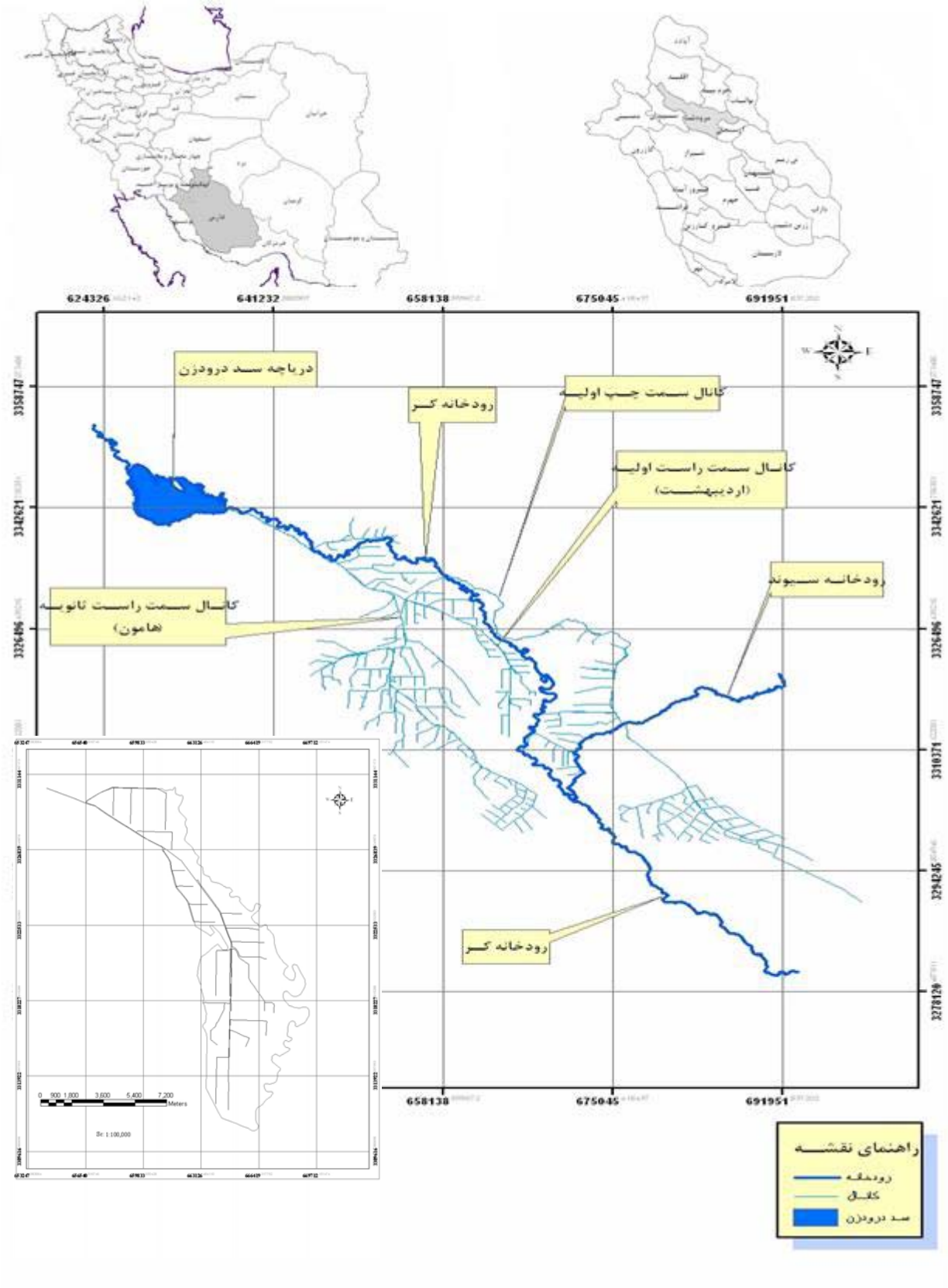
روش‌های مختلفی جهت بهینه‌کردن برنامه‌ریزی آبیاری برای الگوی کشت مختلف وجود دارد. برخی از این روش‌ها بر مدل‌سازی ریاضی و تکنیک‌های برنامه‌نویسی خطی (Linear Programing)، غیرخطی (Nonlinear programing) و پویا (Dynamic Programing) متکی است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری برای 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 راه‌حلی برای تخصیص منابع آب، برای الگوی کشت‌های مختلف باشد. قهرمان و سپاسخواه (۱۱) یک الگوریتم ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی (یا غیر خطی) (N)LP و برنامه‌ریزی پویای استوکاستیکی (SDP) جهت تخصیص بهینه آب از یک مخزن سد یک منظوره برای یک الگوی کشت (گندم، جو، چغندرقند و ذرت در ناحیه ارداک 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 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 حداکثر 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 نظیر 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 حداکثر 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 عمدتا بین ۲ تا ۱۵ هکتار می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری در سطح مزرعه (راه‌کارهای آبیاری) از یک بهره‌بردار نماینده ۷ هکتاری که در میانه واحدهای مورد بررسی بود، به‌عنوان بهره‌بردار نماینده جهت بررسی سطوح مختلف کم‌آبیاری (راه‌کار آبیاری)



