اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۰۱-۱۸۷

کاربرد و ارزیابی رویکرد همبست آب، غذا و انرژی در مدیریت منابع آب زیرزمینی کشاورزی (مطالعهٔ موردی: دشت برخوار – اصفهان)

سمیه نیکو[۱]، مجتبی اردستانی[۲*]، محمدحسین نیک‌سخن[۳]

۱. دانشجوی دکتری، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران

۲. استاد، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران

۳. دانشیار، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۱۵؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۲۲)

چکیده

رویکرد همبست آب، انرژی و غذا را می‌توان به عنوان رویکردی برای ارزیابی توسعه و اجرای سیاست‌هایی که به طور هم‌زمان بر امنیت این موارد تأکید دارد تعریف کرد. هدف از انجام این پژوهش، ارائهٔ روشی به منظور تجزیه‌وتحلیل رابطهٔ آب، غذا و انرژی در زنجیرهٔ تولید محصول است. بر اساس روش پیشنهادی و با توجه به میزان مصرف آب و انرژی چهار شاخص مصرف آب و انرژی و بهره‌وری آب و انرژی و همچنین بر اساس این شاخص‌ها یک شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی (همبست) پیشنهاد شده است. این تحقیق روی دشت برخوار استان اصفهان انجام شده و از مدل MODFLOW به منظور شبیه‌سازی کمی حوضه استفاده شده و همچنین، از آنجا که توابع هدف در این مطالعه از نوع خطی بوده، برنامه‌ریزی خطی چندهدفی به منظور حل مسئله بهینه‌سازی انتخاب شده است. هدف از حل مسئلهٔ بهینه‌سازی، ٤ سناریوی کمینه‌سازی مصرف آب، کمینه‌سازی مصرف انرژی، بیشینه‌سازی سود و همچنین، سناریوی بیشینه‌سازی هم بست آب، غذا و انرژی هستند. نتایج نشان می‌دهد اگر چه هر یک از سناریوها به‌تنهایی منعکس‌کنندهٔ اثرات مثبتی بر کاهش مصرف آب و برق هستند، اما با استفاده از سناریوی همبست آب، غذا و انرژی علاوه بر کاهش مصرف آب و برق، سود کشاورزان نیز به طور چشمگیری افزایش داشته است، به طوری که میزان مصرف آب قبل از بهینه‌سازی ۵۰ میلیون متر مکعب در سال بود که پس از بهینه‌سازی و اعمال سناریوی بیشینه‌سازی همبست آب و غذا و انرژی ۸ درصد کاهش داشته و به ٤٦ میلیون مترمکعب در سال رسید و همچنین، میزان مصرف انرژی با ۹/۷ درصد کاهش از ۱۳۱۵۰۳۳۰ کیلووات ساعت در سال به ۱۱۸٦۷٥٦۳ کیلو وات ساعت در سال رسید و علاوه بر این‌ها میزان سوددهی محصولات مورد نظر قبل از بهینه‌سازی ٦۳۰۱۹٦٦ میلیون ریال بوده که پس از اعمال سناریوی همبست آب، غذا و انرژی با ۲۱ درصد افزایش به ۸۰۱٥۲٦٤ میلیون ریال رسید و از طرفی دیگر، با ادامهٔ روند سناریوی بهینه، سطح تراز آب‌های زیرزمینی در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی به میزان ۰/٤۷۸ متر کمتر نسبت به شرایط موجود کاهش خواهد داشت و در درازمدت تأثیر بسزایی در تراز سطح آب‌های زیرزمینی مشاهده خواهیم کرد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی، شاخص ترکیبی همبست آب، غذا و انرژی، همبست.

* نویسندهٔ مسئول

Email: ardestan@ut.ac.ir

مقدمه

منابع آب زیرزمینی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب‌وهوایی مشابه دارند مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به شمار می‌آیند. در واقع آب زیرزمینی یک منبع آب طبیعی است و استفادهٔ پایدار از آن یکی از چالش‌های بزرگ برنامه‌ریزان منابع آب در سراسر دنیا است [۱]. رشد جمعیت به همراه افزایش نیازها و همچنین نیاز به توسعه، باعث افزایش فشار به منابع طبیعی شده است. از طرفی منابع طبیعی دارای محدودیت ذاتی بوده و امکان استفادهٔ بدون حد و مرز از آن‌ها وجود ندارد. در کنار این محدویت‌ها، ارتباطی که بین منابع طبیعی وجود داشته و اثراتی که این منابع روی هم می‌گذارند، شرایط را کمی پیچیده‌تر کرده است. آب، انرژی و غذا منابع مهم در جهت تأمین نیازهای انسان‌ها و در جهت توسعهٔ پایدار محسوب می‌شوند که وابستگی زیادی به هم دارند و تأثیر زیادی روی هم می‌گذارند. برای مثال آب نقش مهمی در توسعهٔ انرژی دارد در حالی که جمع‌آوری، تصفیه، انتقال و استفاده از آب خود نیازمند انرژی است. تولید و پردازش مواد غذایی در جهت مکانیزاسیون، آماده‌سازی زمین، تولید و کاربرد کود، بسته‌بندی، پردازش و ذخیرهٔ مواد غذایی نیازمند انرژی است و خود تولید غذا وابستگی کاملی به بخش آب دارد که توجه به روابط درهم‌تنیدهٔ آن‌ها در مدیریت این منابع ضروری است [۲]. بنابراین افزایش نیازهای آبی و ارتباط مستقیم آن با بخش کشاورزی ضرورت برنامه‌ریزی مناسب برای بهره‌برداری از منابع مختلف آب و غذا را ایجاد می‌کند تا تعادل و توازنی بین جریان برداشت و بهره‌برداری از منابع تولید و میزان تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. در این راستا تمرکز روی یکی از بخش‌های ارتباط آب و مواد غذایی، بدون در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها خطرات جدی و عواقب ناخواسته‌ای را در بر خواهد داشت. با توجه به ارتباط نزدیک منابع آب و غذا و همچنین، تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر، مفهوم جدیدی به نام رویکرد پیوندی nexus یا رویکرد همبست مطرح شده است که اشاره به ذات یکپارچه و اثرات متقابل برنامه‌ریزی آب و غذا دارد [۳]. دیدگاه همبست قصد دارد تصمیم‌گیرندگان را با اطلاعات بهتر یا پیچیده‌تر در سه بخش مورد نظر برای تصمیم‌گیری مؤثرتر هدایت کند و در تلاش برای انتقال به اقتصاد سبز است که هدف آن افزایش بهره‌وری منابع و تقویت متقابل سیاست‌هاست. به طور عملی، رویکرد همبست آب، انرژی و غذا را می‌توان به عنوان رویکردی برای ارزیابی، توسعه و اجرای سیاست‌هایی که به طور هم‌زمان و بر امنیت آب، انرژی و غذا تأکید می‌کند، تعریف کرد. این رویکرد به منظور تقویت توسعهٔ پایدار و بهبود کیفی زندگی جوامع و همچنین، محافظت از سرمایه‌های طبیعی و اجتماعی برای برطرف کردن مسائل پایداری در درازمدت خواهد بود. در واقع برای رسیدن به پایداری جوامع باید ذخایر طبیعی خود را حفظ کرده و حداقل خسارت را به آن‌ها وارد کرد [۲]. پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد با توجه به رشد جمعیت، توسعهٔ اقتصادی، پیشرفت فناوری، شهرنشینی، تقاضای رو به رشد برای غذا و رژیم‌های متنوع غذایی، تغییرات اقلیم، تخریب منابع و کمبود آب، تقاضا برای آب شیرین، انرژی و غذا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. بنابراین فشار بر این سه بخش افزایش می‌یابد و اهمیت همبست آب، انرژی و غذا را افزایش می‌دهد. کشاورزی در حال حاضر با مصرف حدود ۷۰ درصد از مجموع کل منابع آب شیرین جهان به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب به حساب می‌آید. آب برای تولید محصولات کشاورزی و در کل زنجیرهٔ تأمین مواد غذایی و کشاورزی و نیز برای تولید حمل‌ونقل و استفاده از تمام فرم‌های انرژی استفاده می‌شود و در عین حال تولید و زنجیرهٔ تأمین مواد غذایی حدود ۳۰ درصد از کل انرژی جهانی را مصرف می‌کند. انتظار می‌رود که این وضعیت در آیندهٔ نزدیک تشدید شود، به طوری که نیاز خواهد بود ۶۰ درصد غذای بیشتر تا ۲۰۵۰ به منظور تقاضای مواد غذایی بیشتر و با کیفیت بهتر تولید شود. تأمین امنیت غذایی و دسترسی به آب آشامیدنی سالم و انرژی مدرن برای همه یک چالش کلیدی برای توسعهٔ پایدار است [۴]. از این‌رو هدف پژوهش حاضر ارائهٔ روشی به منظور کاربرد رویکرد همبست آب، غذا و انرژی در حوضهٔ آبی و توجه و تمرکز به ارتباط پیچیدهٔ این سه منبع در مدیریت منابع آب در یک محیط بسته و اثرات متقابل این پارامترها روی یکدیگر و تعاملات آن‌ها در جهت توسعهٔ پایدار است و همچنین موضوع توسعهٔ رویکرد جامع همبست در بهبود بهره‌وری و ارزیابی سیاست‌های مدیریت بهره‌برداری بهینه از منابع آب از منظر بهره‌برداری

با استفاده از معیارهای جامع از نوآوری‌های این پژوهش محسوب می‌شود. بنابراین این تحقیق یک روش پیشنهادی برای بررسی اثربخشی سیاست‌های مدیریتی با رویکرد همبست در دشت برخوار اصفهان را مطرح می‌کند. این منطقه به دلیل تنوع محصولات و از طرفی خشکسالی‌ها و تنش‌های آبی در سال‌های اخیر می‌تواند به عنوان یک نمونهٔ مناسب برای بررسی و کارایی رویکرد همبست آب، غذا و انرژی در سطح کشور مورد بررسی قرار گیرد.

