

کلیدواژه‌ها: DPSIR، پویایی سیستم، جنوب استان کرمان، مدیریت منابع آب

مقدمه

آب به عنوان قلب توسعه اقتصادی مطرح می‌باشد و هم‌چنین برای منابع انرژی، امنیت غذایی، یکپارچگی اکوسیستم و زندگی بشر ضروری می‌باشد [۴] در چند دهه اخیر، رشد سریع جمعیت، نیازهای آبی و به دنبال آن افزایش بار آلودگی ناشی از توسعه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، موجب ایجاد وضعیت نامناسب منابع آب در بسیاری از مناطق دنیا گردیده و مدیران این منابع را با چالش جدیدی روبرو ساخته است. چنانچه مصرف آب به میزان کنونی ادامه یابد، تا سال ۲۰۲۵ میلادی بیش از ۲/۷ میلیارد نفر از جمعیت جهان با کمبود آب سالم مواجه خواهند شد [۱۶] هم‌چنین سازمان ملل و یونسکو پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۵۰، حدود ۵/۷ میلیارد نفر در سراسر جهان با کمبود آب روبرو شوند [۱۸] با توجه به استانداردهای هیدرولوژیکی، کشورهایی که به کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب سرانه سالیانه آب تجدیدپذیر دسترسی داشته باشند، با مشکل کمبود آب مواجه بوده و چنانچه این میزان بین ۱۰۰۰-۱۷۰۰ مترمکعب برسد، آن‌ها نیز با مشکل مواجه خواهند بود [۹] در حالت ایده‌آل مدیریت جامع منابع آب شامل بررسی کلیه مسائل کاربردی و حفاظتی آب در تمام ابعاد از قبیل جنبه‌های سیاست و قانون‌گذاری، مدیریت، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی می‌باشد. بدون شک مدیریت جامع منابع آب دارای چالش‌ها و پیچیدگی بسیار می‌باشد. در واقع این روش یک محصول نیست، بلکه فرآیندی انعطاف‌پذیر شامل چندین بخش می‌باشد که با وارد شدن هر بخش یک گام به سوی دستیابی به مدیریت جامع پایدار برمی‌داریم [۱]. در مقیاس جهانی نیز، سازمان ملل متحد به عنوان حامی، انجمن‌های جهانی آب را به عنوان یک ساختار مدیریت جامع حوزه آبخیز در شکل و قالب «سیمای جهانی آب» پذیرفته است [۱۲] با توجه به اهمیت نقش بهره‌برداران و دید مدیریت جامع در حوضه‌ها پژوهش‌های فراوانی در همین راستا صورت گرفته است. پالمر و همکاران^۴ [۱۰] با پیروی از نگرش سیستمی به مدیریت منابع آب که توسط باس و گریگ در سال ۱۹۷۰ آغاز شده بود، برای برنامه‌ریزی حوزه آبخیز

مدیریت یکپارچه منابع آب جنوب استان کرمان با استفاده از مدل پویایی سیستم

فرشاد سلیمانی ساردو^۱، فرزانه وکیلی تجربه^۲، محمد رستمی خلج^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

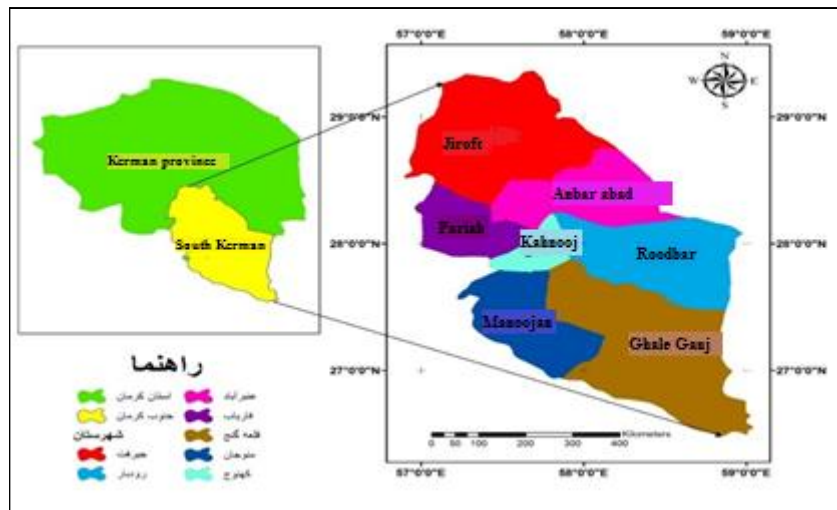
مدیریت یکپارچه منابع آب در اثر رشد جمعیت و پیشرفت از نیازهای اصلی هر جامعه می‌باشد و جهت اجرای این مهم، مدل‌سازی سیستم از ضروریات است. اما شناسایی عوامل مؤثر بر سیستم‌های پیچیده منابع آب و تعیین نقش آن‌ها بسیار مشکل است، لذا هدف از این پژوهش تهیه مدل یکپارچه با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم در جنوب کرمان است. برای انجام پژوهش، در چارچوب علت و معلولی DPSIR مدل مفهومی منطقه تهیه و عوامل مؤثر بر منابع آب مشخص گردید. سپس مؤلفه‌های مختلف حوضه با رویکرد پویایی سیستم‌ها و تعیین الگوهای حاکم بر منطقه مدل‌سازی گردید. برای مدل‌سازی مبتنی بر رویکرد پویایی سیستم از نرم‌افزار Vensim استفاده شد و به روش‌های مختلف، صحت‌سنجی و ارزیابی گردید و در مراحل ارزیابی، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حوضه استفاده شد. نتایج نشان داد که چارچوب علت و معلولی DPSIR و رویکرد مبتنی بر پویایی سیستم در ارزیابی و شبیه‌سازی سیاست‌های مختلف منطقه مورد مطالعه کارآمد است. علاوه بر این در سناریو ادامه وضع موجود، نسبت کفایت آب برای کشاورزی ۰/۵۵ در سال ۱۳۸۵ به ۰/۲ در سال ۱۴۱۰ کاهش ولی در سناریو افزایش منابع تأمین آب این نسبت به ۰/۹ تا سال ۱۴۱۰ افزایش می‌یابد.

۱- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران

۲- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

پست الکترونیک: vakili.farzane.t@ut.ac.ir

۳- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.



