

مدل‌سازی اندرکنش منابع آب و ارزش افزوده دشت بیرجند

حدیقه محمدی^۱، ابوالفضل اکبرپور^{۲*} و علی باقری^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۴	
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳	
واژگان کلیدی: رویکرد سیستمی، آب‌های زیرزمینی، دشت بیرجند، فعالیت‌های اقتصادی، Vensim.	استفاده فزاینده از منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و رشد روزافزون اقتصاد، به‌ویژه در بخش کشاورزی، منجر به تشدید روند نزولی سطح آبخوان‌ها شده است. بنابراین به یک چارچوب منطقی و نظام‌مند برای تصمیم‌گیری اصولی برای تخصیص منابع آب محدود، به نحوی که به طور مؤثر و مطلوب، نیازهای جامعه را تأمین کرده، رشد اقتصادی را موجب شود، احتیاج است. در این مقاله با استفاده از یک مدل مفهومی، ارتباط بین فعالیت‌های اقتصادی موجود در منطقه و منابع آب دشت بیرجند با استفاده از رویکرد سیستمی، شناسایی و سپس در محیط نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی شد. سپس برای مدل مورد نظر، بسته‌های سیاستی متفاوت تحت شش سناریوی مختلف در نظر گرفته شد و میزان حجم منابع آب و میزان ارزش افزوده در گزینه‌های مختلف مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با ادامه روند موجود در منطقه، وضعیت بخش اقتصاد (میزان ارزش افزوده) و منابع آب زیرزمینی، بدتر خواهد شد. همچنین اگر قرار باشد حجم منابع آب تغییر نکند و ارزش افزوده منطقه زیاده‌تر شود، باید ابتدا روی فعالیت‌های اقتصادی غیر آب‌بر، اعم از معادن و صنایع غیر آب‌بر سرمایه‌گذاری بیشتری شود، البته این در صورتی تحقق خواهد یافت که منابع اولیه این فعالیت‌های اقتصادی، موجود باشند.

۱- مقدمه

در نگرش جدید جهانی، آب، کالایی اجتماعی-اقتصادی و به‌عنوان نیاز اولیه انسان محسوب می‌شود. آب یکی از منابع تجدیدشونده به شمار می‌رود، اما مقدار آن محدود است. با توجه به رشد جمعیت، گسترش صنعت، بالا رفتن سطح بهداشت و رفاه عمومی، سرانه منابع تجدیدشونده رو به کاهش است. رشد سریع جمعیت جهان و توسعه کشاورزی در دهه‌های گذشته و جواب‌گو نبودن میزان آب‌های سطحی به نیازهای بشر، منجر به افزایش روند پمپاژ آب‌های زیرزمینی و در نتیجه، افت سطح آب زیرزمینی و تهی شدن سفره‌ها شده است. تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای آن، از جمله افزایش هزینه‌های استحصال آب،

نشست زمین و کاهش کیفیت آب، امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده و در مناطق مختلف دنیا از جمله آمریکا، ایتالیا، ژاپن، انگلستان، چین، تایلند، تایوان و مکزیک مشاهده می‌شود [۱].

آب زیرزمینی بعد از یخچال‌ها، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین محسوب می‌شود. آب زیرزمینی فقط شش درصد آب‌های موجود کره زمین را تشکیل می‌دهد، حال آنکه این حجم بسیار ناچیز ۰.۹۸٪ آب شیرین قابل استفاده بشر را تأمین می‌کند [۲].

بنا بر اطلاعات متعدد، آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب در اقصی نقاط جهان به حساب می‌آیند. این منابع با حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب (۲۲ درصد

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Akbarpour@birjand.ac.ir

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار، گروه عمران، دانشگاه بیرجند

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

سیستم می‌داند. خواص سیستم از جمع خواص اجزای آن به دست نمی‌آید، بلکه حاصل مطالعه اجزا و روابط آنهاست. در واقع، سیستم برابر با جمع اجزای خود نیست و باید به‌عنوان یک کل مدنظر قرار گیرد [۹]. در تفکر سیستمی با استفاده از ابزارها و فرایندهای معرفی‌شده، درک رفتار سیستم‌های پیچیده، ممکن و به تبع آن در تصمیم‌گیری‌ها، سیاست‌های مناسب اتخاذ می‌شود تا بتوان تغییرات را در مسیر صحیح هدایت کرد. البته درک رفتار سیستم‌های پیچیده هنگامی که خود نیز جزئی از آن سیستم هستیم، کاری دشوار است [۹].

نرم‌افزار Vensim یک نرم‌افزار شبیه‌سازی و محیط مدل‌سازی گرافیکی شیء‌گرا است. در این نرم‌افزار نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش اولر یا رانگ‌کوتا حل می‌شوند، ساخته می‌شود. روش مدل‌سازی در این نرم‌افزار به این صورت است که پیشرفت از کل به جزء صورت می‌گیرد؛ به طوری که به‌صورت تدریجی توابع و اجزای متصل‌شده بیشتر می‌شود تا یک مدل کامل‌شده برای اجرا آماده شود [۱۰].

از جمله کاربردهای پویایی سیستم‌ها در آب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: پالمرو و همکاران [۱۱]، وینز و همکاران [۱۲] در حوضه رودخانه، کیس و پالمرو [۱۳] در مطالعات خشک‌سالی و فلتچر [۸] در تحلیل تصمیم در مدیریت کم‌آبی. همچنین کاربرد نرم‌افزار Vensim در پروژه‌های بسیاری مورد اثبات قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مدل‌سازی و برنامه‌ریزی حوضه-رودخانه منابع آبی [۱۴] و بهره‌برداری از مخازن [۱۵] اشاره کرد.

در ایران نیز تا کنون مطالعات زیادی در زمینه پویایی سیستم‌ها انجام شده است که از این میان می‌توان به مطالعات جلالی و افشار [۱۶]، حسینی و باقری [۱۷]، شیخ‌خوزانی و همکاران [۱۸]، نوذری و همکاران [۱۹]، حسن‌زاده و همکاران [۲۰]، جلالی و افضلی [۲۱]، شریفی و تجریشی [۲۲]، حاتم و همکاران [۲۳]، سمائی و همکاران [۲۴]، ملاحسینی و همکاران [۲۵]، صلوی‌تبار و همکاران [۲۶]، محمودی و همکاران [۲۷] و تربتی و همکاران [۲۸] اشاره کرد.

همچنین محمدی و همکاران [۲۹] در تحقیق خود از روش پویایی سیستم و مدل Vensim بهره گرفتند.

آب‌های شیرین جهان) حدود ۹۸ درصد آب شیرین مصرفی جهان را تأمین می‌کند [۳].

آب زیرزمینی از یک سو به علت شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بالاتر در تأمین آب، به‌عنوان یک منبع قابل اتکا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده، از سوی دیگر، با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین، پدیده‌ای مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی و تنوع اکولوژیک به شمار می‌آید [۴].

کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یکی از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود [۵].

به طور کلی، قسمت اعظم این کشور، خشک و کم‌آب است و آب مورد نیاز روستاها، صنایع و شهرها از منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. حتی در مناطقی که بارندگی زیاد است و منابع آب سطحی وجود دارد، برای جبران کمبود آب، از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در حال حاضر، در کشور به دلیل برداشت بیش از حد مجاز آب از سفره‌های زیرزمینی، بسیاری از قنات‌ها خشک یا در حال نابودی است. منابع آب زیرزمینی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه به‌شدت رو به کاهش است. کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یک سو و فعالیت‌های انسان از سوی دیگر، با گذشت زمان، موجب کاهش کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی و تخریب اراضی می‌شود [۶].

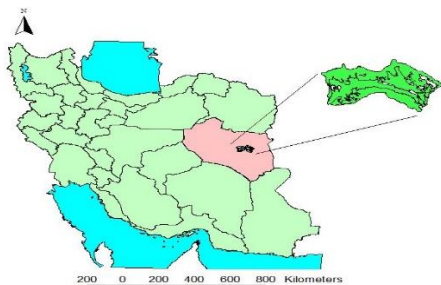
پویایی سیستم^۱ یک روش شبیه‌سازی بازخورد شیء‌گرا^۲ بوده که در حیطه مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب، در حال رشد و همگانی شدن است. روش پویایی سیستم، به‌عنوان یک رویکرد مدل‌سازی، تاریخچه‌ای طولانی داشته، منشأ آن در کار فرستر [۷] است. وی این رویکرد را برای درک مبانی استراتژیک در سیستم‌های پویای پیچیده ایجاد کرد. مدل‌های پویایی سیستم با بینش فرایندهای بازخورد، کاربران سیستم را به فهم بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها در طول زمان نایل می‌سازد. محدوده‌های کاربردی پویایی سیستم، بسیار وسیع است و به‌خصوص بر کاربردهای آن در مسائل اجتماعی و اقتصادی تأکید بسیار می‌شود [۸]. مفاهیم نظری پویایی سیستم بر اساس اصل تفکر سیستمی^۳ است که دنیا را متشکل از کل‌هایی به نام

³.System Thinking

¹.System Dynamics

².Feedback object-oriented

روش، روشن کردن ساختار درونی سیستم تحت مطالعه و دیدن چگونگی ارتباط اجزای مختلف از سیستم است. در سیستم پویا رابطه بین ساختار و رفتار، اساس مفهوم بازخورد اطلاعات و کنترل را تشکیل می‌دهد [۳۴].



شکل ۲- موقعیت کلی دشت بیرجند (بدون مقیاس)

سیستم منابع آب، به دلیل طبیعت پیچیده اجزا و دینامیک اندرکنش‌های آن‌ها به‌عنوان یک سیستم زنده و کاملاً پویا مطرح است [۳۴]. طبق گفته سیمونویچ [۳۵] مسائل پیچیده برنامه‌ریزی منابع آب، بسیار به تفکر سیستمی بستگی دارد، چیزی که به‌عنوان توانایی گسترش درک از طریق به کار گرفتن روش‌های مدل فکری ساخت، مقایسه، تجزیه و تحلیل از طریق استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری STELLA، DYNAMO، POWERSIM و VENSIM تعریف شده است. توسعه یک حوضه و منطقه، فرایندی سیستمیک و البته مبتنی بر استراتژی‌های اتخاذی از جانب مدیران آن منطقه است. از این رو در این مقاله از رویکرد سیستمی و نرم‌افزار VENSIM برای تبیین سیستم منابع آب و اقتصاد منطقه استفاده شده است.

۲-۱- مدل مفهومی

برای ایجاد مدل دینامیک و تبیین مراحل مدل همچون مدل‌سازی زیرسیستم‌ها استفاده از مدل مفهومی جهت ارزیابی سیستم محدوده مطالعاتی دشت بیرجند الزامی است؛ زیرا ایجاد مدل مفهومی، قابلیت‌های زیر را به ما می‌دهد [۳۶]:

- فهم موقعیت و ایجاد تصویری از سیستم
- فهم ساختار و مکانیزم‌های کلی فعال در سیستم
- تشخیص و بیان نیاز اطلاعاتی

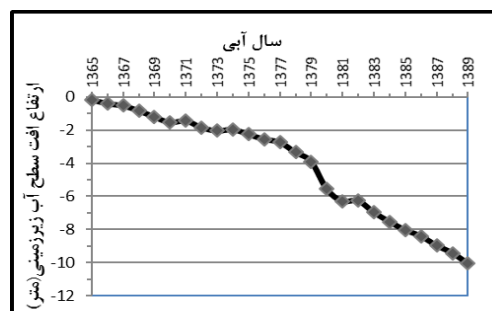
به بیانی دیگر، مدل‌سازی، مبتنی بر مکانیزم‌ها و ساختارهای تبیین شده صورت می‌پذیرد. در این راستا مدل مفهومی دشت بیرجند مطابق با شکل (۳) است. همچنان که نشان داده شده، فعالیت‌های اقتصادی موجود در منطقه به فعالیت‌های اقتصادی آب‌بر و غیر آب‌بر تقسیم

در نتیجه، با توجه به پیش‌بینی‌های انجام‌شده راجع به تغییر اقلیم و خشک‌سالی منطقه دشت بیرجند، پایین رفتن روزافزون سطح آب زیرزمینی در منطقه و از طرفی رشد روزافزون اقتصاد در منطقه، نگرانی درباره خروج روند توسعه منطقه از الگوی توسعه پایدار، تشدید شده است [۳۰]. به عبارتی دیگر، رشد اقتصادی باید مؤثر بر درآمد کشاورزان باشد تا صرفه‌جویی واقعی از طریق دریافت قیمت واقعی آب صورت گیرد.

