

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 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 هم چنین 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. هم چنین 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 معتدله شمالی واقع شده و به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهموازی‌های 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

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: 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 حداکثر درآمد طرح بهینه و در نهایت الگوی بهینه کشت را ارائه 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 ارائه گردیده است.

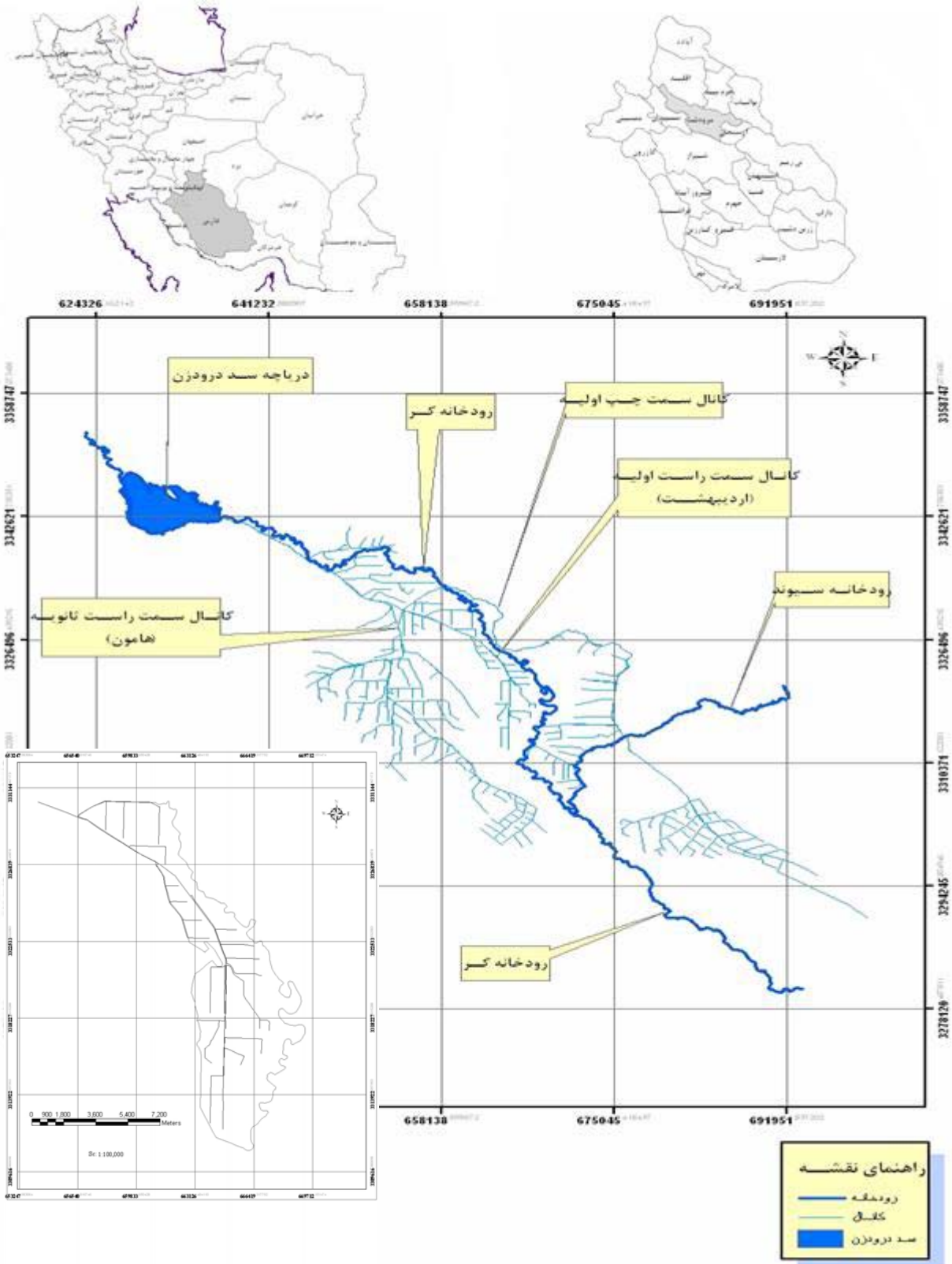
مواد و روش‌ها

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 عمدتاً 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)