شکل ۱- موقعیت سیاسی و جغرافیایی جنوب کرمان در استان کرمان
Fig 1. Geographical location of southern Kerman in Kerman province

منتخب بر اساس گزارشات فائو^۷ باشد. زرقامی و همکاران [۲۰] با استفاده از مدل پویایی سیستم، راهکارهای احیای دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات انجام شده حاکی از توانایی و کاربرد گسترده مدل‌سازی به کمک پویایی سیستم‌ها در عرصه مدیریت منابع آب می‌باشد. هدف از این تحقیق تعیین روابط علت و معلولی بر روی منابع آب با استفاده از چارچوب DPSIR و همچنین تعیین مدل‌ها و زیرمدل‌های مفهومی مؤثر بر منابع آب با استفاده از روش پویایی سیستم در راستای مؤلفه‌های توسعه پایدار در منطقه جنوب کرمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنوب استان کرمان مجموعه شهرستان‌های جیرفت، کهنوج، عنبرآباد، منوجان، قلعه گنج، فاریاب و رودبارجنوب می‌باشد (شکل ۱). جنوب کرمان در حوزه جازموریان قرار گرفته است و رودخانه‌های هلیل‌رود و بمپور به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه‌های این حوزه محسوب می‌شوند. زندگی بالغ بر ۷۰ درصد منطقه مبتنی بر کشاورزی، دامداری و باغداری است. کم‌تر از ۳۰ درصد این منطقه شهرنشین هستند. بنابراین بیش‌ترین مصرف آب این منطقه در زمینه کشاورزی و باغداری است که از حوزه جازموریان و رودخانه هلیل رود تأمین می‌شود.

پویایی سیستم

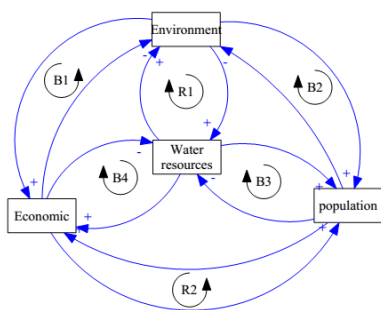
رویکرد پویایی سیستم (SD) روشی برای تجزیه و تحلیل، حل مسئله و مدل‌سازی سیستم است و برای تعریف، شبیه‌سازی ساختارهای بازخورد، مدل‌سازی طبیعی، زیست‌محیطی، مسائل هیدرولوژیکی و سیستم‌های آبی استفاده می‌شود [۳، ۵، ۷، ۱۳، ۱۴ و ۱۷].

از پویایی سیستم استفاده کردند. روش پویایی سیستم (SD^۱) روشی است که بر اساس تفکر سیستمی بنا نهاده شده است و روشی برای مطالعه و بهبود یادگیری در ارتباط با سیستم‌های پیچیده است. اساس این روش شبیه‌سازی بر پایه بازخور و رویدادهای شی گرا^۲ است که می‌تواند علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده بر اساس واقعیت، امکان دخالت کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی را طی فرآیند مدل‌سازی فراهم نماید [۱۲]. هکسترا و همکاران^۳ [۶]، ردپای آب را برای برخی از محصولات کشاورزی در سطح جهانی به تفکیک آب سبز، آبی و قهوه‌ای محاسبه کردند. نتایج بررسی کاهش ۱۲ و ۹ درصدی آب کشاورزی به ازای حداکثر عملکرد درآمد و کالری محصولات را نشان داد. یانگ و همکاران^۴ [۱۹] یک روش ارزیابی جهت تعیین ظرفیت حوزه آبخیز بر مبنای پویایی سیستم‌ها در شهر تیلینگ^۵ واقع در چین ارائه دادند که ترکیبی از اثرات و بازخوردهای مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و آب می‌باشد. کوتیر و همکاران^۶ [۸] برای مدیریت پایدار منابع آب و توسعه کشاورزی حوزه رودخانه ولتا در کشور غنا از مدل پویایی سیستم‌ها در محیط نرم‌افزار STELLA استفاده کردند. در این بررسی، سه سناریو توسعه زیرساخت‌های آبی، توسعه زمین‌های کشاورزی و اعمال شرایط خشکسالی بر مدل اعمال گردید، که طبق نتایج حاصل، علی‌رغم تأثیر مثبت سناریو اول، در نهایت همه سناریوها با محدودیت رشد مواجه خواهند شد. همچنین، مطالعه رنجبر و همکاران [۱۱] در بررسی روند صادرات و واردات آب مجازی در سطح کشور ایران می‌تواند معیاری جهت کنترل صادراتی و وارداتی بودن محصولات

1. System Dynamics
2. Object Oriented
3. Hoekstra et al
4. Yang et al
5. Tieling
6. Kotier et al

7. FAO

مفهومی الزامی است که این مدل مبتنی بر مکانیزم‌ها و ساختارهای تعیین شده باشد. بر این اساس مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه مطابق شکل ۲ است. این مدل دارای چهار زیر سیستم است که این زیرسیستم‌ها با هم به صورت پویا در ارتباط هستند.



شکل ۲- مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه
Fig 2. Conceptual model of the study area

مدل سازی پویا

در این بخش با استفاده از مدل‌های مفهومی که در بخش قبل شرح داده شده است مدل پویا و یکپارچه بخش جنوب کرمان ساخته شد. مدل یکپارچه منطقه مورد مطالعه از زیر مدل‌های منابع آب، اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست تشکیل شده است و روابط بین متغیرهای مختلف را شبیه سازی می کند.

زیر مدل منابع آب

زیر مدل منابع آب بر اساس معادله بیلان آبی موجود که شامل منابع آب سطحی و زیر سطحی در منطقه مورد مطالعه است طرح ریزی شده، در شکل ۹ نشان داده شده است.

در روش‌های پویایی سیستم، ساختار سیستم که متشکل از روابط علت و معلولی یا همان بازخوردهای موجود در یک سیستم است، با نموداری به نام نمودار حلقوی علی و معلولی نمایش داده می شود. نمودار دیگری که ساختار سیستم را با جزئیات بیشتر نشان می دهد و برای شبیه سازی رایانه ای به کار می رود نمودار انباشت و جریان نام دارد. به منظور تحلیل پویایی سیستم در این مطالعه از نرم افزار Vensim استفاده شد.

مدل مفهومی DPSIR

یکی از کاربردی ترین مدل‌های مفهومی مدل DPSIR می باشد. بر اساس این مدل عوامل اصلی و محرک‌های هر مسئله شناسایی و اثرات آن دسته بندی خواهد شد. در این تحقیق از چارچوب DPSIR جهت بررسی و پایش زیرسیستم‌ها و در نهایت تدوین مدل فکری و مفهومی استفاده خواهد شد. مطابق مدل DPSIR زنجیره ای از ارتباطات علیتی وجود دارد که با (نیروهای محرک) آغاز می شود، محرک‌ها نیازهای اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اجتماعی جامعه هستند.