در مقاله حاضر با به‌کارگیری روش تفکر سیستمی، روابط بین فعالیت اقتصادی و منابع آبی موجود در دشت بیرجند در نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی و سپس با تعریف سناریوهای مختلف برای مدل، به مقایسه حجم منابع آب و میزان ارزش افزوده در گزینه‌های مختلف پرداخته شد.

۲- مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دشت بیرجند که یکی از زیرحوضه‌های کویر لوت محسوب می‌شود، به‌عنوان مهم‌ترین دشت خراسان جنوبی از نظر تمرکز جمعیت، موقعیت شهرنشینی، تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و نظامی، با جمعیتی حدود ۲۱۰۰۰۰ نفر، ۳۳ درصد از جمعیت خراسان جنوبی را در خود جای داده است. این منطقه از لحاظ جغرافیایی دارای موقعیتی ویژه و استراتژیک است و همین یکی از دلایلی است که باعث شده تا شهر بیرجند به‌عنوان مرکز استان خراسان جنوبی انتخاب شود. این امر موجب رشد و توسعه محدوده مطالعاتی شده [۳۱] و منجر به استفاده فزاینده از منابع آب‌های زیرزمینی برای تأمین تقاضا و در نتیجه، تشدید روند نزولی سطح آبخوان گردیده است (شکل ۱).



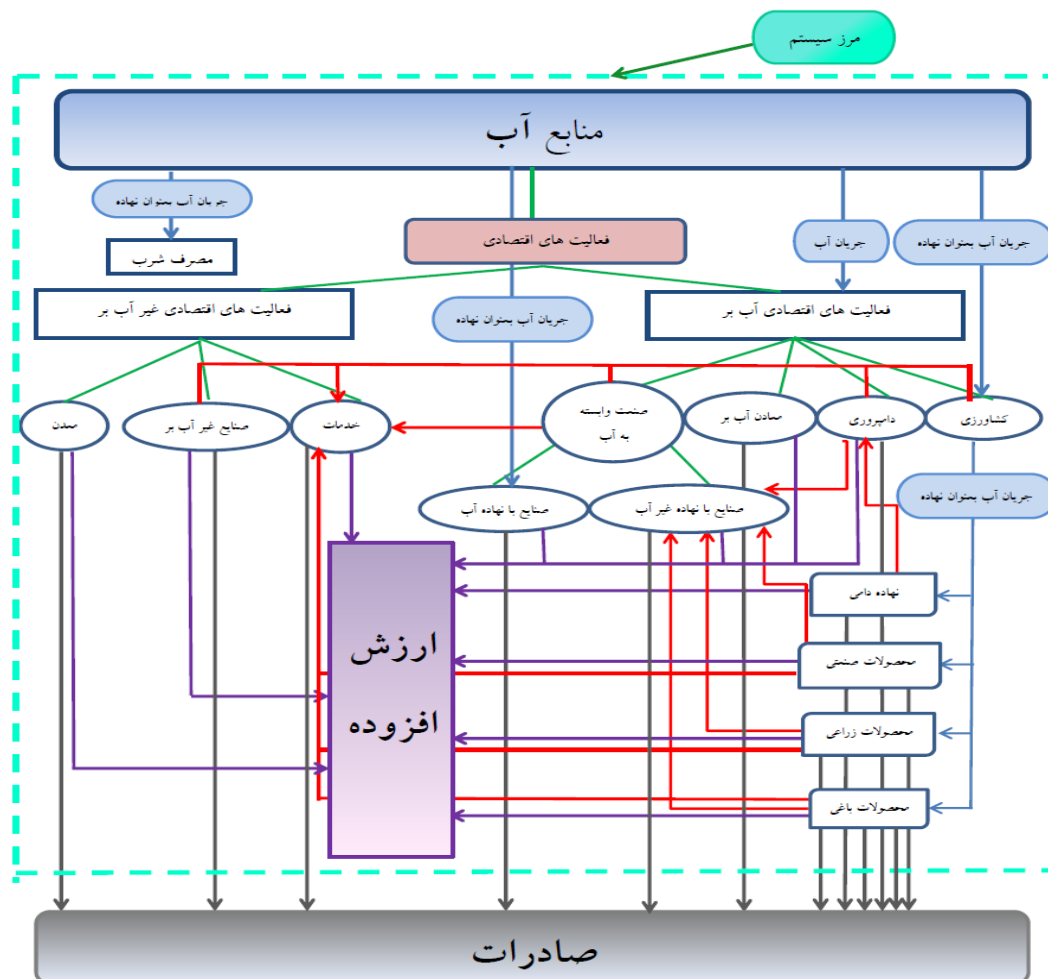
شکل ۱- هیدروگراف آب زیرزمینی دشت بیرجند [۳۲]

بهترین روش برای بررسی مسائل پیچیده، استفاده از روش سیستمی است. از مشخصه‌های این روش، آن است که هیچ مسئله‌ای نمی‌تواند به‌صورت مجزا بررسی و به‌عنوان قسمتی از یک مفهوم کلی دیده شود [۳۳]. مهم‌ترین ویژگی این

استفاده می‌کنند. محصولات کشاورزی که سبب ایجاد ارزش افزوده می‌شوند، به محصولات باغی، محصولات زراعی، محصولات صنعتی و محصولات تغذیه دام یا نهاده دام تقسیم شده‌اند. این تقسیم‌بندی از این رو انجام شده که هریک از این محصولات، زنجیره اقتصادی جداگانه‌ای در منطقه ایجاد می‌کنند که در ادامه توضیح داده می‌شود.

شده است. فعالیت‌های اقتصادی آب‌بر، هم فعالیت‌های اقتصادی با نهاده مستقیم آب و هم فعالیت‌های اقتصادی با نهاده غیرمستقیم آب (فعالیت‌هایی که به‌طور مستقیم از آب استفاده نمی‌کنند) را شامل می‌شود. فعالیت‌های اقتصادی آب‌بر عبارت‌اند از:

- کشاورزی: فعالیت‌های کشاورزی به‌طور مستقیم از آب



شکل ۳- طراحی مدل مفهومی دشت بیرجند

فلش آبی: جریان آب مستقیم به نهاده؛ فلش بنفش: جریان ارزش افزوده؛ فلش نارنجی: جریان کالا به خارج از منطقه

فعالیت‌های اقتصادی با نهاده مستقیم آب است؛ زیرا به‌طور مستقیم از آب استفاده می‌کند.

- صنایع وابسته به آب: این بخش از فعالیت‌های اقتصادی، خود به دو بخش صنایع با نهاده مستقیم آب و صنایع با نهاده غیرمستقیم آب تقسیم می‌شوند. همان‌طور که در شکل (۳) نیز با فلش‌های مشکی جریان کالا نشان داده شده است، مواد اولیه صنایع با نهاده غیرمستقیم آب از محصولات کشاورزی و همچنین محصولات حاصل از

- دامپروری: این بخش از اقتصاد، فعالیت اقتصادی با نهاده غیرمستقیم آب محسوب می‌شود؛ زیرا ماده اولیه آن‌ها محصولات نهاده دامی است که به‌عنوان علوفه و دانه دام و طیور استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص شده، این ارتباط با فلش رنگ مشکی که بیانگر جریان کالا است، از محصولات نهاده دامی به دامپروری نشان داده شده است.

- معادن آب‌بر: فعالیت‌های اقتصادی معادن آب‌بر از نوع

افزوده حاصل از آن، در منطقه جمع می‌شود و درون مرز سیستم است.

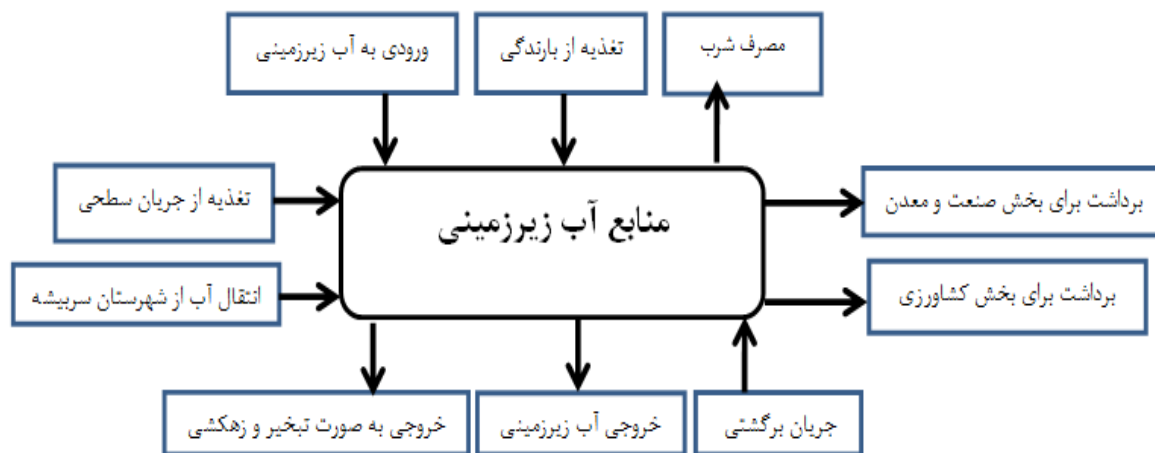
زیرسیستم های موجود در این سیستم عبارت‌اند از: زیرسیستم منابع آب زیرزمینی (منابع آب سطحی در دشت ناچیز است) و زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی.

۲-۲- توسعه مدل

در این بخش فرایند توسعه مدل کمی منابع آب دشت بیرجند مبتنی بر مدل مفهومی، ارائه می‌شود. در نهایت، مدل توسعه یافته مطابق با شکل (۹) است.

۲-۲-۱- مدل سازی زیرسیستم منابع آب

مدل سازی زیرسیستم منابع آب دشت بیرجند مبتنی بر «دینامیک ناشی از تغییرات منابع آب موجود قابل بهره‌برداری» برای تأمین نیازهای آبی از آب‌های زیرزمینی است. عناصر مربوط به زیرسیستم منابع آب، همان عناصر مؤثر در بیان آبی است. بر این اساس، مواردی که در این پژوهش برای بیان در مدل در نظر گرفته شده، به طور شماتیک در شکل (۴) ارائه گردیده است.



شکل ۴- طرح مفهومی از اجزای معادله بیان دشت بیرجند

water - based industries and mines

در ادامه این بخش، فرایند مدل سازی عوامل تغذیه و خروجی از آبخوان (عوامل رابطه ۱) تشریح می‌شود.

۲-۲-۱-۱- مدل سازی متغیرهای تغذیه آبخوان دشت

بیرجند

متغیرهای تغذیه آبخوان دشت بیرجند عبارت‌اند از:

۱. Rainfall recharge، میزان نفوذ بارش سالانه

به آبخوان دشت؛

۲. recharge from surface flow، میزان نفوذ

بخش دامپروری تأمین می‌شود.

فعالیت‌های اقتصادی غیر آب‌بر شامل معادن غیر آب‌بر،

صنایع غیر آب‌بر و خدمات است.

محصولاتی که به طور مستقیم در اختیار مصرف کننده قرار بگیرد به عنوان خدمات در این پژوهش در نظر گرفته شده است.

