ارزیابی عرضه و تقاضای منابع آب در حوضه هراز با رویکرد مدل پویایی سیستم (Vensim)

حسین منتصری*[۱]، حامد متقی [۲]، رضا خلیلی[۳]،ابوالفضل زالی[۳]

۱*. استادیار رشته مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج
۲.دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب دانشگاه یاسوج
۳. کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب
*ایمیل نویسنده مسئول:hmontaseri@gmail.com

تاریخ دریافت : ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش : ۱۳۹۹/۱۲/۰۶

چکیده

کمبود منابع آب یکی از بزرگ‌ترین و دشوارترین موضوعاتی زیست‌محیطی می‌باشد که در کشور ایران به‌سرعت در حال افزایش می‌باشد. با توجه به وضعیت کمبود منابع آب در حوضه هراز، این مقاله یک مدل پویایی سیستم (SD) برای ظرفیت حمل منابع آب (WRCC) ایجاد کرده و تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آب را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده است. جهت انجام تجزیه‌وتحلیل سه سناریو برای شبیه‌سازی WRCCاز سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ طراحی‌شد و کل تقاضای آب و مقدار خروجی محصولات ثانویه به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی برای مطالعه WRCC در حوضه هراز انتخاب شدند. نتایج نشان دادند که ظرفیت حمل منابع آب در حوضه هراز نمی‌توانند پاسخگوی تقاضای توسعه‌های اقتصاد اجتماعی در سال‌های آینده باشد و سناریوی سوم به‌طور مؤثر می‌تواند کمبود آب را جبران کند. بر این اساس، به‌منظور تضمین استفاده پایدار از منابع آب باید سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف آب به‌شدت افزایش یابد.

کلمات کلیدی

" عرضه و تقاضا " ," منابع آب " ," حوضه هراز " ," پویایی سیستم "," Vensim "

Evaluation of water supply and demand in Haraz basin with system dynamics model approach (Vensim)

Hossein Montaseri [1*], Hamed Motaghi [2], Reza Khalili [3], Abolfazl Zali[3]

1.*Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University
2.M. Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran
3. Master of Civil Engineering, majoring in Engineering and Water Resources Management
*Email Address: hmontaseri@gmail.com

Abstract

Lack of water resources is one of the biggest and most difficult environmental issues that is increasing rapidly in Iran. Given the scarcity of water resources in the Haraz Basin, this paper develops a system dynamics (SD) model for water resources carrying capacity (WRCC) and analyzes the balance between water supply and demand. For analysis of three scenarios to simulate WRCC from 2010 to 2030 Trahyshd and total water demand and the output value of secondary products as criteria for the study were selected WRCC Haraz basin. The results showed that the capacity to carry water resources in the Haraz Basin can not meet the demand for socio-economic development in the coming years and the third scenario can effectively compensate for water shortages. Accordingly, in order to ensure the sustainable use of water resources, water conservation policies should be greatly increased.

Keywords

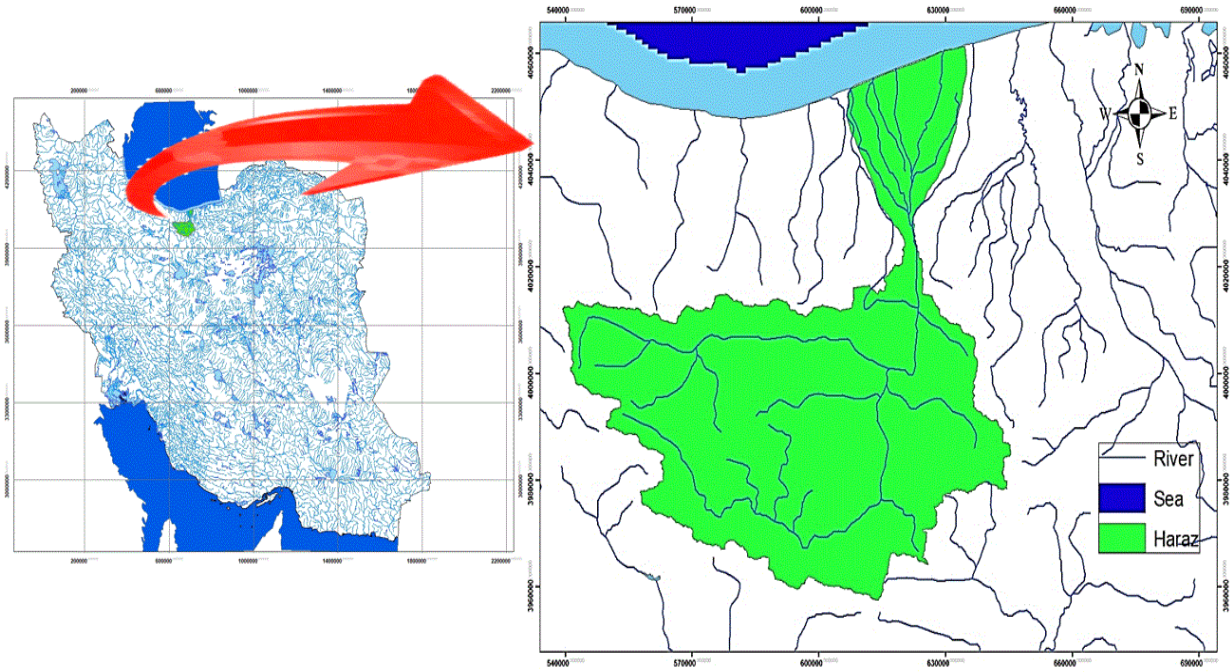
‘‘Supply and demand’’, ‘‘Water resources’’, ‘‘Haraz basin’’, ‘‘System dynamics’’, ‘‘Vensim’’