پیشینهٔ تحقیق

Mark Howells و همکارانش (۲۰۱۳) بیان کردند که کمبود یک مدل یکپارچهٔ پیوندی که قادر به ترکیب تمامی این سه بخش و تأثیرات محیطی مرتبط به ساختار کلی برای بهینه کردن استراتژی‌های مدیریت پیوندی آب، انرژی و غذا از دیدگاه کل سیستم باشد احساس می‌شود [۵]. Rasul (۲۰۱۴) امکان بهره‌گیری از مفهوم همبست آب، انرژی و غذا را به منظور دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار در آسیای جنوبی مورد مطالعه قرار داد. بر اساس یافته‌های او سیاست‌گذاری بدون توجه به پیامدهای متقابل بین بخش‌های آب، انرژی و غذا در درازمدت سبب غیر قابل استفاده شدن منابع و تهدید پایداری آب، انرژی و غذا در منطقه می‌شود، در حالی که توجه به وابستگی ذاتی بین بخش‌های آب، انرژی و غذا منجر به استفادهٔ بهینه از منابع شده و ابزاری برای ارزیابی تعاملات متقابل بین بخش‌ها فراهم می‌آورد و نیز می‌توان به اهداف توسعهٔ پایدار دست یافت [۶]. Mohtar ,Daher (۲۰۱۵) ابزاری برای مدل‌سازی همبست آب، انرژی و غذا به منظور ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع با توجه به توسعهٔ پایدار، در کشور قطر ارائه کردند [۷]. Howarth Monasterolo (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به بررسی درک موانع تصمیم‌گیری همبست آب، انرژی و غذا در انگلستان با رویکرد همبست آب، انرژی و غذا پرداختند. آن‌ها با استفاده از یافته‌ها روش جدیدی را برای توسعهٔ بررسی شوک‌های ارتباطی و پی بردن به پیامدهای سیاست‌گذاری بر موانع تصمیم‌گیری ارائه دادند [۸]. Kent Kovacs (۲۰۱۶) در دانشگاه آرکانزاس چگونگی اثر کمیابی منابع آب زیرزمینی را بر مبادلات بین بخش‌های مختلف در اکوسیستم دلتای رودخانهٔ می‌سی‌سی‌پی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدلی اقتصادی برای ارزش‌گذاری منابع آب استفاده کردند [۹]. Al-Ansari (۲۰۱۶) در پژوهش خود ارزیابی زیست‌محیطی همبست آب، انرژی را طی سناریوی تأمین امنیت غذایی در قطر با در نظر گرفتن استفاده از فناوری‌های نوین مانند انرژی تجدیدپذیر و آب‌شیرین‌کن ارائه کرد. حاصل کار مقدار بهینهٔ آب و انرژی مورد نیاز با هدف تأمین ۴۰ درصد امنیت غذایی برای سناریوهای مختلف بود [۱۰]. Zhang Vesselinov (۲۰۱۷) مدل بهینه‌سازی تأمین امنیت همبست آب، انرژی و غذا را ارائه دادند. در این تحقیق مدل اجتماعی – اقتصادی چنددوره‌ای که پیوند امنیت آب، انرژی و غذا را در نظر می‌گیرد توسعه داده شده است [۱۱]. Martinez-Hernandez و همکارانش (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به درک تعاملات آب، انرژی، غذا و اکوسیستم با استفاده از ابزار شبیه‌ساز NEXUS NEXSYM پرداختند. تحقیق یادشده کارهای پیشین را گسترش داد تا دامنهٔ وسیع‌تر تعاملات مؤلفه‌ها را بتوان در نظر گرفت که می‌تواند تعادل منابع را سازگار کنند [۱۲]. Ximing و همکارانش (۲۰۱۸) در مطالعه به بررسی مدیریت ارتباط آب، انرژی و مواد غذایی و محیط زیست و تحقیق در زمینهٔ منابع آب پرداختند. آن‌ها این روابط را در فرایندها، سیستم‌ها، فناوری ها، زیرساخت‌ها و سیاست‌های کوچک بررسی کردند و راه‌کارهایی را برای محققان آب به منظور اشتراک گذاشتن قوت‌های جوامع وسیع در حوزهٔ آب، غذا، انرژی و محیط زیست ارائه دادند [۱۳]. در اسپانیا نیز با مدرنیزاسیون زیرساخت‌ها و تغییر کانال‌های آبیاری باز به سیستم‌های تحت فشار، آبیاری کارآمدتری برای مزارع اتخاذ شد. در مقابل مشاهده شد که اگرچه مصارف آب آبیاری حدود ۲۳ درصد کاهش یافته اما هزینه‌های مربوط به آب ۵۲ درصد افزایش یافته است و علاوه بر تقاضای انرژی بیشتر، هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌ها و افزایش تعرفه‌های برق، کشاورزان را با مشکل جدی روبه‌رو کرده بود. Fernandez و همکارانش (۲۰۱۸) با توجه به نگرانی‌های موجود در مورد بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی، نمونه‌ای از سیستم‌های آبیاری هوشمند با مصارف انرژی خورشیدی برای آبیاری باغ‌های زیتون پیشنهاد کردند که نشان می‌دهد این منبع می‌تواند منبعی جایگزین و قابل اعتماد باشد و همچنین در کاهش انتشار

گازهـای گلخانـه‌ای نیـز مـؤثر باشـد [۱۴]. wicaksono (۲۰۱۹) به بررسی شـبیه‌سـازی مـدلی کـامپیوتری بـرای محاسبهٔ عرضه و تقاضا و قابلیت دسترسی منابع آب، غذا و انرژی در دو کشور کرهٔ جنوبی و اندونزی با هدف برقـراری ارتباط بین منابع پرداختند. نتایج نشان داد در کشور کـرهٔ جنوبی خشکسالی و کمبود آب و غذا پیش‌بینی می‌شـود و در کشور اندونزی با توجه به نبود ظرفیت تصفیهٔ آب کافی و افزایش جمعیت بـا کمبـود آب و محصـولات کشـاورزی مواجـه مـی‌شـود [۱۵]. Nhama و همکـارانش (۲۰۲۰) شاخص‌های پایداری همبست WEF را تعریف کردند که از آنجا یک مدل تحلیلی برای مدیریت منابع WEF بـه روش یکپارچه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبـی (AHP) ایجاد کردند. سپس این مـدل بـرای ارزیـابی پیشـرفت بـه سمت اهداف توسعهٔ پایدار در آفریقای جنوبی استفاده شـد [۱۶]. Ma, Li (۲۰۲۰) به بررسی زیست‌محیطی همبست آب و انرژی و غذا با استفاده از چرخهٔ عمر در کشور تایوان پرداختند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد متغیـر غـذا تقریبـاً ۹۹ درصد منابع آب و انـرژی را بـرای تولیـد مـواد غـذایی مصـرف مـی‌کنـد [۱۷]. اسـلامی و همکـاران (۱۳۹۹) بـه بررسی تأثیر رویکرد همبست آب، انرژی و غذا در مـدیریت جامع منابع آب شبکهٔ آبیاری و زهکشی سفیدرود واقـع در استان گیلان پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعـه نشـان داد آب عرضه‌شده به شبکهٔ آبیاری و زهکشی سفیدرود بـا رویکرد همبست به‌ترتیب ۸/۶ و ۸/۷ میلیـون متـر مکعـب بیشتر از حالت بدون رویکرد همبست به دست آمده است. در نتیجه مقدار قابل ملاحظه‌ای از عرضه و تقاضای آب در مدیریت بدون رویکرد مورد غفلت واقع می‌شد [۱۸].

