

مدل سازی پویای سیستم سد و آب های زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک)

محمدتقی اعلمی^{۱*}، سعید فرزین^۲، محمدحسین احمدی^۳ و بهزاد آقابالایی^۳

^۱ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۲ دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۳ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

امروزه در کنار بحران آب، با کمبود مدیریت بهینه منابع آب بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک نیز مواجه می‌باشیم. افزایش روزافزون نیازهای آبی، محدودیت منابع آبی و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب کلیه نیازهای موجود را غیرممکن می‌سازد. لذا به منظور تأمین و عرضه آب با اطمینان پذیری بالا و رعایت اولویت‌های تخصیص به صورت شرب، حقایق کشاورزی، محیط زیست و صنعت نیاز به برنامه‌های دقیق و کامل می‌باشد. در این مقاله، اثرات سد مخزنی گلک در جمع‌آوری جریان‌های سیلابی در زمان‌های بارندگی، تأمین نیازهای منطقه و همچنین تغذیه آبخوان آبرفتی دشت پایین دست بررسی گردیده است. مطالعه نتایج پس از محاسبه درصد تأمین حجمی نیازهای مختلف و منبع تأمین آن‌ها، حاکی از آن است که با احداث سد تغذیه‌ای گلک و با تأمین صد در صد نیازهای شرب، صنعت، و کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی، می‌توان بیلان منابع آب زیرزمینی منطقه را به ۰/۵۷ رساند که این در نتیجه تزریق سالانه ۲ میلیون متر مکعب از طریق پخش سیلاب می‌باشد. همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش مشخص گردید که پس از ایجاد مدل یک سد در محیط VENSIM به راحتی می‌توان اثر سیاست‌های بهره‌برداری و مدیریتی مختلف را بر نحوه تخصیص منابع آب آن سد مشاهده کرده و بر اساس آن تصمیمات لازم را اتخاذ نمود.

واژگان کلیدی: مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی پویا، Vensim، سد گلک.

۱- مقدمه

شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، و ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می‌شوند. شبیه‌سازی یک سیستم می‌تواند مشخصات مدل و میزان دستیابی به اهداف را به ازاء مقادیر مختلف ورودی به آن بررسی کند. در تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده، به علت تعدد اجزاء سیستم و پیچیدگی‌های ارتباطات بین آن‌ها و بسیاری از موارد دیگر یک الگوریتم خاص برای حل مسئله وجود ندارد. در بسیاری از موارد نیز تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی مشکل بوده و بنابر این فقط مدل‌های شبیه‌سازی به عنوان مناسب‌ترین ابزار موجود مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک روش برای افزایش میزان درک و فهم از روابط بین اجزاء سیستم بوده و باعث ایجاد یک نگرش جامع و کلی به سیستم می‌شود. میزان شناخت و درکی که از این روش حاصل می‌شود، به ندرت توسط روش‌های دیگر قابل دستیابی است. در واقع زمانی یک سیستم به عنوان کل قابل درک است که موجودیت آن توسط روابط بین اجزاء تشکیل دهنده آن تبیین شده باشد. در ادبیات فنی، مدلی خوب تلقی می‌شود که بتواند شناخت از دنیای واقعی را افزایش دهد. اگرچه تمام مدل‌ها شکل ساده‌ای از دنیای واقعی هستند، اما همیشه این بحث وجود داشته

ایران با مساحتی در حدود ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در بین دریاهای خزر، عمان و خلیج فارس در محدوده‌ای خشک و نیمه‌خشک از خاورمیانه واقع گردیده است. بیش از نیمی از مساحت ایران را بیابان‌ها تشکیل می‌دهند و مابقی آن به صورت جنگل‌ها، مراتع و سطح زیر کشت می‌باشد. با توجه به مطالعات تاریخی در کشور، در هر محدوده‌ای که کشاورزان نیاز به آبیاری برای کشت داشته‌اند، مدیریت سیستم‌های منابع آب مطرح شده است و بر همین اساس همواره نظارت و کنترل بر بهره‌برداری از منابع اصلی مانند رودخانه‌ها بر عهده دولت مرکزی و منابع کوچک‌تر به عهده سیاست‌گزاران و یا مسئولین محلی بوده است. بنابر این مدیریت منابع آب همواره نقش کلیدی در تمدن ایرانیان ایفا کرده است. بر همین اساس، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با توجه به ساختارهای سیاسی و اقتصادی در کشور از پیشینه تاریخی بلند مدت برخوردار می‌باشد. در چهار دهه اخیر، تکنیک‌های تحلیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته است. انواع مدل‌های به کار رفته در این گونه مسائل به سه دسته مدل‌های

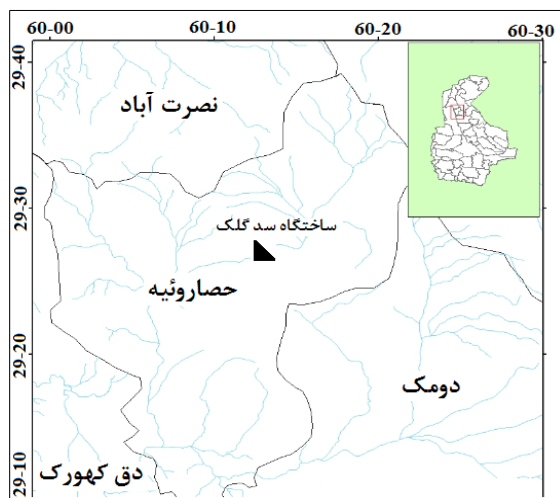
یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده تسریع و تسهیل می‌گردد و نیز پیامدهای نامشخص تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. در ادبیات تحلیل پویایی سیستم‌ها مدل‌های زیر قابل توجه هستند: اولین مدل شبیه‌سازی برای سیستم مخازن آبی توسط مهندسین ارتش آمریکا در سال ۱۹۵۳ جهت مطالعات بهره‌برداری شش مخزن بر روی رودخانه میسوری صورت گرفت [۴]. Canada Water مدل Simonovic را برای کل منطقه کانادا و قسمتی از کشور آمریکا در اطراف جزایر بزرگ به وسعت ۱۰ میلیون کیلومتر مربع مدل‌سازی کرد. برای رسیدن به این مدل منطقه‌ای از مدل Water World [۵] استفاده شده است. Canada Water، ۹ زیر مدل (جمعیت، سرمایه، کشاورزی، غذا، آب، کیفیت آب، انرژی، آلودگی ماندگار و منابع آب تجدید ناپذیر) را به صورت به هم پیوسته در نظر می‌گیرد. هدف این مدل شبیه‌سازی روابط بین کمیت و کیفیت آب کانادا با متغیرهای عمده اجتماعی-اقتصادی در یک بازه فراتر از صد سال است. دوازده سناریو برای سیاست‌های مختلف (تغییرات آب در دسترس، تصفیه فاضلاب، رشد اقتصادی، تولید انرژی و تولید غذا) شبیه‌سازی شده است [۶]. Ahmad و Simonovic [۷] با استفاده از روش پویا، سیستم بهره‌برداری از یک مخزن را برای سال پرآبی و چندین سیلاب رخ داده برای یک سد بررسی و رفتار مخزن را در برابر سیلاب شبیه‌سازی کردند. Chen و همکاران [۸] پژوهشی را تحت عنوان "توسعه تئوری و سیستم برنامه ریزی دینامیک به منظور مدیریت پایدار در سطح حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها" ارائه دادند که در این کار هدف، تعیین نحوه ایجاد مدیریت یکپارچه منابع آب زمینی، آب و هوا در سطح حوضه‌های آبریز می‌باشد. Winz [۹] با استفاده از سیستم‌های پویا، ساختاری برای یک سیستم تأمین آب و بهره‌گیری از چرخه‌های بازخورد و روابط پویا در گذر زمان برای شناسایی رفتار سیستم جهت مدیریت و توسعه پایدار منابع آب برای نیوزلند توسعه داد. Madani و Mariño [۱۰] تحلیل سیستم پویا را برای مدیریت کردن حوضه آبریز زاینده رود در ایران به کار بردند. در این مطالعه، روابط متقابل مختلف اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، و فیزیکی حوضه در نظر گرفته شد. آن‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی و به کمک حلقه علت معلولی به این نتیجه رسیدند که انتقال آب از حوضه دیگر تنها راه حل برای رفع مشکل نمی‌باشد. صادقی [۱۱] پویایی سیستم را برای مدل‌سازی بهره‌برداری مخازن مورد استفاده قرار داد. از جمله نقاط قوت این روش شبیه‌سازی می‌توان به افزایش سرعت توسعه مدل‌سازی، افزایش اعتماد به مدل در اثر مشارکت کاربر،