۱- مقدمه

دسترسی به آب شیرین و سالم یکی از مهم‌ترین مشکلات مطرح‌شده برای جوامع انسانی در حال حاضر است. از طرفی افزایش تقاضا برای ذخایر آبی با توجه به افزایش جمعیت شکل‌گرفته است و به‌منظور جایگزینی آنچه مصرف می‌شود و از طرف دیگر آلودگی منابع آب مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و سایر منابع ، این موضوع را در آینده به بحرانی جدی مبدل خواهد کرد(khalili, 2020). ازاین‌رو بهره‌برداری مناسب و بهینه از منابع آب و جلوگیری از آلودگی منابع آب و منابع تجدیدشونده یکی از ارکان اصلی برای توسعه می باشد(khalili, 2020). ارزیابی‌های اخیر نشان می‌دهد که استفاده و مدیریت منابع آبی کشور مطلوب و کاربردی نبوده و در حال حاضر مشکلات مختلفی در این زمینه مشاهده می‌گردد , Pires). (2017ازاین‌رو باگذشت زمان،آنچه در برنامه‌ریزی و مدیریت کاربردی منابع آب اهمیت پیدا می‌کند، اداره نظام اجرایی، بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و تخصیص آب به شکلی است که با دیدی کامل به مجموعه نیازها و امکانات در سطح ملی و فراملی و قسمت‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی مدیریت منابع آب بتواند نقشی اساسی و شایسته بنمایش بگذارد(Kkhalili, 2020).روش‌های متنوعی برای ارزیابی و مدیریت منابع آب ازجمله برنامه‌ریزی خطی استفاده‌شده است اما یکی از راهکارهای نوین مدیریتی در عرصه مدیریت منابع آب، پیدایش مفهوم آب مجازی بوده است.مفهوم آب مجازی به معنای آبی است که به‌صورت آشکار و نهان در یک مدت معین برای تولید یک کالای مشخص استفاده می‌شود و نخستین بار در دهه‌ی ۹۰ میلادی مطرح شد(Allan 1998). سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) ، با تأکید بر نقش صنعت کشاورزی و پایداری زندگی روستایی در جهان ، تأکید کرد که در بیشتر کشورها ، به‌ویژه کشورهایی که دارای اقتصاد شکننده هستند ، اشتغال و درآمد بسیاری از مردم به کشاورزی بستگی زیادی دارد. ازاین‌رو ، صنعت کشاورزی و توسعه پایدار زندگی روستایی از اولویت بالایی در برنامه‌های استراتژیک FAO برخورداراست(Food 2018). معرفی این رویکرد در مدیریت منابع آب، نیاز به برآورد کردن آب مجازی فراورده های کشاورزی اهمیت یافت(Zhang, 2018). با توجه به پیچیدگی دستگاه‌های منابع آب، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به‌منظور تدوین روشی برای بالا بردن اطمینان بهره‌برداری در خصوص به‌کارگیری سیاست‌های سازگاری، موردتوجه قرارگرفته است.یکی ازاین مدل‌ها، شبیه‌سازی به کمک پویایی سیستم است(Sun, 2017).