محققان زیادی اهمیت روابط چندجانبه بین آب، غذا و انرژی را در سطح کـلان و ملـی بررسـی کـرده‌انـد، امـا در مقیـاس شـبکه‌هـای آبیـاری بـه عنـوان بـزرگ‌تـرین مصرف‌کنندهٔ آب و تولیدکنندهٔ غذا این موضـوع بـه‌تـازگی مطـرح شـده و تـأثیر دیـدگاه پیونـدی بـر سیاسـت‌هـای مدیریتی و تعیین اولویـت گزینـه‌هـای مختلـف در سـطح شبکه مورد ارزیابی قرار نگرفته است. کمیسیون بین‌المللی آبیـاری و زهکشـی در کنگـرهٔ سـال ۲۰۱۷ در مکزیـک، موضوع همبست را به عنوان یکی از محورهای مورد بحـث مطرح کرد. در این کنگره چند مقاله در مورد همبست ارائه شـد. حسـن و همکـاران، موضـوع انـرژی مصـرفی بـرای استخراج آب زیرزمینی در ارتباط با امنیت غذایی و تغییـر اقلیم در چارچوب همبسـت را در پنجـاب پاکسـتان مـورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اعلام شد که با توجه بـه تغییر اقلـیم و افـزایش نیـاز بـه آب زیرزمینـی، سـطح آب چاه‌هـا افـت کـرده و هزینـهٔ انـرژی افـزایش یافتـه اسـت. محققان پیشنهاد کردند که تبعات تغییرات ایجادشـده، در چارچوب همبست بایـد مـورد بررسـی قـرار گیـرد [۴]. در جمع‌بندی نظرات این کنگره اعلام شد که اگرچـه رویکـرد همبسـت بـا سـرعت زیـادی در حـال توسـعه اسـت، امـا کاربردهای آن بسیار محدود است و باید به فوریـت نسـبت به افزایش آگاهی‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌ها میان ذی‌نفعـان آب اقدام شود. همچنین پیشنهاد شـده اسـت کـه بـه منظـور هماهنگی بهتر کاربرد رویکرد همبست در آبیاری، تعـاریف همسان از شاخص‌های بهره‌وری شامل محدوده‌هـای مـورد بررسـی توسـعه یابـد. در کنگـرهٔ سـال ۲۰۱۸ ICID در ساسکاتون کانادا، یک جلسه بحث فنی به موضوع همبست اختصاص یافت. مقالات ارائه‌شده در این جلسـه عمـدتاً بـه اهمیت و جایگاه رویکرد همبست و ضرورت کـاربرد آن در برنامه‌ریزی‌های توسعهٔ آبیاری پرداخته‌اند [۱۱].

با توجه به موارد یادشده و کارهای انجام‌شده در زمینهٔ همبست ضرورت کاربرد این موضوع همـواره مـورد تأکیـد محققان است. بنابراین هدف از این تحقیـق، دسـتیابی بـه یک مدیریت یکپارچهٔ منابع آب، غـذا و محـیط زیسـت در جهت توسعهٔ پایدار و نیـز اسـتفاده از یـک مـدل هیـدرو-اقتصـادی در راسـتای مـدیریت و اتخـاذ اسـتراتژی‌هـای سیاسـتی و همچنـین بهبـود کـارایی مصـرف آب‌هـای زیرزمینی بر پایهٔ همبست آب، غذا و انرژی است.

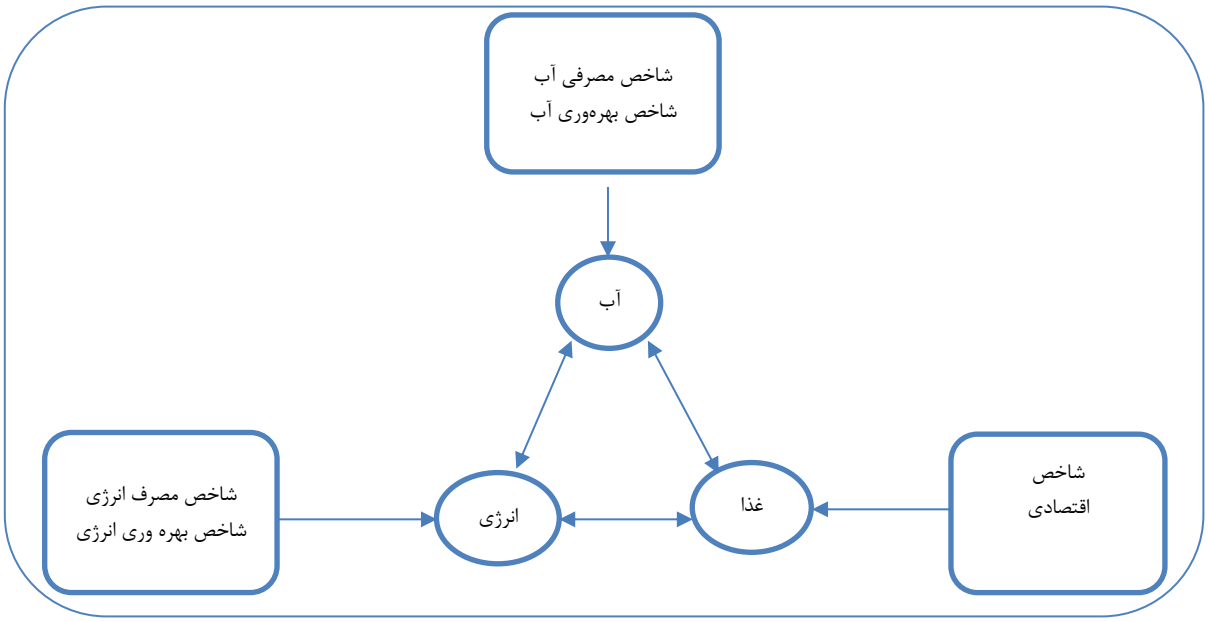
مواد و روش‌ها

استفادهٔ هم‌زمان از شبیه‌سازی و بهینـه‌سـازی مفیـدترین روش برای برنامه‌ریزی و مـدیریت منـابع آب اسـت. یکـی دیگـر از مسـائل عمـده در زمینـهٔ مـدیریت منـابع آب، تخصیص بهینهٔ آب است، به طوری که منـابع محـدود بـه تقاضاهای وسیع به شکلی اختصاص داده شوند کـه منـافع حاصل از آن بیشینه شود [۱۹]. این تحقیـق روی آب‌هـای زیرزمینی دشت برخوار اصفهان انجام گرفتـه اسـت. چهـار سناریوی مدیریتی (کمینه‌سازی مصرف آب، کمینه‌سـازی مصرف انرژی، بیشینه‌سازی سود، بیشـینه‌سـازی همبسـت

آب، غذا، انرژی) به منظور بهبود وضعیت موجود از دیدگاه هم بست انتخاب شد. برای ارزیابی اثر هر یک از سناریوها پنج شاخص (شاخص مصرف آب، شاخص مصرف انرژی، شاخص بهره‌وری آب، شاخص بهره‌وری انرژی و یک شاخص ترکیبی به نام شاخص همبست) به کار گرفته شده است. جزئیات مواد و روش‌ها در این بخش معرفی می‌شود.

۱. چارچوب ساختاری همبست آب، انرژی و غذا (WEF)

همانطور که پیش‌تر هم بیان شد، غذا و آب برای وجود انسان ضروری است و انرژی کلید توسعهٔ انسانی است. آب، انرژی و غذا ارتباط قوی‌ای با یکدیگر دارند و نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار ایفا می‌کنند. سطح آب، تهدیدی برای پایداری کشاورزی، تولید مواد غذایی، سلامت و محیط زیست است و دسترسی به این منابع و مدیریت پایدار آن‌ها، پایه و اساس توسعهٔ پایدار است. بنابراین استفادهٔ کارآمد از این منابع محدود برای توسعهٔ پایدار امری ضروری است [۲۰]. چارچوب همبست WEF شامل سه قسمت به‌هم‌پیوسته آب – غذا و انرژی – غذا و انرژی – آب است که در شکل ۱ نشان داده شده است. شاخص‌ها ابزارهای مفهومی برای ارزیابی پایداری هستند که می‌توانند در بسیاری از بخش‌ها تأثیرگذار باشند. بنابراین برای تحقیق حاضر ارتباط متقابل آب و غذا با مصرف آب، بهره‌وری آب اندازه‌گیری شد و همچنین، شاخص‌های مصرف انرژی، شاخص بهره‌وری انرژی بیانگر رابطهٔ بین انرژی و غذا هستند. این مطالعه نشان می‌دهد رویکرد همبست بهترین روش است و به کار بردن آن از طریق شاخص همبست آب، انرژی و غذا، یک روش جامع را برای شناسایی الگوی کشت بهینه فراهم می‌کند که مصرف آب و انرژی را کاهش می‌دهد و بازدهی تولید محصول و در نتیجه، بازده خالص کشاورزان را نیز افزایش می‌دهد.