شکل۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (کانال اردیبهشت و سطح زیر کشت کانال‌های فرعی آن)

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

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

در طراحی مدل، یک سال زراعی براساس امکانات آبی موجود و تاریخ‌های آبیاری به‌صورت جدول ۲ تقسیم گردید، که در آن تاریخ کشت گیاهان مختلف (الگوی کشت غالب) در منطقه لحاظ شده است. با توجه به این‌که از اول ماه آبان تا آخر اسفند بیشتر نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تأمین می‌شود و کم‌آبیاری 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 به‌عنوان یک دوره در نظر گرفته شده و کم‌آبیاری نیز در این دوره اعمال نشد. بقیه دوره‌ها برای سهولت انطباق با دوره‌های رویشی گیاه به‌صورت ۱۰ روزه در نظر گرفته شد.

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

$$Z = \sum_{j=1}^{n}(P_{c_j} Y_j - C_j)A_j - P_w^s \sum_{j=1}^{n} IR_j^s - P_w^g \sum_{j=1}^{n} IR_j^g \qquad [1]$$

که در آن، Z : تابع هدف، P_w^s: قیمت آب سطحی ($Rial/m^3$)، P_w^g: قیمت آب زیرزمینی ($Rial/m^3$)، IR_j^s: مقدار آب سطحی مصرفی گیاه jام (m^3)، IR_w^g: مقدار آب زیرزمینی مصرفی گیاه jام (m^3)، P_{c_j}: قیمت محصول برای گیاه jام ($Rial/kg$)، Y_j: عملکرد در هکتار برای گیاه jام (kg/ha)، A_j: سطح زیر کشت گیاه jام (ha) و C_j: هزینه کشت گیاه jام ($Rial/ha$) می‌باشد.

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

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

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 Establishment)، اوایل دوره رویشی (Early vegetation)، اواخر 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 به‌دست می‌آید:

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

برای تعیین راه‌کارهای آبیاری و هم‌چنین اثر کم‌آبیاری 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 به‌صورت زیر در مدل اعمال گردید:

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

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

جدول۱. درصد بهره‌برداران زیر کانال اردیبهشت که ازمنابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده می‌کنند*.

درصد	کانال‌های درجه ۳ (کانال اردیبهشت)
۴۶	T۱۵
۲۹	T۱۶
۷۰	T۱۷
۱۸	T۱۸
۳۰	T۱۹
۱۵	T۲۰
۵۰	T۲۱
۶	T۲۲
۴۰	T۲۳
۴۰	T۲۴

*. نتایج پرسش‌نامه

جدول۲. تاریخ کشت گیاهان مختلف در منطقه براساس تاریخ‌های آبیاری

نام گیاه	آبان			آذر			دی			بهمن			اسفند			فروردین			اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد			شهریور			مهر		
دهه	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
گندم	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓															
جو	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓															
چغندرقند																		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت دانه‌ای																								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ذرت علوفه‌ای																								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
برنج																								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

محدودیت امکانات آبی برای کشت گیاهان مختلف در دوره‌های زمانی مختلف نیز به‌صورت زیر در مدل اعمال گردید:

$$\sum_{j=1}^{ncrop} q_j \le q_{Total}^{s} + q_{Total}^{g} \qquad [۵]$$

که در آن، q_{Total}^{s}: حداکثر امکانات آب سطحی موجود (m^3/ha-10day)، q_{Total}^{g}: حداکثر امکانات آب زیرزمینی موجود (m^3/ha-10day) و q_j: مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه jام (m^3/ha-10day) می‌باشد که از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$q_j = \frac{W_{a_j}}{Ea} \times A_j \times ۱۰ \qquad [۶]$$

که در آن، W_{a_j} مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه jام (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 به‌دست می‌آید.