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 به‌طوری‌که 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 Programming)، غیرخطی (Nonlinear programming) و پویا (Dynamic Programming) 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) (NLP) 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 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



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (کانال اردیبهست و سطح زیر کشت کانالهای 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 Establishment)، اوایل دوره رویشی (Early vegetation)، اواخر دوره رویشی (Late vegetation)، گل دهی (Flowering)، شکل گیری 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 دوره های مختلف رشد و W_{a_i} : مقدار آب مصرفی گیاه در دوره های مختلف رشد که مقدار آن از طریق رابطه زیر به دست می آید:

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

برای تعیین راه کارهای آبیاری و همچنین اثر کم آبیاری در طول دوره های تفکیک شده رشد، از رابطه فوق استفاده گردید که در آن x ، مقدار کاهش نسبی مصرف آب طی دوره رشد (کوچک تر از یک) می باشد. در واقع در این تحقیق راه کارهای آبیاری براساس مقادیر مختلف x تعریف می شود. همچنین حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل با توجه به پژوهش های 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 زام (ha)، A_{Total} : کل سطح زمین موجود برای کشت گیاهان مختلف (ha) می باشد.

استفاده گردید. شایان ذکر است که این بهره بردار هم زمان از آب سطحی (کانال) و آب زیر زمینی (چاه) برای کشت گیاهان مختلف استفاده می کند.

همان طور که ذکر شد بسیاری از بهره برداران منطقه به علت محدودیت آب در کانال ها و توزیع نامناسب آن از منابع آب زیر زمینی (چاه) نیز استفاده می کنند. در جدول ۱ درصد بهره برداران زیر شبکه های مختلف کانال اردیبهشت که از منابع آب سطحی و زیر زمینی به صورت هم زمان استفاده می کنند، نشان داده شده است.

در طراحی مدل، یک سال زراعی براساس امکانات آبی موجود و تاریخ های 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 می شود و کم آبیاری در این دوره (اول آبان تا آخر اسفند) تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد گیاه گندم (الگوی کشت غالب در فصل اول) می گذارد 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 دوره ها برای سهولت انطباق با دوره های 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 ($Rial/m^3$)، P_w^g : قیمت آب زیرزمینی ($Rial/m^3$)، IR_j^s : مقدار آب سطحی مصرفی گیاه زام (m^3)، IR_j^g : مقدار آب زیرزمینی مصرفی گیاه زام (m^3)، P_{c_j} : قیمت محصول برای گیاه زام ($Rial/kg$)، Y_j : عملکرد در هکتار برای گیاه زام (kg/ha)، A_j : سطح زیر کشت گیاه زام (ha) و C_j : هزینه کشت گیاه زام ($Rial/ha$) می باشد.

جدول ۱. درصد بهره‌برداران زیر کانال اردیبهشت که از منابع 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

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

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

زام ($m^3/ha-10day$) می‌باشد که از طریق رابطه زیر به دست 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 گردید:

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

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

جدول ۳. ضریب واکنش عملکرد به آب

گیاه	منبع مورد استفاده	استقرار	مرحله رشد			رسیدن
			اوایل رشد رویشی	اواخر رشد رویشی	شکل‌گیری عملکرد محصول	
گندم	آرین و سپاسخواه (۱)	۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۲
جو	آرین و سپاسخواه (۱)	۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۴	۰/۱۴
ذرت	هنر و سپاسخواه (۶)	۰/۱	۱/۴۲	۱/۴۲	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		

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

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

که در آن، ET_0 : تبخیر - تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع
 K_c ، (mm/10day): 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.