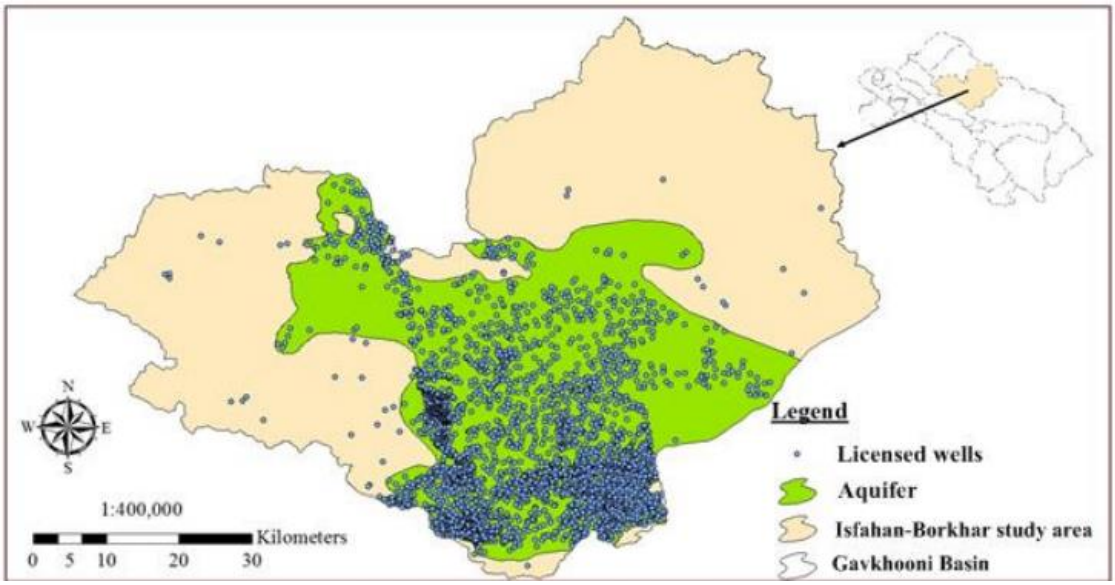


شکل ۱. چارچوب ساختاری همبست آب و غذا و انرژی در زنجیرهٔ تولیدات محصولات کشاورزی

۲. منطقهٔ مورد مطالعه

استان اصفهان با وسعت ۱۰۷ هزار کیلومتر مربع دارای بارندگی متوسط سالانه ۱۶۱/۸ میلی‌متر در سال بوده است که میانگین بارش در استان از متوسط بارش در کشور کمتر است و همچنین، به دلیل خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر بارش در برخی شهرستان‌های استان اصفهان نسبت به میانگین بسیار کاهش داشته است. بنابراین به نظر می‌رسد در این منطقه گریزی از بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی نبوده است. از طرفی با افزایش جمعیت، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی افزایش یافته و این امر منجر شده است که ۶۰ درصد دشت‌های استان اصفهان به وضعیت ممنوعهٔ بحرانی یا ممنوعه برسد. یکی از این دشت‌های ممنوعه دشت برخوار- اصفهان است. دشت برخوار- اصفهان واقع در بخش شمالی شهر اصفهان دارای

اقلیم خشک و بیابانی است. به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی دارای هیچ‌گونه منابع سطحی مطمئنی در گذشته نبوده است. با این‌وجود، کشاورزان این منطقه با حفر چاه و قنات و بهره‌برداری از آن‌ها بخشی از نیاز آب خود را در کشاورزی برطرف می‌کردند. کشاورزی دشت برخوار – اصفهان به دلیل برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی با مشکل‌های جدی کمبود آب روبه‌رو است و به دلیل افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۴۵ به بعد این دشت با بحران مواجه شده و به عنوان دشت ممنوعه معرفی شده است. با این‌حال ممنوعیت اعمال‌شده نیز نتوانسته است در به تعادل رساندن سفرهٔ آبی این دشت کارساز باشد. از این‌رو آمارها بیانگر ادامهٔ روند افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی و حتی افت کیفیت آب‌های زیرزمینی است. بنابراین ضرورت ورود به مرحلهٔ مدیریت جامع منابع آبی به تبع آن منابع انرژی در آینده بیش از پیش نمایان می‌شود [۲۱]. گندم، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه به‌ترتیب بیشترین سطح زیر کشت را در بین محصولات زراعی این منطقه به خود اختصاص داده‌اند.



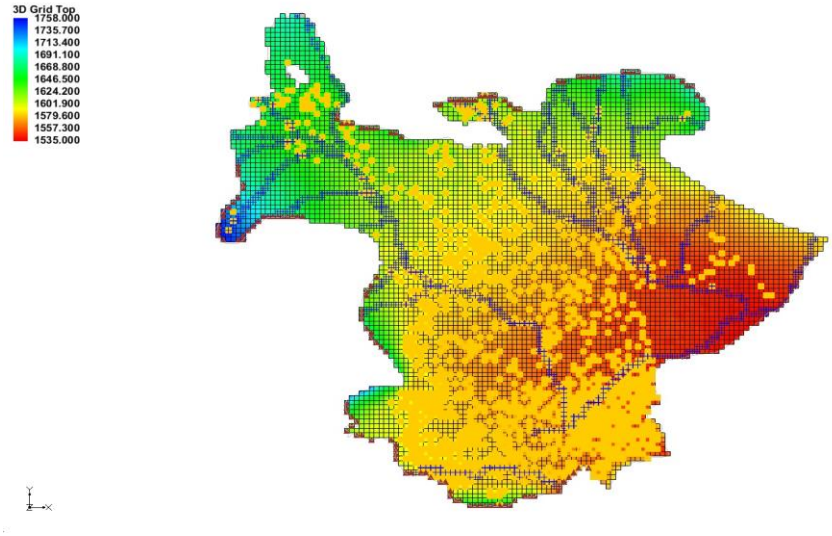
شکل ۲. موقعیت محدودهٔ اصفهان – برخوار در حوضهٔ آبریز گاوخونی و چاه‌های مجاز بهره‌برداری [۲۱]

۳. نحوهٔ مدل‌سازی و اعمال سناریوها

به منظور ارائهٔ الگوی بهینه در یک منطقه، باید توابع هدف، محدودیت‌های مسئله و سناریوهای مختلف بررسی و تعیین شوند. در بررسی الگوی بهینهٔ مدیریتی ابتدا شبیه‌سازی آبخوان دشت برخوار-اصفهان اجرا شد. سپس سناریوهای بهینه‌سازی و مدیریت منابع آب شامل وضعیت کنونی و وضعیت بهینه از طریق برنامه‌ریزی خطی چندهدفی بررسی شد. به منظور شبیه‌سازی منطقهٔ مورد نظر بعد از تعیین نوع آبخوان (آزاد)، داده‌های هدایت الکتریکی، تخلخل مؤثر، ضریب ذخیره، مقدار تغذیه صورت‌گرفته (طبیعی و مصنوعی)، تخلیه (بهره‌برداری از چاه‌ها، زهکشی‌های طبیعی و مصنوعی)، توپوگرافی سطح زمین و توپوگرافی کف آبخوان، تراز سطح ایستابی وارد مدل شد و سپس واسنجی مدل در حالت پایدار و ناپایدار انجام و مدل اجرا شد.

در این تحقیق برای شبیه‌سازی دشت برخوار از کد MODFLOW در بستهٔ نرم‌افزاری GMS استفاده شده است. GMS نرم‌افزار بسیار پیچیده و جامعی برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی است. این نرم‌افزار توسط هزاران نفر در بخش‌های دولتی، بخش‌های خصوصی و سایت‌های بین‌المللی استفاده می‌شود که بیشتر به روش‌های عددی تفاضل محدود و اجزای محدود به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌پردازد. کد MODFLOW که توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا ارائه شده است، کاربردهای گسترده و مقبولیت زیادی نزد هیدروژئولوژیست‌ها دارد. این نرم‌افزار معادلات دیفرانسیل جریان آب‌های زیرزمینی در محیط متخلخل را بر پایهٔ روش‌های تفاضلی محدود حل می‌کند. از جمله ویژگی‌های دیگر MODFLOW می‌توان به ساختار ماژولی آن اشاره