جدول۳. ضریب واکنش عملکرد به آب

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

جدول۴. حداکثر مقدارکاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل

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

$$W_{a_j} = ET_{crop_j} - P_e \qquad [۷]$$

که در آن، P_e: بارندگی مؤثر در ماه iام، 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 jام (mm/10day) از طریق رابطه ۸ محاسبه می‌گردد:

$$ET_{crop_j} = k_c \cdot ET_\circ \qquad [۸]$$

که در آن، ET0 : تبخیر – تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع (mm/10day)، Kc : 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 به‌دست آمد.

نتایج و بحث

متغیرهای تصمیم در مدل به‌صورت جدول ۵ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مطابق این جدول بازای درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی راه‌کارهای آبیاری (متغیرهای تصمیم) مختلفی برای هر گیاه تعریف گردیده است (به‌طور 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 به‌عنوان 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)، X58 با سطح ۳ هکتار (ذرت با راه‌کار آبیاری کامل) و X131 با سطح ۴ هکتار (برنج با راه‌کار آبیاری کامل) وارد الگوی کشت شده‌اند و در نهایت بازده برنامه‌ای کل به‌دست آمده از الگوی بهینه برابر ۲۰۰۰۳۶۲۰۰ ریال می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد با توجه به این‌که نیاز آبی گیاه با توجه به منابع سطحی و زیرزمینی کاملاً تأمین شده مدل راه‌کارهای آبیاری کامل را برای گیاهان مختلف انتخاب کرده است.

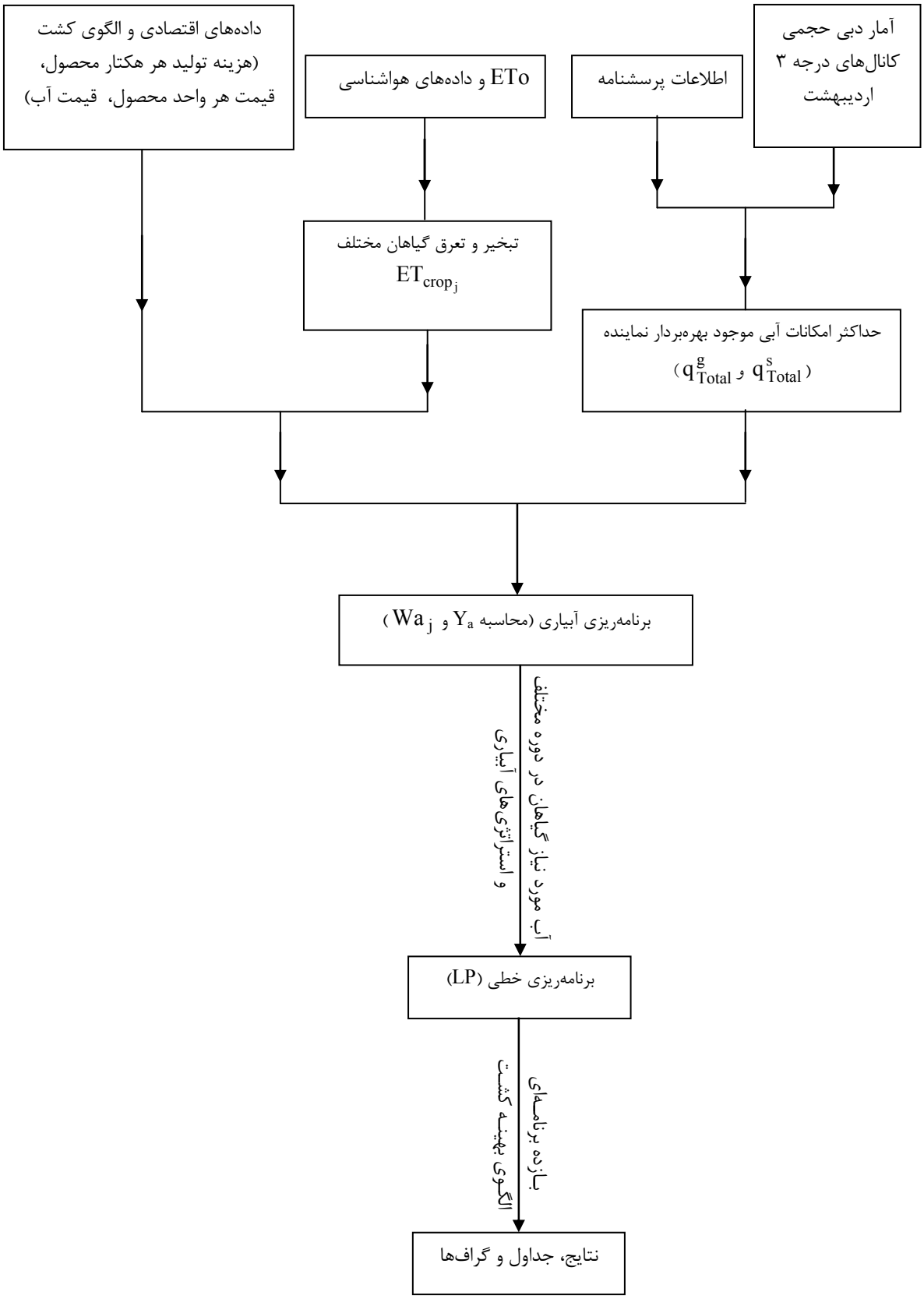
جدول ۷ الگوی فعلی بهره‌بردار نماینده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بهره بردار نماینده نیز در شرایط استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی قسمت اعظم زمین خود را در فصل اول به گندم و در فصل دوم به برنج و ذرت دانه‌ای اختصاص می‌دهد. هم‌چنین در این حالت بهره‌بردار به دلیل در اختیار داشتن امکانات آبی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