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

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

$$ET_{crop_j} = k_c \cdot ET. \quad [۸]$$

نتایج و بحث

متغیرهای تصمیم در مدل به صورت جدول ۵ می باشد. همان طور که مشاهده می شود مطابق این جدول بازای درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی راه کارهای آبیاری (متغیرهای تصمیم) مختلفی برای هر گیاه تعریف گردیده است (به طور مثال ۳۲ راه کار آبیاری برای گیاه گندم). پس از تعیین این راه کارها برای گیاهان مختلف، سود خالص برای هر کدام از آنها محاسبه و در تابع هدف وارد گردید.

شکل ۲ فلوجارت مدل را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود مدل می تواند 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 دوره های زمانی مختلف را به عنوان ورودی بگیرد و الگوی بهینه را برای کانال های مختلف تخمین بزند.

جدول ۶ الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای مدل را نشان می دهد. مشاهده می شود که، فعالیت های X_1 با سطح ۷ هکتار (گندم با راه کار آبیاری کامل)، X_{58} با سطح ۳ هکتار (ذرت با راه کار آبیاری کامل) و X_{131} با سطح ۴ هکتار (برنج با راه کار آبیاری کامل) وارد الگوی کشت شده اند و در نهایت بازده برنامه ای کل به دست آمده از الگوی بهینه برابر ۲۰۰۰۳۶۲۰۰ ریال می باشد. هم چنین نتایج نشان می دهد با توجه به این که نیاز آبی گیاه با توجه به منابع سطحی و زیرزمینی کاملاً تأمین شده مدل راه کارهای آبیاری کامل را برای گیاهان مختلف انتخاب کرده است.

جدول ۷ الگوی فعلی بهره بردار نماینده را نشان می دهد. مشاهده می شود 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 دانه ای اختصاص می دهد. هم چنین در این حالت بهره بردار به دلیل در اختیار داشتن امکانات آبی

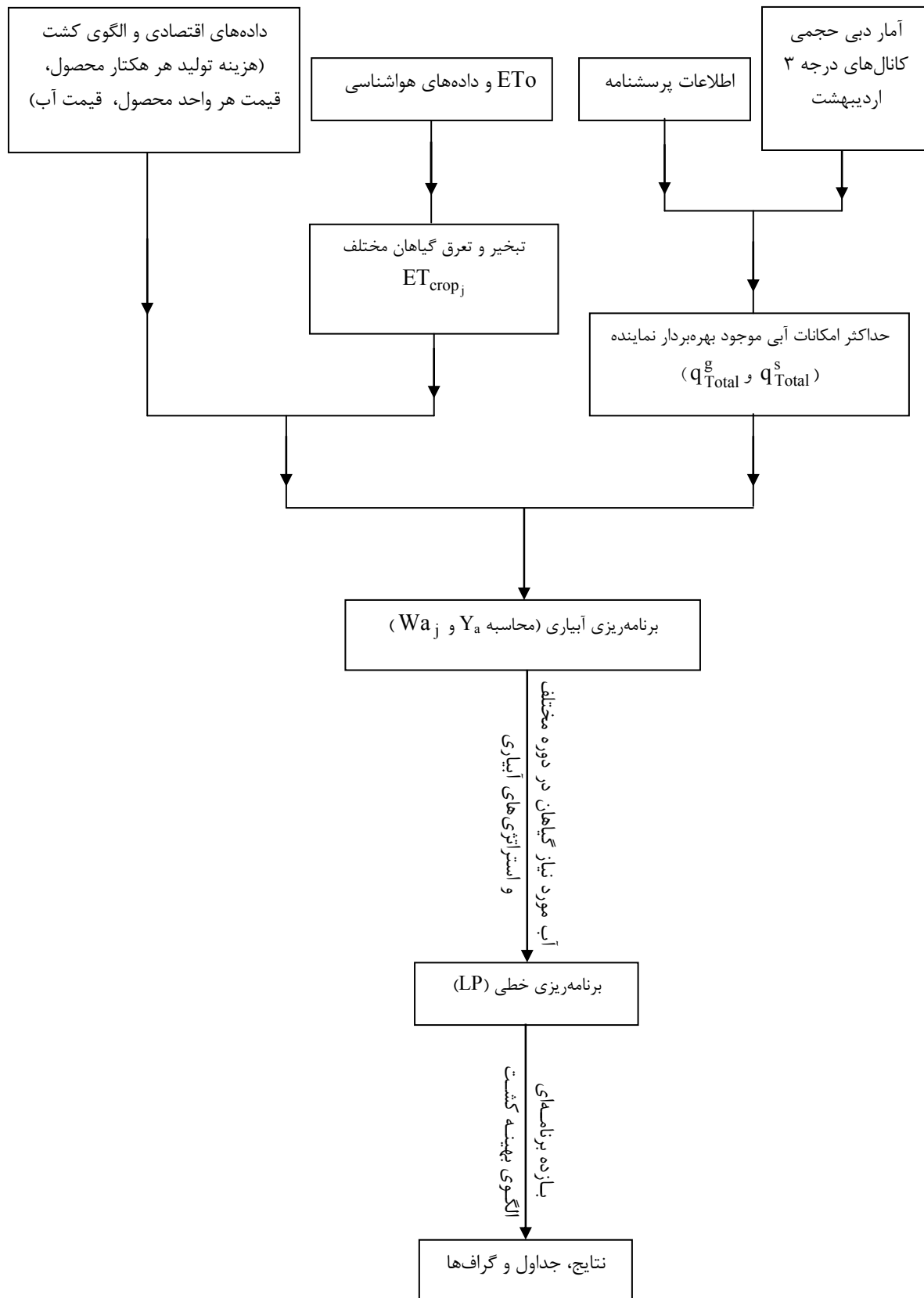
بیشتر تمام سطح زمین خود را در فصل دوم زیر کشت گیاهان مختلف می برد. البته این سطح زیر کشت بیشتر به گیاه برنج به دلیل داشتن درآمد بیشتر اختصاص می یابد.