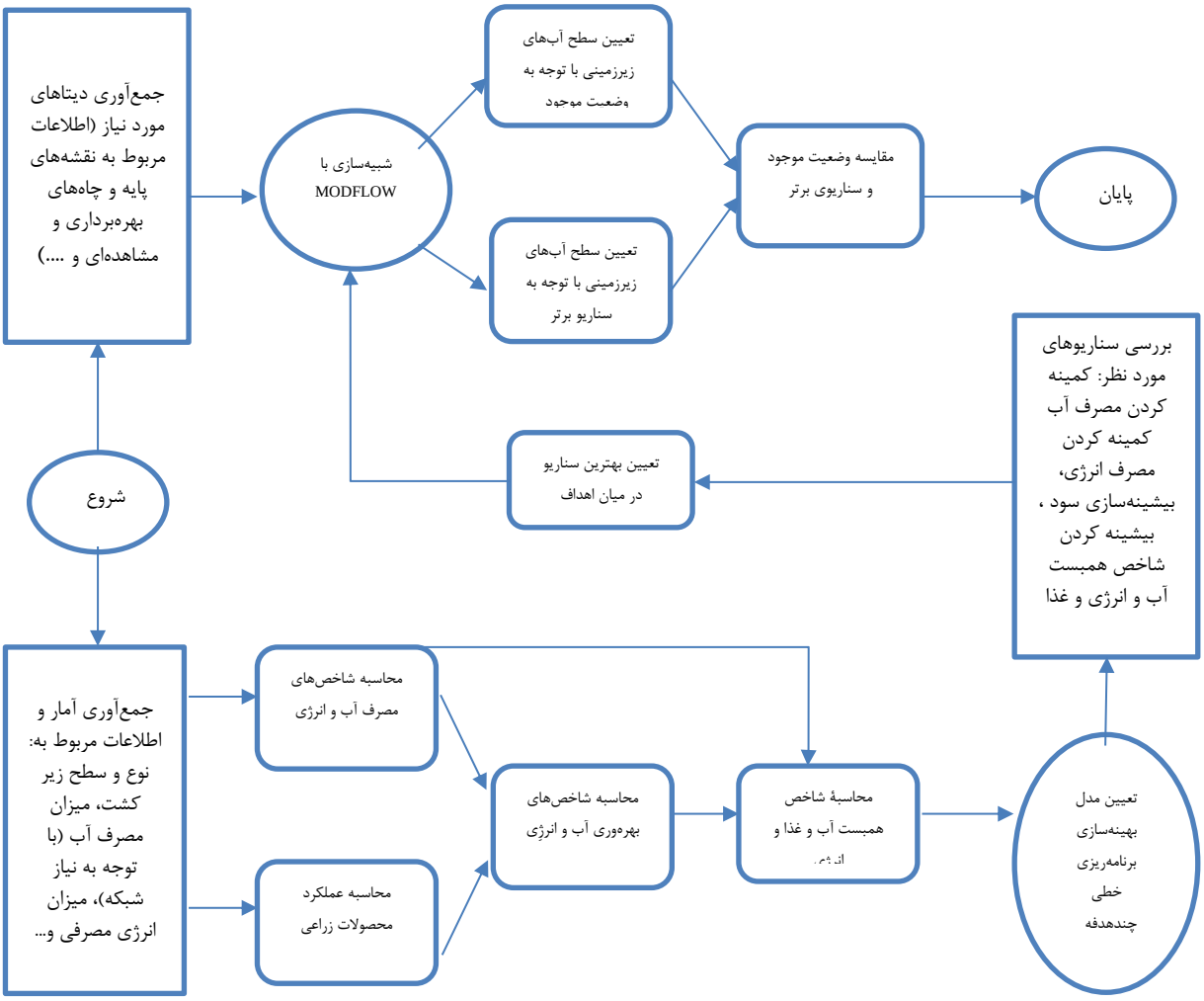
کرد. به این‌ترتیب کـه مـی‌تـوان بـرای فراینـدهای خـاص هیدرولوژیکی ماژول خاصی را فعال یا غیرفعـال کـرد. ایـن دلایـل سـبب شـده MODFLOW از سـوی بسـیاری سازمان‌ها بـه عنـوان نـرم‌افـزار برتـر اسـتفاده شـود [۲۱]. همچنـین بـا توجـه بـه قابلیـت‌هـای نـرم‌افـزار GMS در کالیبراسـیون مـدل‌هـای عـددی، از قابلیـت REGULARIZATION در ایـن نـرم‌افـزار بـرای کالیبراسیون در محدودهٔ مدل‌سازی استفاده شد. با استفاده از این قابلیت، تعدادی نقطهٔ نشانه در محدودهٔ مدل تعریف شده و بر اساس مقادیر منتج از کالیبراسیون دستی، به هر یک از این نقـاط نشـانه یـک مقـدار اولیـه اختصـاص داده می‌شود و در مرحلهٔ بعد نرم‌افزار GMS با درون‌یابی مقادیر بر اساس مقادیر داده‌شده برای نقاط نشانه، مقادیر را بـرای همهٔ سلول‌های مدل محاسبه کـرده و بـا اجـرای مـدل بـا استفاده از این مقادیر، توزیع سطح آب در محدودهٔ مدل را شبیه‌سازی می‌کند.



شکل ۳. ساختار شماتیک مدل MODFLOW دشت برخوار- اصفهان

پس از شبیه‌سازی کمی آبخوان و تعیین سطح آب‌های زیرزمینـی در وضـعیت موجـود ۴ سـناریوی مـدیریتی (کمینه‌سـازی مصـرف آب، کمینـه‌سـازی مصـرف انـرژی، بیشینه‌سازی سـود و بیشـینه‌سـازی همبسـت آب، غـذا و انرژی) ارائه شده است.

بـرای بررسـی سـناریوها ابتـدا بـه جمـع‌آوری آمـار و اطلاعات مربوط به نوع گیاهان و مقدار سطح زیر کشـت و میزان مصرف آب با توجه به نیاز شـبکه) و میـزان مصـرف انرژی و... پرداخته شد. برای تعریف مقدار نیاز شبکه مـورد نظر به صورت سالانه مقدار نیاز هر شبکه با توجه به الگوی کشت و با کمک نرم‌افزار NETWAT محاسبه شد. نرم‌افزار NETWAT که به عنوان سند ملی آب نیز معـروف اسـت جهت برآورد نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی در ایران به کار برده می‌شود. این نرم‌افزار در واقع خروجی و نتیجـهٔ طـرح «نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایـران» اسـت که توسـط وزارت جهـاد کشـاورزی و سـازمان هواشناسـی انجام گرفته است. در واقع در این نرم‌افزار نیـاز آبـی گیـاه حاصل تفریق میان تبخیر و تعرق و باران مؤثر است. سپس با توجه به تقویم زراعـی و نیـاز ماهانـه هـر محصـول نیـاز شبکه طی فصل زراعی در کـل دورهٔ آمـاری در مـدل وارد شـد و سـپس شـاخص‌هـای مصـرف و بهـره‌وری آب، شاخص‌های مصرف و بهره‌وری انرژی و در نهایت شـاخص همبسـت آب، غـذا، انـرژی محاسـبه شـده و بـا بررسـی سناریوهای مطـرح‌شـده سـناریوی بهینـه انتخـاب شـده و شبیه‌سازی وضعیت دشت با سناریوهای مطرح‌شده بهینـه صورت گرفته است و با وضعیت موجود مقایسه شده است. مدل مفهومی پژوهش در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴. مدل مفهومی پژوهش

۴. شاخص‌های محاسبه‌شده

بهره‌وری آب بر اساس مصرف و رویکرد مطالعات، در قالب شاخص‌های مختلفی تعریف و تبیین می‌شود. در دهه‌های اخیر، در زمینهٔ توسعهٔ شاخص‌هایی که فرایندهای متفاوت و همچنین، کارایی سامانه‌های آبی را توصیف کنند، تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای صورت گرفته است. با توجه به اهداف پژوهش شاخص‌های زیر انتخاب شده است [۱۹].

۴. ۱. شاخص میزان آب مصرفی

میزان مصرف آب در هر هکتار محصول c در زمان t با توجه به الگوی کشت و نرم‌افزار Netwat بر حسب مترمکعب بر هکتار به دست آمده است. از آنجا که آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب برای مصارف کشاورزی و شرب در منطقهٔ مورد مطالعه است. بنابراین میزان آب مصرفی بر پایهٔ آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شده است.

۴. ۲. شاخص میزان انرژی مصرفی

در این تحقیق انرژی مصرفی فقط انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب زیرزمینی از چاه به عنوان مهم‌ترین منبع مصرف انرژی مرتبط با آب در نظر گرفته شده است.

$$E_t = A_{c.t} * E_{c.t}$$

E_t : میزان مصرف انرژی $(\frac{kwh}{ha})$

$A_{c.t}$: سطح زیر کشت هر محصول در زمان t (ha)

$E_{c.t}$: میزان انرژی هر محصول در زمان t (kwh)

۳. شاخص بهره‌وری آب

$$W_{p.t} = \frac{Y_{c.t}}{W_{c.t}}$$

$W_{p.t}$: شاخص بهره‌وری آب در زمان t (تن بر مترمکعب)

$Y_{c.t}$: میزان عملکرد گیاه (تن بر هکتار)

$W_{c.t}$: میزان آب مصرفی در هر هکتار برای محصول c در زمان t (مترمکعب بر هکتار)

۴. شاخص بهره‌وری انرژی

$$E_{p.t} = \frac{Y_{c.t}}{E_{c.t}}$$

$E_{p.t}$: شاخص بهره‌وری انرژی در زمان t (تن بر کیلو وات ساعت)

$Y_{c.t}$: میزان عملکرد گیاه (تن بر هکتار)

$E_{c.t}$: میزان انرژی مصرفی در هر هکتار برای محصول c در زمان t (کیلو وات ساعت بر هکتار)

۵. شاخص همبست آب، انرژی،غذا

برای تحلیل و بررسی ارتباط بین عناصر کلیدی دیدگاه همبست و به منظور ارزیابی سناریوها و کمک به تصمیم‌گیری برای مدیریت بهتر و مناسب‌تر نیاز به شاخص ترکیبی و جامع که بتوان هم‌زمان عناصر آب، غذا و انرژی را در آن در نظر گرفت ضروری است. این شاخص به تصمیم‌گیرنده در مورد کارایی و اثربخشی سیاست مدیریتی مورد نظر طبق دیدگاه آب، غذا و انرژی کمک خواهد کرد.

$$WEFI_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i X_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

$WEFI_t$ = شاخص ترکیبی همبست آب، غذا و انرژی

n= تعداد شاخص‌های همبست

W_i = وزن درنظرگرفته‌شده برای هر شاخص

X_i = شاخص نرمال‌شده (شاخص‌های مصرف آب، مصرف انرژی، بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی)

۶. برای نرمال‌سازی شاخص همبست از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$X_i = \frac{Max(x_i) - x_i}{Max(x_i) - Min(x_i)}$$

x_i = مقدار واقعی شاخص مورد نظر

Min_{x_i} وMax_{x_i}= کمترین و بیشترین شاخص مورد نظر

۵. مدل بهینه‌سازی

همان‌طور که بیان شد، در بررسی الگوی بهینهٔ مدیریتی ابتدا شبیه‌سازی منطقهٔ مورد نظر اجرا شد. سپس سناریوهای بهینه‌سازی و مدیریت منابع آب شامل وضعیت کنونی، وضعیت بهینه از طریق برنامه‌ریزی خطی چندهدفه بررسی شد.