که چه میزانی از جزئیات را می‌بایست در مدل شرکت داد. اگر میزان اندکی از جزئیات در مدل به کار گرفته شوند، احتمال نادیده گرفته شدن ارتباطات مؤثر بین اجزاء به وجود خواهد آمد و در نتیجه مدل نمی‌تواند میزان شناخت از دنیای واقعی را افزایش دهد. این در حالی است که اگر جزئیات زیادی نیز در مدل به کار گرفته شوند، این امر باعث پیچیدگی بیش از حد مدل گشته و خود مانعی برای شناخت از دنیای واقعی خواهد بود. شبیه‌سازی در حالت کلی به صورت سعی و خطا انجام می‌گیرد. ابتدا با الهام از دنیای واقعی و براساس روابط ریاضی موجود مدل شبیه‌سازی ایجاد و سپس برای سناریوها و شرایط متفاوتی اجرا می‌شود. از طریق فرآیند شبیه‌سازی مسائل جدیدی را درک نموده و سپس مدل را تجدید می‌کنیم و این روند سعی و خطا را تا زمانی ادامه می‌دهیم که به میزان قابل قبولی از درک و شناخت از سیستم دست یابیم. این علم، نخستین بار پس از انتشار کتاب پویایی صنایع توسط جی Forrester در سال ۱۹۶۰ تدوین گردید [۱]. علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی می‌باشد که قادر به شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب می‌باشد. به کمک این روش می‌توان ارتباط بین عناصر مختلف سیستم را به صورت روابط علت و معلولی در آورد و نیز امکان مدیریت پارامترها و ساختارهایی که برای بهبود رفتار نیاز به تغییر دارند، میسر می‌شود [۲]. Senge [۳] درباره دو نوع پیچیدگی بحث می‌کند: پیچیدگی‌های جزئی و پیچیدگی‌های پویا. پیچیدگی‌های جزئی مربوط به سیستم‌هایی هستند که اجزاء تشکیل دهنده بسیاری دارند. اما پیچیدگی‌های پویا مربوط به سیستم‌هایی می‌باشند که دارای روابط علت و معلولی جداگانه‌ای در زمان یا مکان هستند. به نظر می‌رسد که در مواجهه با پیچیدگی‌های پویا مشکلات بزرگ‌تری به وجود بیاید؛ زیرا قادر نیستیم تا ارتباطات بین اجزاء سیستم و اندرکنش بین آن‌ها را به آسانی مشاهده و درک کنیم. یکی از بزرگترین امتیازات شبیه‌سازی قابلیت آن در تأثیرگذاری بر روی تراکم زمان و مکان، به خصوص در مورد روابطی که معمولاً در طی بازه زمانی طولانی‌تری آشکار می‌شوند، می‌باشد. نرم‌افزار VENSIM نیز از جمله ابزارهای قدرتمند در مطالعه سیستم‌های منابع آب می‌باشد. این نرم‌افزار، نوعی ابزار مدل‌سازی تصویری است که قادر به مجسم نمودن، پردازش، بهینه‌سازی و تحلیل سیاست‌های پیچیده سیستم‌های منابع آب و مدل‌های مربوط به سیستم‌های پویا می‌باشد. از VENSIM جهت تخصیص شبیه‌سازی حوضه آبریز و طرح‌های توسعه منابع آب نیز استفاده می‌گردد. به کمک این روش شبیه‌سازی،

مزایای این ابزارها مد نظر باشد. روش پویایی سیستم یک روش شبیه سازی شیء گرا براساس روابط بازخورد است که ضمن ایجاد مشارکت کاربران هر مدل در توسعه آن، سادگی و سرعت قابل توجهی را در تعریف سیستم و توسعه مدل ایجاد می نماید. امکان توسعه گروهی مدل ها و قابلیت و سادگی اصلاح مدل در واکنش به تغییرات سیستم نیز از جمله قابلیت های این روش است. در سال های اخیر استفاده از پویایی سیستم ها (SD)^۱ در شاخه های مختلفی از علوم مدیریت منابع آب مورد استفاده واقع شده است که می توان به موارد تحلیل منطقه ای و برنامه ریزی حوضه آبریز رودخانه، آب شهری، سیلاب، آبیاری و مدل های فرآیند پالایش آب اشاره نمود.

۳- محدوده مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه شامل حوضه آبریز مسیل حصارو از سرچشمه تا محل احداث سد مخزنی به مختصات ۱۳-۶۰ طول شرقی و ۲۷-۲۹ عرض شمالی بوده که بخشی از حوضه آبریز رودخانه ماهی در جنوب غربی زاهدان را تشکیل می دهد. مساحت آن تا محل سد برابر ۳۸۶ کیلومتر مربع بین طول های ۶۰-۰۹ تا ۲۳-۶۰ و عرض های ۲۹-۲۵ تا ۴۲-۲۹ قرار داشته و از شرق و جنوب به حوضه آبریز رودخانه ماهی، از شمال به حوضه آبریز مسیل نصرت آباد و از غرب به حوضه آبریز گرگ حیدر آباد محدود می گردد. موقعیت ساختگاه سد و ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه در شکل های (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت ساختگاه سد گلک در محدوده مطالعاتی حصاروئیه

و ارتباط مؤثر با نتایج اشاره نمود. آسانی ایجاد تغییر در مدل و توانایی انجام تحلیل حساسیت، این روش را از سایر روش های دیگر تحلیل مدل سازی بهره برداری از مخازن جذاب تر کرده است. جلالی و افشار [۱۲] برای بهره برداری از سدهای برقایی مدلی بر اساس پویایی سیستم ارائه کرده اند. در این مدل به راحتی می توان سناریوهای مدیریتی و منحنی های فرمان را اعمال کرده و با سرعت بالایی به حل مسئله پرداخت. صلیبی تبار و همکاران [۱۳] به کمک سیستم پویا مدل مدیریت آب شهری تهران را تهیه کرده و رفتار متغیر آب زیر زمینی را تا سال ۱۴۰۰ شبیه سازی کرده اند. گلیان و همکاران [۱۴] سیاست بهره برداری از منابع آب در حوضه آبریز آجی چای را با استفاده از روش سیستم پویا با توجه به منافع کلیه کاربران و کاربری ها تحلیل کرده و مناسب ترین سیاست که منافع همه کاربری ها و اهداف توسعه را ارضاء کند، را معرفی نموده اند.

در این پژوهش، طرح تخصیص منابع آب حوضه آبریز سد گلک با در نظر گرفتن رویکرد پویایی سیستم ها و با استفاده از نرم افزار VENSIM شبیه سازی و تحلیل می گردد. به این ترتیب که ابتدا اطلاعات لازم اولیه شامل اطلاعات بارش، داده های آبدی در محل سد و میزان تبخیر از سد تهیه می شود و سپس منابع آب ورودی به حوضه و نیازهای آبی قابل تأمین توسط آن ها محاسبه می گردند. پس از شبیه سازی، نحوه عملکرد مخزن سد گلک و همچنین تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرند.