شکل ۳ مقادیر آب مصرفی از چاه را در دهه های مختلف نشان می دهد. در واقع این مقادیر نیز حاصل از اجرای مدل می باشد زیرا مدل به گونه ای طراحی شده است که این مقادیر را نیز نشان می دهد. همان طور که دیده می شود، بیشترین میزان آب زیرزمینی مورد استفاده در دهه های اول تیر، دوم تیر و سوم تیر به ترتیب به مقدار ۴۵۷۲ ، ۴۶۷۴ و ۴۵۱۸ متر مکعب می باشد. هم چنین در ماه مرداد نیز نسبت به سایر ماه ها بیشتر از آب زیرزمینی استفاده شده است. بنابراین می توان گفت محدودیت آب بیشتر در این ماه ها وجود دارد. شایان ذکر است نتایج پرسش نامه از کشاورزان نیز نشان می دهد بیشترین محدودیت آب، مربوط به همین ماه ها می باشد. در دوره اول (اول آبان تا آخراسفند) مقدار آب زیرزمینی مورد استفاده صفر می باشد علت امر این است که در این دوره بارندگی و آب سطحی میزان نیاز گیاه را برطرف می سازد و دیگر نیازی به استفاده از منابع زیرزمینی نمی باشد. در ماه خرداد نیز این مقادیر صفر می باشد علت امر این است که چغندر قند وارد برنامه بهینه نشده است و تمام نیاز گندم از طریق منابع سطحی تأمین می شود. هم چنین نتایج این شکل نشان می دهد که در کدام دوره ها محدودیت آب وجود دارد و منابع زیرزمینی می تواند این محدودیت را بر طرف سازد. نکته دیگر این که در این تحقیق دبی چاه ۱۰ لیتر بر ثانیه و میزان ساعات بهره برداری 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 نمی کند در بقیه دوره ها می تواند به میزان بیشتر از نیاز گیاه آبیاری را انجام دهد و این حالت با در نظر گرفتن راه کارهای آبیاری کامل می باشد. بنابراین مقادیر زیادی از آب بیهوده هدر می رود.