نتایج

مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه

برای ایجاد مدل مفهومی لازم است عوامل مهم و مسائل حوزه شناسایی شود و اثرات و حالت‌های هر مسئله از هم تفکیک شود. شناسایی عوامل و محرک‌های مسائل موجود و تعیین عواملی که پتانسیل ایجاد مشکل را دارند و ممکن است خارج از بخش آب باشند اما بر مسائل حوزه اثر گذارند بسیار مهم است؛ که در جدول ۱ نشان داده شده است.

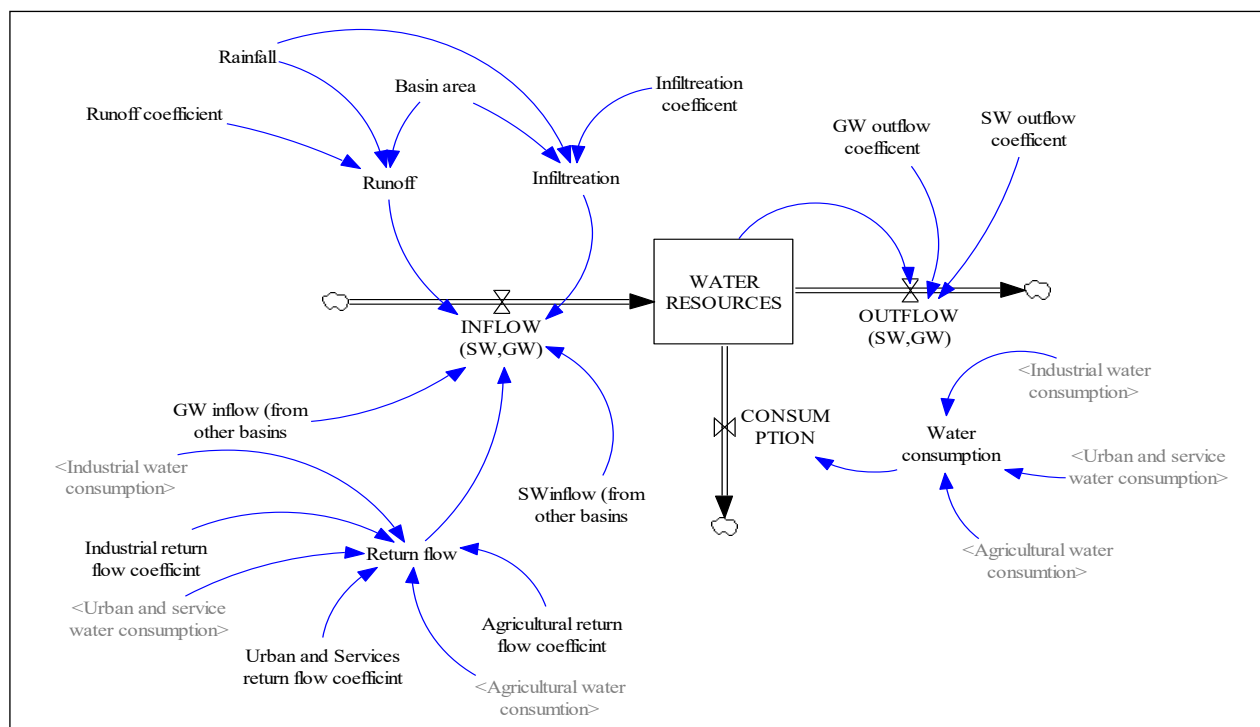
توسعه مدل مفهومی حوزه

برای انجام مدل سازی و ایجاد یک مدل پویا استفاده از یک مدل

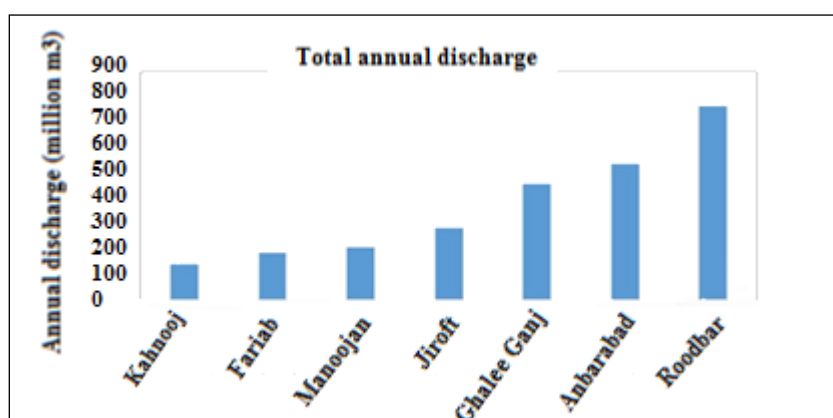
جدول ۱- چارچوب علی و معلولی DPSIR

Table 1. Causal and causal framework of DPSIR

محرک Driver	فشار Pressure	حالت Condition	اثرات Effects
نیاز آبی (شرب و غیره) Water requirement (drinking, etc)			
تعداد افراد جامعه Number of people in the community	تغییر کاربری Land use change	کمیت آب Quantity of water	کمبود منابع آب Lack of water resources
توسعه شهرنشینی urbanism development	افزایش مصرف آب Increase water consumption	کیفیت آب water quality	
تغییر اقلیم Climate change	شهرسازی urbanism	وضعیت اکوسیستم Ecosystem status	آلودگی منابع آب Pollution of water resources
تامین شغل Job recurrence	فعالیت‌های اقتصادی economic activities	پوشش گیاهی Vegetation cover	
خصوصیات حوزه Basin characteristics			
سیاست گذاری‌ها Policies			



شکل ۹- زیر مدل منابع آب منطقه مورد مطالعه
Fig9. Sub-model of water resources in the study area