۲- مدل پویایی سیستم

مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم گیری آینده نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش می باشد. این علم قادر است شبیه سازی سیستم های پیچیده منابع آب را برای پشتیبانی تصمیم گیری، انجام دهد. هدف عمده این روش شبیه سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم ها در شرایط فعلی و آینده است. اندرکنش منابع آب شهری با جنبه های تأمین و تقاضای آب، سیستم پیچیده ای را ایجاد می کند که تحلیل آن صرفاً با نگرشی جامع و با روش پویایی سیستم ها مقدور می باشد. امروزه در برخورد با مسائل منابع آب، نیاز به ابزارهایی است که بتواند ساختار و اجزاء سیستم های منابع آب را منطبق با خصوصیات و روابط واقعی آنها تعریف نماید و در کنار آن از سادگی و سرعت لازم برخوردار باشد. علاوه بر آن امکان مشارکت کاربران سطوح مختلف در توسعه مدل نیز می بایست به عنوان یکی از

۵- نیازهای آبی

به طور کلی نیازهای آبی در چهار بخش کشاورزی، صنعت، شرب و زیست محیطی طبقه بندی می شوند. در ادامه به نحوه برآورد این نیازها با جزئیات بیشتر پرداخته می شود.

۵-۱- نیاز کشاورزی در محدوده مطالعات

برای نیاز در بخش کشاورزی با استفاده از الگوی پیشنهادی کشاورزی و نیاز خالص آن ها در سند ملی آب برای هر منطقه، مساحت اراضی و راندمان آبیاری تحت فشار، نیاز کشاورزی مناطق مختلف حوضه آبریز برآورد می گردد (جدول ۱). بر اساس بررسی های انجام شده در گزارش وضع موجود کشاورزی دشت حصاروئیه، از ۱۱۱۸ کیلومتر مربع وسعت منطقه حصاروئیه، در حال حاضر ۴۶۹/۳ هکتار اراضی کشاورزی برآورد شده است که از این مقدار ۲۲۰/۵۷ هکتار زیر کشت گندم و جو، ۵۱/۶۲ هکتار زیر کشت یونجه و ۱۹۷/۱ هکتار زیر کشت پسته قرار دارد.

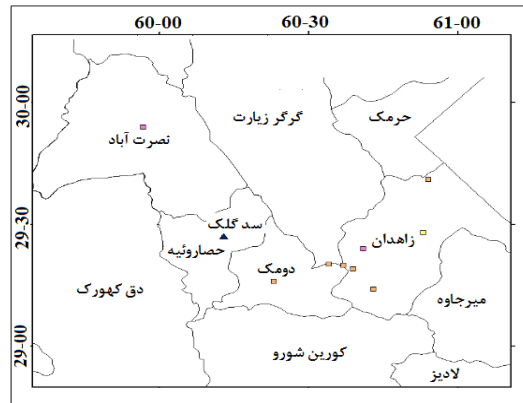
جدول ۱- توزیع ماهانه نیاز ناخالص اراضی کشاورزی موجود بر

حسب میلیون متر مکعب [۱۵]

نیاز کشاورزی	ماه	نیاز کشاورزی	ماه
۰/۱۶	فروردین	۰/۹۹	مهر
۰/۱	اردیبهشت	۱/۰۸	آبان
۰/۱۱	خرداد	۱/۸۸	آذر
۰/۱۹	تیر	۲/۲۹	دی
۰/۴۹	مرداد	۲/۰۲	بهمن
۰/۶۸	شهریور	۱/۰۴	اسفند
۱۱/۰۴		سالانه	

۵-۲- نیاز زیست محیطی در محدوده مطالعات

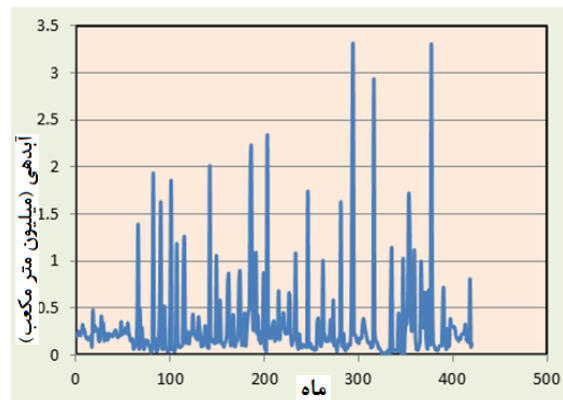
در ایجاد ساختار مدل علاوه بر نیاز کشاورزی و شرب و صنعت، نیاز زیست محیطی نیز مدنظر قرار گرفته است. نیاز زیست محیطی نیز در ماه های مختلف سال متغیر بوده است، اما مقادیر آن ها در طول سال های مختلف ثابت در نظر گرفته می شود. نیاز آب زیست محیطی در محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی یک ساله که به روش مونتانا [۷] محاسبه شده است، در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- موقعیت ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه در منطقه

۴- منابع آب سطحی

از آن جا که از رودخانه حصارو و شاخه های آن هیچ گونه آمار و اطلاعاتی در دست نبوده و حوضه های مشابهی نیز که دارای آمار باشد در نزدیک آن وجود ندارد، لذا در کلیه محاسبات مربوط به این بخش از روابط ریاضی و فرمول های تجربی همراه با به کارگیری اطلاعات فیزیکی حوضه و آمار هواشناسی استفاده شده است. بدین منظور از تناسب بارش و آبدهی متوسط سالانه برای ۱۵ سال آمار بارش رودخانه حصارو استفاده شد و مقادیر آبدهی سالانه ۱۵ ساله بر حسب میلیون متر مکعب محاسبه شد. از آن جا که مقادیر آبدهی ماهانه برای ۳۵ سال مورد نیاز می باشد، از آمار آبدهی ماهانه ایستگاه دامن که از نظر آمار کامل ترین ایستگاه موجود در مجاورت حوضه حصاروئیه می باشد استفاده گردید. بنابراین بین آبدهی سالانه ایستگاه دامن (مرجع) و ایستگاه حصاروئیه (طرح)، معادله رگرسیون را برازش می دهیم و از معادله به دست آمده برای برآورد آبدهی سالانه برای سال های بدون آمار استفاده می کنیم. سری زمانی آبدهی در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- سری زمانی ماهانه آبدهی بر حسب میلیون متر مکعب

جدول ۲- نیاز زیست محیطی حوضه سد گلک بر اساس روش

مونتانا برحسب میلیون متر مکعب (MCM)

ماه	نیاز کشاورزی	ماه	نیاز کشاورزی
مهر	۰/۰۱۴۱	فروردین	۰/۰۲۶۴
آبان	۰/۰۱۷۰	اردیبهشت	۰/۰۴۹۶
آذر	۰/۰۱۸	خرداد	۰/۰۵۲۸
دی	۰/۰۳۲۵	تیر	۰/۱۲۰۸
بهمن	۰/۰۶۵۵	مرداد	۰/۱۱۸۴
اسفند	۰/۰۶۲۰	شهریور	۰/۰۴۲۵

۶- تبخیر از مخزن سد و منابع آب زیرزمینی

در مهندسی هیدرولوژی، تبخیر از دو نظر حائز اهمیت می باشد. اول تبخیر مستقیم از سطح رودخانه ها، دریاچه ها و مخازن سدها و دوم تبخیر و تعرق از پوشش گیاهان داخل حوضه های آبریز که جزء تلفات آب به حساب می آیند. مقادیر تبخیر از سطح آزاد آب در محدوده مورد مطالعه، در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس مطالعات هواشناسی طرح حاضر، میزان تبخیر از سطح آزاد آب در محل سد، معادل ۱۷۹۷ میلی-متر در سال برآورد شده است [۱۵].

