ارزیابی سناریوهای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس

محمدحسین زیبایی*[۱]، منصور زیبایی[۲]، کورش اردوخانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۱

چکیده

افزایش تقاضای آب یکی از چالش‌های اصلی مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب می‌باشد. پاسخ به مسائل کمبود آب تنها از طریق توسعه‌ی پروژه منابع آب جدید امکان‌پذیر نیست و از طریق مدیریت کارای آب در پروژه‌های موجود میسرتر است. در این رابطه، مدیریت استفاده تلفیقی یکی از گزینه‌های به‌کارگیری بهینه‌ی منابع آب در دسترس می‌باشد و می‌تواند بهره‌وری آب را بهبود ببخشد. در مطالعه‌ی حاضر برای ارزیابی سناریوهای مختلف استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس یک مدل ریاضی ارائه شده که در آن محدودیت‌های هیدرولوژیکی و مدیریتی برای رسیدن به الگوهای کشت بهینه به‌منظور استفاده‌ی بهینه از منابع آب در راستای حداکثر کردن بازده برنامه‌ای لحاظ شده است. نتایج نشان داد که استفاده‌ی توامان آب سطحی و زیرزمینی اطمینان نسبت به منابع آب را بهبود می‌بخشد که می‌تواند زیان ناشی از عدم حتمیت مربوط به آب را کاهش دهد و بنابراین همچون یک سیستم مدیریت ریسک علیه عدم حتمیت آب عمل کند. همچنین نتایج نشان داد که بازده برنامه‌ای فراهم آمده از سیستم استفاده تلفیقی پیشنهادی در سطح دشت تقریبا دو برابر مقدار قبلی است یعنی از ۱۸۹ میلیارد به ۳۷۲ میلیارد ریال خواهد رسید و بهره‌وری آب به میزان ۱۳ درصد افزایش می‌یابد.

طبقه‌بندی *JEL*:

واژه‌های کلیدی: استفاده تلفیقی، منابع آب سطحی، مدیریت بهینه‌ی آب، فیروزآباد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد.

۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۳- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد.

* نویسنده‌ی مسئول مقاله:

پیشگفتار

افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی و بهبود کیفیت زندگی، تقاضای آب را با نرخ رشد قابل توجهی افزایش داده است. این تقاضای در حال افزایش، در کنار عرضه‌ی محدود و در حال کاهش، عدم تعادل منابع و مصارف آب را در بسیاری از دشت‌های کشور به دنبال داشته است و ضرورت به‌کارگیری سیاست‌های منطقی و کارآمد مدیریت آب را بیش از هر زمان دیگر مطرح ساخته است. این سیاست‌ها باید جامع بوده و هر دو طرف، عرضه و تقاضای آب را مد نظر قرار دهد و به‌گونه‌ای باشد که نه تنها بر تولیدات کشاورزی و درآمد زارعین اثر منفی نگذارد که حتی‌الامکان با افزایش بهره‌وری آب، تولیدات بخش کشاورزی و درآمد زارعین افزایش یابد و مصرف آب تا رسیدن به تعادل منطقی بین عرضه و تقاضای آب، تعدیل شود. بنابراین چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبروست، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که هم‌زمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمد بالاتری را برای زارعین ایجاد نماید(سلطانی وزیبایی،۱۳۹۰). در راستای مقابله‌ی اصولی با این چالش، استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت مدیریت استفاده‌ی تلفیقی، یکی از آلترناتیوهای مؤثر برای استفاده‌ی بهینه از منابع آب در دسترس و رسیدن به حداکثر بازدهی از فعالیت‌های زراعی هر منطقه بوده و از راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از تخلیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد(خاره و ادیوایوآن، ۲۰۰۶).

طبیعت ذاتاً تصادفی آب‌های سطحی، نقش مهمی را به آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع محتمل برای زمانی که جریانات سطحی کمتر از میانگین است، داده است(بورت،۱۹۷۶). به‌گونه‌ای که ارزش آب زیرزمینی در بالابردن اطمینان، حتی از نقش آن در افزایش کل مقدار آب در دسترس بیشتر می‌باشد(تسور۱۹۹۰، تسور و گراهام- توماسی،۱۹۹۱).

در بیشتر دشت‌های کشور به‌ویژه استان فارس که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع آب در دسترس رواج دارد، تامین آب سطحی از طریق احداث سد و انتقال آن به چنین مناطقی می‌تواند با جلوگیری از تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی از یک بحران قریب‌الوقوع پیشگیری نماید. بنابراین تلفیق بهینه‌ی منابع آب سطحی و زیرزمینی در چنین شرایطی از اهمیت خاصی برخوردار است.

بررسی‌های فراوانی جهت مطالعه در زمینه‌ی تخصیص بهینه‌ی زمین، آب و سایر منابع برای استفاده‌های مختلف توسط محققان زیادی انجام شده است. این مطالعات در ابتدا بیشتر جنبه‌های کیفی را مد نظر قرار می‌دادند. اما بعدا جنبه‌های کمی اهمیت بیشتری یافت(خاره و ادیوایوآن، ۲۰۰۶). روش‌های سیستمی و چارچوب مدل‌های ریاضی آنها، مدت‌های زیادی در تحلیل مسائل

استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌کار گرفته شده است. چندین روش مدل‌سازی نظیر برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی چندسطحی، سلسله مراتبی و ترکیب روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در ادبیات موضوع وجود دارد(بوراس، ۱۹۶۳؛ آرن، ۱۹۶۹؛ آرن و اسکات، ۱۹۷۱؛ یانگ و بردیهفت، ۱۹۷۲؛ هایمز و دریزن، ۱۹۷۷؛ اومارا و دیولوی، ۱۹۸۴؛ ایلانگاسکاری و همکاران، ۱۹۸۴؛ گوریلیک ، ۱۹۸۸؛ لینگن، ۱۹۸۸، ویلیس و همکاران، ۱۹۸۹، انتاد و همکاران، ۱۹۹۱؛ ماتسوکاوا و همکاران، ۱۹۹۲؛ ریچارد، ۱۹۹۵، وات کینز و مک کینی، ۱۹۹۸،بریور و شارما، ۲۰۰۰؛ داتا و دایال، ۲۰۰۰؛ ازایزوهاریگا، ۲۰۰۱؛ ساک تیوادیول و شاه، ۲۰۰۳؛ واگار و همکاران ۲۰۰۳؛ رائو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کارآموز و همکاران ۲۰۰۴؛ اشمیت و همکاران، ۲۰۰۴؛ هاتسون و ماداک، ۲۰۰۴ ودولا و همکاران، ۲۰۰۵).

لطیف و جیمز(۱۹۹۱) یک مدل استفاده‌ی تلفیقی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی ارائه نمودند و آن را برای حداکثر کردن درآمد خالص آبیاری در یک دوره‌ی بلندمدت مشتمل بر سیکل‌های تر و خشک در حوضه‌ی آبریز ایندیوس(Indus) پاکستان به‌کار گرفتند. مدل مقدار بهینه‌ی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی جهت تلفیق با آب سطحی به‌منظور اجتناب از اثرات بد بالا یا پایین بودن سطح آب زیرزمینی را به‌دست می‌دهد. میل و مولر(۱۹۹۲) یک مدل استفاده‌ی تلفیقی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی با تابع هدف قرینه جهت تثبیت مجوزهای برداشت آب‌های زیرزمینی را ارائه نمودند.

پرالتا و همکاران(۱۹۹۵) به‌منظور تعیین میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در یک دوره‌ی پنجاه ساله تحت سناریو استفاده تلفیقی، یک مدل بهینه‌سازی و شبیه‌سازی را توسعه دادند. اجرای مدل برای پنج دهه، حدهای بالایی و پایینی را برای سطح سفره‌ی آب زیرزمینی جهت پایداری آب زیرزمینی با توجه به افزایش بالقوه تقاضای آب، به‌دست داد.

تراسی(۱۹۹۸) برای مدیریت بهینه‌ی منابع آب شهر سانتا باربارا در دوره‌ی خشکسالی از یک مدل بهینه‌سازی– شبیه‌سازی استفاده نمود. این مدل وضعیت شبیه‌سازی شده‌ی آب زیرزمینی را به یک مدل بهینه‌سازی خطی ارتباط می‌داد. تابع هدف مدل، هزینه‌ی عرضه‌ی آب را با توجه به محدودیت‌های تقاضای آب، محدودیت‌های هد هیدرولوژیکی و ظرفیت آب، حداقل می‌کند.

