

مطالعه بنیادی مدل پویایی سیستم در بهینه سازی منابع و مصارف آب

فرشته ظفرشادمان^{*۱}

۱ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه

نویسنده مسئول: fr.zafarshademan@gmail.com

چکیده

در دهه‌های اخیر، آب بعنوان یک موضوع مهم در کانون مباحثات و مذاکرات بین المللی بوده و مدیریت آن به صورت یکی از اصلی‌ترین عوامل و عناصر در دستور کار دولت‌ها قرار گرفته است. کاهش منابع آب و بحرانی شدن وضعیت آن بخش‌های شرب، کشاورزی، صنعت و زیست محیطی را با مشکل بزرگی روبه رو ساخته است. دستیابی به توسعه پایدار سیستم‌های منابع آب، مستلزم ارزیابی و بررسی اثرات بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح‌های توسعه و مدیریت منابع آب می‌باشد. علاوه بر این طبیعت پیچیده مسائل منابع آب، نیازمند روش‌هایی است که رویکردهای مختلف مدیریتی را در یک قالب بهم پیوسته گردآوری نماید. یکی از ابزارهای قوی مدیریتی، که در سال‌های اخیر از آن برای شبیه سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب بسیار استفاده شده، روش پویایی سیستم است. در این روش به روابط دینامیکی بین خصوصیات کمی و کیفی آب و حتی مسائل اجتماعی - اقتصادی توجه می‌شود و سیستم مورد نظر بدون نیاز به ریاضیات پیچیده به سهولت قابل شبیه سازی است. بنابراین در این مقاله به چگونگی عملکرد مدل پویایی سیستم در بهینه سازی منابع و مصارف آب و بیان تعاملات سیستمی حاکم بر آن می‌پردازیم.

کلمات کلیدی: مدل پویایی سیستم، مدیریت منابع آب، توسعه پایدار

۱- مقدمه

در دیدگاه و چشم انداز جدید جهانی، آب کالایی اقتصادی - اجتماعی است که به عنوان یکی از نیازهای اولیه بشریت برای ادامه حیات بشمار می‌آید [۱]. علاوه بر این آب منبعی است که مرزهای سیاسی را نمی‌شناسد، تقاضای مصرف آن رو به افزایش است و از لحاظ زمانی و مکانی متغیر می‌باشد [۲]. امروزه فقدان منابع آب در دسترس جامعه را وادار می‌کند تا رویکردهایی را برای استفاده از منابع آب باقیمانده و حاشیه ای با تاکید از سمت عرضه به سمت تقاضا در معادله تعادل در نظر بگیرد [۳]. تعیین میزان آب اختصاصی به نیازهای حوزه های آبخیز، براساس اولویت با توجه به محدودیت های کیفی و امکان جابجایی تخصیص از یک مصرف به مصارف دیگر صورت می‌پذیرد. از طرفی محدودیت منابع آبی و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب کلیه نیازهای موجود را غیرممکن ساخته است. لذا به منظور تأمین و عرضه آب با اطمینان پذیری بالا و رعایت اولویت های تخصیص در بین مصارف مختلف نیاز به برنامه ای کامل و مدیریتی دقیق می‌باشد [۴]. در این راستا نمونه و شبیه سازی سامانه های منابع آب که

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

بتواند تمام عوامل موثر را لحاظ نموده، و تعامل درونی اجزاء آن را نمایان سازد، اقدامی کارآمد در مدیریت منابع آب می باشد [۵]. مدیریت جامع منابع آب، سیستمی است که علاوه بر مرتبط نمودن مدیریت منابع آب با توسعه اجتماعی و اقتصادی و محیط زیست از بازخورد آن‌ها بهره جسته و سرانجام با مشارکت بخش‌های گوناگون تصمیم‌گیری‌هایی در جهت تخصیص و توسعه منابع انجام می‌پذیرد. بنابراین به سبب پیچیدگی سیستم‌های منابع آب، استفاده از مدل‌های شبیه سازی با هدف تدوین روشی برای افزایش اطمینان بهره‌برداران در خصوص اتخاذ سیاست‌های سازگاری، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این مدل‌ها، شبیه سازی به کمک پویایی سیستم-ها می‌باشد [۶]. در واقع تحلیل پویایی سیستم به عنوان روشی که براساس تفکر سیستماتیک بنا نهاده شده، برای مطالعه و بهبود یادگیری در ارتباط با سیستم‌های پیچیده بکار می‌رود. هدف این روش فهم چرایی و چگونگی یک رخداد دینامیکی و تلاش برای اجرای سیاست‌ها و مدیریت کردن آن رخداد است [۷]. در تحلیل مسائل مربوط به منابع آب، رویکرد دینامیک سیستم‌ها به صورت وسیع بکار قرار گرفته شده است که می‌توان به کنترل سیلاب [۸]؛ [۹]؛ [۱۰]، بهره‌برداری از مخازن [۱۱]، مدیریت برنامه-ریزی و آنالیز تصمیم‌گیری سیاست‌های مدیریت منابع آب [۱۲]؛ [۱۳]؛ [۱۴]؛ [۱۵]، مقابله با اثرات خشکسالی [۱۶]، ارزیابی جهت تعیین ظرفیت حوضه [۱۷]، برنامه ریزی اضطراری و مدیریت بحران [۱۸]؛ [۱۹]، مدیریت پایدار منابع آبی و توسعه کشاورزی [۲۰]، ارزیابی میزان تقاضای آب [۲۱]، اشاره نمود.