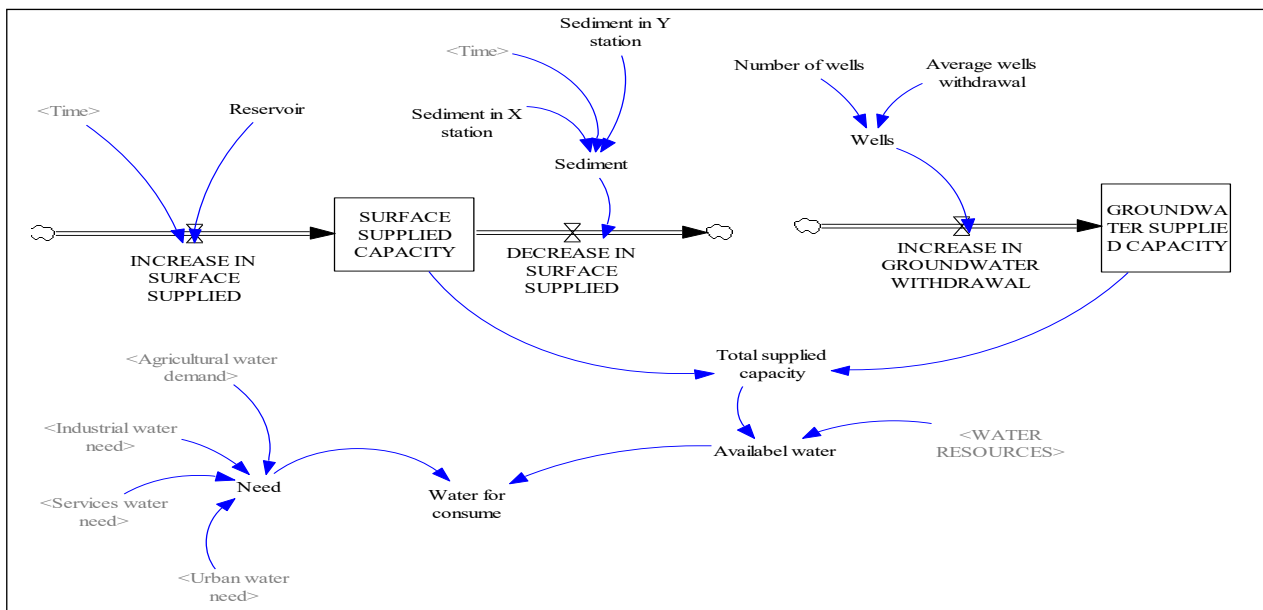


شکل ۱۰- مجموع تخلیه سالانه (میلیون مترمکعب) در هر شهرستان
Fig10. Total annual discharge (million cubic meters) in each city

در منطقه مورد مطالعه تعداد ۴ سد وجود دارد که مقدار حجم آن‌ها به عنوان حجم ذخیره اولیه در مدل قرار داده شد. رسوب یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده حجم مخازن در طول زمان است و باعث کاهش حجم ذخیره آب سطحی در حوضه می‌شود در نتیجه باید در هنگام مدل‌سازی به میزان حجمی که توسط رسوب از حجم مخازن کاسته می‌شود توجه شود. در مدل ارائه شده در منطقه مورد مطالعه اولویت‌بندی تخصیص منابع آب به این ترتیب است که ابتدا شرب و خدمات سپس صنعت و در نهایت کشاورزی است.

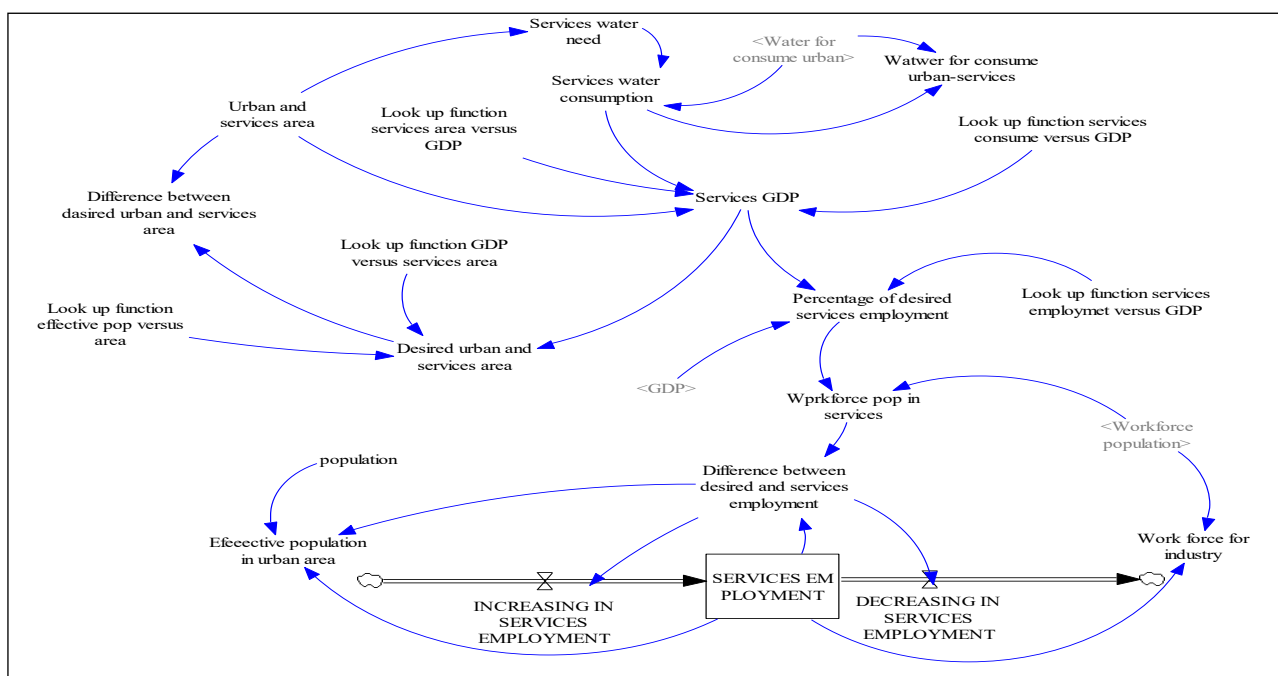
زیر مدل تأمین آب

زیر مدل تأمین آب متشکل از سه بخش: ظرفیت تأمین آب از منابع زیرزمینی، ظرفیت تأمین آب از منابع سطحی و اولویت تخصیص آب برای بخش‌های مختلف می‌باشد. در واقع این زیر مدل میزان آب قابل برداشت و مصرف از آب موجود را نشان می‌دهد. تعداد چاه‌هایی که در حوضه برای مصارف مختلف استفاده می‌شود. حدوداً ۲۶۴۰ میلیون مترمکعب آب در سال تخلیه می‌کند که شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- زیر مدل تأمین آب منطقه مورد مطالعه

Fig11. Sub-model of water supply of the study area



شکل ۱۲- زیر مدل خدمات منطقه مورد مطالعه

Fig12. Sub-model of services in the study area

زیر مدل خدمات

زیر مدل خدمات شامل مؤلفه‌های مهم سطح کاربری شهری و خدمات، نیاز آبی بخش، GDP تولیدی و اشتغال این بخش می‌باشد. جمعیت مؤثر بر سطح شهری و خدمات، کل جمعیت حوضه و شاغلین خدمات در نظر گرفته شده است. از آنجایی که آمار نیاز شرب و خدمات از هم تفکیک نشده است و قابلیت تفکیک از

زیر مدل اقتصادی

اقتصاد منطقه مورد مطالعه براساس سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات استوار است که هر بخش قسمتی از تولید ناخالص منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. تخصیص آب بین این سه بخش با اولویت‌بندی که در زیر مدل منابع آب توضیح داده شده صورت می‌گیرد.