بیلانیه و همکاران(۱۹۹۹) یک مدل شبیه‌سازی– بهینه‌سازی خطی ارائه نمودند که عملیات مخزن، استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و تأمین آب به زارعین را به‌صورت یکپارچه مطالعه و بررسی می‌کند. در این مدل جریان آب زیرزمینی با استفاده از MODFLOW شبیه‌سازی شد که معادلات سه‌بعدی جریانات آب زیرزمینی را حل می‌کند.

اسکاپس و همکاران(۲۰۰۶) استفاده‌ی تلفیقی را به‌منظور ایجاد پایداری در منابع آب بررسی نمودند.

لو و همکاران(۲۰۰۶) با استفاده از روش بهینه‌سازی پویا، مدیریت پایدار منابع آب را در چین مطالعه کردند.

کارآموز و همکاران(۲۰۰۹) در مطالعه‌ای برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب با توجه به استفاده‌ی تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین تعیین الگوی کشت مناسب، مدلی را توسعه داده‌اند. تابع هدف اقتصادی این مدل بهینه‌سازی، حداکثر کردن منافع خالص با توجه به هزینه‌ی پمپاژ آب، هزینه‌ی کاشت محصول و منافع حاصل از تولید کل محصول در افق زمانی مطالعه بوده است.

زیبایی و همکاران(۲۰۰۸) با استفاده از مدل مطلوبیت- کارای اصلاح شده، مقدار بهینه‌ی سرمایه‌گذاری در چاه جهت استفاده‌ی تلفیقی را تعیین نموده‌اند.

باریکانی و همکاران(۱۳۹۱) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به بررسی استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت قزوین پرداخته‌اند. در این مطالعه، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی یکبار با حداکثر کردن سود بازاری کشاورزان و یکبار با حداکثر کردن منافع اجتماعی در منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین شده است.

خاری و همکاران(۲۰۰۶) با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی- مهندسی ساده، سناریوهای مختلف استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و محدودیت‌های مدیریتی و هیدرولوژیکی مختلف برای منطقه‌ی آبیاری ساپون اندونزی ارزیابی نموده‌اند.

مدل استفاده تلفیقی

در این مطالعه، تکنیک برنامه‌ریزی خطی جهت فرموله کردن مدل استفاده بهینه تلفیقی به‌منظور نیل به تخصیص بهینه‌ی آب زیرزمینی و سطحی جهت حداکثر کردن منافع در چارچوب محدودیت‌های داده شده، به‌کار گرفته شده است. در چنین مدل‌های افق برنامه‌ریزی یکساله با دوره‌های برنامه‌ریزی ماهانه مد نظر بوده است(خاره و ادیوایوآن، ۲۰۰۶ و ادیوایوآن، ۲۰۰۲):

$$Max: Z = \sum_{i=1}^{nz}\sum_{j=1}^{nc} A_{ij} \times NB_j - \sum_{i=1}^{nz}\sum_{k=1}^{27} TCS_i \times SW_{i,k} - \sum_{i=1}^{nz}\sum_{k=1}^{27} TCG_i \times GW_{i,k}$$

Subject:

$$\sum_{j=1}^{nc} WR_{j,k} \times A_{ij} \le SW_{i,k} + GW_{i,k} \qquad \forall\ i = 1,2,...,nz \qquad k = 1,2,...,27 \qquad (۱)$$

$$\sum_{j=1}^{nc} L_{j,k} \times A_{ij} \le L_{i,k} \qquad \forall\ i = 1,2,...,nz \quad k = 1,2,...,27 \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{nc} lab_{j,k} \times A_{ij} \le lab_{i,k} \qquad \forall\ i = 1,2,...,nz \quad k = 1,2,...,27 \qquad (۳)$$

$$SW_{i,k} \le \overline{SW}_0 \qquad (۴)$$

$$GW_{i,k} \le \overline{GW}_0 \qquad (۵)$$

۶) محدودیت‌ها مربوط به حداکثر و حداقل فعالیت‌ها

معمولا بر اساس اهداف تعیین شده، در مدل تغییراتی صورت می‌گیرد. در پاره‌ای از موارد، الگوی کشت از پیش تعیین شده است و هدف تعیین تلفیق بهینه‌ی آب‌های سطحی و زیرزمینی است. اما در پاره‌ای موارد امکانات آبی چه سطحی و چه زیرزمینی مشخص است و هدف تعیین بازدهی حاصل از آن و الگوی بهینه‌ی کشت است. در تحقیق حاضر، استراتژی مختلف تخصیص آب سد همراه با میزان مجاز برداشت آب زیرزمینی در مناطق مختلف در راستای حداکثر منافع مورد ارزیابی قرار گرفته است. به عبارت دیگر تعیین الگوهای بهینه کشت، استراتژی آبیاری، میزان تخصیص ماهانه‌ی آب سد به مناطق مختلف و بهره‌وری آب از جمله اهدافی بوده است که در این تحقیق دنبال شده و به تبع این اهداف، مدل به‌کار گرفته شده در مطالعه(ادیوایوآن، ۲۰۰۲) و (خاره و ادیوایوآن، ۲۰۰۶) اصلاح و بهبود یافته است. تابع هدف به گونه‌ای طراحی شده که بازده برنامه‌ای فعالیت‌ها و هزینه‌ی هر واحد تأمین آب سطحی و زیرزمینی را دربرمی‌گیرد، این تابع هدف با توجه به محدودیت‌های مختلف در محیط نرم افزاری GAMSحداکثر شده است.

در تابع هدف، i ، تعداد مناطق مورد مطالعه($i = 1, 2, \dots, nz$) ، j ، تعداد فعالیت است که ترکیبی از محصول، استراتژی و روش آبیاری است ($j = 1, 2, \dots, nc$) و k تعداد دهه است ($k = 1, 2, \dots, 27$)؛ A_{ij} سطح زیرکشت فعالیت jام در منطقه‌ی i ام است. در این بررسی براساس ترکیب مختلف استراتژی آبیاری و روش آبیاری برای گندم، ۴۸ فعالیت، برای جو، ۳۸ فعالیت، برای ذرت، ۲۳ فعالیت، برای کلزا، ۲۵ فعالیت و برای برنج تنها یک فعالیت در نظر گرفته

شده است. تعریف فعالیت‌هایی که در الگوی کشت بهینه وارد شده‌اند، در پیوست ۱ مقاله آورده شده است.

NB_j ، بازده برنامه‌ای از فعالیت jام بدون در نظر گرفتن هزینه‌ی آب است. TCS_i، هزینه‌ی کل هر واحد آب سطحی در منطقه‌ی i ام است. $SW_{i,k}$ میزان آب سطحی است که به منطقه‌ی i ام در دوره‌ی k ام تخصیص می‌یابد. TCG_i هزینه‌ی کل هر واحد آب زیرزمینی برای منطقه‌ی i است و $GW_{i,k}$ ، مقدار آب زیرزمینی است که به منطقه‌ی i ام در دوره‌ی k ام تخصیص می‌یابد. همان‌گونه که اشاره شد، این تابع هدف با توجه به یک سری محدودیت حداکثر می‌گردد.

محدودیت‌های مربوط به آب مورد نیاز

کل آب ماهانه‌ی مورد نیاز برای تمامی فعالیت‌ها در هر منطقه و در هر دوره باید کمتر یا مساوی با امکانات آبی آن منطقه در آن دوره باشد(محدودیت شماره ۲). در این رابطه $WR_{j,k}$ آب مورد نیاز فعالیت j ام در دوره‌ی k ام می‌باشد.

محدودیت‌های مربوط به اراضی قابل دسترس

برای هر منطقه، کل اراضی تحت فعالیت‌ها مختلف نمی‌تواند بیش از میزان اراضی قابل دسترس در آن منطقه برای هر دوره باشد(محدودیت شماره ۳). در این محدودیت $L_{j,k}$ ، زمین مورد نیاز فعالیت j ام در دوره k ام است.

محدودیت‌های مربوط به نیروی کار

کل نیروی کار مورد نیاز برای تمامی فعالیت‌ها در هر منطقه و هر دوره باید کمتر یا مساوی با نیروی کار موجود آن منطقه در آن دوره باشد(محدودیت شماره ۴). در این رابطه $lab_{j,k}$ نیروی کار مورد نیاز فعالیت j ام در دوره‌ی k ام می‌باشد.

محدودیت مربوط به آب رها شده از سد

حداکثر آب رها شده از سد تنگاب در یک دوره‌ی ۱۰ روز باید مساوی یا کمتر از ۸/۴۶میلیون مترمکعب(یا ۹/۹۳ مترمکعب در ثانیه) باشد(محدودیت شماره ۴).