اولین سیاستی که برای تعدیل تقاضای آب در این تحقیق

جدول ۵. تعریف متغیرهای تصمیم و درصد کاهش آب مصرفی در دوره‌های مختلف

۳۲	۳۱	۳۰	۲۹	۲۸	۲۷	۲۶	۲۵	۲۴	۲۳	۲۲	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	فعالیت (X)					
۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۳۰	۲۵	۲۰	۳۰	۲۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	درصد (X)					
			۰/۲		۰/۳۳		۰/۳۳		۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳		۰/۳۳		۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	Ky						
																																	فعالیت (X)				
																																	درصد (X)				
																																	Ky				
۸۸	۸۷	۸۶	۸۵	۸۴	۸۳	۸۲	۸۱	۸۰	۷۹	۷۸	۷۷	۷۶	۷۵	۷۴	۷۳	۷۲	۷۱	۷۰	۶۹	۶۸	۶۷	۶۶	۶۵	۶۴	۶۳	۶۲	۶۱	۶۰	۵۹	۵۸		فعالیت (X)					
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰		درصد (X)					
			۰/۳		۰/۹۱		۰/۹۱		۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱		۰/۹۱		۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱			فعالیت (X)				
																																		درصد (X)			
																																		Ky			
۱۱۳	۱۱۲	۱۱۱	۱۱۰	۱۰۹	۱۰۸	۱۰۷	۱۰۶	۱۰۵	۱۰۴	۱۰۳	۱۰۲	۱۰۱	۱۰۰	۹۹	۹۸	۹۷	۹۶	۹۵	۹۴	۹۳	۹۲	۹۱	۹۰	۸۹								فعالیت (X)					
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰			درصد (X)				
			۰/۹۱		۰/۸۷		۰/۸۷		۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷		۰/۸۷		۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷				فعالیت (X)			
																																		درصد (X)			
																																		Ky			
۱۳۰	۱۲۹	۱۲۸	۱۲۷	۱۲۶	۱۲۵	۱۲۴	۱۲۳	۱۲۲	۱۲۱	۱۲۰	۱۱۹	۱۱۸	۱۱۷	۱۱۶	۱۱۵	۱۱۴																		فعالیت (X)			
۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰			درصد (X)		
																																				فعالیت (X)	
																																			درصد (X)		
																																			Ky		
																																				فعالیت (X)	
																																			درصد (X)		
																																				Ky	
																																					فعالیت (X)
																																				درصد (X)	
																																				Ky	