از آنجا که توابع هدف در این مطالعه از نوع خطی بوده، برنامه‌ریزی خطی چندهدفی به منظور حل مسئلهٔ بهینه‌سازی انتخاب شده و توابع هدف به صورت زیر تعریف شده است:

۵. ۱. تابع کمینه‌سازی مصرف آب

$$Min(Z_1) = \sum_{i=1}^{n} (W_i A_i)$$

Z_1 = مصرف آب سالانه کل دشت (متر مکعب در سال)

W_i = مربوط به مصرف آب i ام هر یک از اراضی زراعی (مترمکعب بر هکتار در سال)

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

۵. ۲. تابع کمینه‌سازی مصرف انرژی

$$Min(Z_2) = \sum_{i=1}^{n} (E_i A_i)$$

Z_2 = مصرف انرژی سالانهٔ کل دشت (کیلووات ساعت در سال)

E_i = مربوط به مصرف انرژی i ام هر یک از اراضی زراعی (کیلووات ساعت بر هکتار در سال)

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

۵. ۳. تابع بیشینه‌سازی سود

$$Max(Z_3) = \sum_{i=1}^{n} (C_i A_i)$$

Z_3 = درآمد خالص سالانهٔ کل دشت (میلیون ریال در سال)

C_i = سوددهی مربوط به هر نوع کشت (میلیون ریال بر هکتار در سال)

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

۵. ۴. تابع بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی

$$Max(Z_4)=\sum_{i=1}^{n}(WEFI_i \times A_i)$$

Z_3 = شاخص ترکیبی همبست آب، غذا و انرژی

$WEFI_i$ =مربوط به شاخص ترکیبی همبست آب، غذا و انرژی هر محصول

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

۵. ۵. محدودیت‌ها

از آنجا که در دشت برخوار عوامل محدودکنندهٔ تولید، اراضی کشاورزی و آب قابل دسترس هستند، عوامل مساحت زمین کشاورزی و میزان آب قابل تخصیص از منابع آب به عنوان محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شد. بنابراین قیود و محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی به صورت روابط زیر تعریف شده است:

$$\sum_{i=1}^{n}A_i \le A_{total}$$

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

A_{total} =کل مساحت زمین موجود برای الگوی کشت (هکتار)

$$\sum_{i=1}^{n}W_i \times A_i \le W_{total}$$

W_i = مربوط به مصرف آب i ام هر یک از اراضی زراعی (مترمکعب)

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

W_{total} = کل میزان آب در دسترس (مترمکعب)

$$\sum_{i=1}^{n}E_i \times A_i \le E_{total}$$

E_i = مربوط به مصرف انرژی i ام هر یک از اراضی زراعی (کیلووات ساعت بر هکتار)

A_i = مساحت مربوط به اراضی زراعی اختصاص‌یافته به محصول i ام (هکتار)

E_{tatal} = کل انرژی در دسترس (کیلووات ساعت)

یافته‌ها

۱. شاخص‌های مصرف آب و انرژی

نتایج شاخص مصرف آب بیانگر این است که از میان محصولات زراعی یونجه بیشترین مصرف آب (۹۶۳۰ مترمکعب بر هکتار) را در بین محصولات مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. یونجه با توجه به اینکه چندین برداشت در فصل‌های بهار و تابستان دارد نیاز به آب زیادی در مقایسه با دیگر محصول‌ها در منطقه دارد. همچنین محصول جو کمترین مصرف آب آبیاری (۴۲۱۰ متر مکعب بر هکتار) را به خود اختصاص داده است.

انرژی مورد استفاده برای تولید آب (پمپاژ و استخراج آب) در محاسبهٔ مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار یونجه با توجه به مصرف بالای آب مصرف انرژی آن نیز نسبت به سایر محصولات بیشتر است و همچنین جو کمترین میزان مصرف انرژی را دارد که این به دلیل مصرف آب آبیاری کمتر و به تبع آن الکتریسیته کمتر است. خلاصهٔ نتایج شاخص‌های مصرف آب و انرژی در وضعیت موجود در شکل ۵ ارائه شده است.

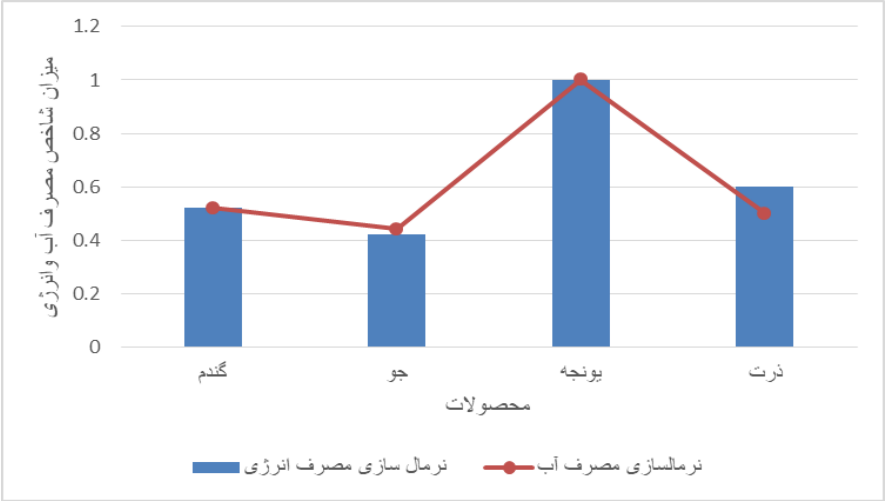
۲. شاخص‌های بهره‌وری آب و انرژی

نتایج شاخص‌های بهره‌وری آب و انرژی در وضعیت موجود در شکل ۵ نشان داده شده است. بهره‌وری بالای آب به این معناست که محصول می‌تواند بیشترین بهره‌وری انرژی را داشته باشد. نتایج نشان می‌دهد در بین محصولات کشت‌شده ذرت علوفه‌ای بالاترین بهره‌وری آب و همچنین، بالاترین بهره‌وری انرژی را دارد، دلیل این امر عملکرد بالای محصول ذرت علوفه ای است (همان‌طور که می‌دانیم بهره‌وری به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب و یا مصرف انرژی است). همچنین کمترین بهره‌وری انرژی و آب محاسبه‌شده برای گندم است. دلیل بهره‌وری پایین در محصول گندم عملکرد پایین آن است.

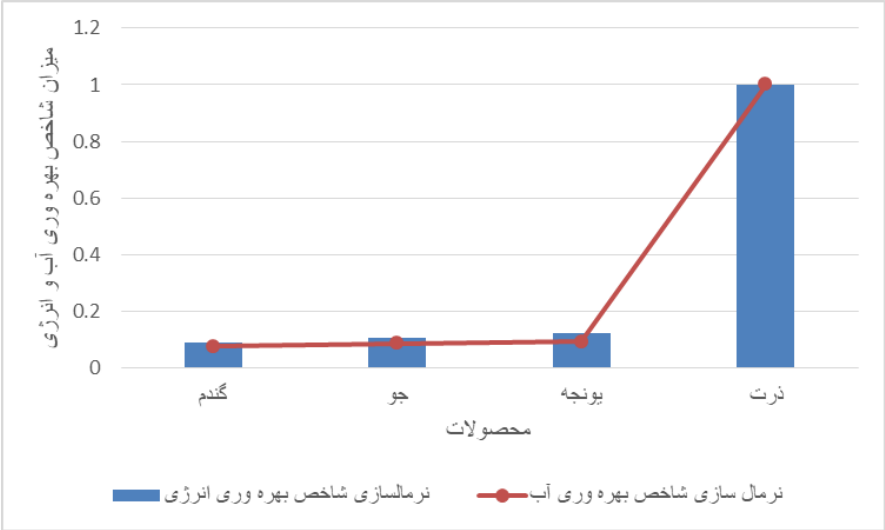
۳. شاخص همبست آب، غذا و انرژی در محصولات مورد مطالعه در وضعیت موجود

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده شاخص‌های استانداردشدهٔ مصرف انرژی و آب، بهره‌وری آب و انرژی محاسبه شده و بر اساس این شاخص‌ها، شاخص همبست آب، غذا و انرژی محصولات اصلی کشاورزی دشت برخوار – اصفهان تعیین شده است. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای برای