محدودیت مربوط به آب زیرزمینی

حداکثر میزان برداشت آب زیرزمینی در یک سال باید مساوی یا کمتر از ۱۷۰میلیون مترمکعب باشد(محدودیت شماره ۵). این رقم درست معادل تغذیه‌ی طبیعی دشت است. البته با توجه به وارد شدن ۱۰۰ میلیون مترمکعب آب سطحی به دشت و با توجه به افزایش میزان آب برگشتی به سفره‌ی آب زیرزمینی، بیلان سفره که در شرایط فعلی منفی است، بهبود خواهد یافت. همچنین قرار است بخشی از آب ذخیره شده در مخزن سد در شرایط ترسالی، صرف تغذیه‌ی مصنوعی سفره

گردد که در این مطالعه به آن پرداخته نشده است. بهرحال مدل این امکان را دارد که بتوان پیامد کاهش برداشت آب زیرزمینی از سفره را در راستای بهبود بیلان بررسی نماید.

محدودیت‌های مربوط به حداکثر و حداقل هریک از فعالیت‌ها

با توجه به اطلاعات سری زمانی موجود در مورد تغییرات سطح زیرکشت هریک از محصولات به منظور انطباق بیشتر نتایج مدل با واقعیت‌ها، برای هریک از محصولات محدودیت حداکثر و حداقل در نظر گرفته شد(محدودیت شماره ۶).

منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی دشت فیروزآباد بخشی از حوضه‌ی آبریزمند محسوب می‌گردد که بین ۵۲ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. ۶۲ درصد مساحت منطقه را ارتفاعات(۴۴۷ کیلومترمربع) و ۳۸ درصد آن را دشت(۲۷۶ کیلومترمربع) تشکیل می‌دهد و به‌طور کامل در استان فارس قرار دارد (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع به‌ترتیب ۲۸۹۱ و ۱۲۰۰ متر و ارتفاع متوسط آن ۱۳۳۴ متر بالاتر از سطح آزاد دریا می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، دشت فیروزآباد از شمال به منطقه‌ی موک و مهکویه، از شرق به میمند و شبانکاره و از جنوب و غرب به منطقه‌ی دهرم محدود می‌شود.

منابع آب سطحی در دسترس

رودخانه‌ی فیروزآباد که از قسمت شمال به دشت وارد می‌شود، تنها رودخانه‌ی اصلی منطقه است و تا محل تنگ عرب امتداد دارد(شکل ۳). آب این رودخانه تا قبل از خشکسالی‌های اخیر، دائمی بوده و در فصل تابستان از حجم آن کاسته می‌شد. میانگین سالانه‌ی آب رودخانه حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب است. حداکثر آبدهی سالانه آن ۳۳۱/۴ میلیون مترمکعب مربوط به سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ بوده است و حداقل آن، کمتر از ۱۷ میلیون مترمکعب مربوط به سال‌های اخیر و سال آبی ۵۰-۴۹ بوده است. این رودخانه آب مورد نیاز حدود ۲۰۷۰ هکتار از اراضی کشاورزی دشت که در ساحل رودخانه قرار دارند را تأمین می‌کند(مهندسان مشاور آب نیرو).

آب زیرزمینی دشت

بخش عمده‌ای از اراضی دشت به‌وسیله‌ی آب زیرزمینی شامل چشمه‌های مجاور و مشرف بر اراضی دشت فیروزآباد همچون چشمه‌ی قمپ آتشکده با میانگین آبدهی حدود ۳۲ میلیون مترمکعب در سال و چشمه‌های سار خرقه و علی خرقه با میانگین آبدهی سالانه به‌ترتیب ۹/۹ و ۴/۷ میلیون مترمکعب و حدود ۱۷۲۸ حلقه چاه مشروب می‌گردد. میزان کل تخلیه از منابع آب زیرزمینی در محدوده‌ی مورد مطالعه حدود ۱۷۰ میلیون مکعب تخمین زده می‌شود. شکل ۴، تراکم چاه‌های

منطقه و مکان چشمه‌ها و قنوات را نشان می‌دهد(مهندسان مشاور آب نیرو). همان‌گونه که قبلا اشاره شد، در شرایط فعلی بیلان آب زیرزمینی دشت منفی است.

سد تنگاب

جهت بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه فیروزآباد و جریانات سیلابی دشت، طرح احداث سد تنگاب و شبکه آبیاری دشت فیروزآباد اجرا گردیده است. در شکل۵، چگونگی تخصیص منابع آب و خاک دشت فیروزآباد برای سواحل راست و چپ شبکه آبیاری دشت فیروزآباد در پایین دست سد تنگاب نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، ساحل راست امکان استفاده از آبدهی چشمه‌های قمپ آتشکده، سارخرقه و علی خرقه را ادارا است و ساحل چپ از پتانسیل آب زیرزمینی از طریق چاه را برخوردار است که ساحل راست به علت دارا بودن چشمه‌های پر آب فوق‌الذکر نیازی به استفاده از پتانسیل آب زیر زمینی ندارد.

ساحل راست مشتمل بر ۵۳۶۰ هکتار اراضی می‌باشد(۴۱۶۰ هکتار اراضی مزروعی و ۱۲۰۰ هکتار باغات) که در ۲۰۸۰ هکتار از آن کشت دوم نیز انجام می‌شود.

ساحل چپ مشتمل بر ۸۱۰۰ هکتار اراضی(۶۱۰۰ هکتار اراضی مزروعی و ۲۰۰۰ هکتار باغات) است که در ۲۷۴۵ هکتار از آن کشت دوم نیز صورت می‌گیرد.

مساحت بخش میانی دشت معادل ۷۶۹۵ هکتار است که به‌دلیل تمرکز چاه‌های دشت در این بخش، خارج از شبکه آبیاری سد تنگاب در نظر گرفته شده است. آب مورد نیاز این بخش از اراضی حدود ۹۰ میلیون مترمکعب تخمین زده شده که قرار بوده است تماما از طریق چاه تأمین شود (مهندسان مشاور آب نیرو). موضوعی که با توجه به اطلاعات کنونی امکان‌پذیر نیست و به همین دلیل در این مطالعه، یکی از سناریوهای مورد بررسی، لحاظ کردن بخشی از این اراضی در برنامه شبکه آبیاری سد تنگاب می‌باشد.

کل آب مورد نیاز ساحل راست ۶۰ میلیون و ساحل چپ ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود که قرار است با استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی(تأمین شده از سد تنگاب) و آب زیرزمینی تأمین گردد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است، از حدود ۱۱۸ میلیون مترمکعب آب ورودی به سد تنگاب، حدود۱۰/۵ میلیون مترمکعب به‌صورت سرریز. ۵/۵ میلیون مترمکعب، از سطح دریاچه‌ی سد، تبخیر و حدود ۳/۷ میلیون مترمکعب در قالب طرح‌های تغذیه مصنوعی جهت بهبود بیلان آب زیرزمینی، مصرف خواهد شد. از حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب آب تنظیمی از سد، حدود ۷۴ میلیون مترمعکب به ساحل چپ و حدود ۲۶ میلیون مترمکعب به ساحل راست تخصیص داده خواهد شد(مهندسان مشاور آب نیرو).

نتایج و بحث

مدل استفاده‌ی تلفیقی معرفی شده در قسمت قبل، جهت بررسی سناریوهای مختلف تلفیق آب سطحی و زیرزمینی به‌کار گرفته شد. شرایط فعلی یعنی قبل از بهره‌برداری از سد و کل اراضی دشت به‌صورت یکپارچه تحت عنوان سناریوی ۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این سناریو، تخصیص مجدد کل آب قابل دستیابی مد نظر بود و از حذف آب مورد نیاز برای محصولات دائمی و باغات دشت صرف‌نظر شد. نتایج حاصل از اجرای سناریوی ۱ یعنی حالت(بدون پروژه[1]) در جدول ۱ نشان داده شده است. شماره‌ای که در کنار محصولات قرار دارد، سیستم آبیاری و میزان کم آبیاری را نشان می‌دهد. بازده برنامه‌ای کل حاصل از این فعالیت‌ها برابر با ۱۸۹ میلیارد ریال است و آب مصرفی کل برابر با ۱۵۵/۶۵۰ میلیون مترمکعب است که تماما از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. لازم به تذکر است که در حال حاضر جریان آب رودخانه جهت ذخیره‌سازی آب در مخزن سد قطع است و حداقل ۳ الی ۴ سال است که آب سطحی وارد دشت نگردیده است که این امر بر میزان برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی نیز به دلیل عدم تغذیه طبیعی سفره، تأثیر منفی داشته است.