شکل۳ 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 آخراسفند) مقدار آب زیرزمینی مورد استفاده صفر می‌باشد علت امر این است که در این دوره بارندگی و آب سطحی میزان نیاز گیاه را برطرف می‌سازد و دیگر نیازی به استفاده از منابع زیرزمینی نمی‌باشد. در ماه خرداد نیز این مقادیر صفر می‌باشد علت امر این است که چغندرقند 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 این‌که در این تحقیق دبی چاه ۱۰ لیتر بر ثانیه و میزان ساعات 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

جدول۵. تعریف متغیرهای تصمیم و درصد کاهش آب مصرفی در دوره‌های مختلف

گندم	فعالیت (X)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲
	درصد (X)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
	Ky						۰/۱۵								۲/۱							۰/۳۳								۰/۲				
جو	فعالیت (X)	۰	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷							
	درصد (X)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰								
	Ky						۱/۵								۰/۴								۰/۱۴											
ذرت دانه‌ای	فعالیت (X)	۰	۵۸	۵۹	۶۰	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰	۷۱	۷۲	۷۳	۷۴	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	
	درصد (X)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۲۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	
	Ky					۰/۱						۱/۴۲						۰/۸۷						۰/۹۱					۰/۳					
ذرت علوفه‌ای	فعالیت (X)	۰	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	۱۰۰	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۸	۱۰۹	۱۱۰	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۳							
	درصد (X)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰								
	Ky					۰/۱						۱/۴۲						۰/۸۷						۰/۹۱										
چغندر قند	فعالیت (X)	۰	۱۱۴		۱۱۵		۱۱۶		۱۱۷		۱۱۸		۱۱۹		۱۲۰		۱۲۱		۱۲۲		۱۲۳		۱۲۴		۱۲۵		۱۲۶		۱۲۷		۱۲۸		۱۲۹		۱۳۰
	درصد (X)	۰		۵		۱۰		۱۵		۲۰		۵		۱۰		۱۵		۲۰		۵		۱۰		۱۵		۲۰		۵		۱۰		۱۵		۲۰
	Ky						۰/۱۲							۲								۰/۳۶								۰/۱۲				
برنج	فعالیت (X)																		۱۳۱																
	درصد (X)																		۰																
	Ky																		۱/۳۵																