جدول ۳- تبخیر از سطح آزاد آب در محل سد و حوضه بر

حسب میلیمتر [۱۵]

ماه	متوسط حوضه	محل سد	ماه	متوسط حوضه	محل سد
مهر	۱۲۷	۱۳۳	فروردین	۱۴۲	۱۵۲
آبان	۱۰۴	۱۰۸	اردیبهشت	۱۸۳	۱۹۸
آذر	۸۱	۸۳	خرداد	۲۰۳	۲۲۳
دی	۷۴	۷۶	تیر	۲۱۳	۲۳۳
بهمن	۸۵	۸۸	مرداد	۱۹۱	۲۰۸
اسفند	۱۱۴	۱۲۰	شهریور	۱۶۳	۱۷۵

با توجه به نتایج آخرین دوره آماربرداری از منابع آبی (سال ۱۳۸۲) و به روز رسانی آمار تا سال ۱۳۸۵، در این محدوده مطالعاتی مجموعاً ۸۷ منبع آب زیرزمینی وجود دارد که تخلیه سالانه از این منابع در کل محدوده مطالعاتی ۱۲/۵۸ میلیون متر مکعب می باشد. تعداد منابع آب زیرزمینی و تخلیه آن ها به ترتیب عبارتند از: ۷۸ حلقه چاه با تخلیه ۱۱/۶۴ میلیون متر مکعب، ۷ رشته قنات با تخلیه ۰/۷۸ میلیون متر مکعب، و ۲ دهنه چشمه با تخلیه ۰/۶۱ میلیون متر مکعب.

۷- مصارف آب و نفوذ از آن ها به آبخوان

مصارف آب شامل مصرف کشاورزی، مصرف شرب و مصرف صنعت می باشند که در جدول (۴) ارائه شده اند. حجم کل مصارف محدوده مطالعاتی حصاروئیه برابر ۱۳/۶۳ میلیون متر مکعب در سال است که ۲/۰۴ میلیون متر مکعب آن در ارتفاعات مصرف می شود. حجم آب مصرفی در سطح ناحیه دشتی این محدوده مطالعاتی ۱۱/۵۹ میلیون متر مکعب در سال است که ۱۱/۰۴ میلیون متر مکعب آن در بخش کشاورزی، ۰/۰۷ میلیون متر مکعب در بخش صنعت و ۰/۴۸ میلیون متر مکعب به مصرف شرب می رسد. حجم کل آب مصرفی در محدوده آبخوان آبرفتی حصاروئیه از منابع آب های سطحی و زیرزمینی برابر ۱۱/۵۹ میلیون متر مکعب می باشد که ۱/۳۵ میلیون متر مکعب آن از آب های سطحی است. مصرف کشاورزی از آب های سطحی و زیرزمینی در محدوده آبخوان به ترتیب ۱/۳۵ و ۹/۶۹ میلیون متر مکعب و در کل ۱۱/۰۴ میلیون متر مکعب است. مصرف شرب ۰/۴۸ میلیون متر مکعب و مصرف صنعت حدود ۰/۰۷ میلیون متر مکعب در سال می باشد. نفوذ از مصرف کشاورزی به نوع آبیاری، بافت خاک، وضعیت کرت بندی مزرعه و حتی کیفیت آب مصرفی بستگی دارد و براساس تحقیقات انجام شده توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) نفوذ عمقی از مصرف آبیاری طبق جدول (۵) به دست آمده است. نفوذ از مصارف شرب و صنعت بر حسب نوع دفع پساب از طریق چاه های جذبی بین ۶۰ تا ۷۵٪ آب مصرفی را شامل می شود و در شهرهایی که طرح جمع آوری فاضلاب اجرا شده در حالت کامل، تغذیه آبخوان به ۱۰٪ آب مصرفی شرب هم کاهش می یابد. در آبخوان آبرفتی حصاروئیه نحوه آبیاری به صورت کرتی و سنتی بوده در نتیجه طبق جدول (۵) میزان نفوذ از آب آبیاری برابر ۳/۳ میلیون متر مکعب در سال حاصل شده که حدود ۳۰٪ آب مصرفی آبیاری می باشد و میزان نفوذ از آب شرب و صنعت چون دفع پساب از طریق چاه های جذبی است برابر ۰/۳۳ میلیون متر مکعب (۶۰ درصد آب مصرفی) حاصل شده است [۱۵].

۸- تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی

در دشت حصاروئیه چون سطح آب زیرزمینی عمیق تر از ۵ متر است لذا تبخیر از آن صورت نمی گیرد.

جدول ۴- مصرف آب در بخش های مختلف کشاورزی، شرب، و صنعت در محدوده مطالعاتی حصاروئیه [۱۵]

مصارف (میلیون متر مکعب)														منطقه مورد بررسی	نام محدوده مطالعاتی
جمع کل		کشاورزی				صنعت				شرب					
چشمه و قنات آب های سطحی	چاه و قنات	چشمه و آب های سطحی		چاه و قنات		چشمه و آب های سطحی		چاه و قنات		چشمه و آب های سطحی		چاه و قنات			
میزان مصرف	میزان مصرف	میزان مصرف	تعداد	میزان مصرف	تعداد	میزان مصرف	تعداد	میزان مصرف	تعداد	میزان مصرف	تعداد	میزان مصرف	تعداد		
۱/۳۹	۱۲/۲۴	۱/۳۹	۲	۱/۶۸ ۱۱	۷۵	-	-	۰/۰۷	۱	-	-	۰/۵	۱۰	محدوده مطالعاتی	
۰/۰۴	۲	۰/۰۴	۱	۱/۹۹	۲۳	-	-	-	-	-	-	۰/۰۲	۲	ارتفاعات	
۱/۳۵	۱۰/۲۴	۱/۳۵	۱	۹/۶۹	۵۲	-	-	۰/۰۷	۱	-	-	۰/۴۸	۸	دشت	
۱/۳۵	۱۰/۲۴	۱/۳۵	۱	۹/۶۹	۵۲	-	-	۰/۰۷	۱	-	-	۰/۴۸	۸	آبخوان	

جدول ۵- میزان تلفات (نفوذ) نسبت به راندمان آبیاری، روش آبیاری، و بافت خاک [۱۵]

میانگین نفوذ از آب مصرفی در مزرعه (برحسب درصد)		راندمان آبیاری (برحسب درصد)		نحوه انجام آبیاری و وضعیت مزرعه	روش آبیاری
بافت سبک	بافت سنگین	بافت سبک	بافت سنگین		
۳۰	۳۰	۶۰	۶۰	آبیاری روزانه با باد نسبتاً شدید	بارانی
۲۵	۲۵	۷۰	۷۰	آبیاری شبانه	
۱۵	۱۵	۸۰	۸۰		قطره ای
۴۰	۳۰	۴۵	۶۰	تسطیح و کرت بندی نامناسب	کرتی
۳۰	۲۰	۶۰	۷۵	به خوبی تسطیح و کرت بندی شده	
۴۰	۳۰	۴۰	۵۵	شیب و اندازه نامناسب	نشتی و نواری
۳۵	۲۵	۵۰	۶۵	شیب و اندازه مناسب	

محدوده حصاروئیه، سد گلک به منظور ذخیره آب سطحی بر روی رودخانه بیلک احداث شده که حجم ذخیره آن ۲/۸ میلیون مترمکعب می باشد و سالانه حدود ۱/۳ میلیون متر مکعب از آب سد جهت کشاورزی استفاده می شود. مصرف کل آب زیرزمینی و سطحی در محدوده مطالعاتی حصاروئیه ۱۳/۶۳ میلیون متر مکعب است که از این مقدار ۱۳/۰۷ میلیون متر مکعب در بخش کشاورزی، ۰/۰۷ میلیون مترمکعب در صنعت و ۰/۵ میلیون متر مکعب در بخش شرب به مصرف می رسد.

۹- برداشت از سفره آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب، و صنعت (W)

اصولاً برداشت از آب زیرزمینی به سه صورت انجام می گیرد که عبارتند از چشمه، قنات و چاهها. مهم ترین عامل کاهش تراز آب های زیرزمینی در محدوده دشت کورین و شورو برداشت از این منابع برای استفاده در مصارف گوناگون می باشد که در مدل سازی به عنوان عامل اصلی کاهش منابع آب زیرزمینی لحاظ شده است.

با توجه به نتایج آخرین دوره آماربرداری از منابع آبی درسال ۱۳۸۲ و بروز رسانی آمار تا سال ۱۳۸۵ در مطالعات تلفیقی، در

۱۰- مدل سازی در محیط VENSIM

در این مرحله مقادیر منابع و مصارف در حوضه سد در مقیاس های زمانی ماهانه به مدل وارد گردیده و عملکرد حوضه آبریز به لحاظ درصد تأمین زمانی و حجمی نیازهای شرب، محیط زیست، صنعت و کشاورزی در شرایط مختلف کم آبی و پرآبی حوضه به عنوان خروجی مدل به دست می آید.