با توجه به بازده برنامه‌های کل و میزان آب مصرفی، در صورت تحقق الگوی کشت مندرج در جدول ۱، بهره‌وری آب برابر با ۱۲۱۴/۶ ریال برای هر مترمکعب خواهد بود. بررسی قیمت سایه‌ی آب نیز نشان می‌دهد که اوج نیاز در شرایط فعلی در دهه‌ی دوم فروردین(d9)، دهه‌ی دوم اردیبهشت(d12) و دهه‌ی سوم مرداد(d22) می‌باشد. قیمت سایه‌ای برای هر مترمکعب آب در این دهه‌ها به‌ترتیب ۴۱۶۳/۳، ۳۹۱۹ و ۱۵۸۰۶/۹ ریال است. در سناریوهای ۲ و ۳ فرض شد که آب سد به میزان ۱۰۰ میلیون مترمکعب با آب زیرزمینی تلفیق گردد. در این حالت حقابه قبلی در نظر گرفته نشد. کل منابع آب و خاک به‌صورت یکپارچه مد نظر قرار گرفت. یکبار بدون محدودیت حجمی آبی که می‌تواند از دریچه سد خارج شود و یکبار با محدودیت میزان خروجی آب از دریچه‌ی سد(حداکثر ۸/۶۴ میلیون مترمکعب در یک دوره‌ی ۱۰ روزه). نتایج حاصل از اجرای این سناریوها که تحت عنوان سناریوی ۲ و ۳ مورد ارزیابی قرار گرفت، در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، اختلاف بازده برنامه‌ای کل، علی‌رغم میزان مصرف یکسان آب، قابل توجه است. به عبارت دیگر اعمال محدودیت میزان خروجی از سد به میزان حدود ۱۰ مترمکعب در ثانیه یا ۸/۶۴ میلیون مترمکعب در یک دوره‌ی ۱۰ روزه، تأثیر قابل توجهی بر بازده برنامه‌ای کل و بهره‌وری آب دارد.

1- Without

بهره‌وری آب هرچند در هر دو سناریو نسبت به سناریو ۱ افزایش یافته است، اما افزایش در سناریو ۱ به مراتب بیشتر می‌باشد، در این سناریو بهره‌وری آب به ۱۶۴۷ ریال به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب افزایش یافته است. در صورتی که این میزان از بهره‌وری آب مد نظر باشد، خروجی آب از دریچه‌ی سد باید به گونه‌ای باشد که در دهه‌ی سوم مرداد(d22) یعنی در اوج نیاز به آب، بتواند ۱۵/۷ میلیون مترمعکب آب سطحی را جهت تلفیق با آب زیرزمینی تأمین نماید که تقریبا ظرفیت معادل ۱/۸۲ برابر ظرفیت پیش‌بینی شده است. البته شاید بتوان در اوج مصرف، از مسیر قدیم رودخانه نیز برای تأمین آب استفاده کرد. اگر این امر امکان‌پذیر نباشد یعنی تنها اجرای سناریوی ۳ میسر باشد، بازده برنامه‌ای کل به حدود ۳۷۲ میلیارد ریال می‌رسد که نسبت به سناریوی ۱ بیش از ۹۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. یعنی با وارد شدن آب سطحی تنظیم شده از طریق سد به دشت و استفاده‌ی تلفیقی آن با آب زیرزمینی، بازده برنامه‌ای کل تقریبا دو برابر می‌گردد و بهره‌وری آب نسبت به سناریوی بدون سد (سناریو ۱) رشدی معادل ۱۳/۱۴ درصد پیدا خواهد کرد. به عبارت دیگر هرچند مصرف آب از حدود ۱۵۶ میلیون مترمکعب فعلی به حدود ۲۷۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت که رشدی معادل ۷۳ درصد خواهد داشت، اما بازده برنامه‌ای کل به مراتب بیش از افزایش مصرف آب، افزایش خواهد یافت.

در سناریوی ۴، ابتدا آب مورد نیاز محصولات دائمی و باغات کنار گذاشته شد و دشت به سه منطقه‌ی ساحل راست، ساحل چپ و بخش میانی بدون تأمین آب از سد اجرا گردید. نتایج حاصله در جدول ۳ نشان داده شده است. الگوی کشت، بازده برنامه‌ای کل، میزان آب مصرفی و بهره‌وری آب بدون استفاده‌ی تلفیقی از حداقل ۸۰۷/۹۶ ریال در ساحل راست تا حداکثر ۱۲۲۱/۸۸ ریال در قسمت مرکزی به ازای هر مترمکعب آب متغیر است.

در سناریوی ۵، آب حاصل از سد درودزن جهت تلفیق با آب زیرزمینی در سه منطقه‌ی مورد مطالعه اضافه گردید. نتایج حاصل از اجرای سناریو در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، بیشترین سود حاصل از اجرای سد به ساحل راست و بهره‌برداران آن می‌رسد که بهره‌وری هر مترمکعب آب آن از ۸۰۷/۹۶ ریال به ۱۷۲۶/۷۵ ریال خواهد رسید. بهره‌برداران ساحل چپ بعد از تلفیق آب سطحی و زیرزمینی از هر مترمکعب آب مصرفی درآمد بیشتری به میزان ۵۲۱/۷۴ ریال دریافت می‌کند، اما بهره‌برداران بخش میانی براساس برنامه‌ریزی قبلی بهره‌ای از سد نخواهند داشت و بهره‌وری آب برای آنها در شرایط با و بدون پروژه ثابت است. میزان خروجی سد برای تلفیق آب سطحی و زیرزمینی برای ساحل راست و چپ به ترتیب در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، بالاترین نیاز به آب سطحی در ماه مرداد به‌ویژه در

دهه‌ی سوم این ماه وجود دارد، حجم بهینه‌ی خروجی آب از سد در این دهه ،۸/۱۳۲ میلیون مترمکعب است که سهم ساحل راست و چپ به‌ترتیب ۵/۵۵۹ و۲/۵۷۳ میلیون مترمکعب می باشد. در آخرین سناریو یعنی سناریوی ۶، با توجه به شرایط بحرانی بخشی از قسمت میانی که به ساحل چپ نزدیک هستند و در شرایط فعلی با افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی روبرو هستند، به مساحت اراضی ساحل چپ اضافه شد. یعنی به عبارت دیگر ۲۰۰۰ هکتار از مجموعه اراضی بخش میانی که از برنامه‌ی سد و شبکه‌های مربوط به آن کنار گذاشته شده بود و قرار بود که با استفاده از آب زیرزمینی، تأمین آب گردند؛ به مساحت ساحل چپ اضافه شد. با این کار بهره‌وری آب در این ساحل از ۱۵۶۴/۵ ریال به ۱۶۱۷/۹ ریال افزایش یافت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در تخصیص آب سد که بر اساس اطلاعات سال ۱۳۷۷ صورت گرفته، تجدید نظر به‌عمل آید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هرچند استفاده‌ی تلفیقی از آب سطحی و آب زیرزمینی در دشت فیروزآباد از دیرباز متداول بوده است، اما این امر از مبنای علمی قابل قبولی برخوردار نبوده است. بدیهی است که استفاده از آب سطحی تنها محدود به اراضی بوده است که در ساحل رودخانه قرار داشتند که به‌دلیل تغذیه‌ی مناسب سفره‌های زیرزمینی توسط رودخانه و سیل‌های فصلی از پتانسیل آب زیرزمینی خوبی نیز برخوردار بودند. نه تنها دسترسی به آب سطحی برای اراضی که از رودخانه دورتر بودند، مشکل‌تر می‌شد که به‌دلیل عدم تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی از پتانسیل آب‌های زیرزمینی آنها نیز کاسته می‌گردید. هرچند در گذشته‌ی نه چندان دور از طریق قنات بخشی از آب سطحی به اراضی دوردست‌تر نیز منتقل می‌شد؛ اما بعد از سیل‌های ویرانگر و سهولت حفر چاه، این امکان نیز به‌طور کلی از بین رفت. از سوی دیگر خشکسالی‌های اخیر، رودخانه‌ی دائمی فیروزآباد را به یک رودخانه‌ی فصلی تبدیل کرد که با شروع آبگیری در دریاچه‌ی سد تنگاب به‌طور کلی دشت از آب سطحی محروم گردید، به‌گونه‌ای که در شرایط فعلی، کشاورزی منطقه تنها از آب زیرزمینی مشروب می‌شود. حفر بی‌رویه‌ی چاه و افزایش تعداد آنها به بیش از ۱۷۰۰ حلقه و در نتیجه برداشت بیش از اندازه‌ی آب از سفره‌ی آب زیرزمینی وضعیت را به‌گونه‌ای رقم زده که تعداد زیادی از چاه‌های واقع در ساحل چپ و قسمت‌های مرکزی دشت خشک گردیده یا دارای آبدهی بسیار اندک می‌باشند. بنابراین احداث سد فیروزآباد و انتقال حدود ۱۰۰ میلیون مترمعکب آب سطحی و تلفیق آن با حدود ۱۷۰ میلیون مترمعکب آب زیرزمینی می‌تواند تحول عمده‌ای در بخش کشاورزی دشت ایجاد نماید. تلفیق آب سطحی و زیرزمینی در مقایسه با شرایط فعلی که تنها از آب زیرزمینی استفاده می‌شود، آب مطمئن‌تری را برای زارعین تأمین خواهد کرد و بهره‌وری آب را از حدود ۱۲۱۵ ریال فعلی به ۱۷۲۷ و ۱۵۶۵ ریال به ازای هر مترمکعب مصرف آب در ساحل