به‌منظور مطالعه روابط متقابل بین توسعه پایدار اجتماعی و منابع آب ، ظرفیت حمل منابع آب(WRCC) مطرح شد ، که نقش مهمی در توسعه همه‌جانبه یک کشور یا منطقه و همچنین مقیاس توسعه آن دارد(Cheng, 2018). (WRCC) عامل اصلی در محدود کردن توسعه پایدار است. روش ارزیابی WRCC اولیه پویایی سیستم است، که قادر به مشاهده ویژگی‌های پویا داخلی WRCC در سطح جهانی و تجزیه‌وتحلیل اثرات تغییر سیاست درروند توسعه WRCC است(Yang, 2019). در مقایسه با روش‌های دیگر ، روش دینامیک سیستم دارای ویژگی‌های بازخورد متغیر در زمان ، غیرخطی و چندگانه است ، مانند فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی، آنتروپی اطلاعات و تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی. روش پویایی سیستم هنگام برخورد با مسئله توسعه پایدار پیچیده و اکولوژیکی مزیت خاص خود را دارد(Khalili, 2021) . امروزه استفاده از مدل پویا، به دلیل وجود محدودیت‌های زیاد در بخش کشاورزی، برای بهبود بازده آب، کاربرد فراوانی پیداکرده است.تحقیقات زیادی با استفاده از عملکرد مدل پویایی دستگاه‌ها جهت شبیه‌سازی سیستم منابع آب استفاده‌شده است. مدل منابع و مصارف آب شهری تهران با روش پویایی سیستم برای ارزیابی روند منابع و مصارف و عوامل تأثیرگذار بر آن توسط تهیه و توسعه داده‌شده است.وانگ[1] و همکاران ۲۰۱۷ یک مدل پویایی سیستم (SD) برای ظرفیت حمل منابع آب (WRCC) در شهر پکن ایجاد کردند. با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای مدل SD ، روند تغییرات از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۰ در جمعیت ، اقتصاد ، تأمین و تقاضای آب و فشار بر محیط آب برای پکن مشتق شده است ، که از آن ۱۲ متغیر اصلی مدل به‌عنوان WRCC انتخاب شد. شاخص‌های ارزیابی پنج مورد در این مطالعه طراحی شد و نتایج نشان می‌داد که WRCC با پیروی از وضع موجود سالانه به روند نزولی خود ادامه خواهد داد ، زیرا محیط‌زیست آب در حمایت از توسعه اجتماعی و اقتصادی بلندمدت پکن مشکل خواهد داشت. بنابراین وضع موجود در توسعه اقتصادی را در پکن پایدار ارزیابی نکردند(Wang, 2017). شمسی[2] و همکاران ۲۰۱۴از رویکرد پویایی سیستم و مدل vensim استفاده کردند. سیستم منابع آب را در حوزه‌ی کرخه مدل‌سازی کردند و شاخص‌های پایداری را تحت بررسی قراردادند که بر اساس نتایج کاهش تقاضای آب خالص محصول را ضروری ارزیابی کردند(Abadi, 2015). لی[3] و همکاران ۲۰۱۴با استفاده از حوضه رودخانه *Luanhe* در چین به‌عنوان یک منطقه مطالعه ، یک مدل سیستم پویا (SD) حوضه را تنظیم کردند و فاکتورهای مهم اقتصادی اجتماعی و محیطی مهم و ارتباط آن‌ها را در نظر گرفتند. روندهای قابل‌توجه برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد و ظرفیت حمل منابع آب (WRCC) و روند آن طی ۳۰ سال آینده مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج حاکی از روند کاهشی WRCC در حوضه است و رشد اقتصادی فعلی را پایدار ندانستند(Xie, 2014). مطالعه حاضر پروژه‌های تخصیص بهینه‌شده احتمالی را بررسی کرد. مناسب‌ترین پروژه ترکیبی از استراتژی‌هایی که می‌تواند WRCC را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد ، تقاضا را کاهش دهد ارزیابی نمودند.در این پژوهش ابتدا یک مدل پویایی سیستم برای ارزیابی علمی WRCC در حوضه هراز ایجاد و شبیه‌سازی شد(ایجاد یک مدل پویایی سیستم برای عرضه و تقاضا منابع آب) و تغییرات WRCCتحت شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و درنهایت استراتژی بهینه‌سازی به برای تأمین آب برای بهره‌برداری بیشتر و اختصاص بهینه منابع حوضه هراز ارائه شد(استراتژی بهینه برای توسعه پایدار منابع آب در حوضه هراز در آینده).