۱۱- شبیه سازی

در مدل سازی، با توجه به این که در زمان های عادی و بر اساس دستورالعمل بهره برداری به منظور تغذیه سفره، دریاچه به میزان ۱۱ سانتی متر بازگشایی می گردد تا مطابق دستورالعمل مزبور دریاچه تحتانی به منظور تخلیه رسوبات در زمان سیلاب با دبی ۰/۴۵ تا یک متر مکعب بازگشایی شود (معادل ۲/۵ میلیون متر مکعب در ماه) و این امر در صورتی است که این مقدار حجم آب در پشت مخزن سد موجود باشد و اگر حجم آب پشت مخزن از این مقدار کمتر باشد، برای مدل تعریف شده که در آن شرایط هر میزان موجود آب را به پایین دست رهاسازی کند. همچنین در این شرایط با توجه به این که تراز محل آنگیر ورودی ۱۶۱۱/۳ متر می باشد، لذا حجم پایین تر از این تراز به عنوان حجم مرده لحاظ می شود که معادل ۰/۱ میلیون متر مکعب می باشد. حجم آب ورودی به مخزن سد گلک در طول دوره شبیه سازی در شکل (۴) نشان داده شده است.

زیرزمینی جهت تأمین نیاز کشاورزی و ۶۰ درصد آب برداشتی جهت تأمین نیاز صنعت و شرب به منابع آب زیرزمینی برمی گردد.

جهت انجام شبیه سازی گام زمانی ماهانه انتخاب گردید و طول دوره آماری برابر ۳۵ سال در نظر گرفته شده است. متناظر با این دوره آماری داده های آب دهی در محل ورودی به سد تغذیه ای گلک نیز به عنوان یکی از داده های اصلی ورودی در محل مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین با توجه به مکاتبات انجام یافته با شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان به علت عدم وجود اندازه گیری دقیق در آن منطقه در خصوص میزان استفاده از آب های سطحی و منابع آب سد گلک جهت تأمین نیازهای آن منطقه، در مدل سازی فرض بر این می باشد که تمام نیازهای شرب و صنعت و کشاورزی آن منطقه از طریق برداشت از منابع آب زیرزمینی تأمین می شود (معادل ۱۱/۵۹ میلیون متر مکعب در سال) و منابع آب سد جهت تغذیه آبخوان و بهبود کمبود منابع آب زیرزمینی می باشد.

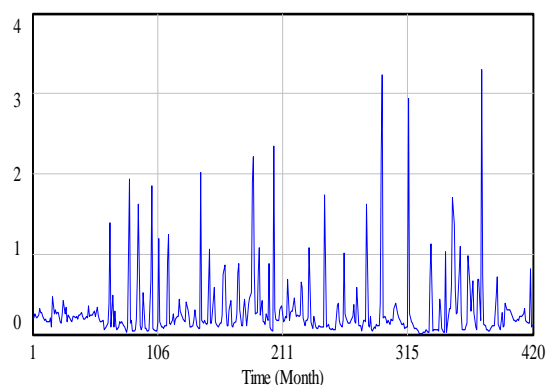
۱۲- صحت سنجی و واسنجی مدل

به منظور صحت سنجی مدل از آزمون های ساختار مدل (هماهنگی مدل با سیستم واقعی منابع و ذخائر سد) و آزمون شرایط حدی استفاده شده است [۱۶]. در آزمون شرایط حدی با تغییر ورودی ها و صفر کردن آن ها می توان صحت مدل را چک کرد. برای نمونه با صفر قرار دادن خروجی سد مشاهده می شود که تغذیه منابع زیرزمینی نیز کاهش یافته و به صفر میل می کند. بعد از صحت سنجی مدل، نوبت به واسنجی یا کالیبراسیون مدل می رسد. به منظور واسنجی باید خروجی مدل را با داده های صحرائی و مشاهداتی مقایسه کرد. بدین منظور از متغیر تراز آب زیرزمینی برای واسنجی استفاده شد و برای ارزیابی عملکرد مدل دو معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) بکار برده شدند. مقدار R^2 برابر با ۰/۹۱ و RMSE برابر با ۰/۵۹ به دست آمده است.

۱۳- نتایج حاصل از اجرای مدل

در این بخش از تحقیق، مدل سازی بر اساس رویکردهای گفته شده انجام پذیرفته و نتایج حاصل از این شبیه سازی برای هر یک از متغیرهای مؤثر در نمودارها و جداول مربوطه آورده شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند.

Water Inflow

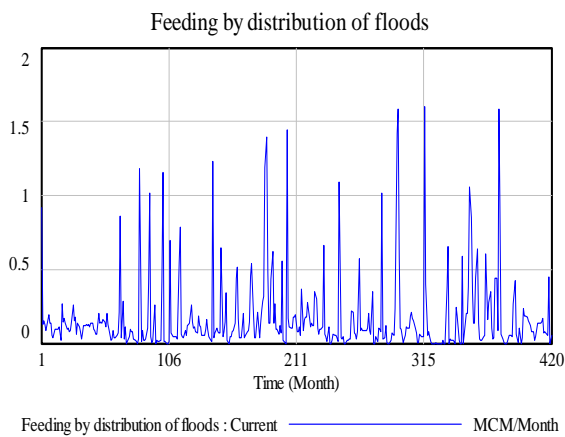


Water Inflow : Current — MCM/Month

شکل ۴- حجم آب ورودی به مخزن سد گلک در طول دوره

شبیه سازی

در مدل سازی راندمان روش پخش سیلاب جهت تزریق آب به منابع آب زیرزمینی ۶۵ درصد لحاظ شده و همچنین فرض بر این می باشد که ۳۰ درصد مقادیر آب برداشت شده از منابع آب

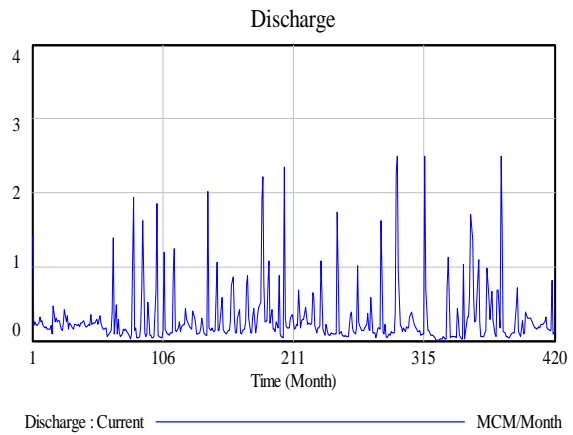


Feeding by distribution of floods : Current ————— MCM/Month

شکل ۶- مقادیر نفوذ آب به منابع آب زیرزمینی دشت حصاروئیه با روش پخش سیلاب در طول دوره شبیه سازی