راست و چپ افزایش خواهد داد و بازده برنامه‌ای کل حاصل از کشاورزی منطقه را از ۱۸۹ میلیارد ریال به ۳۷۲میلیارد ریال خواهد رساند. در این مطالعه، الگوهای کشتی که می‌تواند در سناریوهای مختلف بالاترین بازده برنامه‌ای را تأمین کند، ارائه شده و میزان خروجی از دریچه سد و تخصیص آن به سواحل راست و چپ برای رسیدن به حداکثر بازدهی در دهه‌های مختلف سال تعیین شده است.

فهرست منابع

۱. باریکانی،الهام. مجید احمدیان، صادق خلیلیان و امیرحسین چیذری. ۱۳۹۱. استفاده تلفیقی پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی در تعیین الگوی بهینه کشت دشت قزوین. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۰. (۷۷): ۲۹-۵۶.

۲. سلطانی، غلامرضا و منصور زیبایی. ۱۳۹۰ . مدیریت مصرف آب کشاورزی چالشی برای مقابله با خشکسالی. همایش بهینه سازی مصرف آب در کشور. فرهنگستان علوم. ایران

۳. مهندسان مشاور آب نیرو . ۱۳۷۷. طرح سد مخزنی تنگاب وشبکه آبیاری و زهکشی دشت فیروزآباد. مطالعات مرحله اول شبکه. جلد اول: گزارش مطالعات وضع موجود کشاورزی ، آبیاری، دامپروری، جامعه شناسی واقتصاد تولید کشاورزی(گزارش نهایی).

4. Aron, G. 1969. Optimization of conjunctively managed surface and groundwater resources by dynamic programming. Water Resources Center Contribution, vol. 129. University of California, p. 158.
5. Aron, G., Scott, V.H. 1971. Dynamic programming for conjunctive use. Journal of Hydraulic Division, ASCE 97 (5), 705–721.
6. Azaiez, M.N., Hariga, M. 2001. A single-period model for conjunctive use of groundwater and surface water under severe overdrafts and water deficit. European Journal of Operation Research 133 (3), 653–666.
7. Belaineh, G., Peralta, Richard C., Hughes, T.C. 1999. Simulation – optimization modeling for water resources management. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 125 (3),154–160.
8. Brewer, J. D. and Sharma, K. R. 2000. Conjunctive Management in the Hardinath Irrigation System Nepal. International Water Management Institute, Nepal. Report No. R-94.
9. Buras, N., 1963. Conjunctive operation of dams and aquifers. Journal of Hydraulic Division, ASCE 89 (6), 111–131.
10. Burt, O. R. 1976. Groundwater Management and Surface Water Development for Irrigation. Accessed in: "Economic Modeling for Water Policy Evaluation", Thrall, R. M. et al., (Eds.) PP. 75-95.

11. Datta, K. K. and Dayal, B. 2000. Irrigation with Poor Quality Water: An empirical study of input use, economic loss, and coping strategies, Indian. Journal of Agricultural Economic, 55(1).
12. Ediwahyunan. 2002. Conjunctive use planning for Sapon irrigation project of Indonesia, unpublished M. Tech. dissertation. Department of Water Resources Development and Management, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee-247667, UA,India.
13. Gorelick, S. M. 1988. A Review of Ground -Water Management Models, World BankSymposium on Efficiency in Irrigation, Series2, The World Bank, U. S. A.
14. Haimes, Y.Y., Dreizen, Y.C., 1977. Management of groundwater and surface water via decomposition. Water Resources Research, The American Geophysical Union l 13 (1), 69–77.
15. Illangasekare, T.H., Morel-Seytoux, H.J., Edward, J.K. 1984. Application of a physically based distributed parameter model for arid zone surface-groundwater management. Journal of Hydrology 74, 233–257.
16. Karamouz, M., Ahmadi, A. and Nazif, S., 2009. Development of management schemes in irrigation planning: Economic and crop pattern consideration. Transaction A: Civil Engineering 16(6): 457-466.
17. Karamouz, M., Kerachian, R., Zahraie, B. 2004. Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 130(5), 93–98.
18. Latif, M., James, L.D. 1991.Conjunctive use to control water logging and salinization. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 117 (6), 611–628.
19. Lingen, C. 1988. Efficient conjunctive use of surface and groundwater in The People's Victory Canal, World Bank Symposium on Efficiency in Irrigation, Series 2, The World Bank, U. S. A.
20. Luo Y., Sh. Khan, Y. Cui. ZH. Zhang and X. Zhu. (2006), Sustainable irrigation water management in the lower Yellow River Basin: a system dynamics approach, Agricultural Water

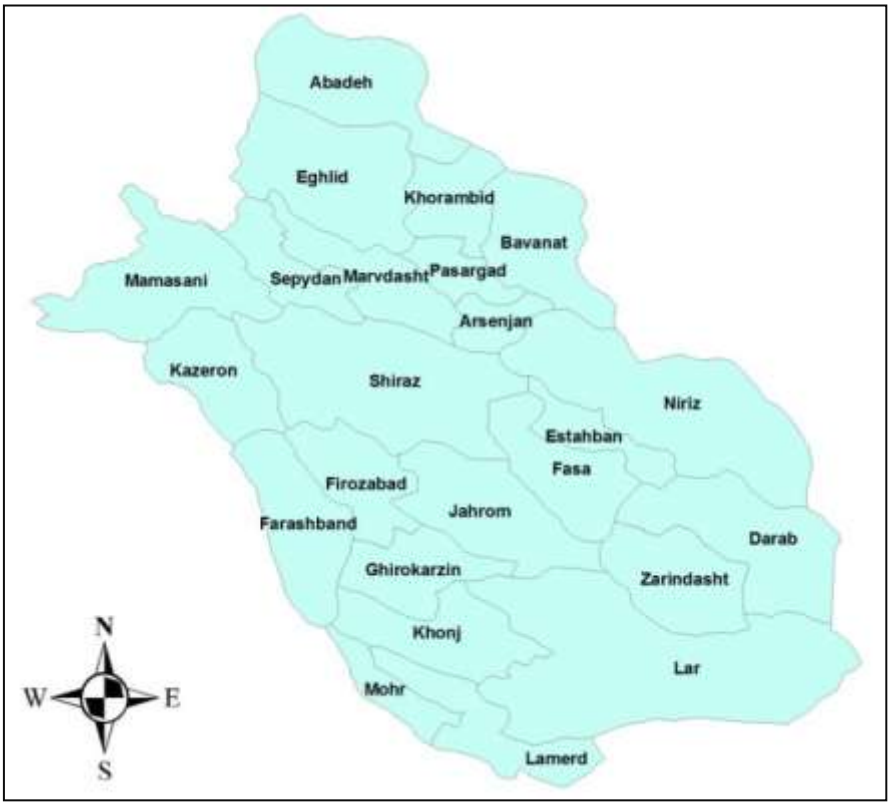
Management in China, proceedings of a workshop, China, page: 101-110.
21. Male, J.W., Mueller, F.A. 1992. Model for prescribing groundwater use permits. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 118 (5), 543–561.
22. O'Mara, G.T., Duloy, J.H. 1984. Modeling efficient water allocation in a conjunctive use regime, The Indus Basin Pakistan. Water Resource Research, The American Geophysical Union 20 (11),1489–1498.
23. Onta, P.R., Gupta, A.D., Harboe, R., 1991. Multistep planning model for conjunctive use of surface and groundwater resources. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 117 (6), 662–678.
24. Peralta, R.C., Cantiller, R.R.A., Terry, J.E. 1995. Optimal large scale conjunctive water use planning: a case study. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 121 (6), 471–478.
25. Rao, S.V.N., Murthy, S.B., Thandaveswara, B.S., Mishra, G.C., 2004.Conjunctive use of surface and groundwater for Coastal and Deltic systems. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 130 (3), 255–267.
26. Reichard, E.G. 1995. Groundwater surface water management with stochastic surface water supplies: a simulation optimization approach. Water Resource Research, The American Geophysical Union 31 (11), 2845–2865.
27. Sakthivadivel. R. and Chawala, A. S. 2002. Innovations in conjunctive water management: Artificial recharge in Madhya Ganga Canal Project. International Water Management Institute, IWMI-TATA Water Policy Research Program, Annual Partners Meet2002.
28. Schmidt, W. R., Hanson, R. T. and Maddock,T. 2004. Simulation of conjunctive agricultural water use with the new farm package for MODFLOW-2000. American Geophysical Union, Fall Meeting 2004.
29. Schoups, G., C. L. Addams, J. L. Minijares and S. M. Georlick (2006), Reliable conjunctive use rules for sustainable irrigated agriculture and reservoir spill control, Water Resources Research: 42.