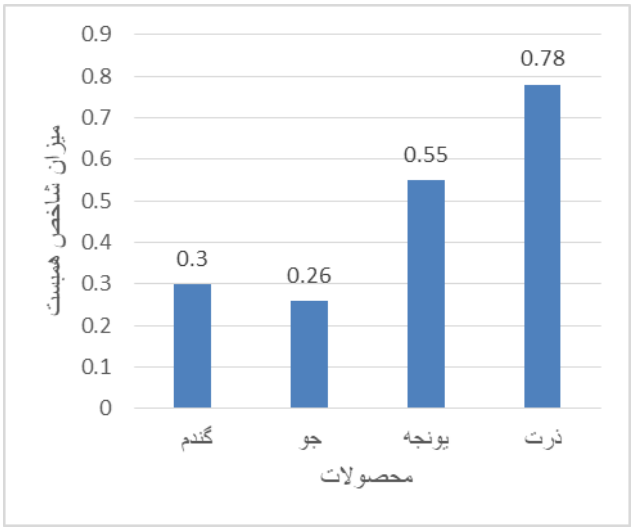
محصولات کشاورزی برای شاخص همبست آب، غذا و انرژی انجام شده است. این مطالعه نشان داد شاخص همبست آب، انرژی و غذای محاسبه‌شده در محصولات دارای امتیازهایی از ۰/۲۶ تا ۰/۷۸ هستند. ذرت علوفه‌ای با امتیاز ۰/۷۸ بالاترین امتیاز و جو با امتیاز ۰/۲۶ کمترین WFEI را در میان محصولات دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در بعضی از محصولات به عنوان نمونه در یونجه با توجه به مصرف بالای آب و انرژی که دارند ولی امتیاز بالایی را به خود اختصاص داده‌اند که این ناشی از بهره‌وری بالا در آب و انرژی است و این موضوع نشان‌دهندهٔ اهمیت همبست آب، انرژی و غذا در مطالعات است. با توجه به شرایط کنونی منطقه و کاهش سطح آب زیرزمینی نیاز است که برنامه‌هایی با نیاز آبی کم در منطقه اجرا شود. برای این منظور به بررسی سناریوهای مطرح‌شده می‌پردازیم. خلاصهٔ نتایج شاخص‌های بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی و شاخص نرمال‌شدهٔ همبست در وضعیت موجود در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۵. شاخص مصرف آب و انرژی



شکل ۶. شاخص بهره‌وری آب و انرژی



شکل ۷. شاخص همبست (همبست آب، غذا و انرژی) نرمال‌شده در وضعیت موجود

۴. بررسی سناریوهای مطرح‌شده در پژوهش

همان‌طور که بیان شد، در این پژوهش چهار سناریو به عنوان اهداف اصلی مطرح شده است: ۱- کمینه‌سازی مصرف آب؛ ۲- کمینه‌سازی مصرف انرژی؛ ۳- بیشینه‌سازی سود؛ ۴- بیشینه‌سازی مصرف آب، غذا و انرژی.

نتایج حاصل از بررسی سناریوهای بالا به صورت جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به این نتایج در حالت بیشینه کردن شاخص همبست علاوه بر پایین بودن آب و انرژی مصرفی نسبت به حال حاضر مقدار سود دریافتی ناشی از تولید و فروش محصولات نسبت به شرایط کنونی افزایش می‌یابد و این حالت در زمانی اتفاق می‌افتد که با اصلاح الگوی کشت محصولات مختلف بیشترین بهره‌وری را داشته باشیم که میزان الگوی کشت اصلاح‌شده هر یک از محصولات در شرایط همبست آب، غذا و انرژی در جدول ۱ آمده است. در سناریوی کمینه‌سازی مصرف آب میزان مصرف آب و انرژی نسبت به حالت موجود کاهش داشته، اما از نظر اقتصادی رشد چشمگیری نداشته است. در حالت کمینه‌سازی مصرف انرژی نیز مصرف آب و انرژی کاهش اما از نظر اقتصادی نسبت به حالت موجود کاهش داشته است، اما در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی علاوه بر کاهش مصرف آب و انرژی نسبت به حالت موجود رشد اقتصادی چشمگیری نیز داشته است. الگوی کاشت پیشنهادی نیز در حالت سناریوی بهینه در جدول ۲ آمده است.

با توجه به جدول ۱ در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی علاوه بر کاهش مصرف آب و برق نسبت به شرایط حاضر و همچنین بقیهٔ سناریوها سود حاصله افزایش چشمگیری داشته است. بنابراین این سناریو به عنوان سناریوی بهینهٔ انتخاب می‌شود. همچنین با توجه به نتایج مدل بهینه‌سازی، الگوی کشت اصلاح‌شده در حالت سناریوی همبست که نسبت به سایر سناریوها و مقایسهٔ آن‌ها به عنوان بهترین سناریو انتخاب شده نیز در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی تحت سناریوهای مختلف در دشت برخوار اصفهان

	حال حاضر	سناریوی ۱: کمینه‌سازی آب	سناریوی ۲: کمینه‌سازی انرژی	سناریوی ۳: بیشینه‌سازی سود	سناریوی ۴: بیشینه‌سازی همبست آب و غذا و انرژی
مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۵۰	۴۵	۴۴	۵۱	۴۶
مصرف انرژی (کیلووات ساعت)	۱۳۱۵۰۳۳۰	۱۱۸۷۲۶۹۶	۱۱۶۳۸۶۵۰	۱۳۶۲۶۷۳۰	۱۱۸۶۷۵۶۳
سود (میلیون ریال)	۶۳۰۱۹۶۶	۶۳۴۳۶۵۳	۵۴۶۱۸۴۶	۶۵۶۸۷۲۲	۸۰۱۵۲۶۴

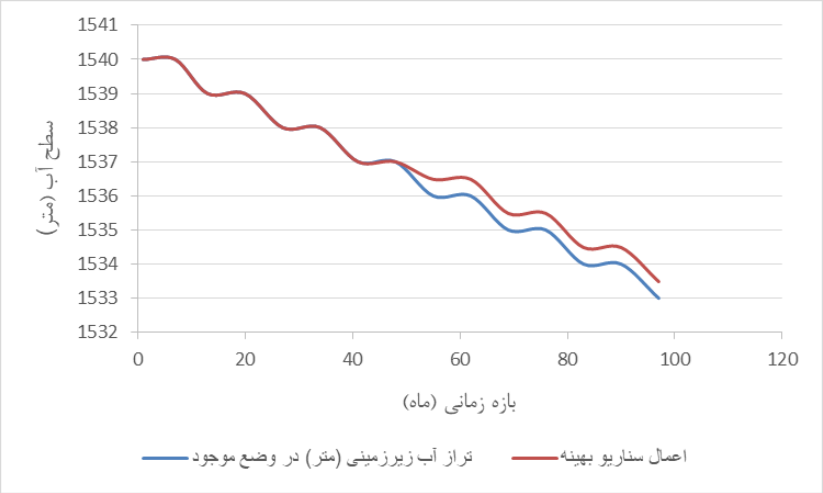
جدول ۲. سطح الگوی اصلاح‌شده در حالت سناریوی بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی

سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه ای
حال حاضر	۳۱۵۰	۲۰۰۰	۹۵۰	۳۵۰۰
سناریوی بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی	۲۸۰۰	۱۸۰۰	۴۰۰	۴۶۰۰

۵. بررسی اثرات اعمال سناریوی بهینه بر سطح تراز آب‌های زیرزمینی منطقه

پس از به دست آوردن بهترین سناریو در حالت بهینه‌سازی که همان سناریوی بیشنیه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی است مقدار سطح آب زیرزمینی را با شرایط کنونی مقایسه کرده و نتایج به صورت هیدروگراف ارائه شده است.

با توجه به هیدروگراف مورد نظر با ادامهٔ روند سناریوی بهینهٔ سطح تراز آب‌های زیرزمینی در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی به میزان ۰/۴۸۷ متر کمتر نسبت به شرایط موجود کاهش خواهد یافت.



شکل ۸. مقایسهٔ سطح تراز آب‌های زیرزمینی در حالت موجود و اعمال سناریوی بهینه

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که بخش کشاورزی به واسطهٔ تأمین مواد غذایی کشور از اهمیت ویژه‌ای در اقتصاد و توسعهٔ کشور برخوردار است، برای تأمین امنیت غذایی پایدار باید اقدامات مناسب توسعه‌ای انجام بگیرد. از طرف دیگر بخش کشاورزی به صورت مستقیم وابسته به منابع آب و مصرف‌کنندهٔ آب و برق است. آب مهم‌ترین عامل در تولید محصولات کشاورزی است و آب‌های زیرزمینی بخش عمده ای از تأمین آب را به عهده دارند. انتقال آب از اعماق زمین به سطح آن نیازمند انرژی است و این انرژی در حال حاضر به صورت عمده از سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود [۲۲].