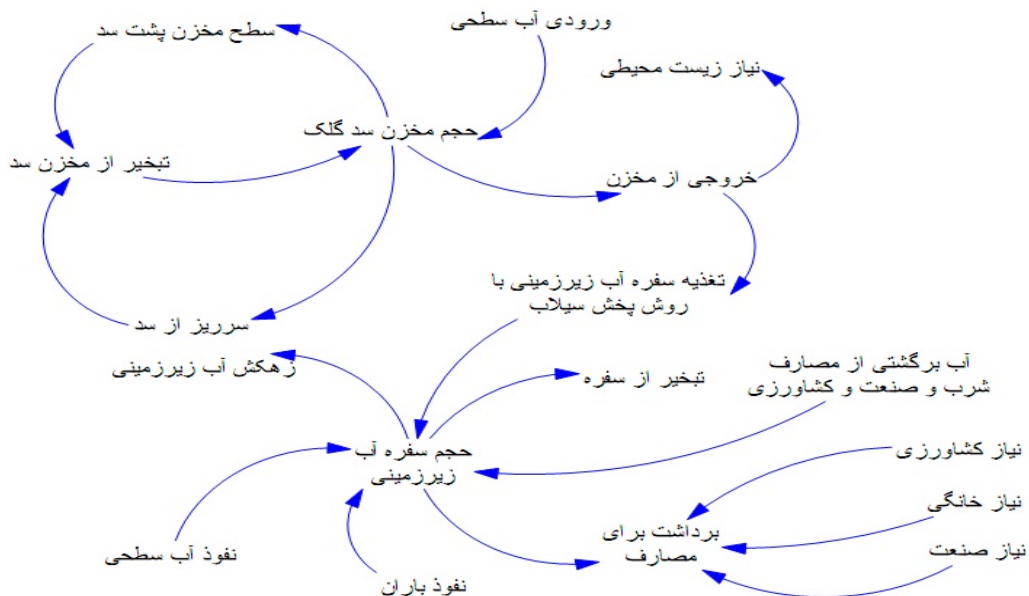
در شکل های (۹) و (۱۰) نیز میزان کمبود ماهانه در تأمین نیاز زیست محیطی پایین دست سد و تغییرات بیلان ماهانه منابع آب زیرزمینی دشت حصاروئیه در طول دوره شبیه سازی نشان داده شده است.

در شکل (۷) نمودار علت و معلولی و در شکل (۸) ساختار شبیه سازی مخزن در محیط VENSIM نمایش داده شده است. میزان تبخیر از مخزن سد گلک در طول دوره شبیه سازی، مقادیر تخلیه آب از مخزن جهت تغذیه آبخوان آبرفتی دشت پایین دست سد به روش پخش سیلاب و تأمین نیاز زیست محیطی و نیز مقادیر نفوذ به منابع آب زیرزمینی دشت حصاروئیه با روش پخش سیلاب، به ترتیب در شکل های (۵) و (۶) ارائه شده است.

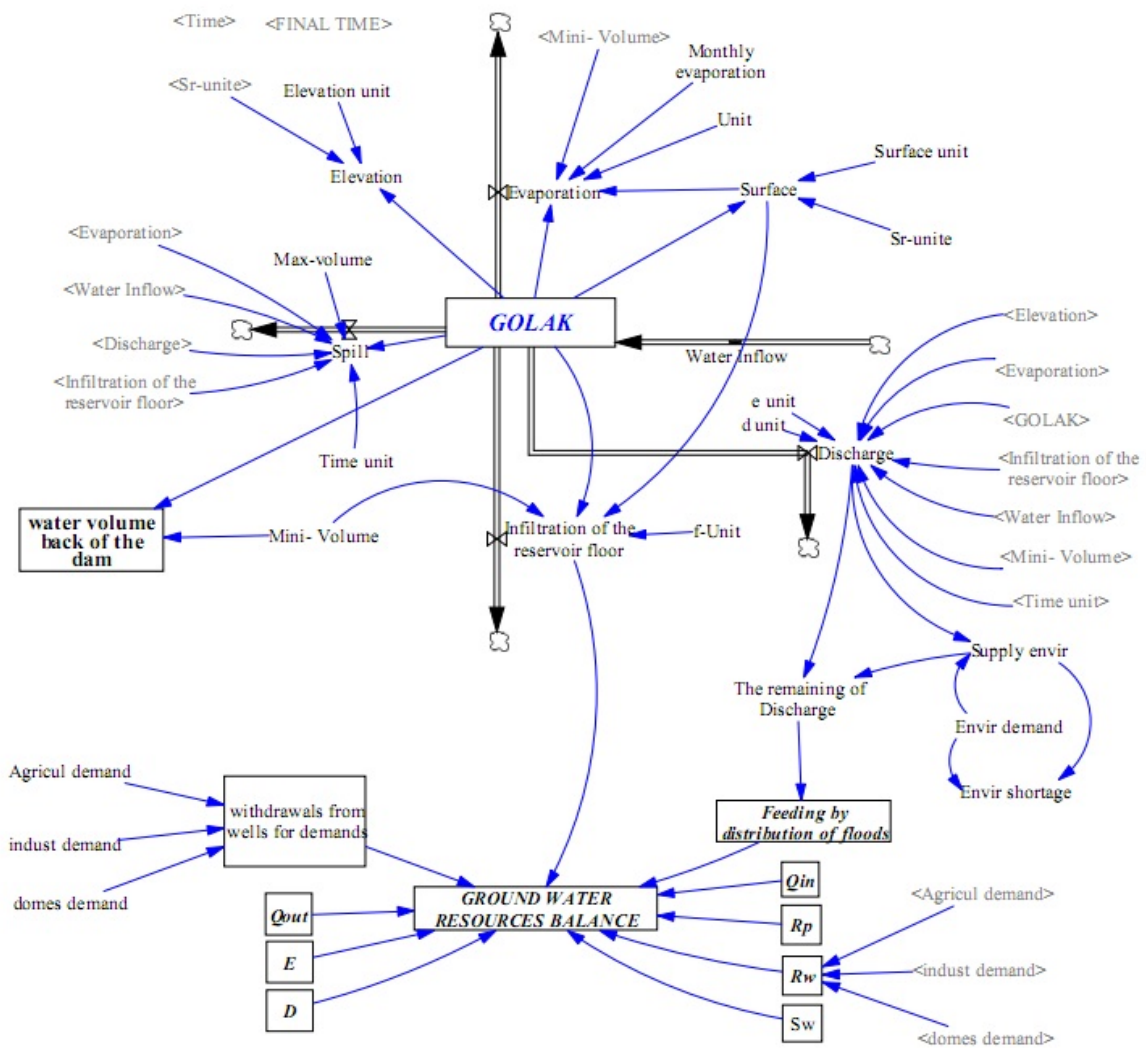


Discharge : Current ————— MCM/Month

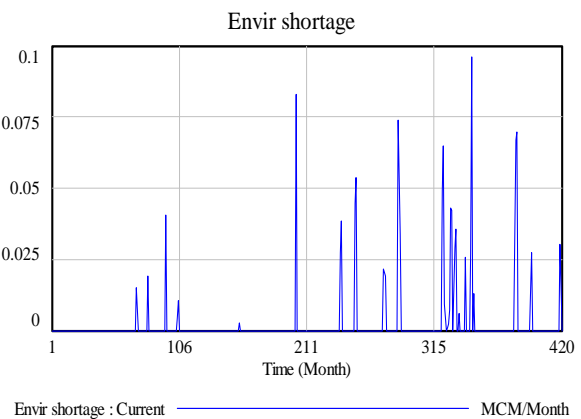
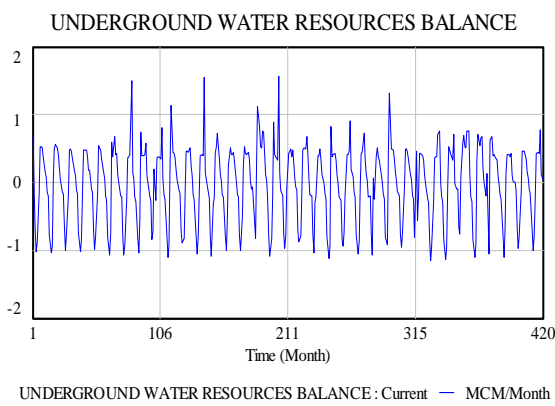
شکل ۵- مقادیر تخلیه آب از مخزن سد گلک جهت تغذیه به روش پخش سیلاب و تأمین نیاز زیست محیطی



شکل ۷- نمودار علت و معلولی سد و سفره آب زیرزمینی



شکل ۸- ساختار مدل جریان-ذخیره برای بهره‌برداری از مخزن سد گلک و منابع آب زیرزمینی دشت حصارو در محیط نرم‌افزار VENSIM



شکل ۱۰- تغییرات ذخائر ماهانه منابع آب زیرزمینی دشت حصاروئیه در طول دوره شبیه‌سازی

شکل ۹- میزان کمبود ماهانه در تأمین نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد در طول دوره شبیه‌سازی