30. Tracy, N. 1998. Water resources optimization model for Santa Barbara, California. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 124 (5), 252–263.
31. Tsur, Y. 1990. Stabilization role of groundwater when surface water supplies are uncertain: The Implication for Ground Water Development. Water Resour. Res., 26(5):811-818.
32. Tsur, Y. and Graham-Tomasi, T. 1991.The buffer value of groundwater with stochastic surface water Supplies. J. Environ.Econ.Manage.,21: 201-224.
33. Vedula, S., Mujumdar, P.P., Sekhar, G.C., 2005.Conjunctive use modeling for multi crop irrigation. Agricultural Water Management73, 193–221.
34. Waqar A. J., Muhammad A. and Evan. C. 2003. Alternative Models of Irrigation andFarmer Returns under Conjunctive Water Management in Pakistan, Agribusiness Rev.11.: PP?
35. Watkins Jr., D.W., McKinney, D.C., 1998. Decomposition methods for water resources optimization models with fixed costs. Advances in Water Resources 21, 283–295.
36. Willis, R., Finney, B.A., Zang, D., 1989. Water resources management in north China Plain. Journal of Water Resource Planning and Management, ASCE 115 (5), 598–615.
37. Young, R.A., Bredehoeft, J.D., 1972. Digital computer simulation for solving management problem of conjunctive groundwater and surface water systems. Water Resource Research, TheAmerican Geophysical Union 8 (3), 533–556.
38. Zibaei, M., Soltani, G. R. and Bakhshoodeh, M. 2008. Utility maximizing investment in well capacity for conjunctive use of ground and surface water at the farm level in Southern Iran. J. Agric. Sci. Technol. 10: 193-204.

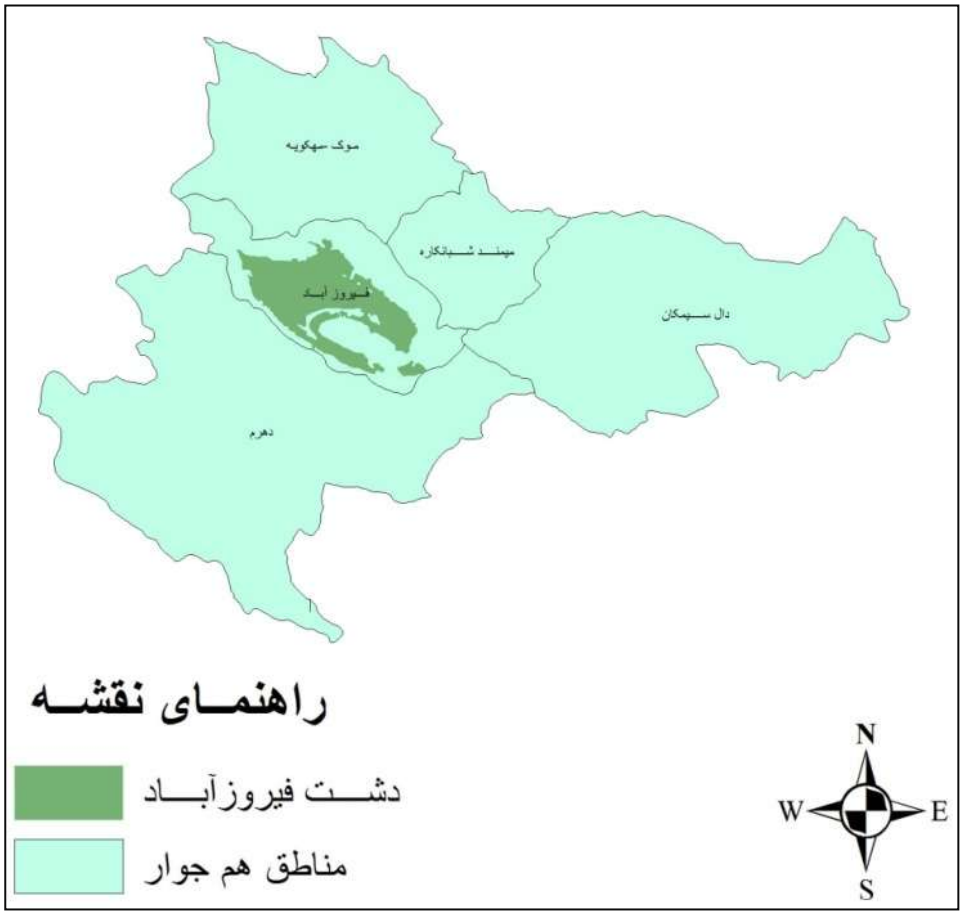
پیوست‌ها

پیوست ۱- تعریف فعالیت‌های وارد شده در الگوهای بهینه کشت.

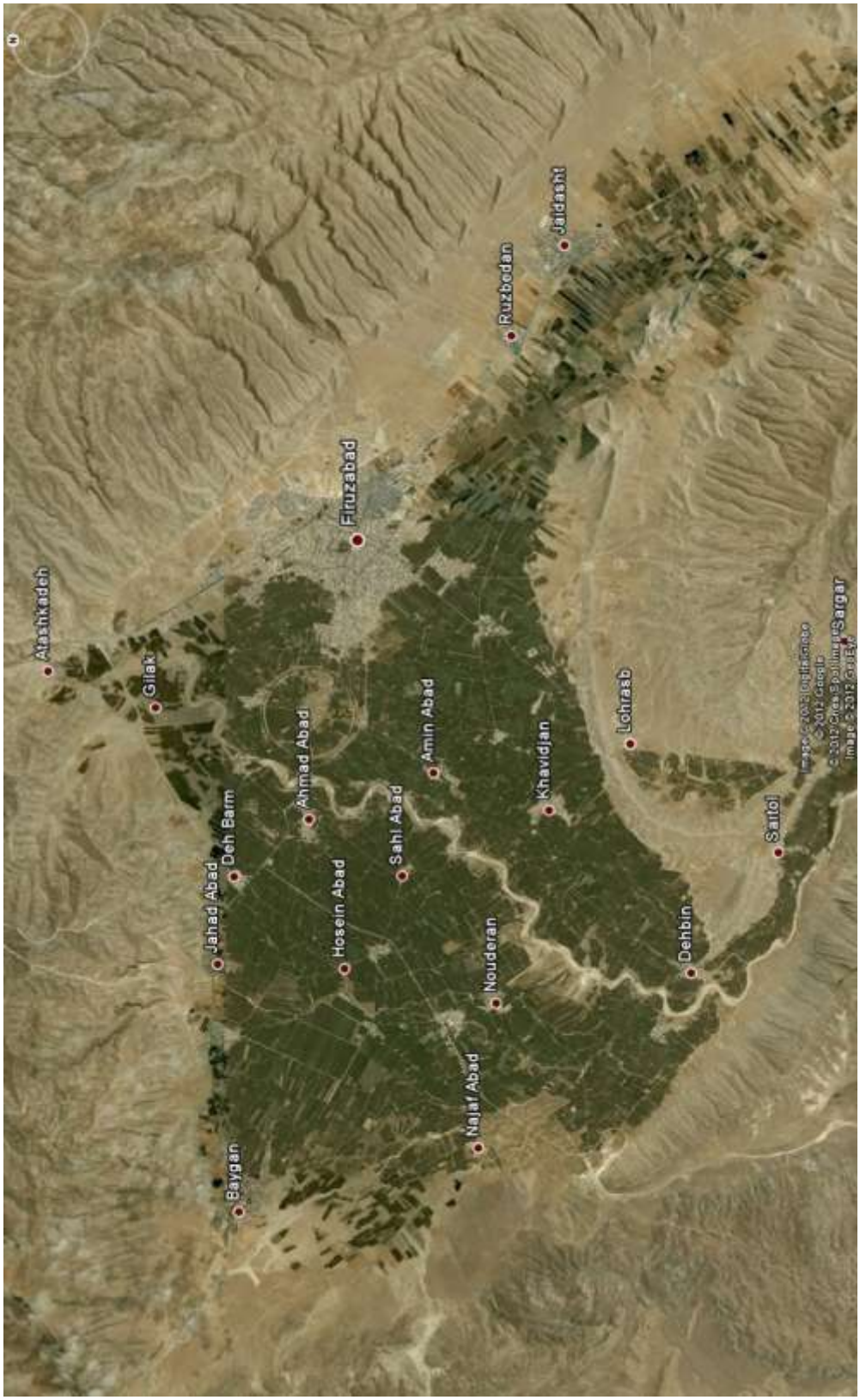
نام فعالیت	تعریف
گندم ۲۷	کشت گندم با ۳۵ درصد کم آبیاری در اواخر مرحله رشد رویشی و با انتقال آب به وسیله لوله‌های پلاستیکی
گندم ۴۲	کشت گندم با ۳۵ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن با روش آبیاری بارانی
جو ۱۶	کشت جو با ۳۵ درصد کم آبیاری در مرحله شکل گیری و با روش آبیاری غرقابی
جو ۲۱	کشت جو با ۳۵ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن و روش آبیاری غرقابی
جو ۳۷	کشت جو با ۴۰ درصد کم آبیاری در مرحله شکل گیری و با انتقال آب به وسیله لوله‌های پلاستیکی
جو ۴۲	کشت جو با ۳۵ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن و با انتقال آب به وسیله لوله‌های پلاستیکی
کلزا ۱۱	کشت کلزا با آبیاری کامل و با انتقال آب به وسیله لوله‌های پلاستیکی
ذرت ۱۲	کشت ذرت با آبیاری کامل و با انتقال آب به وسیله لوله‌های پلاستیکی
برنج	کشت برنج با آبیاری کامل و روش آبیاری غرقابی