1 Wang
2 . shams
3 . Li



شکل ۱: منطقه موردمطالعه

۲- محدوده مطالعه:

حوضه هراز در جنوب شهرستان آمل در استان مازندران واقع شده است. این حوضه یکی از حوضه‌های وسیع کشور می‌باشد که در تقسیم‌بندی حوضه‌های ایران حوضه فرعی به‌حساب می‌آید. مختصات جغرافیایی حوضه آبریز هراز در ´۴۲ °۵۱ تا ´۶۱ °۵۲ طول جغرافیایی شرقی و ´۵ °۷۵ ´۶۹ °۳۵ تا ´۳۶ عرض شمالی واقع‌شده است. دمای متوسط ۱۳ درجه سلسیوس، متوسط بارندگی سالیانه ۵۱۵ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه ۶/۶ میلی‌متر است. آب‌وهوا این حوضه در تابستان گرم و مرطوب و در زمستان سرد و مرطوب می‌باشد و میانگین بارش سالانه این حوضه نسبت به متوسط کشور بالاتر بوده. رودخانه هراز با متوسط آبدهی ۱۰/۳۱ مترمکعب بر ثانیه، پرآب‌ترین رودخانه در این حوضه می‌باشد که تأمین آب زراعی کشاورزان آمل، فریدون‌کنار، محمودآباد ، بخشی از بابل و نور نیز ازاین رودخانه تأمین می‌گردد. تأمین آب کل حوضه هراز از تجهیزات موجود تأمین آب در سال ۲۰۱۸، ۲۱/۴ میلیون مترمکعب و کل تقاضای آب ۳۳/۳ میلیون مترمکعب است. این شرایط موجود بیان می‌کند که ظرفیت تأمین آب قادر به پاسخگویی به نیازهای توسعه اقتصادی ملی برای تقاضای آب نبوده است. با تحلیل شرایط موجود عرضه و تقاضای آب در شهر، می‌توان به این نتیجه رسید که با توسعه اقتصادی و اجتماعی، تقاضای آب در طول بازه مشخصی از زمان همچنان افزایش‌یافته و تضاد بین عرضه و تقاضا بیشتر خواهد شد.

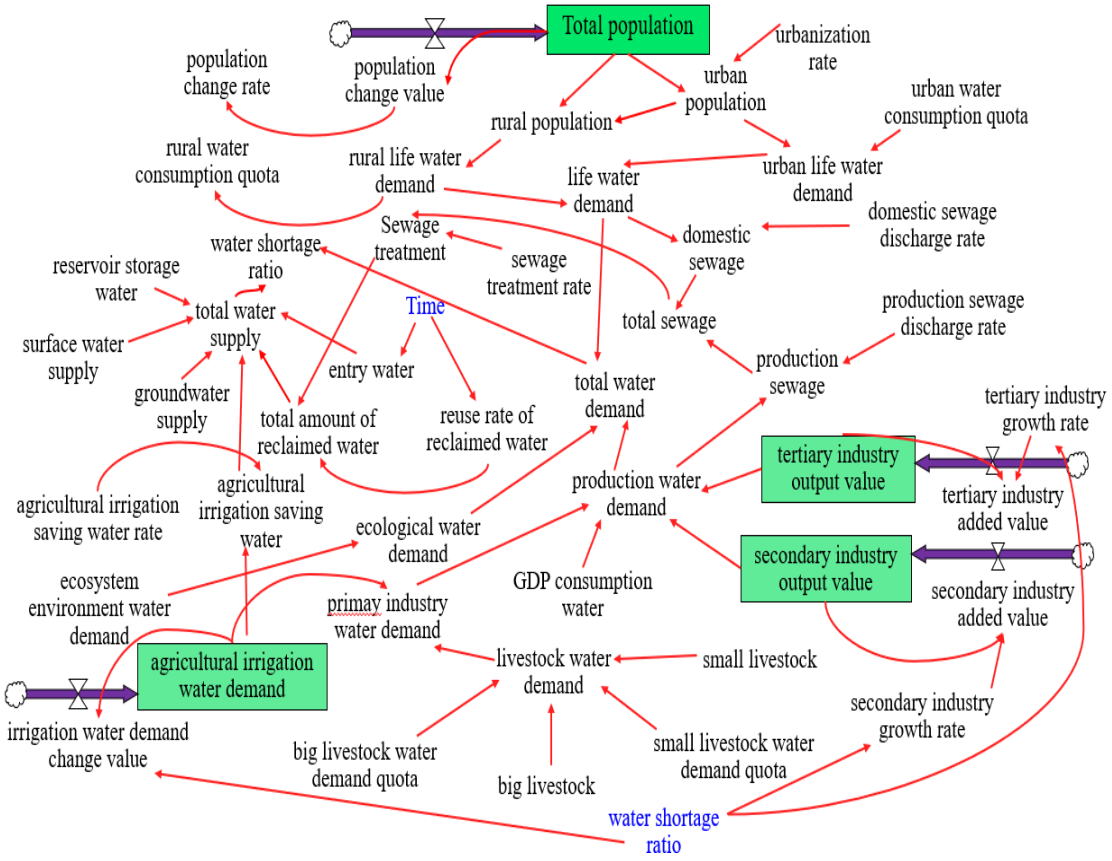
۳- مدل پویایی سیستم استفاده پایدار منابع آب