جدول ۶- در صد تأمین حجمی نیازها و منبع تأمین آن ها

منبع تأمین نیازها	درصد تأمین حجمی (%)	تخصیص سالانه (mcm)	نیاز سالانه (mcm)	$\frac{C_p}{C_k}$
منابع آب زیرزمینی	۱۰۰	۰/۴۸	۰/۴۸	نیاز شرب
منابع آب زیرزمینی	۱۰۰	۰/۰۷	۰/۰۷	نیاز صنعت
منابع آب زیرزمینی	۱۰۰	۱۱/۰۴	۱۱/۰۴	نیاز کشاورزی
منابع آب سطحی	۹۳/۵	۰/۵۸	۰/۶۲	نیاز زیست محیطی

۱۴- نتیجه گیری

در مطالعات انجام شده در محدوده حوضه آبریز سد گلک، طرح تخصیص منابع آب این دشت مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا اطلاعات لازم اولیه شامل اطلاعات بارش، داده های آبدی در محل سد، میزان تبخیر از سد و سایر اطلاعات مربوط به مصارف جمع آوری شدند و نیازهای آبی در محدوده مورد مطالعه که شامل نیاز کشاورزی و شرب و صنعت و زیست محیطی بودند با استفاده از روش های استاندارد ارائه شده محاسبه گردیدند. در گام بعدی اطلاعات به عنوان ورودی جهت انجام مدل سازی در محیط نرم افزار VENSIM مورد استفاده قرار گرفتند. سپس ساختار مدل در نرم افزار مذکور تعیین شد و حلقه های علی- معلولی ترسیم شدند.

پس از صحت سنجی مدل ساخته شده از لحاظ ساختار منطقی آن و همچنین از لحاظ ابعادی، شبیه سازی برای یک دوره ۳۵ ساله انجام گرفته و نتایج آن به صورت گراف های جداگانه ارائه گردیدند. از طریق این نتایج نحوه عملکرد مخزن سد گلک و همچنین تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. همچنین بر اساس یافته های این ارزیابی مشخص شد که پس از ایجاد مدل یک سد در محیط VENSIM به راحتی می توان اثر سیاست های بهره برداری و مدیریتی مختلف را بر نحوه تخصیص منابع آب آن سد مشاهده کرده و بر اساس آن نتایج، اقدامات لازم را انجام داد. این سناریوها می توانند شامل تغییر در میزان آورد رودخانه در سال های آتی در اثر خشکسالی، تغییر در مقادیر نیازها و مصارف منطقه در اثر افزایش جمعیت و رشد و توسعه آن منطقه و یا هر نوع تغییر دیگری باشند.

با توجه به نمودار ذخائر منابع آب های زیرزمینی دشت حصارونیه حاصل از مدل سازی، متوسط ذخائر سالانه منابع آب های زیرزمینی منطقه در طول دوره شبیه سازی ۰/۵۷ میلیون متر مکعب می باشد و این در حالی است که این مقدار قبل از احداث پروژه تغذیه مصنوعی سد گلک، ۱/۰۲ میلیون متر مکعب می باشد که این نشان دهنده تأثیر مثبت این پروژه بر ذخائر منابع آب های زیرزمینی منطقه و جبران بخشی از کمبودهای منابع آب های زیرزمینی منطقه می باشد.

با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی می توان نتیجه گرفت که به منظور رسیدن به یک بیلان مثبت و یا حداقل نزدیک به صفر برای منابع آب های زیرزمینی منطقه بایستی هم از طریق روش های جدید آبیاری و کشاورزی و استفاده از آبیاری بارانی و یا قطره ای در باغات و مزارع میزان برداشتها از این منابع را جهت مصارف کشاورزی منطقه کاهش داد و همچنین بایستی که میزان برداشت از این منابع قانونمند شود تا بتوان مدیریت خوبی بر این منابع داشته و در مواقع بحرانی سیاست های مناسبی را اعمال نمود.

بر اساس گزارش روش شناسی نحوه بررسی تخصیص منابع آب طرح های توسعه منابع آب، محدوده قابل قبول درصدهای حجمی تأمین نیازهای مختلف به شرح زیر می باشد:

نیاز شرب:	درصد تأمین ۹۵-۱۰۰
نیاز صنعتی:	درصد تأمین ۹۰-۱۰۰
نیاز محیط زیست:	درصد تأمین ۹۰-۱۰۰
نیاز کشاورزی:	درصد تأمین ۸۰-۱۰۰

با توجه به جدول (۶) تنها درصد تأمین حجمی نیاز زیست محیطی که ۰/۹۳ محاسبه شده در محدوده گفته شده در بالا قرار ندارد که با توجه به این که در مدل سازی، حقایق نیاز زیست محیطی به صورت مجزا لحاظ شده و این در حالی است که با توجه به روش پخش سیلاب جهت تغذیه آبخوان آب رهاسازی شده به پایین دست سد با نیاز زیست محیطی هم پوشانی دارد و لذا این کمبود به وجود آمده در اثر این هم پوشانی قابل چشم-پوشی می باشد و همچنین این کمبود در حالی است که برای محاسبه نیاز زیست محیطی به روش مونتانا وضعیت قابل قبول برای پایین دست سد لحاظ شده است.

لذا می توان نتیجه گرفت که با احداث سد تغذیه ای گلک و با تأمین صد در صد نیازهای شرب و صنعت و کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی می توان بیلان منابع آب زیرزمینی منطقه را به ۰/۵۷ رساند که این در نتیجه تزریق سالانه ۲ میلیون متر مکعب از طریق پخش سیلاب می باشد.

[10] Madani, K., Mariño, M. A., "System Dynamics Analysis for Managing Iran's Ayandeh-Rud River Basin", *Water Resources Management*, 2009, 23 (11), 2163-2187.

[۱۱] صادقی، ن.، ابریشمچی، ا.، تجربی، م.، "مدل سازی بهره برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب، استفاده از روش تحلیل دینامیک سیستم"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ۲۲-۲۳ اردیبهشت، ۱۳۸۳.

[۱۲] جلالی، م. ر.، افشار، ع.، "شبیه سازی پویای سیستم تولید انرژی برقی"، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۲۶-۲۷ آبان، ۱۳۸۳.

[۱۳] صلوی تبار، ع.، ضرغامی، م.، ابریشمچی، ا.، "مدل پویای سیستم در مدیریت آب شهری تهران"، فصل نامه علمی پژوهشی آب و فاضلاب، ۱۳۸۵، ۵۹، ۱۲-۲۸.

[۱۴] گلپایگان، س.، ابریشمچی، ا.، تجربی، م.، "تحلیل سیاست های بهره برداری از منابع آب در حوضه آبریز با روش پویای سیستم"، فصل نامه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۱۳۸۴، ۸۰، ۷۰-۶۳.

[۱۵] مهندسین مشاور لار، "گزارش تلفیق منابع آب حوضه آبریز کویر لوت، بیان آب محدوده مطالعاتی حصاروئیه"، مهندسین مشاور لار، ۱۳۸۹.

[16] Zarghami, M., Akbariyeh, S., "System dynamics Modelling for Complex Urban Water Systems: Application to the City of Tabriz, Iran", *Resource, Conservation and recycling*, 2012, 60, 99-106.

۱۵- قدردانی

بدین وسیله از همکاری ارزشمند مهندسین مشاور آذر کاو آب و سازمان آب منطقه ای سیستان و بلوچستان تشکر و قدردانی می گردد.