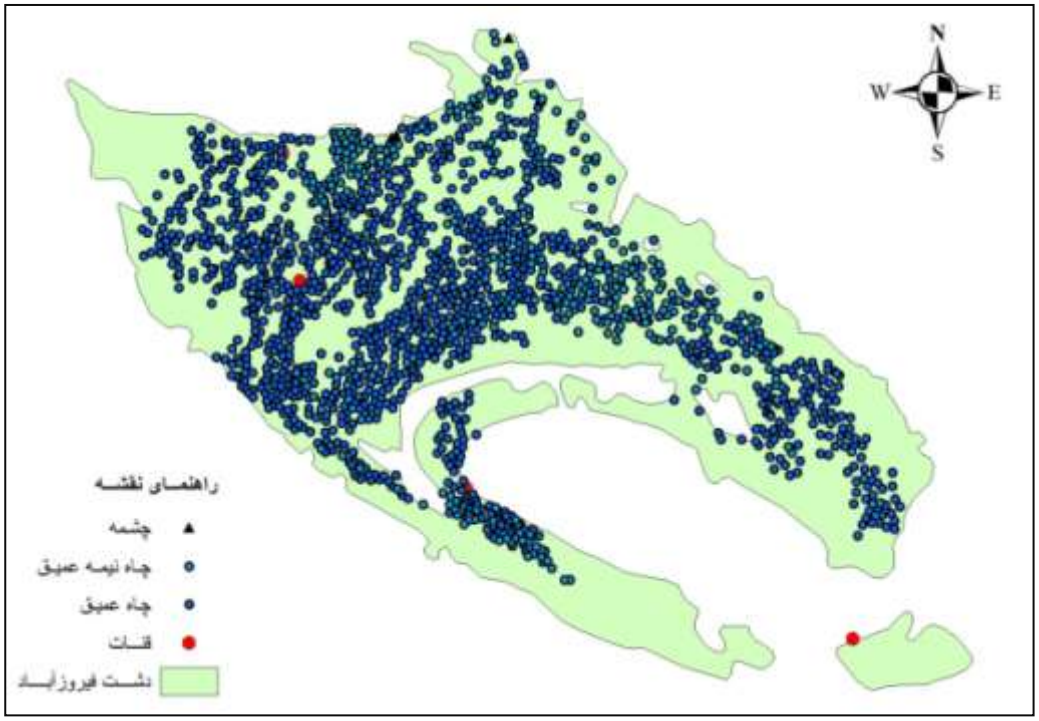
شکل ۱- نقشه جغرافیایی استان فارس



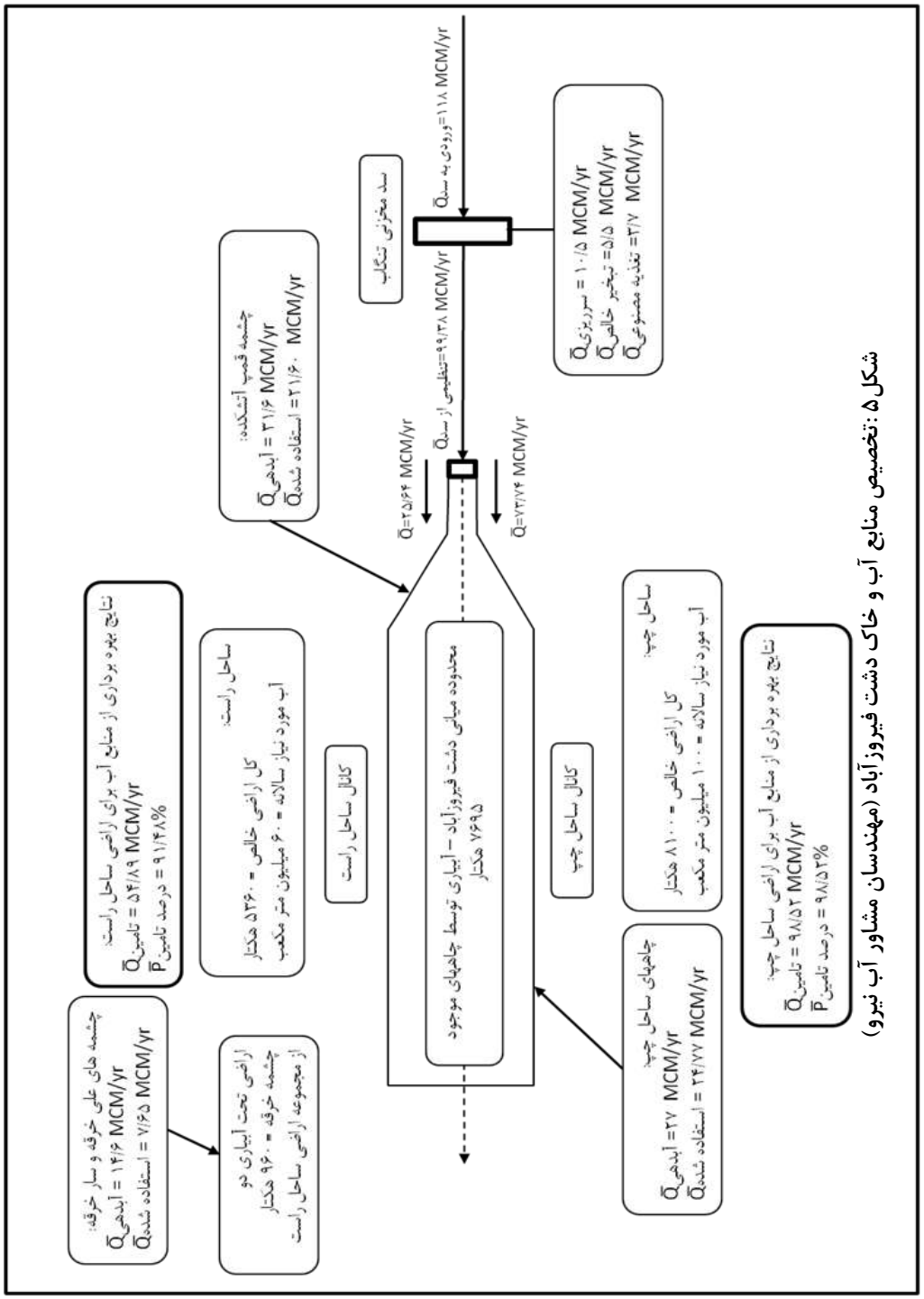
شکل ۲- نقشه موقعیت دشت فیروزآباد



شکل ۳- مسیر رودخانه فیروزآباد



شکل ۴- منابع آب زیرزمینی دشت فیروزآباد



شکل ۵ :تخصیص منابع آب و خاک دشت فیروزآباد (مهندسان مشاور آب نیرو)

جدول ۱- نتایج حاصل از اجرای سناریو ۱.