در سال به‌ازای هر نفر ساکن در شهر است. اولویت مصرف آب در این بخش پس از شرب و خدمات قرار دارد. تعداد افراد شاغل این بخش از تعداد افراد آماده کار در صنعت و کشاورزی کسر می‌شود و سپس افراد باقی‌مانده به بخش کشاورزی معرفی می‌شوند.

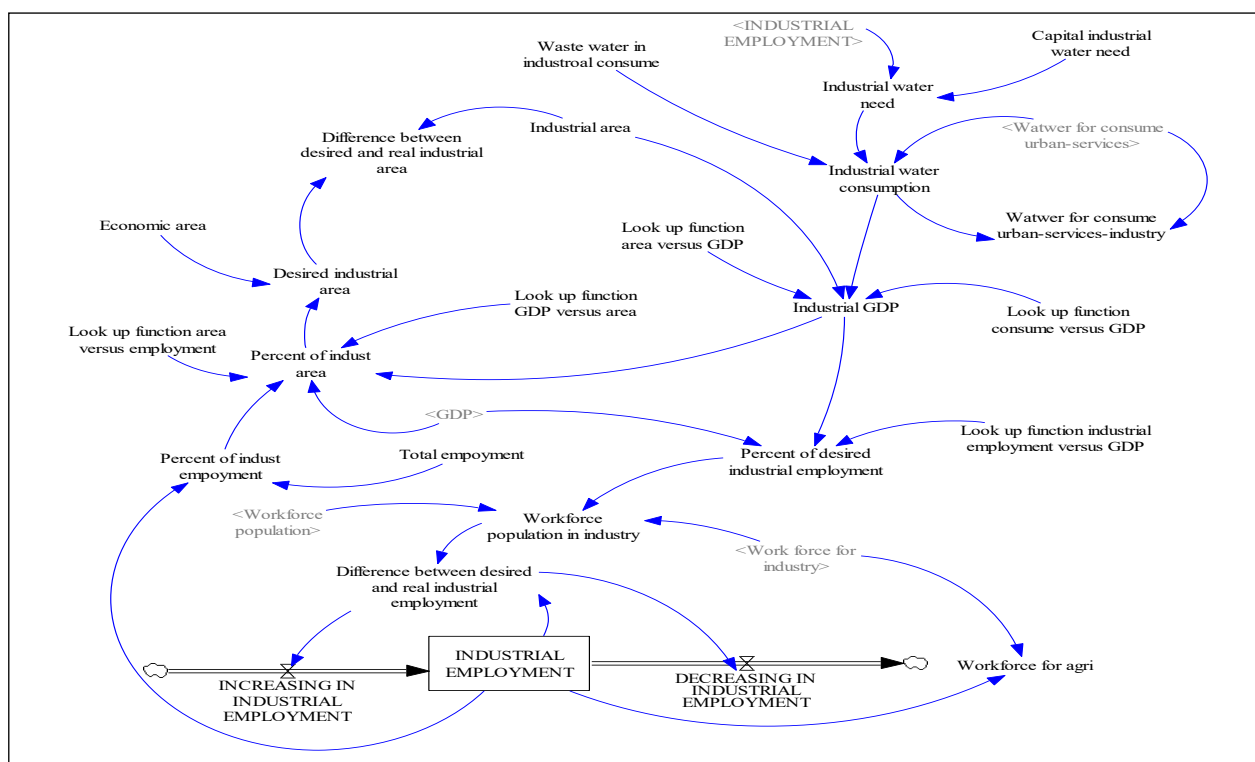
زیر مدل کشاورزی

یکی از بخش‌های مهم اقتصادی منطقه مورد مطالعه بخش کشاورزی است که براساس دو متغیر حالت سطح کاربری کشاورزی و اشتغال مدل‌سازی صورت گرفته است. الگوی کشت منطقه براساس آمار نامه کشاورزی به‌صورت درصد زمین تحت کشت هر الگو در هر سال جهت محاسبه نیاز آبی کل در مدل وارد شده است. درصد زمین‌های دیم منطقه در دوره شبیه‌سازی از ۳ درصد به ۵ درصد افزایش یافته است. همان‌طور که قبلاً بیان شد عرضه آب به بخش کشاورزی در اولویت آخر تخصیص در این مدل قرار دارد و براساس حداقل نیاز و تقاضای این بخش و میزان عرضه برای کشاورزی می‌باشد که این میزان تحت تأثیر تقاضای آب در بخش‌های اقتصاد و همچنین جمعیت می‌باشد و بر رشد و پویایی کشاورزی مؤثر است.

هم را ندارند در مدل‌سازی این بخش درصدی از مصرف شهری به خدمات نسبت داده شده است. برای محاسبه درصد مطلوبیت شاغلین بخش خدمات از محاسبه درصد ارزش افزوده خدمات از کل ارزش افزوده حوزه استفاده می‌شود سپس با شاغلین واقعی در این بخش مقایسه می‌شود و روند جذب یا کاهش نیروی کار در این بخش در گام‌های زمانی تعیین می‌شود. تعداد افراد مشغول به کار محاسبه شده در این بخش از کل افراد فعال حوضه کم شده و باقی‌مانده به‌عنوان نیروی کار آماده جهت استفاده در بخش صنعت و کشاورزی تعیین می‌شود.