از آنجایی که از تمام این فعالیت‌ها ارزش افزوده تولید می‌شود، همه فعالیت‌ها به بخش ارزش افزوده در شکل (۳) توسط فلش‌های خط چین مشکی رنگ که نشان دهنده جریان ارزش افزوده است، مربوط شده‌اند.

همچنین همه محصولات فعالیت‌های اقتصادی در حالت کلی امکان صادر شدن از محدوده مطالعاتی را دارا می‌باشد بنابراین تمامی فعالیت‌ها به قسمت صادرات توسط فلش‌های طوسی رنگ که نشان دهنده صادرات کالا می‌باشد، مربوط شده‌اند.

مرز سیستم، محدوده مطالعاتی دشت بیرجند است. بنابراین، صادرات کالا خارج از مرز قرار می‌گیرد، ولی ارزش

به منظور مدل سازی بیان آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی، از رابطه ۱ که معادله کلی بیان آب زیرزمینی است، استفاده شد.

(۱)

Groundwater resources = groundwater inflow + Rainfall recharge + Return flow recharge + recharge from surface flow + water transfer from Sarbisheh - groundwater outflow - Water discharge - livestock products water use - garden products water use - industrial water use - crops water use - drinking use - water use of

در نتیجه، حجم جریان ورودی با توجه به مقاطع جبهه‌های ورودی برابر با ۵۵/۶ میلیون مترمکعب است [۳۹ و ۴۰].

۵. میزان آب برگشتی به آبخوان دشت بیرجند: میزان آب برگشتی، به حجم تخصیص‌یافته سالانه به مصارف مختلف بستگی دارد. مقدار این متغیر، از مجموع جریان‌های برگشتی فعالیت‌های مختلف به دست می‌آید (رابطه ۴) [۴۱] که هر کدام از جریان‌های برگشتی از طریق رابطه ۵ به دست می‌آید. ضرایب آب برگشتی هر یک از فعالیت‌های اقتصادی در دشت بیرجند در جدول ۱ نشان داده شده است [۴۱].

(۴)

$$\text{Return flow recharge} = \text{Agricultural return flow} + \text{Return flow from water-based industries} + \text{Return flow from water-based mines} + \text{returned water from drinking use}$$

آب برگشتی از هر بخش = آب تخصیص‌یافته به هر بخش * ضریب آب برگشتی از هر بخش در دشت بیرجند

(۵)

جدول ۱- مقادیر ضریب آب برگشتی فعالیت‌های مختلف در

دشت بیرجند [۴۱]

کشاورزی	معدن*	صنعت	شرب	فعالیت
۰/۲	۰/۸۵	۰/۷	۰/۸	ضریب آب برگشتی

* ضریب آب برگشتی بخش معادن از طریق مصاحبه با کارشناسان مربوط به‌دست آمده است.

۵. میزان انتقال آب از دشت سربیشه: از سال ۱۳۸۶ برای مصرف شرب جمعیت منطقه مورد مطالعه، سالانه به میزان ۵ میلیون مترمکعب انتقال آب از منطقه سربیشه وجود دارد [۳۲].

(۶)

$$\text{water transfer from Sarbisheh} = \text{lookup water transfer from sarbisheh (Time)}$$

۲-۱-۲-۲- مدل‌سازی متغیرهای تخلیه آبخوان دشت بیرجند

متغیرهای تخلیه آب زیرزمینی عبارت‌اند از:

۱. Water discharge، زهکشی و تبخیر و تعرق؛
۲. groundwater outflow، حجم آب زیرزمینی خروجی؛

رواناب سطحی سالانه به آبخوان دشت؛

۳. groundwater inflow، میزان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان دشت؛

۴. Return flow recharge، میزان آب برگشتی به آبخوان از برداشت سالانه در دشت؛

۵. water transfer from Sarbisheh، میزان انتقال آب از دشت سربیشه.

الف. میزان نفوذ بارش سالانه در آبخوان دشت بیرجند: بر اساس مطالعات انجام‌شده در بخش منابع آب دشت بیرجند، ضریب نفوذ بارش سالیانه به آبخوان دشت بیرجند، حدود ۱۵ درصد است. با توجه به وسعت ۳۰۷ کیلومترمربعی دشت بیرجند و بر اساس سری زمانی شش‌ساله بارش [۳۷]، حجم نفوذ سالانه به آبخوان دشت بیرجند مطابق با رابطه ۲ تولید می‌شود.

$$\text{Rainfall recharge} = \text{Rainfall infiltration} * \text{Rainfall}$$

(۲)

در این رابطه، Rainfall recharge حجم آب نفوذی از بارش سالیانه به آبخوان دشت، Rainfall infiltration ضریب نفوذ از بارندگی و Rainfall میزان بارندگی برحسب مترمکعب است.

ب. میزان نفوذ رواناب سطحی سالانه به آبخوان دشت بیرجند: برای برآورد میزان نفوذ جریان‌های سطحی، لازم است حجم جریان سطحی ورودی به محدوده بیلان محاسبه شده، سپس با استفاده از اطلاعات دانه‌بندی خاک، رژیم آبدهی، موقعیت منبع آب سطحی و ارتباط بین منابع آب سطحی و زیرزمینی حجمی از این جریان به‌عنوان نفوذ به آبخوان در نظر گرفته شود. در این محدوده با توجه به اطلاعات مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب [۳۸]، نفوذ از جریان سطحی ۴/۸۷۸ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است.

$$\text{Recharge from surface flow} = 4878000\text{m}^3/\text{year}$$

(۳)

ج. میزان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان: میزان آب زیرزمینی که از جبهه‌های ورودی، دشت را تغذیه می‌کنند، با توجه به طول هر کدام از جبهه‌های ورودی، ضریب قابلیت انتقال در مقاطع مختلف و همچنین شیب هیدرولیکی در هر یک از مقاطع، بر اساس قانون دارسی محاسبه می‌شود.

آب صنعت و معدن از آب قابل دسترس، از میزان نسبت آب مورد نیاز صنعت و معدن از آب قابل دسترس و میزان کنترلی که برای مصرف آب این بخش در نظر گرفته، طبق رابطه ۹ استفاده شده است.

(۹)

water use of water-based industries and mines = MIN(control for industrial and mineral water use * available water, ratio of industrial and mineral water need to the available water * available water)

نسبت آب مورد نیاز صنایع و معادن، به آب قابل دسترس با استفاده از مصاحبه از صنایع و معادن منتخب آب بر در محدوده مطالعاتی به دست می‌آید و آب قابل دسترس با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

(۱۰)

available water = Groundwater resources - drinking use - groundwater outflow - Water discharge

۵. مصرف کشاورزی: این پارامتر از طریق رابطه ۱۱ به دست می‌آید.

(۱۱)

available water for agricultural allocation = MIN (control for agricultural water use * residual water for agriculture, Deficit irrigation * agricultural total water need)

باقی‌مانده آب برای بخش کشاورزی از طریق رابطه ۱۲ به دست می‌آید.

(۱۲)

residual water for agriculture = available water - water use of water-based industries and mines

کل نیاز بخش کشاورزی از مجموع نیازهای آبی محصولات باغی، زراعی، صنعتی و نهاده آبی با توجه به سطح زیرکشت و نیاز آبی محصول شاخصشان به دست می‌آید. با توجه به شرایط محدوده مطالعاتی، کل نیاز آبی محصولات کشاورزی تأمین نمی‌شود و مقدار کمی آبیاری در منطقه انجام می‌گیرد.

۲-۲-۲-۲ مدل سازی زیرسیستم فعالیت اقتصادی

۲-۲-۲-۱ بخش کشاورزی

در این تحقیق، منظور از فعالیت‌های اقتصادی، بخش‌های صنعت، معدن، کشاورزی و خدمات مربوط به فعالیت‌های ذکر شده است. رشد اقتصادی منطقه برحسب ارزش افزوده

۳. drinking use, مصرف شرب؛

۴. water use of water-based industries

and mines, مصرف صنعت و معدن؛

۵. مصرف کشاورزی.

۵-۱- livestock products water use

برداشت برای محصولات نهاده دامی؛

۵-۲- garden products water use

برداشت برای محصولات باغی؛

۵-۳- industrial water use, برداشت برای

محصولات صنعتی؛

۵-۴- crops water use, برداشت برای

محصولات زراعی.

الف. زهکشی و تبخیر و تعرق: با توجه به عمق آب زیرزمینی محاسبه شده برای محدوده طرح، عمق برخورد به آب بیش از ۵ متر بوده، بنابراین تبخیر از آبخوان صفر است [۳۸].

در منطقه خوسف بیرجند (غرب آبخوان) از زمان‌های قدیم با احداث ۵ زهکش جومیان، موسیان، نزشک، کلقد و فدشک، آب زیرزمینی دشت زهکش شده، مورد استفاده کشاورزی قرار می‌گیرد. متوسط حجم آب زیرزمینی که توسط زهکش‌های منطقه در دوره بیلان تخلیه می‌شود، ۱/۴۹ میلیون مترمکعب بوده است [۴۱].

ب. حجم آب زیرزمینی خروجی: همان طور که مشخص است، هرچه میزان حجم جریان ورودی به آب زیرزمینی بیشتر باشد، میزان حجم جریان خروجی نیز بیشتر خواهد شد. در نتیجه، می‌توان گفت میزان جریان خروجی، به میزان جریان ورودی بستگی دارد. در این مطالعه، این وابستگی به روش زیر در نظر گرفته شده است [۴۰]:

(۷)

Groundwater outflow (m³) = Groundwater inflow (m³) * share of outflow from the total inflow

که نسبت جریان خروجی با استفاده از گزارش ممنوعیت دشت بیرجند ۰/۰۵۵ به دست آمده است.

ج. مصرف شرب: برای به دست آوردن مصرف شرب، از سرانه مصرف و تعداد جمعیت و رابطه ۸ استفاده می‌شود:

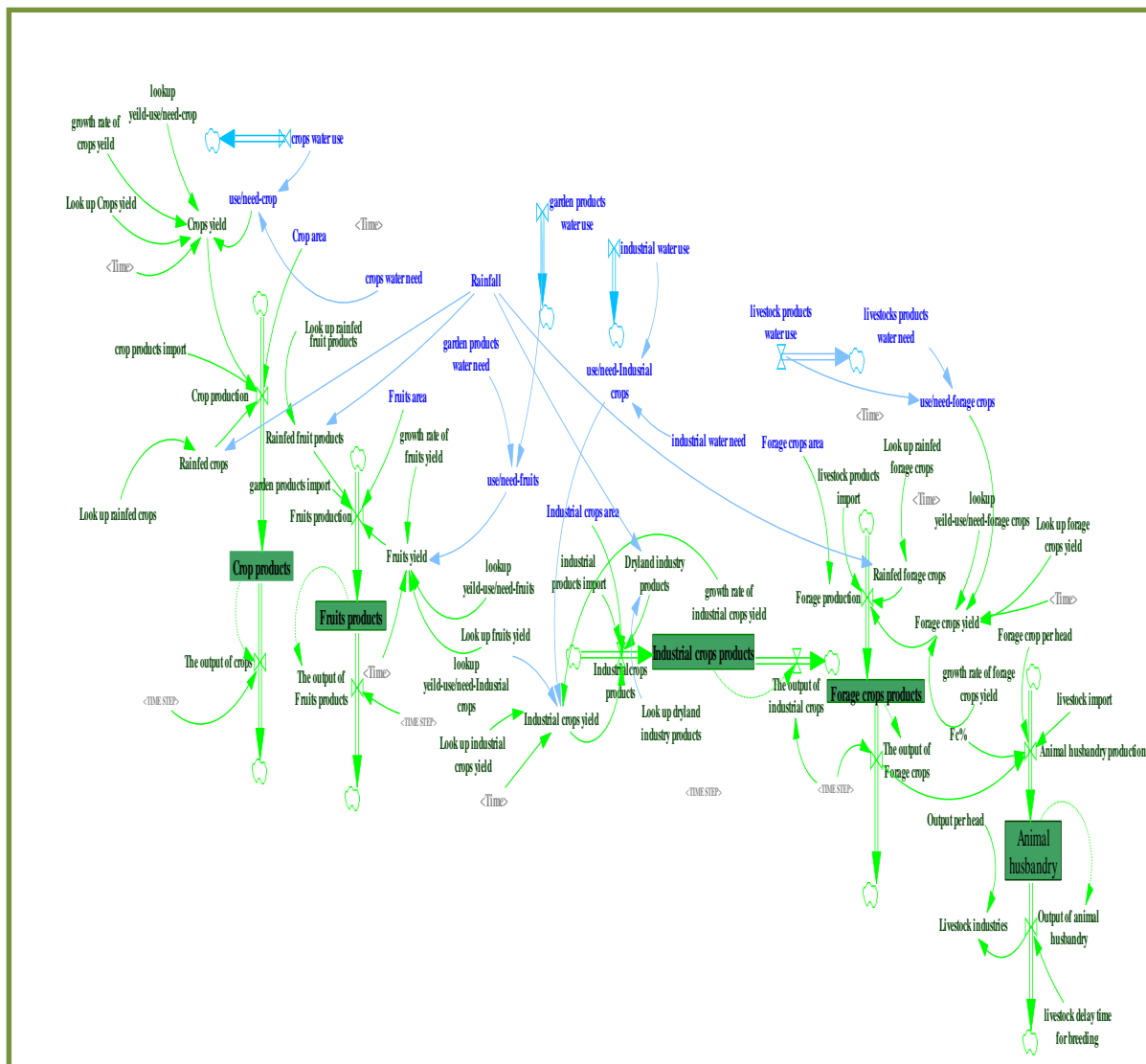
drinking use (۸)