۳-۱ منابع داده:

منابع اصلی داده در این مقاله از گزارش‌ها سالانه آماری (۱۳۹۸-۱۳۹۶) از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران می‌باشد و دیگر اطلاعات توسط روابط ریاضی محاسبه‌شده‌اند.

۳-۲ شبیه‌سازی پویایی سیستم:

در این مقاله از Vensim به‌عنوان یک بستر شبیه‌سازی برای ایجاد یک مدل پویایی سیستم تأمین و تقاضای منابع آب در حوضه هراز استفاده شد که شامل زیرشاخه‌های تقاضای آب خانگی، تولید، زیست‌محیطی و زیرشاخه تأمین آب می‌باشد که با یکدیگر ارتباط دارند. شکل ۲ مدل پویایی سیستم عرضه و تقاضای منابع آب حوضه هراز را نشان داده و جزئیات ارتباط بین چهار زیرشاخه را ارائه می‌کند.



شکل ۲. مدل SD سیستم تأمین و تقاضای منابع حوضه هراز

۱-زیرشاخه آب مصرفی خانگی شامل مصرف خانگی شهری و روستایی می‌شود که مصرف آب خانگی (شهری و روستایی) شامل جمعیت (شهری و روستایی) و سهم مصرف آب خانگی (شهری و روستایی) است.

۲-زیرشاخه آب مصرفی تولیدی شامل مجموع آب مصرفی صنایع اولیه و مصرف آب صنایع ثانویه است. آب مصرفی صنایع اولیه شامل آب مصرفی احشام و آب مصرفی آبیاری کشاورزی می‌باشد و آب مصرفی صنایع ثانویه محصول مصرف آب تولید ناخالص داخلی و مقدار خروجی صنایع ثانویه است.

۳-زیرشاخه آب مصرفی زیست‌محیطی عموماً شامل آب مصرفی محیط‌زیست است.

۴- زیرشاخه تأمین آب. منابع آب در دسترس حوضه هراز شامل تأمین آب سطحی، تأمین آب زیرزمینی، آب ذخیره مخزن ، آب ذخیره‌شده آب آبیاری، آب پس گرفته‌شده و آب ورودی است.

مقدار اولیه متغیرهای اصلی در شبیه‌سازی منابع آب مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. مقدار اولیه متغیرهای اصلی

total population 10^3	urbanization rate/ %	secondary output value	large livestock/ head	small livestock/ head
۴۸۱/۱	%۳۶/۸	۴۶/۴۵	۳/۳۱	۱۹/۵۲

این تحقیق تشکیل معادله اصلی را نشان می‌دهد.

معادله متغیر L به‌صورت زیر است:

رابطه (۱) $$L(t) = L(t_0) + \int_{t_0}^{t} R(t)dt$$

L (t) =مقدار متغیر تجمعی در لحظه t

R (t)=نرخ تغییر در L (t) می‌باشد.

معادله نرخ متغیر R به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۲) $$R(t) = g[L(t), A(t), e(t), c]$$

که L(t), R(t) تعریف مشابه با فرمول (۱) دارند، A(t), e(t) به ترتیب متغیر کمکی و متغیر برونی و c یک ثابت است.

معادله متغیر کمکی A به‌صورت زیر است:

رابطه (۳) $$A(t) = f[L(t), A^*(t), e(t), c]$$

A*(t) دیگر متغیر کمکی است که تعیین می‌شود.

۳-۳ شرایط مرزی مدل

به‌منظور کمک تمام شهرستان‌های تابعه در حوضه هراز به‌عنوان مرزهای مکانی در مدل استفاده می‌شوند. زمان شبیه‌سازی از ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، سال مبنای شبیه‌سازی ۲۰۱۰ بوده و گام زمانی شبیه‌سازی یک سال است.