۱۶- مراجع

- [1] Forrester, J. W., "Principle of System", Wright-Allen Press, Cambridge, MA, 1968.
- [2] Sterman, J., "Business Dynamics: Systems Thinking for a Complex World", Irwin/Mc Graw-Hill, 2000.
- [3] Senge, P. M., "The Fifth Discipline, the Art & Practice of the Learning Organization", New York: Currency Doubleday, New York, 1990.
- [4] Ackoff, R. L., "Progress in Operations Research", John wiley & sons, New York, 1969.
- [5] Simonovic, S. P., "World Water, A Tool for Global Modelling of Water Resources", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2001, 18 (3), 6-12.
- [6] Simonovic, S. P., "Canada Water, A Tool for Modelling Canadian Water Resources", Presentation at the Canadian Commission for UNESCO (CCU), Annual General Meeting, 1-2 Ottawa, 1-2 March, 2003.
- [7] Simonovic, S. P., Ahmad, S., "System Dynamics Modelling of Reservoir Operation for Flood Management", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2000, 14 (3), 190-198.
- [8] Chen, C. H., Liu, W. L., Liaw, S. L., "Development of a Dynamic Strategy Planning Theory and System for Sustainable River Basin Land Use Management", *Science of the total Environment*, 2005, 346 (1), 17-37.
- [9] Winz, I., "A System Dynamic Approach to Sustainable Urban Development", the 23rd International Conference of the System Dynamics, Boston, USA, January, 2005.

EXTENDED ABSTRACT

System Dynamics Modeling of Dam and Groundwater for Optimal Water Management (Case study: Golak Dam)

Mohammad Taghi Alami, Saeed Farzin, Mohammad Hossain Ahmadi, Behzad Aghabalaee

Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

Received: 19 May 2013; **Accepted:** 10 December 2013

Keywords:

Water resource management, System dynamics, VENSIM, Golak dam, groundwater

1. Introduction

Nowadays, beside water shortage, we face with mismanagement in water resources. In this situation, optimal water management especially in arid and semi-arid areas is very important. The increase of water demands due to population growth, industrial and agricultural developments was inevitable. On the other hand, due to water resources limitations and principal of sustainability in water management, water allocation, is a very challenging work. Hence, for answering to agricultural, municipal, industrial and ecological demands with high reliability, we need very rigorous programs. The purpose of this paper is to investigate the effect of storage dam on Hesaroo river in Golak area for floodwater collection at raining times and also providing so called demands to recharge the alluvial aquifer, downstream plain and also rich the groundwater.

2. Methodology

2.1. System Dynamic Modelling (SDM)

System Dynamic Modelling is a methodology for studying feedback systems. Forrester introduced SDM as a methodology for decision-making in industrial management problems [1]. SDM is extensively used for water resources modelling due to its flexibility, effectiveness in assessing different management options, ease of operation and suitability for encouraging stakeholder involvement [2]. For simulation, first we made a basic demand and supply framework and our model in Vensim is originated from that framework. In this model, all demands, supplies and also groundwater has been considered.

2.2. Developed model

We identified shortage in groundwater, agricultural and environmental demands as the most important elements in Golak area. For that reason, after making causal loop diagram (CLD), we developed a Stock and Flow Diagram (SFD) for Golak dam. This model includes Golak storage, evaporation from it, groundwater supply, municipal, agricultural, industrial and environmental demands. Because of groundwater crisis in that area, we added a new Stock to model for distribution of floods to enrich the groundwater supply. The proposed system dynamics model was validated by comparing estimated values to historical data. Validation proved the accuracy of our model.

* Corresponding Author

E-mail addresses: Mtaalami@tabrizu.ac.ir (Mohammad Taghi Alami).

3. Results and discussion

3.1. SFD model in VENSIM

In order to investigate the effect of distribution of floods for enrichment of groundwater supply, we run the model (Fig.1) and analyze the effects of distribution while all demands are answered. The results show significant increasing in groundwater's elevation.

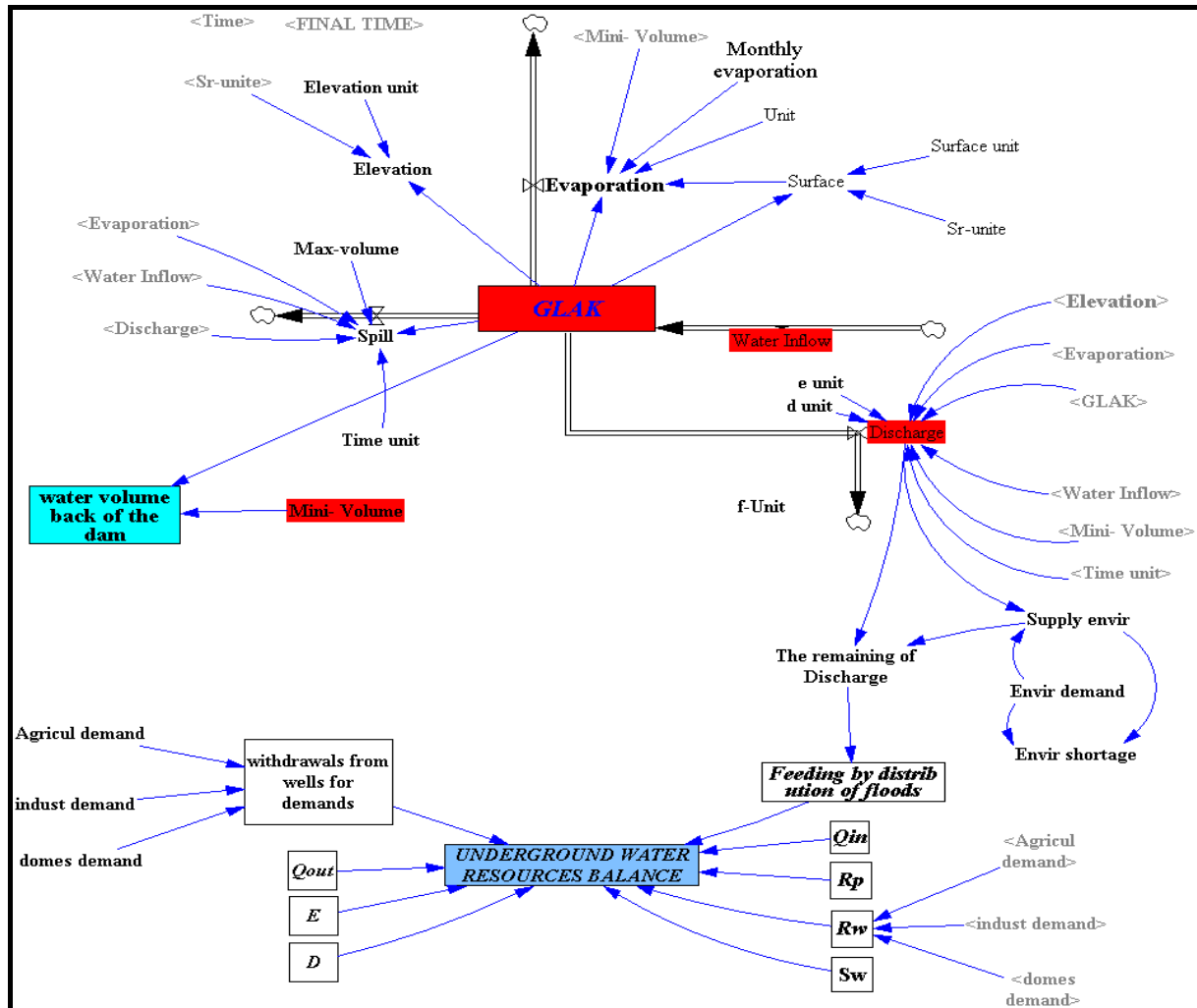


Fig. 1. Developed Stock and Flow Diagram for Golak dam storage and Hesaroo plain's groundwater in VENSIM

4. Conclusions

This study has showed that System Dynamics is a useful decision support tool for the simulation of sustainable water resource management. Results of this study showed the effect of Golak dam on groundwater storage by distribution of floods to enrich the groundwater. According to this paper, this model can use for the implementation of different managing and operational policies on the water resource allocations. Different Scenarios such as altering the river flow due to dry periods and changing in various demands because of growth in population and industry can be simulated and analyzed by this model.

5. References

- [1] Forrester, J. W., "Principle of System", Wright-Allen Press, Cambridge, MA, 1968.
- [2] Susnik, J., Molina, J. L., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savic, D. A., Kapelan, Z., "Comparative Analysis of System Dynamics and Object-Oriented Bayesian Networks Modelling for Water Systems Management", Water Resour Manage, 2013, 27, 819-841.