= per capita drinking water use * Population

د. مصرف آب صنعت و معدن: برای به دست آوردن مصرف

و دامپروری تعیین می‌شود که میزان تولید محصولات کشاورزی با استفاده از سطح زیرکشت، میزان عملکرد برای هریک از محصولات کشاورزی، میزان تولیدشده به صورت دیم و واردات، محاسبه و مدل‌سازی می‌شود. شکل (۵)، فرآیند نهایی مدل‌سازی زیرسیستم فعالیت اقتصادی کشاورزی دشت بیرجند را نشان می‌دهد.

هر بخش بیان می‌شود. ارزش افزوده با احتساب شاخص قیمت‌ها بر پایه سال ۱۳۸۹ برای حذف اثرات تورم و همچنین بر فرض اینکه هزینه تمام‌شده هر بخش صفر است، محاسبه شده است. فعالیت اقتصادی کشاورزی دشت بیرجند با توجه به ارزش افزوده بخش محصولات باغی، زراعی، نهاده دامی، صنعتی



شکل ۵- زیرسیستم فعالیت اقتصادی کشاورزی دشت بیرجند

(۶) مدل‌سازی شده است.

۲-۲-۲-۳- بخش صنایع

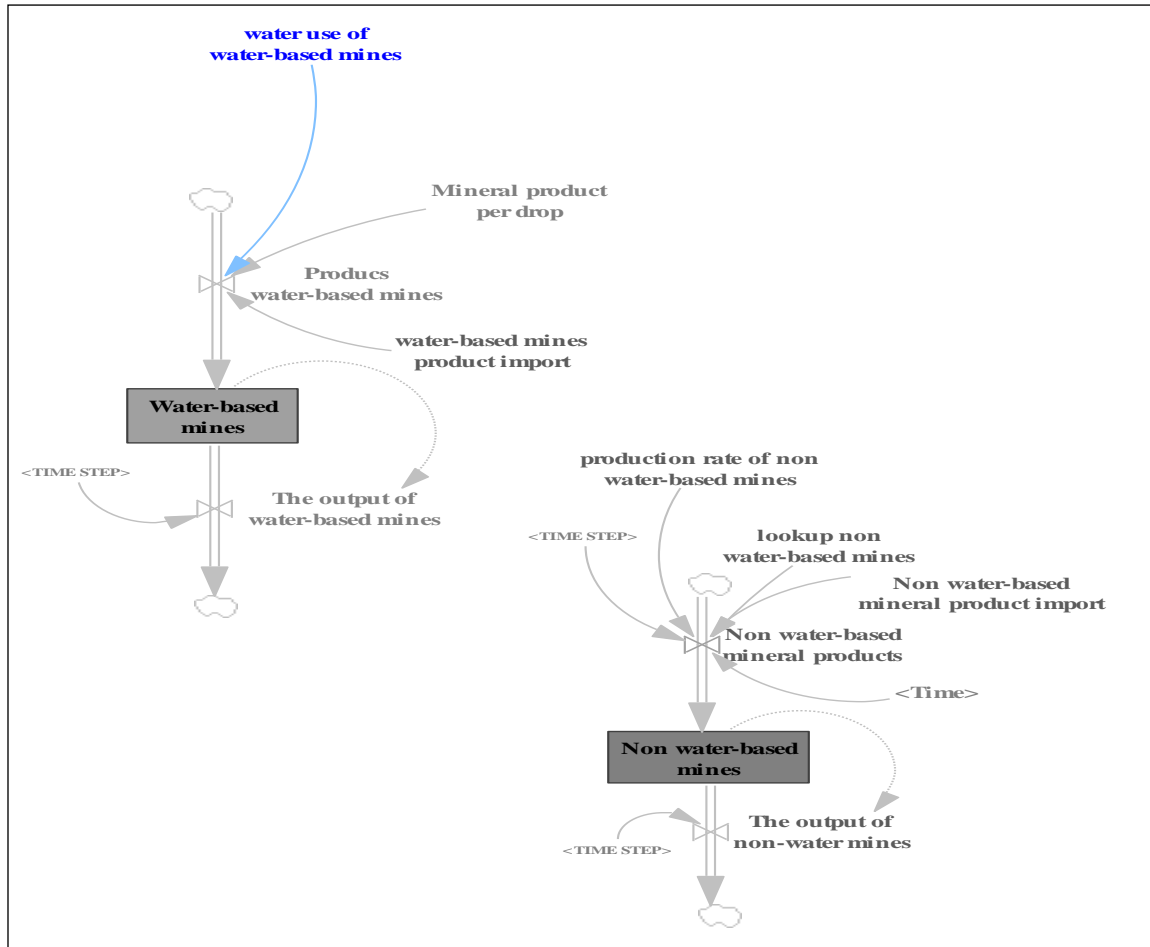
فعالیت‌های اقتصادی بخش صنایع از صنایع با نهاده مستقیم آب، صنایع غیر آب‌بر و صنایع با نهاده غیرمستقیم آب در دشت بیرجند تشکیل شده است. بخش صنایع با نهاده مستقیم آب با توجه به میزان آب مصرفی به‌ازای تولید یک تن صنایع با نهاده مستقیم آب، میزان هدف‌گذاری برای تولید صنایع با نهاده مستقیم آب با استفاده از مصاحبه

۲-۲-۲-۲- بخش معادن

فعالیت‌های اقتصادی بخش معادن از معادن آب‌بر و معادن غیر آب‌بر در دشت بیرجند تشکیل شده است. بخش معادن آب‌بر با توجه به میزان آب مصرفی به‌ازای تولید یک تن معادن آب‌بر، میزان هدف‌گذاری برای تولید معادن آب‌بر و واردات و بخش معادن غیر آب‌بر با استفاده از میزان استخراج سالیانه معادن غیر آب‌بر که از سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی گرفته شده، به‌صورت شکل

مطالعاتی ارائه شده سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی به صورت شکل (۷) مدل سازی شده است.

با صنایع منتخب و واردات، بخش صنایع غیر آبر و صنایع با نهاده غیرمستقیم آب، با استفاده از مصاحبه با چندین صنعت منتخب از لیست صنایع موجود در محدوده



شکل ۶- زیرسیستم فعالیت اقتصادی معادن دشت بیرجند

(۱۴) مقدار سرانه ارزش افزوده را به دست آورد.

سرانه ارز افزوده = ارزش افزوده در منطقه / تعداد جمعیت
(۱۴)

ارزش افزوده انباشته در منطقه از مجموع همه ارزش افزوده ها به وجود می آید.
(۱۵)

$$GDP\ input = GDP\ agricultural + GDP\ industry + GDP\ services + GDP\ mines$$

۲-۳- متغیرهای مدل به همراه فرض های لحاظ شده
از آنجا که در نظر گرفتن همه پارامترها به صورتی که در جهان واقعی وجود دارند، در هیچ مدلی امکان پذیر نیست، در مدل حاضر نیز برای سادگی کار از یک سری مفروضات استفاده شده است که در ادامه به آن ها اشاره می شود.

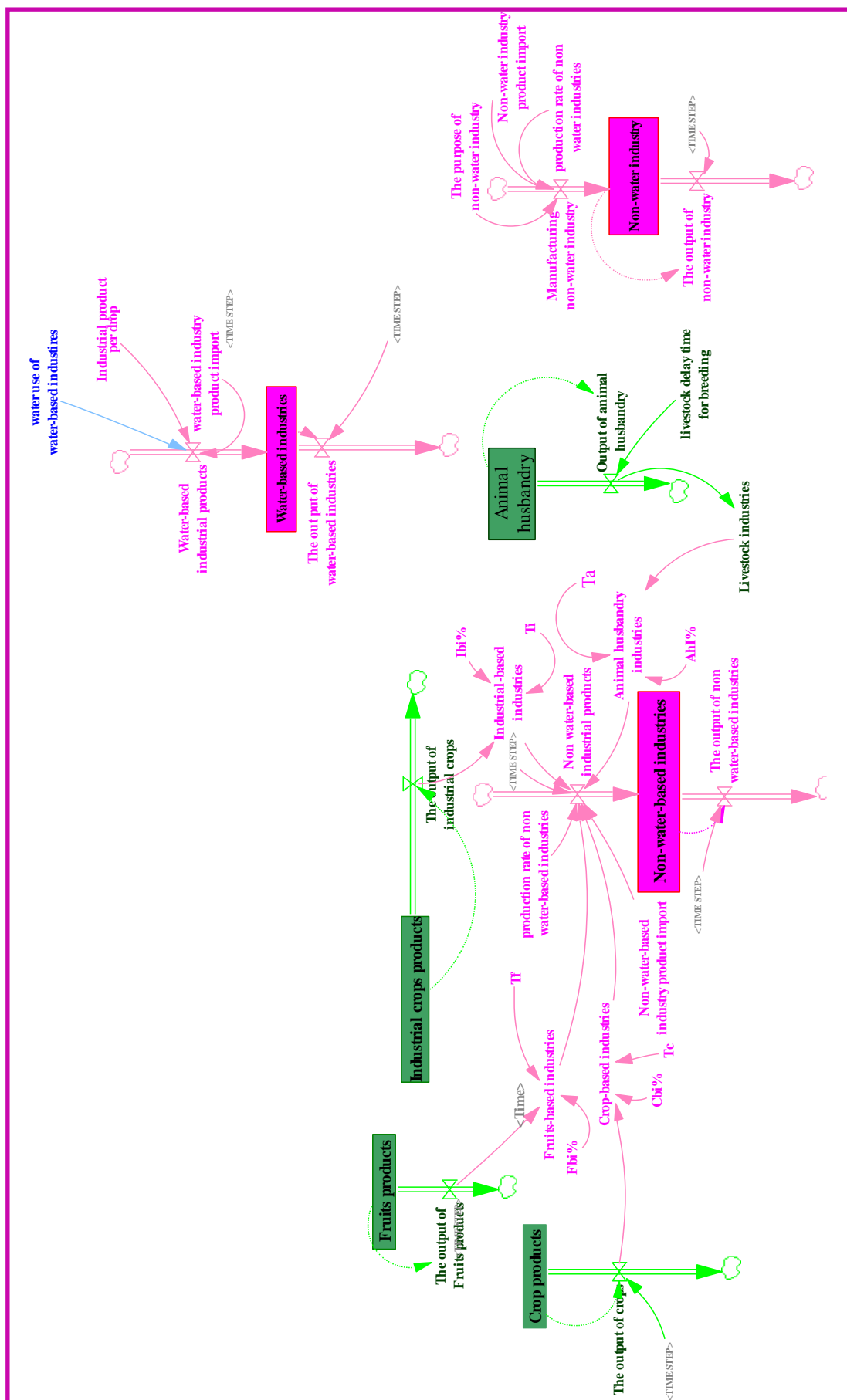
۲-۲-۲-۴- بخش خدمات

میزان ورودی از مجموع تمام خدمات (خدمات مربوط به صنایع مختلف، خدمات مربوط به تولیدات کشاورزی، دامپروری و معادن) طبق رابطه ۱۳ به دست می آید.
(۱۳)