٤- طرح برنامه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی

٤-١ آزمایش اعتبار

با توجه بهروش‌های مدل‌سازی استاندارد، یک مدل باید قبل از انجام یک تست خطا جامع از ساختار و عملکرد آن برای اطمینان از اعتبار و صحت مدل را اجرا کنید. آزمون اعتبار ، داده‌های اولیه را گرفته و سپس داده‌های تاریخی موجود را بر اساس نتایج شبیه‌سازی ، ازنظر خطا آزمایش می‌کند. آزمون اعتبار داده تاریخی جمعیت کل (۱۰ سال) در جدول ۲ نشان داده‌شده است. نتیجه می‌گیریم که خطای نسبی شاخص‌ها در مدل حدود ۱۰ درصد است که نشان‌دهنده انطباق خوب نتایج شبیه‌سازی با شرایط واقعی است. ازاین‌رو، پارامترهای مدل می تواند به مرحله پیش‌بینی اعمال شود.

جدول ۲. آزمون تاریخی کل جمعیت

Year	Total population actual value 10^3	Simulated value	Error (%)
۲۰۱۰	۴۶۶	۴۶۵	-۰/۲۲
۲۰۱۱	۴۷۱	۴۷۵	۰/۸۴
۲۰۱۲	۴۷۹	۴۸۱	۰/۴۲
۲۰۱۳	۴۸۶	۴۸۹	۰/۶۱
۲۰۱۴	۴۹۱	۵۰۰	۱/۸۰
۲۰۱۵	۴۹۹	۵۰۵	۱/۱۹
۲۰۱۶	۵۰۸	۵۱۵	۱/۳۶
۲۰۱۷	۵۱۷	۵۲۱	۰/۷۷
۲۰۱۸	۵۲۵	۵۲۴	-۰/۱۹

٤-٢ طرح وضعیت

هدف اولیه طرح وضعیت برای استفاده پایدار منابع آب ، حل مشکل عدم توازن عرضه و تقاضای آب در آینده و حذف محدودیت منابع آب برای توسعه اقتصاد اجتماعی است. بر مبنای تحلیل‌های فوق، سه وضعیت طراحی شد و استراتژی مقررات آن‌ها به‌صورت زیر است:

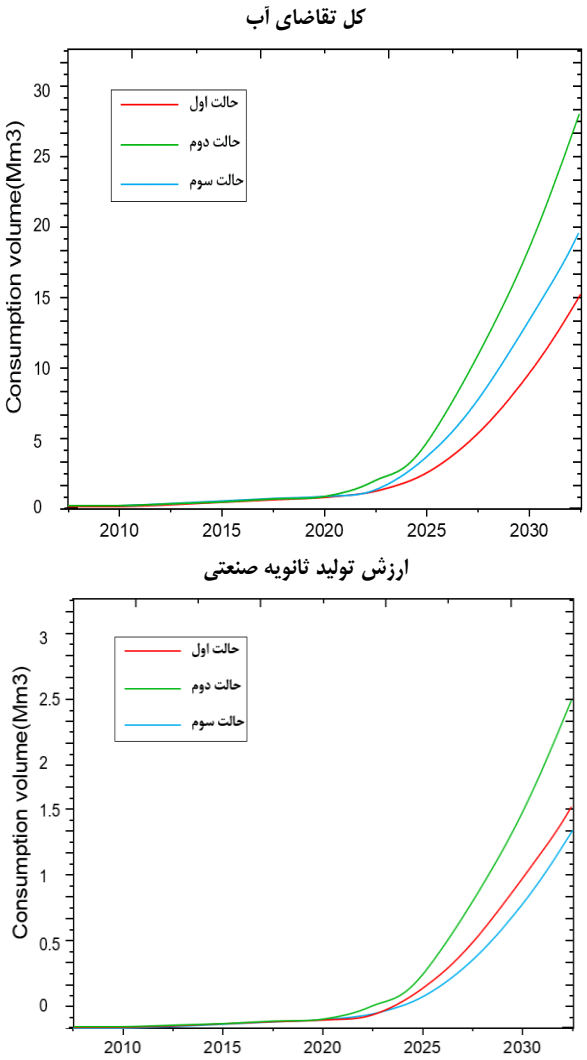
حالت ۱: طرح حفظ وضعیت کنونی – پارامترهای حساس در سطح سال کنونی حفظ می‌شوند. در ۲۰۱۰، نرخ تخلیه فاضلاب تولیدی و نرخ تخلیه فاضلاب خانگی و مصرف آب تولید ناخالص داخلی ثابت می‌باشد .