	نام محصول	سطح زیرکشت (هکتار)
الگوی بهینه کشت	گندم ۴۲	۱۱۵۰۰
	جو ۱۶	۱۷۵۶/۴
	جو ۳۷	۱۷۹۷
	جو ۴۲	۱۵۵۷/۷
	ذرت ۱۲	۴۶۸۶/۸
	برنج	۲۲۰۰
بازده برنامه کل (میلیارد ریال)		۱۸۹
آب مصرفی (میلیون مترمکعب)		۱۵۵/۶
بهره‌وری آب (ریال/ مترمکعب)		۱۲۱۴/۶

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای سناریوهای ۲ و ۳.

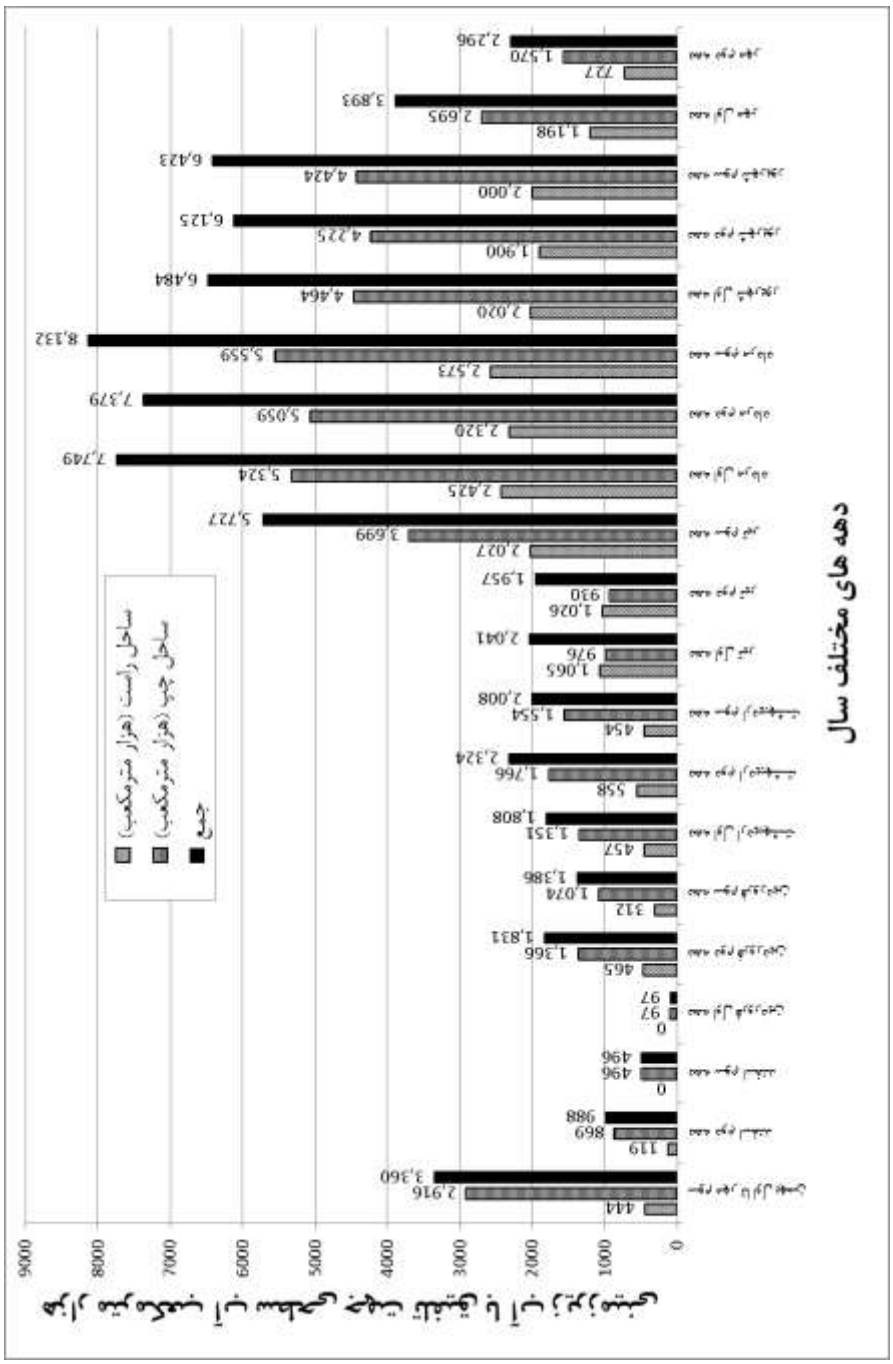
نام محصول		سناریو (هکتار)	
		۲	۳
الگوی بهینه کشت	گندم ۴۲	۱۱۵۰۰	۱۷۸۵۶/۶
	جو ۱۶	۰	۵۱۱۱/۱
	جو ۳۷	۵۱۱۱/۱	۰
	کلزا ۱۱	۰	۳۲/۳
	ذرت ۱۲	۱۷۷۰۳/۴	۱۱۳۳۰/۴
	برنج	۳۲۰۰	۳۲۰۰
بازده برنامه‌ای کل (میلیارد ریال)		۴۴۴/۸۰	۳۷۱/۹۲
آب مصرفی (میلیون مترمکعب)		۲۷۰	۲۷۰
بهره‌وری آب (ریال/ مترمکعب)		۱۶۴۷	۱۳۷۷/۵

جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای سناریو ۴.

نام محصول		مناطق مختلف (هکتار)		
		ساحل راست	ساحل چپ	قسمت مرکزی
الگوی بهینه کشت	گندم ۲۷	۲۶۸۰	۰	۰
	گندم ۴۲	۰	۱۶۹۴	۵۲۲۷/۵
	جو ۱۶	۰	۰	۱۵۳۲/۸
	جو ۲۱	۰	۰	۱۷۷/۲
	جو ۳۷	۱۱۹۱/۱۱۱	۶۷۷/۸	۰
	کلزا ۱۱	۰	۰	۷۵۷/۴۵
	ذرت ۱۲	۰	۶۵۲/۸	۳۴۷۴/۳
	برنج	۴۸۵/۹	۱۰۰	۶۰۰
بازده برنامه‌ای کل (میلیارد ریال)		۱۹/۱۰۸	۱۹/۴۸	۱۰۷/۵۲۵
آب مصرفی (میلیون مترمکعب)		۲۳/۶۵	۱۸/۶۸	۸۸
بهره‌وری آب (ریال/ هکتار)		۸۰۷/۹۶	۱۰۴۲/۷۶	۱۲۲۱/۸۸

جدول ۴- الگوی کشت حاصل از اجرای سناریو ۵.

نام محصول		مناطق مختلف		
		ساحل راست	ساحل چپ	قسمت مرکزی
الگوی بهینه کشت	گندم ۴۲	۲۰۸۰	۳۵۶۴	۵۲۲۷/۵
	جو ۱۶	۰	۱۳۵۵/۶	۱۵۳۲/۸
	جو ۲۱	۰	۰	۱۷۷۲/۲
	جو ۳۷	۹۲۴/۴۴	۰	۰
	کلزا ۱۱	۰	۰	۷۵۷/۴۵
	ذرت ۱۲	۱۶۹۶/۲۳	۵۵۰۰	۳۴۷۴/۳
	برنج	۱۳۰۰	۶۰۰	۶۰۰
بازده برنامه‌ای کل (میلیارد ریال)		۷۶/۴۷۸	۱۳۰/۴۸۱	۱۰۷/۵۲۵
آب مصرفی (میلیون مترمکعب)		۴۴/۲۹۰	۸۳/۴۰	۸۸
بهره‌وری آب (ریال/ هکتار)		۱۷۲۶/۷۵	۱۵۶۴/۵	۱۲۲۱/۸۸



نمودار ۱ : الگوی بهینه رها سازی آب از دریچه سد فیروزآباد.