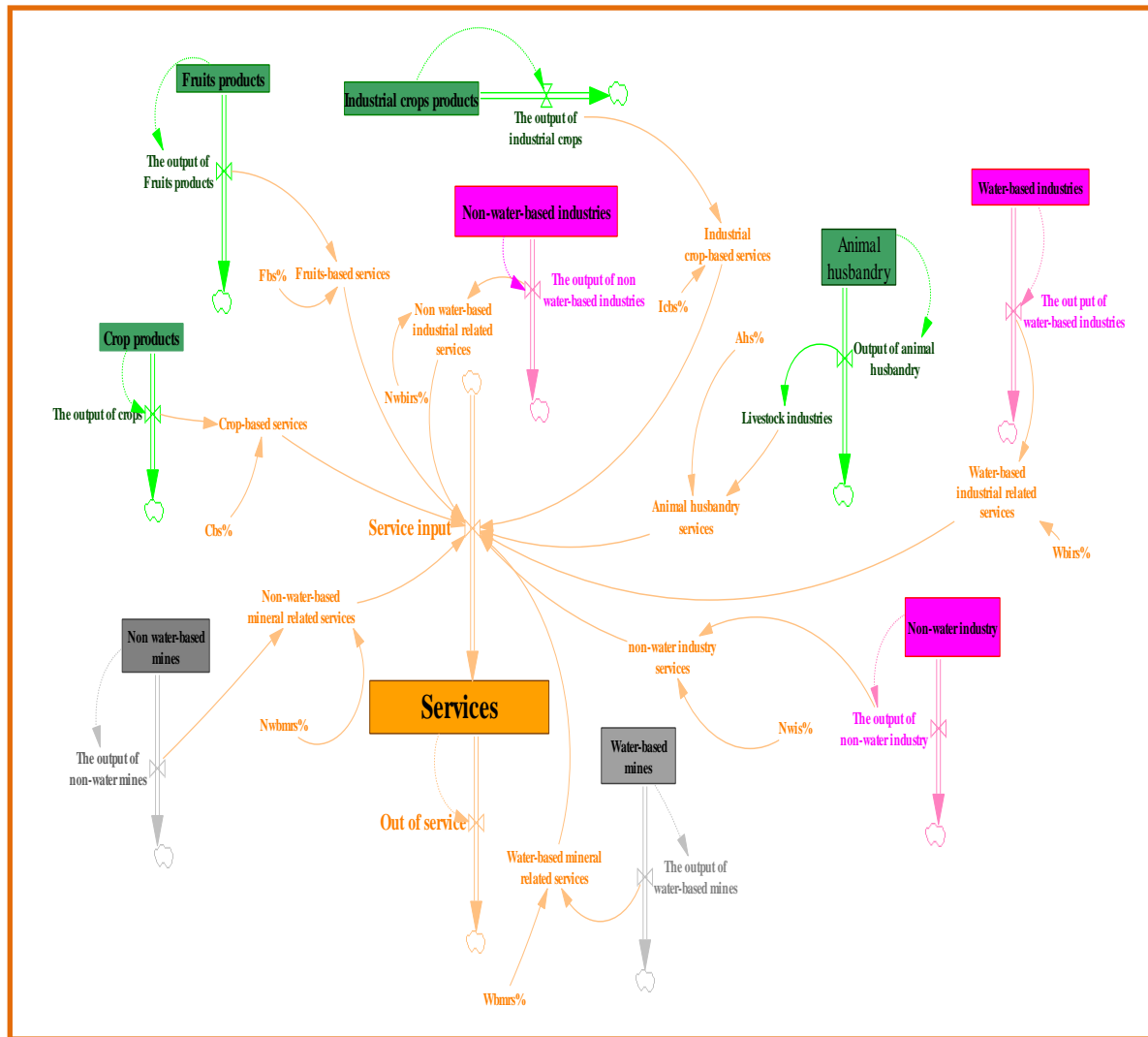
$$Service\ input = Crop\ based\ services + Fruits\ based\ services + Industrial\ crops\ based\ services + Animal\ husbandry\ services + Water\ based\ industrial\ related\ services + Non\ water\ based\ industrial\ related\ services + Water\ based\ mineral\ related\ services + Non\ water\ based\ mineral\ related\ services + Non\ water\ industry\ services$$

۲-۲-۲-۵- سرانه ارزش افزوده

با توجه به جمعیت منطقه مورد مطالعه و مقدار کل ارزش افزوده انباشته شده در منطقه می توان با استفاده از رابطه



شکل ۷- زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی صنایع دشت بیرجند



شکل ۸- زیرسیستم فعالیت‌های اقتصادی خدمات دشت بیرجند

۱-۳-۲- مفروضات

زهکشی، معادله مربوط به ارتباط بین مقادیر خروجی از مقاطع خروجی و مقادیر ورودی از مقاطع ورودی، تابع آب - عملکرد و معادله مربوط به بارندگی و شرایط اقلیمی با میزان تولیدات محصولات دیمی.

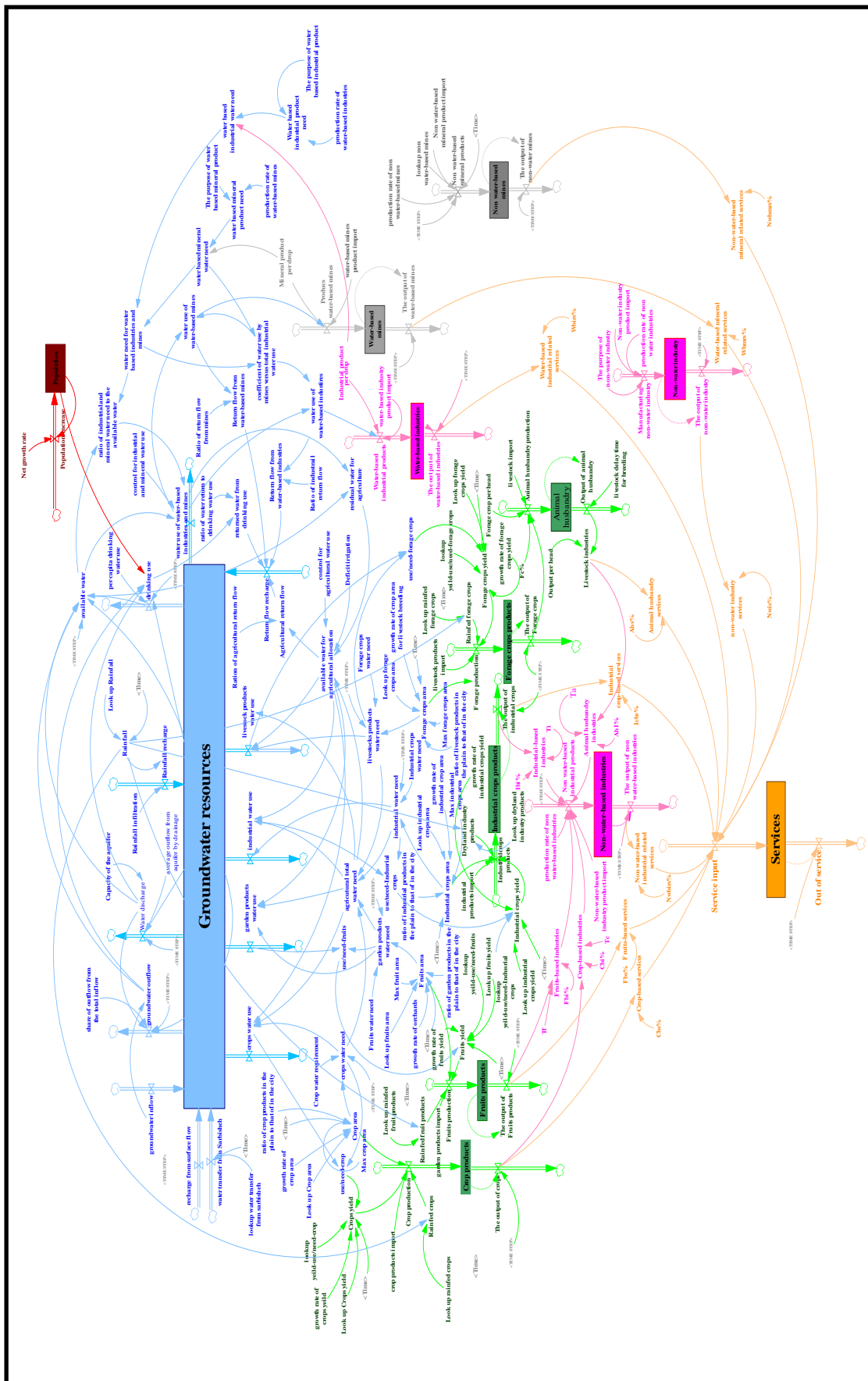
- بعضی از پارامترها به طور دقیق برای محدوده مطالعاتی در دسترس نیست؛ از جمله تعداد جمعیت، نرخ خالص رشد جمعیت، سرانه مصرف شرب، میزان تولید محصولات کشاورزی. در این پژوهش برای آن‌ها فرض‌هایی مانند معادل گرفتن مقادیر محصولات کشاورزی دشت بیرجند با مقادیر شهرستان، معادل گرفتن تعداد جمعیت محدوده مطالعاتی برابر با جمعیت سه شهر خوسف، بیرجند و مود، برابر گرفتن سرانه مصرف شرب بیرجند با سرانه مصرف محدوده مطالعاتی و معادل گرفتن میزان تولیدات فرآورده‌های دامی در سه شهر بیرجند، خوسف و مود با میزان فرآورده‌های دامی

- بخش خدمات، جزء فعالیت‌های اقتصادی غیرآب فرض شده است.

- بعضی از پارامترهای مربوط به بیلان آب زیرزمینی به علت محدودیت اطلاعات به صورت عدد ثابت فرض شده است؛ در حالی که این پارامترها به عوامل بسیاری مربوط هستند و باید به طور دقیق‌تر و به صورت سری زمانی برآورد شود. از جمله این پارامترها خروجی آب به صورت زهکشی، حجم ورودی به منابع آب زیرزمینی از مقاطع ورودی، تغذیه از جریان سطحی و ضریب کم‌آبیری است.

- بعضی از معادلات که در مدل به کار رفته، معادلات ابتدایی است و باید متخصصان مربوط به طور دقیق آن‌ها را به دست آورند. از جمله این معادلات عبارتند از: معادله مربوط به خروجی آب به صورت

در محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است.



شکل ۹- مدل کمی دشت بیرجند

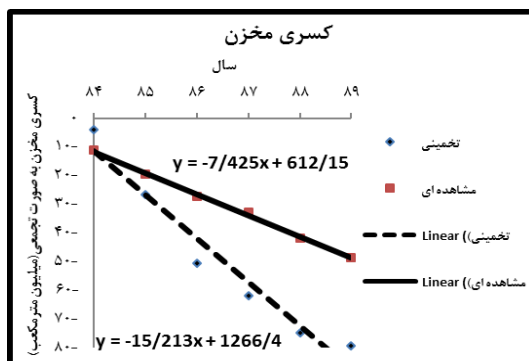
– عملکرد؛ ۵. تابع بارندگی و محصولات دیم؛ ۶. سری زمانی میزان تولیدات معادن غیر آب‌بر؛ ۷. سری زمانی انتقال آب از سرپیشه.