حالت ۲: طرح توسعه اقتصادی – اقتصاد رو به توسعه همچنان اولویت اول حوضه هراز در حال و آینده می‌باشد. در این طرح، استانداردها و کیفیت زندگی توسعه می‌یابند؛ بنابراین نرخ شهرنشینی، نرخ تخلیه فاضلاب تولیدی و نرخ تخلیه فاضلاب خانگی به ترتیب ۶۵٪ و ۲۰٪ و ۲۵٪ افزایش می‌یابند و مصرف آب تولید ناخالص داخلی به ۱۵ مترمکعب افزایش می‌یابد. دیگر متغیرهای تصمیم‌گیری همانند حالت ۱ باقی می‌مانند.

حالت ۳: طرح توسعه پایدار – در این حالت، رشد مداوم در سه صنعت وجود دارد، تقاضای آب تولید و خانگی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. درحالی‌که نرخ رشد تولید ثانویه و درجه سوم افزایش می‌یابد؛ بنابراین نرخ تخلیه فاضلاب تولیدی، نرخ تخلیه فاضلاب خانگی و مصرف آب تولید ناخالص داخلی به ترتیب به ۰/۰۹ و ۰/۱۵ و ۷/۵ مترمکعب کاهش می‌یابند. علاوه بر این نرخ رشد محصولات ثانویه، نرخ رشد درجه سوم، نرخ تکانه آبیاری کشاورزی به ترتیب به ۳۱٪ و ۱۷٪ و ۹۰٪ افزایش میابد. دیگر متغیرهای تصمیم‌گیری مشابه حالت ۱ باقی می‌مانند.

٤-٣ تحلیل نتایج شبیه‌سازی

بر مبنای نتایج شبیه‌سازی سه طرح فوق، تحقیق کل تقاضای آب ، مقدار تولید ثانویه به‌عنوان پارامترهای اصلی برای تحلیل WRCC در حوضه هراز انتخاب می‌کند، نتایج شبیه‌سازی در شکل ۲ نشان داده‌شده است که به‌وسیله آن می‌توانیم بهترین راه برای استفاده پایدار منابع آب انتخاب کنیم و نتایج می‌توانند راهنمایی برای بهره‌برداری در سال‌های آینده از منابع آب حوضه هراز باشد.



شکل ۲. شبیه‌سازی کل تقاضای آب و مقدار محصول ثانویه در موارد مختلف.

در شکل ۲ می‌توانیم ببینیم که نرخ رشد تقاضای کل آب در حالت ۲ سریع‌تر می‌باشد که این به‌این‌علت است که توسعه اقتصادی مستلزم آب زیادی می‌باشد. چون حالت ۳ هم توسعه اقتصادی و هم حفظ آب را در نظر می‌گیرد، نرخ رشد تقاضای آب آن کوچک‌تر است. ازاین‌رو، بدون

توجه به اینکه کدام حالت در آینده رخ دهد، تقاضای آب با توسعه اقتصادی به رشد خود ادامه خواهد داد. ضمناً، مقدار خروجی صنایع ثانویه نیز با گذر زمان افزایش می‌یابند. حالت ۲ بیشتر توسعه اقتصادی را در نظر می‌گیرد، بنابراین نرخ رشد مقدار خروجی صنایع سریع‌ترین می‌باشد و نرخ رشد تحت حالت ۱ کمتر است. ازاین‌رو، با مقایسه دیگر طرح‌ها، طرح توسعه پایدار برای توسعه هماهنگ شده تولید محلی، زندگی و زیست‌محیطی مفیدتر است .طبق تحلیل بیان‌شده، حالت ۳ بهترین انتخاب برای توسعه‌های پایدار حوضه هراز است که مسیر اساسی برای توسعه استفاده بهینه منابع آب و WRCC می‌باشد. ازاین‌رو طرح توسعه پایدار که توازن بین عرضه و تقاضا آب را محقق می‌کند و استفاده پایدار منابع آب را تضمین می‌کند طرح بهینه برای منابع آب و توسعه‌های پایدار اقتصادی حوضه هراز نی باشد .