شکل۲. فلوچارت مدل برنامه‌ریزی آبیاری

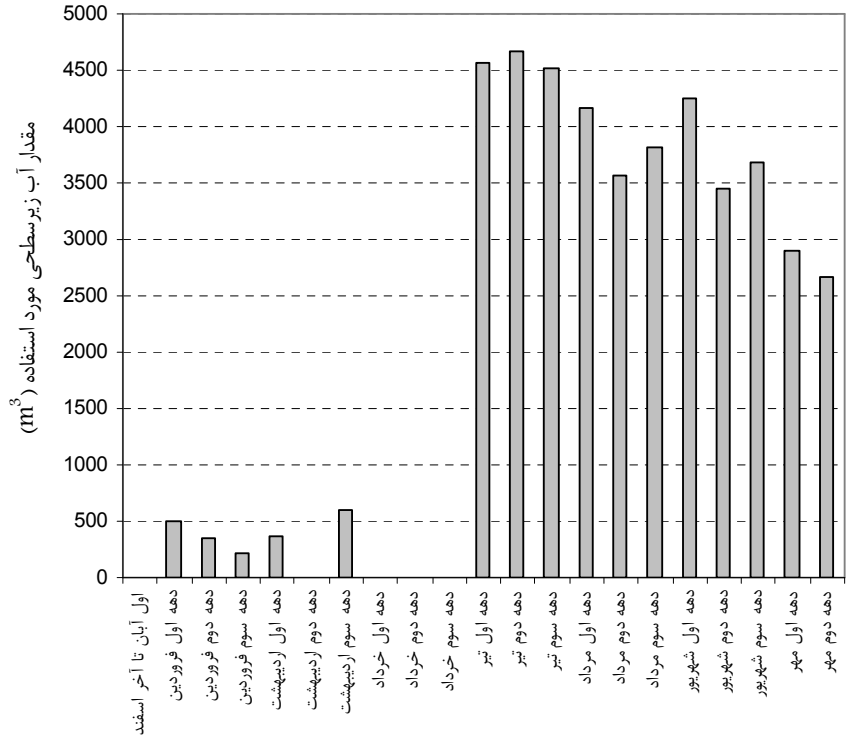
جدول۶. الگوی بهینه کشت حاصل از مدل

گیاه	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم (X1)	۷
جو	۰
ذرت دانه‌ای (X۵۸)	۳
ذرت علوفه‌ای	۰
چغندرقند	۰
برنج (X۱۳۱)	۴
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۹۶۲۴۵/۵
بازده برنامه‌ای (ریال)	۲۰۰۰۸۴۱۰۰

جدول۷. الگوی فعلی بهره‌بردار نماینده*

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

* : نتایج پرسش‌نامه



شکل۳. مقادیر آب مصرفی از چاه در دهه‌های مختلف

جدول۸. تأثیر تغییر قیمت بر الگوی بهینه

آب مصرفی (مترمکعب)	برنج	ذرت دانه‌ای	گندم		فعالیت (هکتار) ⟶ قیمت (تومان) ↓
۱۹۶۲۴۵/۵	X۱۳۱	X۵۸	X۱		P_w^s : ۰-۵۴/۵۲۷۹
	۴/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۰-۶۵/۵۲۷۹
۱۴۰۸۶۵/۲۵	X۱۳۱	X۵۸	X۱		P_w^s : ۵۴/۵۲۷۹-۵۵/۵۵۵۶
	۴/۰۰۰۰	۰/۸۹۲۷	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۶۵/۵۲۷۹-۶۶/۶۳۴۸
۱۴۰۷۳۹/۷۰	X۱۳۱	X۵۸	X۱		P_w^s : ۵۵/۵۵۵۶-۶۱/۶۶۵۹
	۴/۰۰۰۰	۰/۸۸۷۹	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۶۶/۶۳۴۸-۷۴/۳۴۹۵
۱۳۶۲۵۴/۹۵	X۱۳۱	X۵۸	X۱		P_w^s : ۶۱/۶۶۵۹-۶۴/۶۰۸۱
	۴/۰۰۰۰	۰/۶۹۴۹	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۷۴/۳۴۹۵-۷۹/۰۱۵۷
۱۳۵۸۸۵/۸۲	X۱۳۱	X۵۸	X۱		: P_w^s ۶۴/۶۰۸۱-۷۱/۳۵۷۷
	۴/۰۰۰۰	۰/۶۷۷۸	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۷۹/۰۱۵۷-۹۲/۱۲۱۳
۱۳۴۰۶۶/۴۵	X۱۳۱	X۵۸	X۱		P_w^s : ۷۱/۳۵۷۷-۷۷/۲۷۸۹
	۴/۰۰۰۰	۰/۶۰۷۹	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۹۲/۱۲۱۳-۱۰۷/۱۵۲۳
۱۲۹۸۴۳/۶۱	X۱۳۱	X۶۴	X۱		P_w^s : ۷۷/۲۷۸۹-۸۳/۱۲۰۲
	۴/۰۰۰۰	۰/۳۶۷۵	۷/۰۰۰۰		P_w^g : ۱۰۷/۱۵۲۳-۱۲۲/۵۱۶۵
۱۲۰۸۶۲/۲۷	X۱۳۱		X۲۱	X۱۷	P_w^s : ۸۳/۱۲۰۲-۸۸/۶۴۲۰
	۳/۹۵۸۲	۰	۰/۴۲۵۱	۶/۵۷۴۹	P_w^g : ۱۲۲/۵۱۶۵-۱۳۱/۹۰۷۱
۱۰۲۳۰۸/۹۴	X۱۳۱		X۲۱	X۱۷	P_w^s : ۸۸/۶۴۲۰-۹۵/۶۹۸۰
	۳/۲۲۲۵	۰	۰/۴۲۵۱	۶/۵۷۴۹	P_w^g : ۱۳۱/۹۰۷۱-۱۳۸/۱۶۵۱