صحت‌سنجی مدل

مرحله صحت‌سنجی مدل بیشتر به دنبال بررسی سودمند بودن مدل بر اساس صورت مسئله و اهداف تعریف شده است. همچنین درجه اطمینان از صحت مدل به دید مدل‌ساز بر اساس مدل دینامیکی طراحی شده و اهداف مورد نظر مدل‌ساز از مدل وابسته است [۴۲]. بدین منظور، آزمون‌هایی به شرح زیر برای صحت‌سنجی مدل منابع آب دشت بیرجند انجام گرفته است: ۱. آزمون ارزیابی ساختار؛ ۲. آزمون تکرار رفتار؛ ۳. آزمون شرایط حدی؛ ۴. آزمون مدل در شرایط غیرمنطقی.

۱. آزمون ارزیابی ساختار: برای انجام این آزمون، مراحل تکوینی مدل‌سازی، به بررسی صحت و سازگاری مدل‌های تولیدشده دشت بیرجند با مکانیزم‌های طراحی شده در دشت، کمک شایانی می‌کند.

۲. آزمون تکرار رفتار: در این آزمون، داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی توسط مدل، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. این بررسی با استفاده از ابزارهای آماری ضریب تبیین^۱ و جذر میانگین مربعات خطای نسبی^۲ صورت می‌گیرد. متغیرهای بررسی شده شامل هفت متغیر حالت است: ۱. کسری حجم منابع آب زیرزمینی؛ ۲. تولیدات محصولات زراعی؛ ۳. تولیدات محصولات باغی؛ ۴. تولیدات محصولات صنعتی؛ ۵. تولیدات محصولات نهاده دامی؛ ۶. تولیدات دامپروری؛ ۷. تولیدات معادن غیر آب‌بر.



شکل ۱۰- مقایسه آمار مشاهده‌ای و تخمینی کسری مخزن منابع آب زیرزمینی

• نیاز آبی محصولات برای هر منطقه متفاوت است. در این تحقیق برای بعضی از محصولات، فرض‌هایی صورت گرفته است.

• هزینه‌های تولید محصول، صفر و ارزش افزوده برابر با قیمت فروش فرض شده است.

• متوسط درآمدهای واحد اجزای ورودی خدمات به‌عنوان درآمد واحد خدمات فرض شده است.

• به دلیل سهم اندک آب سطحی در منابع آب دشت، منظور از منابع آب دشت تنها منابع آب زیرزمینی فرض شده است.

• میزان تقاضای آب در منطقه، معادل با میزان مصرف آب سالیانه فرض شده است.

• دوره زمانی شرایط مشاهده‌ای در مدل‌سازی به مدت ۶ سال از سال آبی ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ فرض شده است.

• دوره زمانی شبیه‌سازی به مدت ۳۰ سال از سال ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۹ هجری شمسی فرض شده است.

۲-۳-۲- مقادیر اولیه متغیرهای حالت در مدل

مقادیر اولیه همه متغیرهای حالت به غیر از متغیر حالت منابع آب زیرزمینی و جمعیت، صفر در نظر گرفته شده است. مقادیر برآوردشده برای متغیرهای حالت ذکرشده در سال ابتدای شبیه‌سازی (۱۳۸۳) بر اساس فرضیاتی مطابق با جدول ۲ است.

جدول ۲- مقدار اولیه متغیرهای حالت مدل منابع آب دشت

بیرجند

متغیر حالت	جمعیت (نفر)	آب موجود در آبخوان (میلیون متر مکعب)
مقادیر اولیه	۱۶۷۸۲۷	۴۳۱،۰۴

۳-۳-۲- توابع جست‌وجو^۱ در مدل منابع آب دشت

بیرجند

متغیرهای مورد نیاز در مدل که شامل سری زمانی هستند، با استفاده از «توابع جست‌وجو» وارد مدل می‌شوند. توابع جست‌وجوی به‌کار رفته در مدل منابع آب دشت بیرجند عبارت‌اند از: ۱. سری زمانی سطح‌های زیر کشت محصولات کشاورزی؛ ۲. سری زمانی عملکرد تولیدات کشاورزی؛ ۳. سری زمانی بارش؛ ۴. تابع کاهش عملکرد بر اساس تابع آب

³.Relative Root Mean Square Error (RMSEr)

¹.Lookup

².Coefficient of determination (R²)

عملکرد مدل در تخمین رفتار متغیرهای هفت‌گانه از نگاه مشخصه‌های آماری است.

شکل (۱۰) برای نمونه رفتار مدل را در تخمین متغیر کسری حجم منابع آب زیرزمینی در مقایسه با مقادیر متناظر مشاهده‌ای نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز نشان‌دهنده

جدول ۳- نتایج آزمون تکرار رفتار متغیرهای حالت

RMSEr%	R ²	نام متغیر	
۰/۷۲	۰/۹۹	افت منابع آب زیرزمینی	
۰/۱۰	۱/۰۰	تولید محصولات زراعی	
۰/۱۷	۰/۹۹	تولید محصولات باغی	
۰/۰۳	۱/۰۰	تولید محصولات صنعتی کشاورزی	
۰/۳۸	۱/۰۰	تولید محصولات نهاده دامی	
۰/۰۰	۱/۰۰	تولید محصولات دامپروری (تعداد دام)	
۰/۱۱	۱/۰۰	تولید معادن غیرآب‌بر	
۰/۰۰	۱/۰۰		
۰/۳۰	۱/۰۰		
۰/۴۲	۰/۹۸		
۰/۹۰	۰/۹۸		
۰/۰۰	۱/۰۰		
۲/۲۶	۰/۹۴		

با توجه به فرضیات بیان‌شده و مرز سیستم، محدودیت‌ها و انتظارات از مدل در این تحقیق عبارت‌اند از:

- با توجه به مطالعات انجام‌شده، محصولات معادن آب‌بر و غیرآب‌بر یا حتی محصولات صنایع و... می‌تواند به‌عنوان ماده اولیه صنایع دیگر باشد که در این تحقیق به علت محدودیت اطلاعات این ارتباط و وابستگی بین فعالیت‌ها دیده نشده است و این جزء محدودیت‌های مدل است که قابلیت ارتقا و توسعه دارد.

- در این تحقیق، فعالیت‌های اقتصادی خدماتی شامل ساختمان، تأمین آب، برق و... به علت محدودیت اطلاعات بررسی نشده است. مدل برای فعالیت‌های اقتصادی دیگر، اعم از صنایع، معادن، کشاورزی و خدمات مربوط به این فعالیت‌ها ساخته شده است. این نیز جزء محدودیت‌های مدل است که قابلیت ارتقا و توسعه دارد.

- در این تحقیق، ارتباط بین منابع آب و فعالیت‌های اقتصادی دیده شده است که خروجی آن

۳. آزمون شرایط حدی: هدف از انجام این آزمون، کنترل مقادیر خروجی از مدل در شرایط حدی است. این آزمون صحت ساختار علت و معلولی مدل را بررسی می‌کند. آزمون مذکور بر روی متغیرهای میزان برداشت آب برای بخش کشاورزی، میزان برداشت آب برای بخش صنعت و معدن و سرانه مصرف شرب انجام شد.

۴. آزمون سازگاری واحدها: این آزمون از آزمون‌های پایه و اساسی است که باید در ابتدای کار مدل‌سازی به آن توجه شود. در این آزمون، واحدهای اندازه‌گیری برای هر متغیر تولیدشده در مدل بررسی می‌شود [۴۲]. در این تحقیق، در مراحل تدوین مدل، سازگاری واحدها در زمینه مطابقت آن‌ها با یکدیگر، بررسی و رعایت شده است. این تست با انتخاب گزینه Unit check در نرم‌افزار Vensim قابل انجام است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محدودیت‌های مدل

۳	ترسالی	نرخ کنونی
۴	نرمال	نرخ پیش‌بینی شده
۵	خشک‌سالی	نرخ پیش‌بینی شده
۶	ترسالی	نرخ پیش‌بینی شده

۳-۳- سیاست‌های منتخب در مدل

سیاست‌های مبتنی بر پارامترهای مدل که قابل تغییر توسط سیاست‌گذار در منطقه است، تولید می‌شود. در تحقیق حاضر پنج سیاست به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

گزینه ۱: گزینه مربوط به رشد فعالیت‌های اقتصادی موجود در منطقه بدون افزایش میزان منابع آب (منظور انتقال آب است)؛

گزینه ۲: گزینه مربوط به رشد فعالیت‌های اقتصادی موجود در منطقه با افزایش میزان منابع آب زیرزمینی؛

گزینه ۳: گزینه مربوط به رشد فعالیت‌های اقتصادی غیرآب بر موجود در منطقه بدون افزایش میزان منابع آب؛

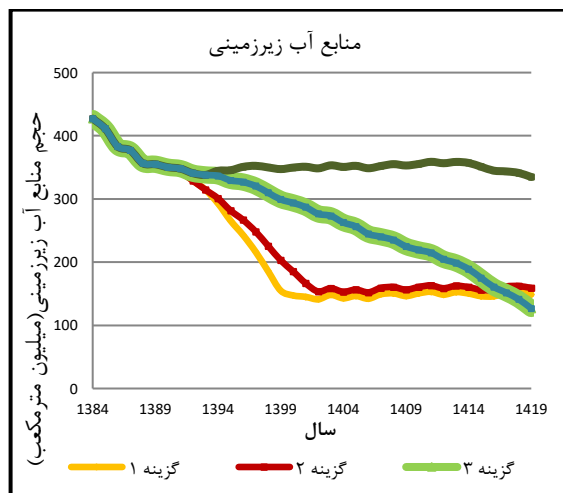
گزینه ۴: گزینه مربوط به رشد فعالیت‌های اقتصادی غیرآب بر موجود در منطقه با افزایش میزان منابع آب؛

گزینه ۵: شرایط موجود ادامه پیدا کند (منظور مقادیر پارامترها در سال ۱۳۸۹ است).

پارامترهای قابل تغییر در هر یک از گزینه‌ها و مقدار هر یک از سال ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۹ طبق برنامه ۵ ساله پنجم توسعه [۴۴ و ۴۵] در جدول ۵ آمده است.

۳-۴- ارزیابی سیاست‌ها

ارزیابی سیاست‌ها، از دو منظر ارزش افزوده و حجم منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از مدل، در شکل‌های (۱۱) تا (۲۲) خلاصه شده است.



شکل (۱۱): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۱

میزان ارزش افزوده محاسبه شده است، ولی بازخورد این ارزش افزوده‌ها روی فعالیت‌های اقتصادی مختلف به‌صورت کمی و در مدل حالت-جریان ساخته نشده است.

• مدل، توانایی تولید مقادیر برای ارائه تصویر سیستم در شرایط آبی دارد، ولی برای تولید دقیق داده و پیش‌بینی در یک سال خاص، ابزار مناسبی نیست.

۳-۲- سیاست‌گذاری تحت سناریوهای مختلف

پس از توسعه و اعتبارسنجی مدل، مرحله اعمال سیاست تحت سناریوهای مختلف فرا می‌رسد. بر اساس رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب و تخصیص منابع آب با رویکرد ارزش افزوده، می‌توان سیاست‌های عملیاتی را تحت سناریوهای محتمل معرفی کرد.