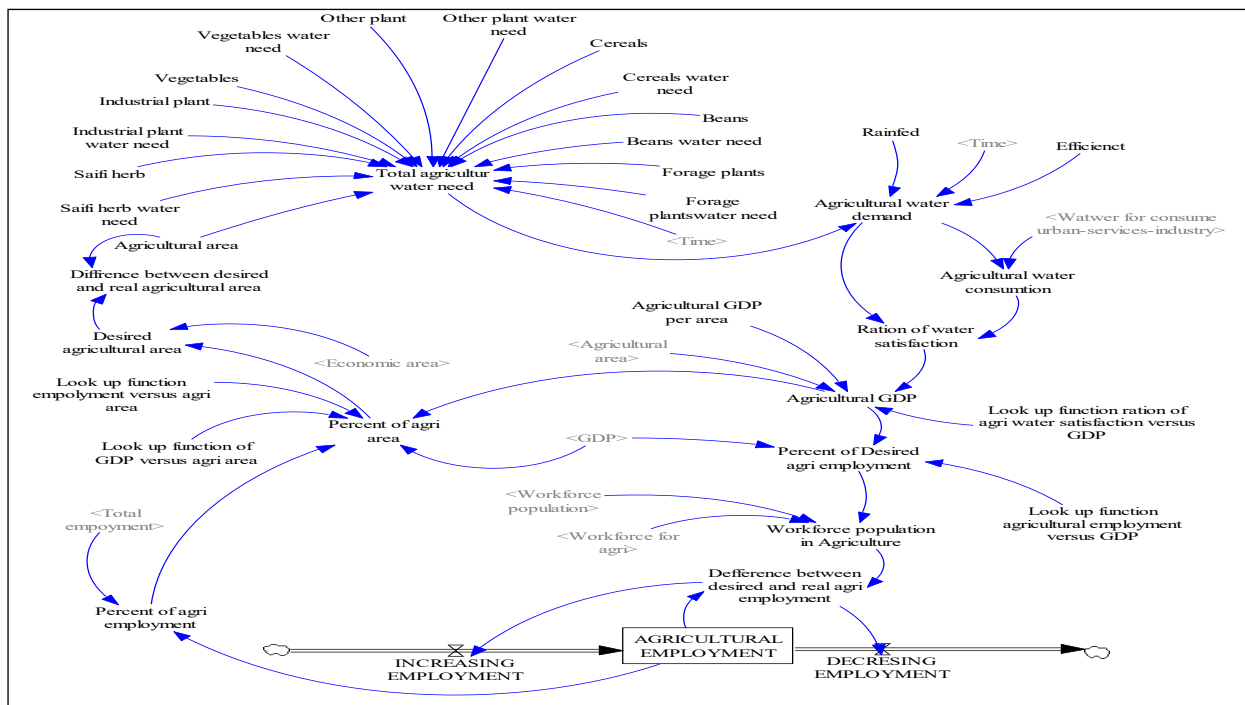
زیر مدل صنعت

چهارچوب کلی حاکم بر صنعت حوضه مانند زیر مدل بخش خدمات است. میانگین مصرف آب در بخش خانگی ۹۰ درصد و در تجارت و صنعت ۴ درصد و مصارف عمومی اداری و خدمات حدود ۶ درصد است. این درصد ها از کل مصرف شهر است که سرانه مصارف شهرهای استان کرمان حدود ۵۶ مترمکعب در سال است پس مصرف خانگی ۵۰/۵، صنعت ۲/۵ و خدمات ۳ مترمکعب



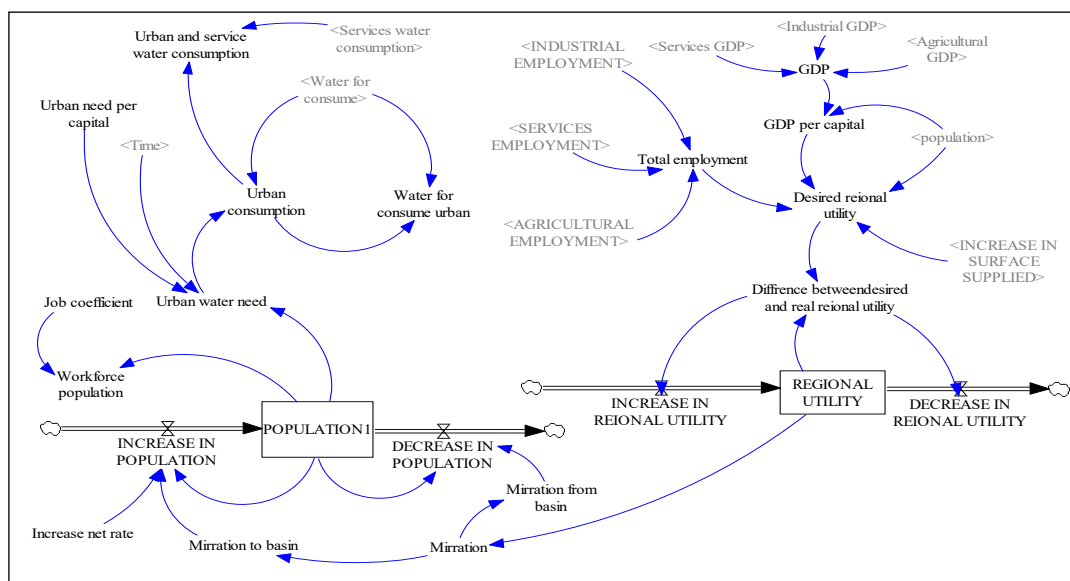
شکل ۱۳- زیر مدل صنعت منطقه مورد مطالعه

Fig13. Sub-model of the industry of the study area



شکل ۱۴- زیر مدل کشاورزی منطقه مورد مطالعه

Fig14. Agricultural model of the study area



شکل ۱۵- زیر مدل جمعیت منطقه مورد مطالعه

Fig 15. Sub-model of the population of the study area

صحت سنجی مدل

مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده

این آزمون برای بررسی خروجی‌های مدل و مقادیر مشاهده‌ای در واقعیت طی سال‌های شبیه‌سازی توسط مدل است. اگر در این بخش مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر شبیه‌سازی شده تطابق داشته باشد می‌توان از مدل برای منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. در این مطالعه از ضریب ناش و میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده

زیر مدل اجتماعی

در این بخش فرآیند مدل‌سازی بخش اجتماع و جمعیت و متغیرهای مرتبط با آن بر اساس پویایی سیستم انجام شده است و دارای دو زیر مدل جمعیت و مطلوبیت است که در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

در نهایت مدل یکپارچه منابع آب منطقه مطابق شکل ۱۶ تهیه گردید و مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفت.

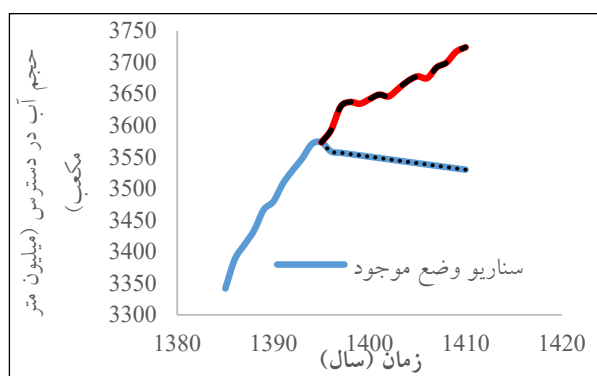
سدهای جدید نیاز آبی منطقه تأمین شود خسارت نسبی سیلاب کاهش خواهد داشت و از طرف دیگر با کاهش کفایت تأمین آب کشاورزی، تولید ناخالص این بخش نسبت به سناریو افزایش تأمین آب، کاهش پیدا می کند.