مورد بررسی قرار گرفت تغییر قیمت آب، و اثر آن بر الگوی کشت و میزان آب مصرفی بود که نتایج آن به‌صورت جدول ۸ خلاصه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که با افزایش قیمت آب از سطح زیر کشت فعالیت‌های بهینه کاسته شده و هم‌چنین الگوی بهینه به سمت گیاهانی با میزان آب مصرفی کمتر پیش می‌رود (راه‌کارهای آبیاری). به‌عنوان مثال مطابق جدول ۸ X۱۷ و X۲۱ گندم با ۵ و ۲۵ درصد کاهش آب مصرفی در دوره Ky=۰/۳۳ می‌باشد. با توجه به این‌که گیاه برنج دارای نیاز

جدول۹. 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
چغندرقند	۰
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۵۴۳۰۹/۵۰
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۶۴۸۲۸۰۰۰

جدول۱۰. 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
X60 (ذرت دانه‌ای ۱۰ درصد در دوره Ky=۰/۱) .	۱/۸۲۱۷
ذرت علوفه‌ای	۰/۰۰۰۰
چغندرقند	۰/۰۰۰۰
X131 (برنج آبیاری کامل)	۳/۲۳۳۴
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۸۰۴۰۲/۶۲
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۸۹۶۴۸۸۰۰

جدول۱۱. 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
چغندرقند	۰
مقدار آب مصرفی (m^3)	۱۵۳۰۳۵/۵۰
بازده برنامه‌ای (ریال)	۱۶۳۶۱۳۰۰۰

آبی بالا می‌باشد یک سیاست دیگر جهت تعدیل 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 در عوض مقدار آب مصرفی به میزان ۲۱/۳۴ درصد کاهش یافته است. بنابراین حذف برنج از الگوی کشت زارعین و به‌صورت کلی محدود کردن کشت جایگزین در فصل دوم در تعدیل تقاضای آب مؤثر می‌باشد.

در این تحقیق ساعات بهره‌برداری از چاه ۲۰ ساعت در شبانه‌روز در نظر گرفته شد که کاهش ساعات بهره‌برداری نیز می‌تواند به‌عنوان یک سیاست دیگر در تعدیل تقاضای آب مورد بررسی قرار بگیرد. جدول ۱۰ الگوی بهینه کشت در حالتی که ساعت بهره‌برداری 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 این‌که بهره‌بردار از آب سطحی (کانال) نیز استفاده می‌کند این میزان کاهش در مقابل کاهش ساعت بهره‌برداری از چاه ناچیز می‌باشد. البته این سیاست به دلیل این‌که اکثر چاه‌های منطقه دیزلی می‌باشد چندان رهگشا نمی‌باشد.

سیاست دیگری که می‌تواند در تعدیل 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 میزان۲۲/۰۲ 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 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 تعدیل تقاضای آب مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به این‌که میزان آب مصرفی در فصل دوم به مراتب بیشتر از فصل اول می‌باشد به‌نظر می‌رسد از بین سیاست‌ها و راه‌کارهای مختلف ذکر شده، محدود کردن کشت گیاهان پر مصرف در فصل دوم بهترین و کارامدترین سیاست جهت تعدیل تقاضای آب باشد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به محدودیت منابع آب در ماه‌های تیر و مرداد اشاره کرد به‌طوری 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 پرمصرف کرد و میزان تقاضای آب را نیز کاهش داد.

منابع مورد استفاده

۱. . آرین، ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۰. معرفی و برازش مدل شبیه‌سازی محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک (CRPSM). چهارمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه کرمان، ایران.

۲. پیرمرادیان، ن. ۱۳۸۲. برهمکنش کم‌آبیاری و مصرف کود نیتروژن در محصول برنج منطقه کوشکک (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 کوشکک. 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-Haghighi. 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.