همان‌طور که بیان شد شاخص WFEI مبنای معتبری برای تصمیم‌گیران جهت تجزیه‌وتحلیل همبست آب، غذا و انرژی در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی است که می‌تواند در سیاست‌های کاربری زمین‌ها و امنیت غذایی استفاده شود [۲] .این تحقیق با هدف اصلی بررسی رویکرد همبست آب، غذا و انرژی و در جهت مدیریت و بهره‌برداری بهینهٔ منابع آب انجام شده و یک شاخص ترکیبی WFEI پیشنهاد شده است که در یک مطالعهٔ موردی (دشت برخوار – اصفهان) صورت گرفته است. ابتدا شاخص‌های مصرف آب و انرژی و بهره‌وری آب و انرژی روی ۴ محصول زراعی اصلی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شاخص‌ها نشان داد یونجه و جو به‌ترتیب حداکثر و حداقل میزان مصرف آب و انرژی را دارند. همچنین بر اساس نتایج شاخص بهره‌وری آب محصول ذرت علوفه‌ای بیشترین مقدار و محصول گندم

کمترین مقدار را دارد و همچنین، بیشترین و کمترین شاخص بهره‌وری انرژی مربوط به ذرت علوفه‌ای و گندم است. ارتقای بهره‌وری نیازمند مدیریتی صحیح است که با توجه به شرایط بهترین را انتخاب و استفاده کند. پس از نرمال‌سازی شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه شاخص همبست آب، غذا و انرژی برای محصولات مورد نظر برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد مقادیر WFEI برای محصولات مورد نظر بین ۰/۲۶ تا ۰/۷۸ متغیر است که ذرت علوفه‌ای بالاترین مقدار و جو کمترین WFEI را در میان محصولات داشته‌اند. با استفاده از این نتایج می‌توان پیشنهاد داد که از سطح زیر کشت محصول جو کاسته شود و به محصول ذرت علوفه‌ای افزوده شود. از طرفی این پژوهش برای افزایش بهره‌وری مصرف آب کشاورزی و مصرف انرژی و افزایش سود اقتصادی و همچنین کاهش افت آب‌های زیرزمینی سناریوهای مدیریتی (کمینه‌سازی مصرف آب، کمینه‌سازی مصرف برق، بیشینه‌سازی سود و بیشینه‌سازی همبست آب و غذا و انرژی) می‌پردازد. بررسی نتایج در شرایط کنونی نشان از بهینه نبودن سطح تخصیص مربوط به محصولات کشاورزی است. به بیان دیگر، شرایط حال حاضر در منطقهٔ دشت برخوار برای کاهش مصرف آب و انرژی و نیز افزایش حداکثر سوددهی کشاورزان مناسب نیست. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بهتر است کشت محصول ذرت علوفه‌ای و افزایش سطح زیر کشت آن نسبت به سایر محصولات بیشتر مورد توجه قرار گیرد و کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مانند گندم و جو از الگوی کشت حذف شوند اما با توجه به اینکه خرید محصولات زراعی مانند گندم و جو از کشاورزان به صورت تضمینی صورت می‌گیرد و نیز این محصولات جزء محصولات استراتژیک طبقه‌بندی می‌شوند نیاز به مدیریتی هوشمند برای تغییر الگوی کشت در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

به طور کلی از مجموعه نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق می‌توان اعلام کرد که اگر چه هر یک از شاخص‌های بهره‌وری به‌تنهایی منعکس‌کنندهٔ اثرات هر یک از سناریوها برای محصولات مختلف هستند، اما با استناد به تنها یک شاخص نمی‌توان در مورد اثربخشی سناریوها بر این محصولات تصمیم قطعی گرفت. لذا روشن است که از شاخص نرمال‌شدهٔ همبست که ارتباط بین عناصر آب، غذا، انرژی را نشان می‌دهد باید استفاده شود، زیرا با توجه به جدول نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی تحت سناریوهای مختلف، در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی علاوه بر اینکه نسبت به شرایط کنونی میزان مصرف آب و انرژی کاهش داشته، میزان سود حاصله نیز از همه سناریوها بیشتر بوده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود با استفاده از شاخص‌های نرمال‌شدهٔ همبست اولویت سناریوها برای گیاهان مختلف از نظر میزان اثربخشی نسبت به کاربرد هر یک از شاخص‌ها به طور جداگانه تغییر کرده است؛ به این معنا که در نظر گرفتن مجموعه شاخص‌ها در انتخاب سناریوهای مناسب تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارد و برای جامع نگری لازم و ضروری است که از شاخص نرمال‌شده استفاده شود.

پس از بررسی سناریوها و انتخاب سناریوی بهینه اطلاعات بهینه‌شده مورد نیاز را دوباره به مدل وارد کرده و میزان سطح آب‌های زیرزمینی را در حالت بهینه با وضعیت موجود مورد ارزیابی قرار داده‌ایم و طبق نتایج به‌دست‌آمده در حالت بیشینه‌سازی همبست آب، غذا و انرژی علاوه بر کاهش مصرف آب و برق و افزایش سود کشاورزان ادامهٔ این روند می‌تواند در درازمدت تأثیر بسزایی در تراز سطح آب‌های زیرزمینی بگذارد. درک همبست WFEI امکان برنامه‌ریزی، توسعه، سیاست‌گذاری، نظارت و ارزیابی اثربخش‌تر را فراهم می‌کند. از این‌رو لازم است با هدف نهادینه‌سازی این دیدگاه کل‌نگر در همهٔ سطح‌ها از سطح‌های محلی، منطقه ای و ملی و برنامه‌های آموزشی مد نظر قرار گیرد [۲۰].

منابع

[1]. Mahdavi M. Applied Hydrology. 1nd ed. Tehran: University of Tehran Press – Publishing Company; 2019. [Persian]

[2]. Kolahzari Moghadam F. Examining the differences in the perspective of water, energy, food nexus and the approach of integrated management of water resources. Resources Management in Coastal Plains. 2019. [Persian]

[3]. Mahdavi Moghadam M. water – energy- food nexuse in integrated management of warer resources. KHwaja Nasiruddin Tusi University of Tehran. 2014. [Persian]

[4]. Garcia D, You F. The water- energy – food nexuse and prosses systems engineering. A new focus. Computers & Chemical Engineering. 2016.

[5]. Mark Howells S.H, Manuel Welsch, Morgan Bazilian, Rebecka Segerström, Thomas Alfstad, Dolf Gielen, et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. Nature Clhmate Change. 2013; 3: 621-626.

[6] Rasul G. Food, water and energy security in south Asia: a nexus perspective from the Hinda Kush Himalayan region. Environ, Sci, Policy. 2014; 35-48.

[7]. Daher B.T, Mohtar R.H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. Water International. 2015; 748-771.

[8]. Howarth C, Monasterolo I. Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: The added value of interdisciplinary approaches. Environmental Science & Policy. 2016; 53-60.

[9]. Kent Kovacs M.P.Y.X.G.W. Tradeoffs among multiple ecosystem services and economic returns from groundwater depletion on a farm landscape. Econpapers. 2016; 1-45.

[10]. Al-Ansari T, Development of the Energy, Water and Food Nexus Systems Mode, in Department of Earth Science and Engineering. Imperial College London. 2016.

[11]. Zhang X, Vesselinov V. Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus, Advances in Water Resources. 2017; 1-10.

[12]. Martinez-Hernandez E, Leachb M, Yangc A. Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym. Applied Energy.2017; 1009-1021.

[13]. Ximing C, Kevin W, Majid SJ, Landon M. Understanding and managing the food-energy-water nexus: opportunities for water resources research. Advances in Water Resources.2018; 259-273.

[14]. Fernandez G. Water Energy Nexus in Irrigated Areas: Lessons from Real Case Studies. University of Cordoba, Cordoba, Spain. 2018.

[15]. wicaksono A, Kang D. Nationwide simulation of water, energy and food nexus: case study in South korea and Indonesia. Journal of Hydro-Environment Research.2019; 70-87.

[16]. Nhama L, Mabhaudhi T, et al. An integrative analytical model for the water – energy – food nexus: case study in South Africa. Environmental Science and Policy.2020; 15-24.

[17]. Li, Ma. Evaluating the environ mental impacts of the water - energy- food nexuse with a life-cycle approach. Resour, Conserv, Recycle. 2020.

[18]. Eslami Z, Janatrostami S, Ashrafzadeh A, Pourmohammad Y. Water, Energy, Food Nexus Approach Impact on Integrated Water Resources Management in Sefid – Rud Irrigation and Drainage Network. Journal of Water and Soil. 2020; 11-25. [Persian]

[19]. Chamanpira Gh, Zehtabian Gh, Ahmadi H, Malekian A. Optimal management pattern for water resources utilization, case study: Alashtar Plain. Journal of Water Engineering and Management. 2015; 274-285. [Persian]

[20]. Mafakheri S, Veisi H, KHoshbakht K, Nazari M.R. Evaluation of water – energy- food nexuse in agricultural products of Dehgolan County.Environmental Sciences. 2022; 287-306. [Persian]

[21]. Niksokhan M.H , Kamali A. Development of a Model for Calculation of Sustainability Index of Groundwater Resources. 2017; 1071-1087. [Persian]

[22]. Delavar M, Morid S, Moghadasi M. Developing an Optimization – Simulation Risk Based Water Allocation Model using Conditional Value at RISK (Cvar), Case Stady: Zayandehrood Irrigation Networks. Iran – Water Resources Research. 2014; 1-14. [Persian]