بحث و نتیجه گیری

رویکرد پویایی سیستم روشی برای تجزیه و تحلیل، حل مسئله و شبیه سازی سیستم است. این پژوهش در جهت مدل سازی یکپارچه در راستای کمک به تحقق مدیریت یکپارچه منابع آب در منطقه جنوب کرمان انجام شده است. از این رو از رویکرد سیستماتیک که مورد تایید منابع علمی مختلف است برای بررسی این نوع مدیریت استفاده شد. رویکردی که علاوه بر شبیه سازی سیستم حاکم بر منطقه، رفتار سیستم در شرایط موجود و شرایط آتی نیز مورد ارزیابی قرار می دهد. چارچوب تحلیلی DPSIR برای ارزیابی منطقه مورد مطالعه چارچوب کارآمد و مفیدی است. ارزیابی یکپارچه حوزه آبخیز علاوه بر مؤلفه های منابع آب باید بر اساس خصوصیات و ویژگی های هر منطقه، مؤلفه های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی حوضه را نیز در مد نظر قرار دهد. انجام ارزیابی و سپس مدل سازی می تواند مدیران را به اهدافشان نزدیک تر کند و از انجام مراحل و مطالعات غیر ضروری جلوگیری کند. همچنین بررسی چارچوب DPSIR در شناسایی دقیق تر مؤلفه های مدل کمک فراوانی به مدیران

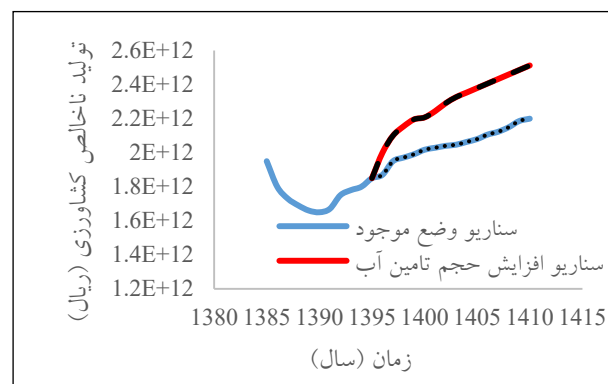
فرض بر این است که نرخ رشد جمعیت مطابق وضع موجود ادامه یابد و الگوی کشت کنونی در منطقه اعمال شود و در مورد تأمین آب فرض می شود که هیچ سدی افتتاح نشود و چاهی حفر نگردد. نتیجه این سناریو عدم تأمین نیاز کشاورزی، کاهش کاربری کشاورزی و افزایش کاربری شهری می شود. در گام بعد سناریو افزایش حجم تأمین آب به وسیله افتتاح سدها و حفر چاه و با همان فرضیات در مورد الگوی کشت و نرخ رشد و دیم کاری شبیه سازی شد. علاوه بر این میزان رسوب ورودی به سدها به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت. دلایل افزایش رسوب را می توان به تغییر کاربری و افزایش سیلاب ارتباط داد. براساس این شبیه سازی مدیران می توانند این موضوع را در تصمیم گیری وارد کنند که گاهی انجام عملیات آبخیزداری جهت جلوگیری از پر شدن سد از احداث سد جدید از نظر مالی گزینه بهتری است. شبیه سازی شرایط افزایش رسوب و احداث سد جدید با یکدیگر انجام شد که نتایج آن در شکل های ۲۰، ۲۱ و ۲۲ ارائه شده است.

نتایج بدست آمده از شبیه سازی در سناریوهای مختلف نشان داد در صورت ادامه روند موجود و بدون تأمین یا افزایش حجم آب، نیاز آبی در بخش های مختلف به شدت دچار مشکل خواهد شد و نیاز آبی در بخش کشاورزی تأمین نخواهد شد. اگر با افتتاح



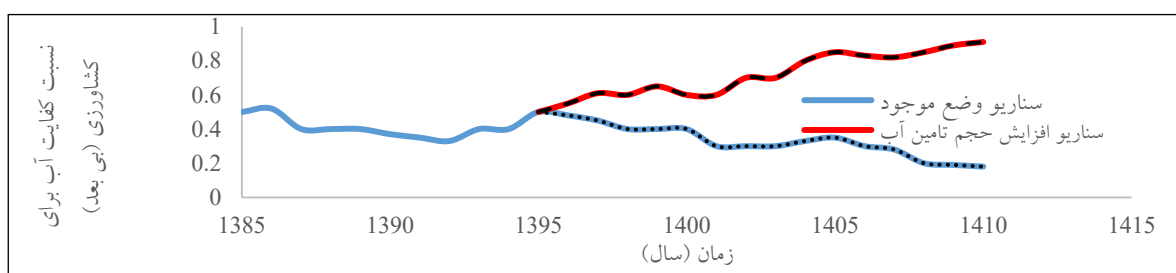
شکل ۲۱ - تغییرات حجم آب در دستری در سناریوهای مختلف

Fig21. Changes in water volume available in different scenarios



شکل ۲۰ - تغییرات تولید ناخالص کشاورزی در سناریوهای مختلف

Fig20. Changes in GDP in different scenarios



شکل ۲۲ - تغییرات نسبت کفایت آب برای کشاورزی در سناریوهای مختلف

Fig22. Changes in water adequacy ratio for agriculture in different scenarios

5. Guo, H.C. Liu, L. Huang, G.H. Fuller, G.A. Zou, R. Yin, Y.Y. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: A study for the Lake Erhai Basin. *Environ. Manag.* 2001, 61, 93–111.

6. Hoekstra, A. Y. Chapagain, A. K. Aldaya, M. M. Mekonnen, M. M. 2011. The water footprint assessment manual. Setting the global standard, London, UK

7. Ibáñez, J. Contador, J.F.L. Schnabel, S. Fernández, M.P. Valderrama, J.M. A model-based integrated assessment of land degradation by water erosion in a valuable Spanish rangeland. *Environ. Model. Softw.* 2014. 55. 201–213.

8. Kotier, J. H. Smith, C. Brown, G. Marshall, N. Johnstone, R. 2016. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agriculture development in the Volta river basin, Ghana. *Science of the Total Environment* 573:444-457

9. Madani Larijani, K. 2005. Iran's Water Crisis: Inducers, Challenges and CounterMeasures. ERSA 45th Congress of The European Regional Science Association, Vrije University, Amsterdam, The Netherland, 20 p.