شکل ۲. فلوچارت مدل برنامه‌ریزی آبیاری

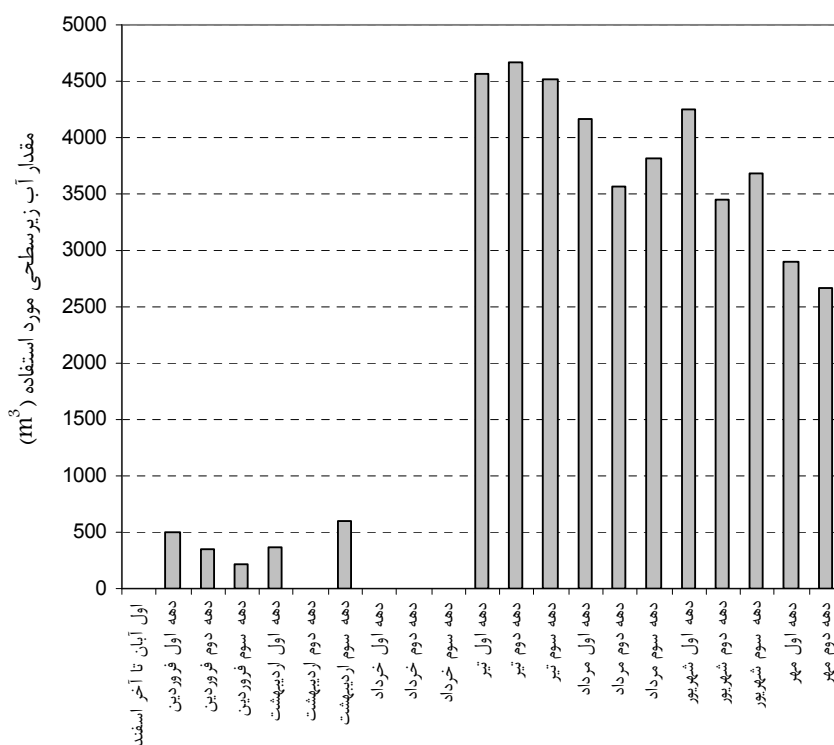
جدول ۶. الگوی بهینه کشت حاصل از مدل

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

جدول ۷. الگوی فعلی بهره‌بردار نماینده*

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

*: نتایج پرسش‌نامه



شکل ۳. مقادیر آب مصرفی از چاه در دهه‌های مختلف

جدول ۸. تأثیر تغییر قیمت بر الگوی بهینه

فعالیت (هکتار) → قیمت (تومان) ↓	گندم	ذرت	سبزی	قیمت (تومان)
$P_W^S : 0-54/5279$	X1	X58	X131	196245/5
$P_W^G : 0-65/5279$	7/0000	3/0000	4/0000	
$P_W^S : 54/5279-55/5556$	X1	X58	X131	140865/25
$P_W^G : 65/5279-66/6348$	7/0000	0/8927	4/0000	
$P_W^S : 55/5556-61/6659$	X1	X58	X131	140739/70
$P_W^G : 66/6348-74/3495$	7/0000	0/8879	4/0000	
$P_W^S : 61/6659-64/6081$	X1	X58	X131	136254/95
$P_W^G : 74/3495-79/0157$	7/0000	0/6949	4/0000	
$P_W^S : 64/6081-71/3577$	X1	X58	X131	135815/82
$P_W^G : 79/0157-92/1213$	7/0000	0/6778	4/0000	
$P_W^S : 71/3577-77/2789$	X1	X58	X131	134066/45
$P_W^G : 92/1213-107/1523$	7/0000	0/6079	4/0000	
$P_W^S : 77/2789-83/1202$	X1	X64	X131	129843/61
$P_W^G : 107/1523-122/5165$	7/0000	0/3675	4/0000	
$P_W^S : 83/1202-88/6420$	X17	X21	X131	120862/27
$P_W^G : 122/5165-131/9071$	6/5749	0/4251	0	3/9582
$P_W^S : 88/6420-95/6980$	X17	X21	X131	102308/94
$P_W^G : 131/9071-138/1651$	6/5749	0/4251	0	3/2225

همچنین الگوی بهینه به سمت گیاهانی با میزان آب مصرفی کمتر پیش می‌رود (راه‌کارهای آبیاری). به‌عنوان مثال مطابق جدول ۸ X17 و X21 گندم با ۵ و ۲۵ درصد کاهش آب مصرفی در دوره $Ky=0/33$ می‌باشد. با توجه به این‌که 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 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

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 $Ky=0/1$)	۱/۵۳۲۵
X60 (ذرت دانه‌ای ۱۰ درصد در دوره $Ky=0/1$)	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)	۱۸۹۶۴۸۸۰۰

جدول ۱۱. الگوی بهینه کشت حاصل از حذف فعالیت‌های بهینه

گیاه	سطح زیر کشت (هکتار)
X1 (گندم آبیاری کامل ۵ درصد در دوره $Ky=0/15$)	۷
جو	۰
X59 (ذرت دانه‌ای ۵ درصد در دوره $Ky=0/1$)	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 تعدیل تقاضای آب مؤثر می‌باشد.

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

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 به نظر می‌رسد از بین سیاست‌ها و راه‌کارهای مختلف ذکر شده، محدود کردن کشت گیاهان پرمصرف در فصل دوم بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعدیل 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 پرمصرف کرد و میزان تقاضای آب را نیز کاهش داد.

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 میزان ۲۲/۰۲ 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

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. پیرمردیان، ن. ۱۳۸۲. برهمکنش کم‌آبیاری 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. Merkle 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 allcation of water on a farm during feed season. J. Agric. Econ. 64: 452-458.