۵- جمع‌بندی

طبق مشخصات و مزایای پویایی سیستم در حل مشکلات بزرگ‌مقیاس پیچیده سیستم، این مقاله یک مدل پویایی سیستم برایWRCC حوضه هراز ایجاد کرد و نتایج شبیه‌سازی را تحلیل کرد که نشان داد توازن عرضه و تقاضای منابع آب در طول سالیان شبیه‌سازی محقق نشده است. ضمناً عدم توازن عرضه و تقاضا توسعه‌های اقتصادی و کشاورزی را محدود کرده و به عامل کلیدی توسعه پایدار حوضه هراز تبدیل‌شده است. به‌منظور استفاده پایدار منابع آب، سه طرح باهدف توازن عرضه و تقاضا آب طراحی شد. نتایج تحلیل نشان داد که حالت ۳ می‌تواند پاسخگوی نیازهای توسعه اقتصادی آینده باشد. بر مبنای تحلیل‌های حالت اقتصاد اجتماعی و نتایج شبیه‌سازی‌های متعدد، پیشنهاد شد که WRCC حوضه هراز باید با کنترل مصرف آب، افزایش میزان آب پس گرفته‌شده، بهبود ظرفیت تصفیه فاضلاب، تنظیم ساختار صنعتی و افزایش معرفی مقدار آب سطحی بهبود یابد.

منابع

- Abadi, Leili Sadeghi Khalegh, Abolfazl Shamsai, and Hamid Goharnejad. 2015. "An Analysis of the Sustainability of Basin Water Resources Using Vensim Model." KSCE Journal of Civil Engineering 19(6):1941–49.
- Allan, John A. 1998. "Virtual Water: A Strategic Resource." Ground Water 36(4):545–47.
- Cheng, K., Q. Fu, J. Meng, T. X. Li, and W. Pei. 2018. "Analysis of the Spatial Variation and Identification of Factors Affecting the Water Resources Carrying Capacity Based on the Cloud Model." Water Resources Management 32(8):2767–81.
- Food, FAOj. 2018. "Agriculture Organization of the United Nations. 2012." Producción. Ganadería. Online Http://Faostat. Fao. Org/Site/573/Default. Aspx# Ancor.
- khalili, reza, mohammad parvinnia, and hamed motaghi. 2020. "Evaluation of Bashar River Water Quality Using CCME Water Quality Index." Journal of Environmental Science Studies 5(3):2807–14.
- khalili, reza, Mohammad Parvinnia, and Hamed Motaghi. 2021. "The Effects of Forecasted Precipitation Amount on Probable Maximum Precipitation and Probable Maximum Flood Parameters." Journal of Environmental Science Studies 5(4):2982–89.
- Khalili, Reza, Mohammad Parvinnia, and Abolfazl Zali. 2020. "Water Quality Assessment of Garmarood River Using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), River Pollution Index (RPI) and Weighted Arithmetic Water Quality Index (WAWQI)." Environment and Water Engineering 6(3):274–84.
- Khalili, Reza, Abolfazl Zali, and Hamed Motaghi. 2021. "Evaluating the Heavy Metals in the Water and Sediments of Haraz River, Using Pollution Load Index (PLI) and Geo Accumulation Index (Igeo)." Iranian Journal of Soil and Water Research.
- Pires, Alex, Jordi Morato, H. Peixoto, Verónica Botero, L. Zuluaga, and Apolinar Figueroa. 2017. "Sustainability Assessment of Indicators for Integrated Water Resources Management." Science of the Total Environment 578:139–47.
- Sun, Yuhuan, Ningning Liu, Jixia Shang, and Jingyu Zhang. 2017. "Sustainable Utilization of Water Resources in China: A System Dynamics Model." Journal of Cleaner Production 142:613–25.
- Wang, Changhai, Yilei Hou, and Yongji Xue. 2017. "Water Resources Carrying Capacity of Wetlands in Beijing: Analysis of Policy Optimization for Urban Wetland Water Resources Management." Journal of Cleaner Production 161:1180–91.

- Xie, Ying, Xuyong Li, Chunsheng Yang, and Yang Yu. 2014. "Assessing Water Resources Carrying Capacity Based on Integrated System Dynamics Modeling in a Semiarid River Basin of Northern China." Water Science and Technology: Water Supply 14(6):1057–66.
- Yang, Zhaoyang, Jinxi Song, Dandong Cheng, Jun Xia, Qi Li, and Muhammad Irfan Ahamad. 2019. "Comprehensive Evaluation and Scenario Simulation for the Water Resources Carrying Capacity in Xi'an City, China." Journal of Environmental Management 230:221–33.
- Zhang, Yu, Jin-He Zhang, Qing Tian, Ze-Hua Liu, and Hong-Lei Zhang. 2018. "Virtual Water Trade of Agricultural Products: A New Perspective to Explore the Belt and Road." Science of the Total Environment 622:988–96.