10. Palmer, R.N. Keyes, A.M. and Fisher, S. 1993. Empowering stakeholders through simulation in water resources planning. In *Proceedings of the 20th anniversary conference: Water management in the '90s. A time for innovation.*

11. Ranjbar, A. Footokian, M. 2014. Evaluating the trend of import and export of virtual water in Iran. *International Conference on Environmental Science, Engineering and Technology, Tehran, Iran (In Persian)*

12. Rijsberman, F.R. 2001. World water scenarios: analysing water resources and use. Stylus Pub LLC. Sterling, Va.

13. Sterman, J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*; Irwin/McGraw-Hill: Boston, MA, USA, 2000.

14. Sun, Y. Liu, N. Shang, J. Zhang, J. Sustainable utilization of water resources in China. 2017. A system dynamics model. *J. Clean Prod.* 142, 613–625.

15. Susnik, J. Vamvakeridou-Lyroudia, L.S. Savić, D.A. and Kapelan, Z. 2012. Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of the total environment*, 440, pp.290-306.

16. UN, United Nations. 2003. World water development report 1. Water for people water for life. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

17. Venkatesan, A.K. Ahmad, S. Johnson, W. Batista, J.R. 2011.

حوضه می‌کند. مسائل موجود در پویایی سیستم از دو ویژگی پویایی و ساختار بازخوردی برخوردار هستند. بر اساس ویژگی پویایی، ابعاد کمی و کیفی سیستم در طول زمان و مکان دستخوش تغییر هستند. از آنجایی که فرآیندهای هیدرولوژیکی دستخوش تغییرات زمانی و مکانی قرار می‌گیرند و دارای ساختار پویا هستند با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر پویایی سیستم می‌شود تأثیر تک تک پارامترها را روی یک‌دیگر مشاهده کرد و تغییرات هر کدام از پارامترها روی پارامترهای دیگر کاملاً مشخص است و جایگاه هر پارامتر نسبت به پارامتر دیگر مشخص است. از این خصوصیت روش پویایی سیستم می‌توان برای درک بهتر سیستم استفاده کرد و کمک شایانی به مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌کند، در نتیجه قادر خواهیم بود واقعی‌ترین نوع توزیع مؤلفه‌های هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی را ارائه دهیم اما با توجه به اینکه مدل‌های مبتنی بر رویکرد پویایی سیستم از نوع مدل‌های یکپارچه هستند و مقدار متوسط یک پارامتر را برای کل حوضه در نظر می‌گیرند و مانند مدل‌های توزیعی و نیمه‌توزیعی قادر نیستند مقادیر پارامترها را برای زیر حوضه‌ها و HRU در نظر بگیرند، نمی‌توانند واقعی‌ترین نوع توزیع مؤلفه‌های هیدرولوژیکی را در مقیاس مکانی به خوبی ارائه دهند. در فرآیند تحول سیستم تحت تأثیر بازخورد، سیستم در هر مرحله به مرحله قبل و بعد خود اطلاعات ارائه می‌دهد و با استفاده از آن نقش هر متغیر را در سیستم مشاهده و تأثیر آن را روی کل سیستم مشاهده کرد. در سیستم‌های منابع آبی پارامترهای مختلفی وجود دارند و این پارامترها هر کدام سهمی در تأمین آب ایفا می‌کنند اما در فرآیند مدل‌سازی نمی‌توان همه این عوامل را در نظر گرفت و بایستی از پارامترهایی که تأثیر کمتری دارند چشم‌پوشی کرد. ساختار مدل پویایی سیستم به‌گونه‌ای است که این پارامتر به راحتی قابل شناسایی هستند. همان‌طور که در مدل ارائه‌شده می‌توان مشاهده کرد، استفاده از پویایی سیستم امکان بررسی و شبیه‌سازی آثار زیر مدل‌ها را به سهولت و با بیانی گرافیکی نشان داد.

منابع

1. Brüscheiler, S. 2003. Integrated water resources management (IWRM): A way to sustainability. Report of Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), 16 p.

2. Cosgrove, W.J. and Rijsberman, F.R. 2000. World water vision: Making water everybody's business. Earthscan Pubns Ltd, London.

3. De Stercke, S. Mijic, A. Buytaert, W. Chaturvedi, V. 2018. Modelling the dynamic interactions between London's water and energy systems from an end-use perspective. *Appl. Energy* 2018, 230, 615–626.

4. Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. Towards a Water and Food Secure Future: Critical

20. Zarghami, M, Amir Rahmani, M. 2015. Toward effective water diplomacy by using system dynamics: Case study. The 33rd International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts, USA

Salinity reduction and energy conservation in direct and indirect potable water reuse. *Desalination*. 72, 120–127

18. WWAP. The United Nations World Water Development Report. 2018. Nature-Based Solutions; UNESCO: Paris, France.

19. Yang, J. Lei, K. Khu, S. Meng, W. 2015. Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model. *Water Resource Management* 29:885-899

Water Resources Management in the South of Kerman Province Using the System Dynamics Model

F. Soleimani Sardoo¹, F. Vakili Tajareh² and M. Rostami Khalaj³

Received: 10-01-2021 Accepted: 07-06-2021

Abstract

Integrated water resources management is recognized as one of the main needs of any society due to population growth and technological advancement. To implement integrated water resources management, modeling of this system is essential. On the other hand, water resources systems are highly complex and affected by various factors that are very difficult to identify and determine their role in water resources management. The purpose of this study is to prepare an integrated model taking into account economic, social and environmental dimensions using the system dynamics approach in the southern region of Kerman. To conduct this research, first in the framework of DPSIR cause and effect, a conceptual model of the region was prepared, in which the effective factors on water resources were identified. Then, different components of the basin were modeled with the approach of systems dynamics by specifying the patterns governing the region. Vensim software was used for modeling based on the system dynamics approach. After modeling, the model was validated and evaluated in different ways and it was used in the evaluation, policy-making and planning stages of the basin. The results showed that the cause-and-effect framework of DPSIR and the system dynamics-based approach for evaluating and simulating different policies in the study area are efficient and useful. In addition, the results showed that in the current scenario, the water adequacy ratio for agriculture will decrease from 0.55 in 2006 to 0.2 in 1410, but in the scenario of increasing water supply resources, the water adequacy ratio for agriculture will reach 0.9 in 1410.

Keywords: *DPSIR, South of Kerman province, Water resources management, System dynam*

-
1. Assistant Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman, Iran.
 2. Ph.D Student in Watershed Science and Engineering, Reclamation of Arid and Mountainous Regions Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Email: vakili.farzane.t@ut.ac.ir
 3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad. Iran