۳-۲-۱- سناریوهای محتمل در شبیه‌سازی

در این تحقیق، سه سناریوی محیطی تحت شرایط نرمال، خشک‌سالی و ترسالی در نظر گرفته شد [۴۳] که در ذیل هر سناریوی محیطی، دو سناریوی انسانی با عناوین نرخ رشد جمعیت کنونی و پیش‌بینی شده در نظر گرفته شد [۳۰]؛ در نتیجه، شش سناریو برای اعمال در مدل شبیه‌سازی به دست می‌آید.

۳-۲-۲- تعاریف سناریوها

الف. سناریوی طبیعی (شرایط نرمال): تکرار سری زمانی برای دوره ۱۷ ساله از سال ۷۱ تا ۸۷ در مدل؛

ب. سناریوی طبیعی (شرایط خشک‌سالی): تکرار سری زمانی برای دوره ۱۰ ساله از ۷۸ تا ۸۷ در مدل؛

ج. سناریوی طبیعی (شرایط ترسالی): تکرار سری زمانی برای دوره ۷ ساله از سال ۷۱ تا ۷۷؛

د. سناریوی انسانی (شرایط نرخ رشد جمعیت کنونی): نرخ رشد جمعیت به طور ثابت برابر با ۳/۰۶ درصد تا سال ۱۴۱۹ در مدل؛

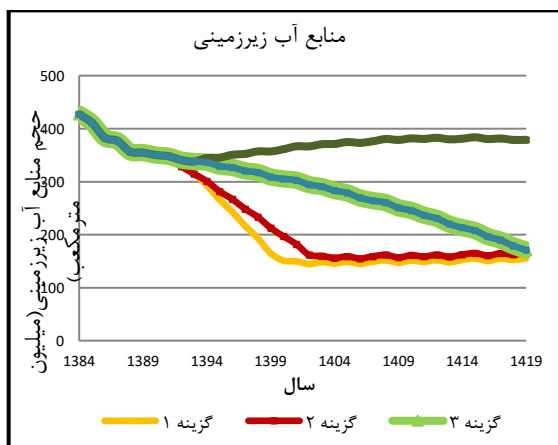
ه. سناریوی انسانی (شرایط نرخ رشد جمعیت پیش‌بینی شده): نرخ رشد جمعیت، از سال ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۹ به‌صورت ثابت برابر با ۱/۵ درصد فرض شده است.

جدول (۴): سناریوهای شش‌گانه طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۹

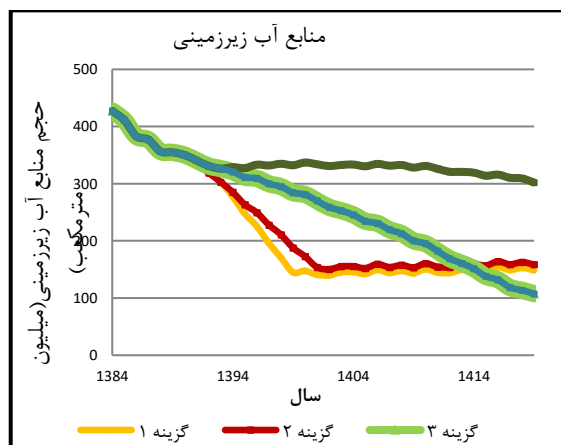
سناریو	شرایط محیطی (بارش)	شرایط انسانی (نرخ رشد جمعیت)
۱	نرمال	نرخ کنونی
۲	خشک‌سالی	نرخ کنونی

جدول ۵- پارامترهای برون‌زا برای تولید سیاست و مقادیر سطوح اعمالی آن‌ها

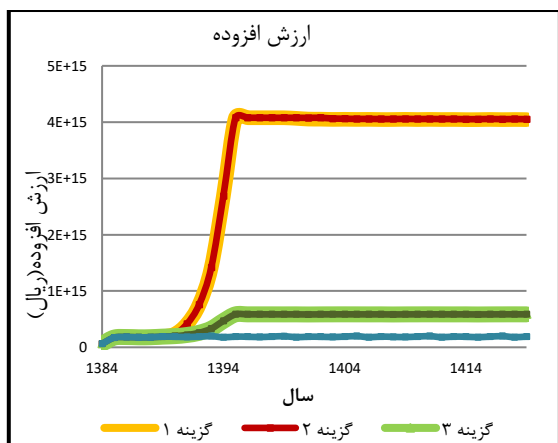
گزینه ۵	گزینه ۴	گزینه ۳	گزینه ۲	گزینه ۱	پارامترهای قابل تغییر
....	۸	....	۸	....	انتقال آب به منطقه (میلیون مترمکعب)
....	....	....	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	نرخ رشد سطح زیرکشت باغی
....	....	....	۰	۰	نرخ رشد سطح زیرکشت زراعی
....	....	....	۰	۰	نرخ رشد سطح زیرکشت صنعتی
....	....	....	-۰/۰۱۴	-۰/۰۱۴	نرخ رشد سطح زیرکشت نهاده دامی
....	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	نرخ رشد عملکرد محصولات باغی
....	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	نرخ رشد عملکرد محصولات زراعی
....	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	نرخ رشد عملکرد محصولات صنعتی
....	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۸۷	نرخ رشد عملکرد محصولات نهاده دامی
....	....	....	۰/۹۳	۰/۹۳	نرخ رشد معادن آب‌بر
....	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	نرخ رشد معادن غیر آب‌بر
....	....	....	۰/۹۳	۰/۹۳	نرخ رشد صنایع با نهاده مستقیم آب
....	....	....	۰/۹۳	۰/۹۳	نرخ رشد صنایع با نهاده غیرمستقیم آب
....	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	نرخ رشد صنایع غیر آب‌بر



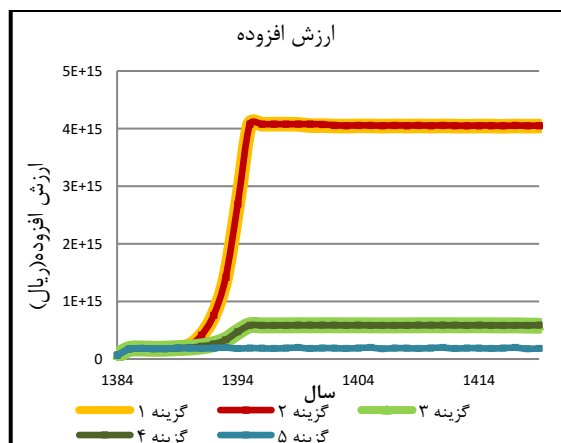
شکل (۱۵): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۳



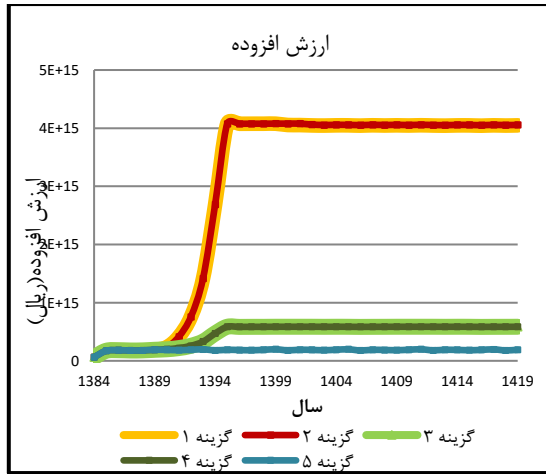
شکل (۱۳): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۲



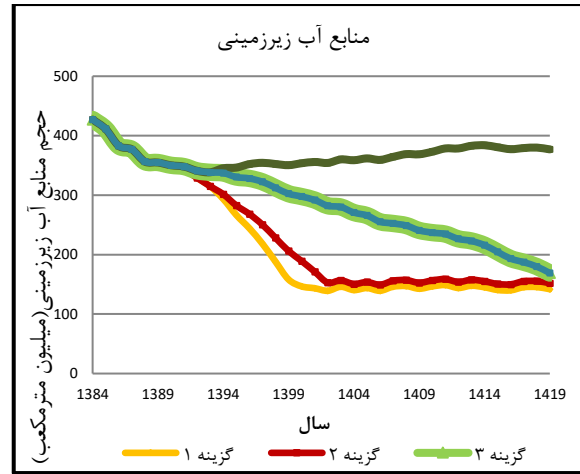
شکل (۱۶): مقدار ارزش افزوده تحت سناریو ۳



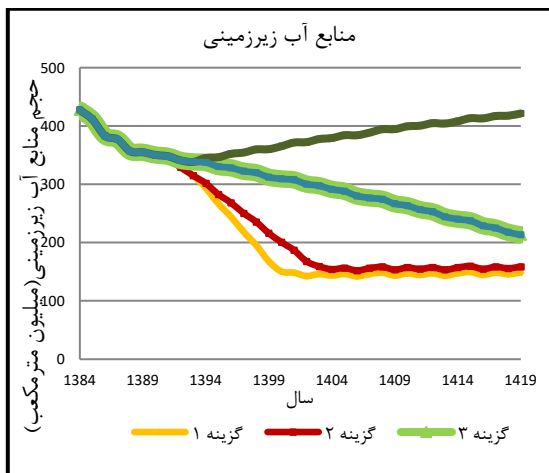
شکل (۱۴): مقدار ارزش افزوده تحت سناریو ۲



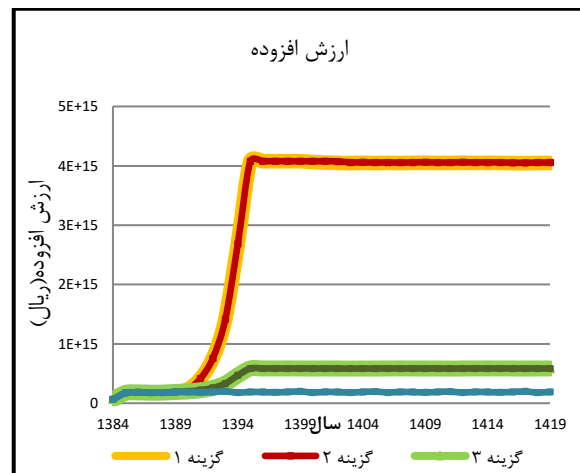
شکل (۲۰): مقدار ارزش افزوده تحت سناریو ۵



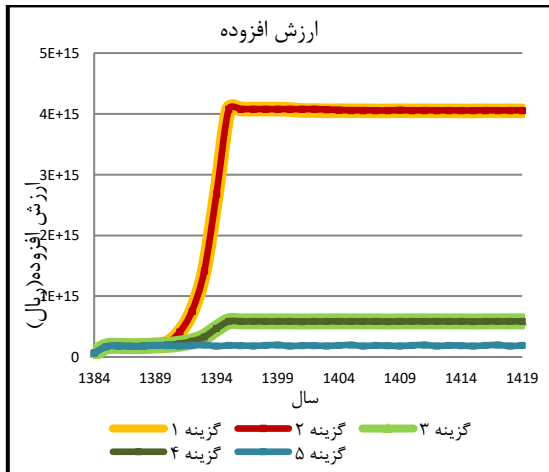
شکل (۱۷): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۴



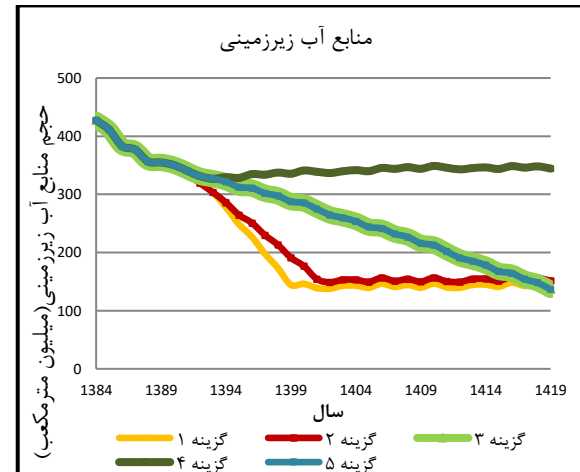
شکل (۲۱): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۶



شکل (۱۸): مقدار ارزش افزوده تحت سناریو ۴



شکل (۲۲): مقدار ارزش افزوده تحت سناریو ۶



شکل (۱۹): حجم منابع آب زیرزمینی تحت سناریو ۵

۴- نتیجه گیری

۴، گزینه ۳ و ۵، گزینه ۲ و در آخر، گزینه ۱ کاهش می یابد. به علت اینکه در گزینه ۳ و ۴ رشد معادن و صنایع آبر، صفر است، حجم منابع آب زیرزمینی بیشترین مقدار را دارد و در گزینه ۴ به علت اینکه سالانه ۸ میلیون مترمکعب از

همان طور که در همه سناریوها مشخص است، حجم منابع آب زیرزمینی در همه گزینه‌ها به جز گزینه ۴ روند کاهشی داشته است. حجم منابع آب زیرزمینی به ترتیب در گزینه

و ۴ با هم برابر بوده، مقدار ارزش افزوده به‌ترتیب ابتدا در گزینه ۱ و ۲، سپس در گزینه ۳ و ۴ و در آخر، گزینه ۵ بیشترین مقدار است. بنابراین، اگر قرار باشد حجم منابع آب تغییر نکند و ارزش افزوده منطقه زیاده‌تر شود، باید ابتدا روی فعالیت‌های اقتصادی غیر آب‌بر، اعم از معادن و صنایع غیر آب‌بر سرمایه‌گذاری بیشتری شود؛ البته این زمانی تحقق خواهد یافت که منابع اولیه این فعالیت‌های اقتصادی موجود باشد. همچنین با ادامه روند موجود در منطقه، وضعیت هر دو بخش اقتصاد و منابع آب، بدتر خواهد شد.

منطقه دشت مختاران به محدوده مطالعاتی، آب انتقال داده می‌شود، مقدار حجم آب از گزینه ۳ که این انتقال در آن وجود ندارد، بیشتر است. در گزینه‌های ۱ و ۲ به علت اینکه میزان تولیدات صنایع و معادن آب‌بر افزایش پیدا می‌کند، حجم آب نسبت به گزینه‌های ۳، ۴ و ۵ کمتر و در گزینه ۲ به علت انتقال آب از مختاران، حجم آب بیشتر از گزینه ۱ است. در مورد ارزش افزوده تولیدی، مقادیر ارزش افزوده در گزینه ۱ و ۲، برابر است. همچنین میزان ارزش افزوده در گزینه ۳

مراجع

- [1] R. Kaiser and F. Skiller, "Options for managing the hidden threat of aquifer depletion in Texas", *Texas Tech. Law Review*, 32, 2003, PP: 250-304.
- [2] D.K. Todd, *Groundwater Hydrology*, Third Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] S. Foster, "Groundwater: assessing vulnerability and promoting protection of a threatened resource", *Proceedings of the 8th Stockholm Water Symposium*, 10-13 August, Stockholm, Sweden, 1998, pp 79-90.
- [4] K. Jha Madan, Y. Kamii, K. Chikamori, "Cost-effective Approaches for sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer Systems", *Water Resources Management*, 2008.
- [5] ا. مسعودیان و م.ر. کاویانی، اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، ایران، ۱۳۸۶.
- [6] ه. هاشمی‌نژاد و ا. کریمی، «بررسی افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در واحدهای هیدرولوژیکی نجف‌آباد و اصفهان بر خوار در طی سال‌های ۷۶-۸۳»، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، ۱۳۸۵، صفحه ۱۸۲۹-۱۸۳۹.
- [7] J.W. Forrester, *Industrial dynamics*, Productivity Press, Portland Oreg, 1961.
- [8] E.J. Fletcher, "The Use of System Dynamics as Decision Support Tool For The Management of Surface Water Resources", *Proc. 1st Int. Conf. on New Information Technology For Decision-Making in Civil Eng.*, University of Quebec, Montreal, Canada, 1998, pp. 909-920.
- [9] J.D. Sterman, *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw-Hill, Boston, 2000.
- [10] ا. مؤمنی، «مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره با استفاده از روش پویایی سیستم»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳.
- [11] R. Palmer, A.M. Keyes, S. Fisher, (1993). "Empowering Stakeholders Through Simulation in Water Resources Planning", *Water Management for the 90s*, eds. Hon, K., ASCE, 1993, pp. 451-454
- [12] I. Winz, G. Brierley and S. Trowsdale, "The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management", *Water Resources Management*, 23, 2008, pp. 1301-1323
- [13] A.M. Keyes and R. Palmer, "The Role of Object-Oriented Simulation Models in the Drought Preparedness Studies", *Proc. Of the 20th Annual National Conference, Water Resources Planning and Management Division of ASCE*, Seattle, WA, 1993, pp. 479-482.
- [14] S.P. Simonovic, "Measures of Sustainability and Their Utilization in Practical Water Management Planning", *LAHS-AISH Publication*, (268), 2001, pp. 3-16.

[15] S. Ahmed and S.P. Simonovic, "Modelling Reservoir Operations For Flood Management Using System Dynamics", ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, 2000.

[۱۶] م.ر. جلالی و ع. افشار، «شبیه‌سازی پویایی سیستم تولید انرژی مخازن برقابی»، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.

[۱۷] س.ا. حسینی و ع. باقری، «مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار»، مجله آب و فاضلاب، شماره ۴، ۱۳۹۲، صفحه ۲۸-۳۹.

[۱۸] ز. شیخ‌خوزانی، خ. حسینی و م. رحیمیان، «مدل‌سازی بهره‌برداری از مخازن چندمنظوره به روش پویایی سیستم»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال هشتم، شماره ۲۱، تابستان ۱۳۸۹، صفحه ۵۷-۶۶.

[۱۹] ح. نودری، ع.م. لیاقت و م. خیاط‌خلقی، «شبیه‌سازی حرکت آب و نمک‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم»، مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۸، صفحه ۲۸-۳۹.

[۲۰] ا. حسن‌زاده، ی. حسن‌زاده و م. ضرغامی، «مدل‌سازی تأثیر جریان آب سطحی بر کاهش تراز دریاچه ارومیه به کمک پویایی سیستم‌ها»، مجله مهندسی عمران و محیط زیست، شماره ۲، ۱۳۹۰.

[۲۱] م.ر. جلالی و ر. افضلی، «شبیه‌سازی سیستمی سدهای برقابی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، مطالعه موردی: حوضه کرخه»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، ۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷.

[۲۲] ا.ر. شریفی و م. تجربی، «مدل‌سازی پویایی سیستم به منظور بررسی تأثیر توسعه بالادست حوضه آبریز رودخانه کرخه بر تولید انرژی برقابی سد کوران بوزان»، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[۲۳] ا. حاتم، م.ج. منعم و ع. باقری، «توسعه مدل پویایی سیستم بهسازی شبکه آبیاری با توجه به مشارکت کشاورزان و ارتقای مدیریت شبکه»، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، دوره ۱۳، شماره ۴، ۱۳۹۱، صفحه ۱-۲۴.

[۲۴] م.ر. سمائی، ع. افشار، م.ا. احمدی برگانی و ر. اسدی، «مدل‌سازی اوتریفیکاسیون در مخازن با رویکرد پویایی سیستم»، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، آبان ۱۳۸۸.

[۲۵] م. ملاحسینی، س.ج. موسوی، ع.ر. صلی‌تبار، «ارزیابی اثر ایجاد ظرفیت ذخیره در کاهش خسارت سیلاب با استفاده از مدل بهینه‌سازی-شبیه‌سازی مبتنی بر پویایی سیستم»، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۹-۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۱.

[۲۶] ع.ر. صلی‌تبار، م. ضرغامی و ا. ابریشم‌چی، «مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران»، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۹، ۱۳۸۵، صفحه ۱۲-۲۸.

[۲۷] ا. محمودی، ع. نعمی صدیق، ک. چهارسوقی و ح. اسکندری، «بررسی تأثیر گردش اطلاعات بر مدل زنجیره تأمین سوخت طبق سفارش مبتنی بر رویکرد سیستم‌های پویا»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۸، شماره ۲۲، پاییز ۱۳۸۹، صفحه ۲۱-۳۶.

[۲۸] ا. تربتی، م. ارسنجانی و م. فیروزشاهی، «تدوین نقشه استراتژی مدیریت زنجیره تأمین با تلفیق نمودار حلقه علی و کارت امتیازی متوازن»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۱۵۱-۱۶۵.

[۲۹] ح. محمدی، ف. بابائیان، س.ح. کاظمی، ع. باقری و ا. اکبرپور، «تعیین مکانیزم‌های فعال مربوط به فعالیت‌های اقتصادی و اثرات آن‌ها بر منابع آب زیرزمینی با رویکرد پویایی با استفاده از نرم‌افزار Vensim به منظور پرداختن به مفهوم توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت بیرجند)»، دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست، ۲۴ مرداد ۱۳۹۲، صفحه ۱-۲۰.

[۳۰] ح. محمدی، «رویکرد منطقه‌ای در تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب دشت بیرجند به کمبود آب»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۲.

[۳۱] ش. صادقی، «تعیین مکان‌های مستعد برای جمع‌آوری آب باران (RWH) به کمک سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: دشت بیرجند)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۰.

[۳۲] ح. سعیدی، «بهبودسازی کمی و کیفی بهره‌برداری از آبخوان به منظور تعدیل غلظت شوری، (مطالعه موردی: دشت بیرجند)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.

[33] P. Prodanovic, S.P. Simonovic, "Integrated Water Resources Modelling of the Upper Thames River Basin", 18th Canadian Hydrotechnical Conference On Challenges for Water Resources Engineering in a Changing World. Winnipeg, Manitoba, 2007.

[34] S. Khan, L. Yufeng and A. Ahmad, System Dynamics Modeling for Water Savings and Conjunctive Water Management, Chiang Mai, Thailand, 2007.

[35] S.P. Simonovic, "Assessment of Water Resources Through System Dynamics Simulation From Global Issues to Regional Solutions", Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.

[۳۶] ف. زارع، «مدل‌سازی یکپارچه فیزیکی-اقتصادی-اجتماعی سیستم‌های منابع آب در مقیاس حوضه آبریز (مطالعه موردی: سیستم منابع آب حوضه گرگان‌رود-قره‌سو)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۹۰.

[۳۷] ص. صادقی طیس، «تهیه مدل بهینه استحصال آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم‌های چندهدفه فراکاشی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۲.

[۳۸] «مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب، حوزه‌های آبریز: مهارلو-بختگان، ابرقو-سیرجان، کوپرلوت، درانجیر-ساغند، هامون جازموریان، جلد یازدهم: بیان منابع و مصارف آب تا سال ۱۳۸۵»، شرکت مهندسی مشاور جاماب، ۱۳۹۱.

[۳۹] ا. قوچانیان حق‌وردی، «ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از مدل WEAP-MODFLOW (مطالعه موردی: دشت بیرجند)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۱.

[۴۰] «گزارش تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی بیرجند»، شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، ۱۳۸۷.

[۴۱] «گزارش نیمه تفضیلی شرکت طوس آب، گزارش نهایی دشت بیرجند، جلد هفتم: هیدروژئولوژی، مطالعات تعادل بخشی و نیمه تفضیلی منابع آب زیرزمینی دشت‌های بیرجند، سربیشه و مختاران»، ۱۳۸۷.

[42] J. Sterman, Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Itill publication, New York, 2000..

[43] A. Hosseini, "Derivation of strategies for sustainable development of water resources using a system dynamics approach – Case study: The water resources in Mashad plain", M.Sc. Thesis, Faculty of

Agriculture, University of Tehran, (in Persain), 2009.

[۴۴] سند توسعه شهرستان بیرجند، غیرقابل استناد، ۱۳۸۸.

[۴۵] سند راهبردی منابع آب استان خراسان جنوبی در برنامه پنجم توسعه ۱۳۹۰-۱۳۹۴، ۱۳۹۰.