مهمترین اصل رویکرد دینامیک سیستم‌ها این است که ساختار سیستم در طول زمان الگوهای رفتار آن را ایجاد می‌کند که این موضوع در تحلیل رفتار سیستم مورد نظر اهمیت ویژه‌ای دارد. همچنین دینامیک سیستم‌ها در پیاده سازی رفتار سیستم، تحلیل نتایج و آزمون مدل شبیه‌سازی شده اطلاعاتی در مورد چگونگی رفتار سیستم در شرایط در نظر گرفته شده به تحلیل‌گر می‌دهد [۲۲]. رویکرد پویایی‌های سیستم درک پیچیدگی‌های سیستم را تسهیل نموده و در تجزیه و تحلیل رفتار اجزای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. توانایی این روش به حدی است که می‌توان با بهره‌گیری از آن مسائل ساده و پیچیده را مدل‌سازی کرد و تغییر ناشی از تعامل متغیرها و شناسایی رفتار آتی آنها را در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار داد. این روش امکان شبیه‌سازی واقعی‌تر از سیستم را با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی مؤلفه‌های مختلف آن فراهم می‌کند و از این طریق در پیچه‌ی جدیدی را در مسائل بهینه سازی منابع آب می‌گشاید. در واقع روش پویایی سیستم یک تکنیک مدل‌سازی و شبیه‌سازی است که مخصوصاً برای مسائل مدیریتی طولانی مدت، مزمن و پویا طراحی می‌شود [۲۳]. این چنین مدل‌ها با توجه به متغیرها و پارامترهایی که فرد تعیین می‌کند، به پیش‌بینی رفتار سیستم می‌پردازند. اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی در قدرت و توانایی آن‌ها جهت حل مدل‌های تحلیل سیستم‌های منابع آب می‌باشد، که دارای روابط و قیود غیرخطی هستند، در صورتی که متدهای بهینه سازی خیلی کم قدرت و توانایی رسیدگی به آن مسائل را دارند [۲۴]؛ [۲۵]. پویایی سیستم‌ها بر مبنای فلسفه بازنمایی ساختار و ردیابی و تعقیب مسیرهای علت و معلولی استوار است. پس از تکمیل حلقه‌های علت و معلولی (مثبت و منفی)، هدف اصلی پویایی سیستم کسب دانش در مورد رفتار منتج از ساختار سیستم است تا از این طریق، به طراحی سیاست‌های بهبود یافته برای اجرا در سیستم مورد نظر، کمک کند [۲۶].

۲- الگوهای شبیه‌سازی و بهینه سازی در منابع آب

مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از اقدامات متعدد مدیریتی است که، با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آب و کاهش خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی صورت می‌گیرد. تصمیم‌گیری در مورد مدیریت پایدار و یکپارچه منابع آب، نیازمند نگرش جامع به اثرات اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی می‌باشد [۲۷]. معمولاً، در بهره‌برداری از منابع آب، بخش‌ها و سازمان‌های

مختلفی درگیر هستند و مطلوبیت‌های آن‌ها در بسیاری از مواقع در تضاد با یکدیگر می‌باشند. از این رو تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب راه‌حل مورد توافق و مناسب برای همه ذینفعان درگیر از بین پاسخ‌های بهینه ممکن، همیشه از مسائل چالش برانگیز بوده است. بنابراین استفاده از یک الگوی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مناسب که در آن آب به‌عنوان یک کالای اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شود، ضروری است [۲۸]. از این رو عوامل متعددی بر موفقیت برنامه‌های مدیریت منابع آب تأثیر دارند و هر تغییری در هر یک از این عوامل، خود به وجود آورنده بازخوردهای دیگر در سیستم می‌گردد. این مسئله موجب پیچیدگی ابعاد فنی، اقتصادی و زیست محیطی برنامه‌های توسعه منابع آب می‌گردد. یکی از راه‌های دستیابی به توسعه پایدار سیستم‌های منابع آب، ارزیابی سیاست‌های مدیریتی و کمک به تصمیم‌سازی در سطوح کلان است [۲۹].

۳- پویایی‌های سیستم

مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش می‌باشد. این علم قادر است شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب را برای پشتیبانی تصمیم‌گیری انجام دهد. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده است [۳۰]. به عقیده استرمن [۳۱] و نیز سنگ [۳۲] سیستم دینامیک یا پویایی سیستم‌ها شاخه‌ای از تفکر سیستمیک است که به ارائه مدل مفهومی و شبیه‌سازی آن بر مبنای این تفکر، برای بررسی و مطالعه رفتار سیستم‌های پیچیده همچون منابع آب می‌پردازد [۳۳]. شبیه‌سازی سیستم منجر به درک جدیدی از ساختار و رفتار سیستم می‌شود که در دور بعدی امکان تهیه مدل‌های کامل‌تری را فراهم سازد. همچنین مدل‌های پویایی سیستم‌ها امکان وارد کردن متغیرهای کیفی و کمی را به طور همزمان در سیستم فراهم می‌کند که پیاده کردن این امکان در مدل‌های ریاضی مشکل است [۳۴]. پویایی‌های سیستم بر ساختار، رفتار و عملکرد سیستم‌ها متکی می‌باشد که از حلقه‌های معنادار و بازخوردی در ارتباط با هم تشکیل شده است. نمودارهای علی-حلقوی و جریان مدلسازی پویا، روشی اسان جهت نمایش ساختارهای حلقوی تعاملات متغیرهای تشکیل دهنده یک چارچوب نظری و کاربردی قبل از تدوین معادلات سیستم می‌باشد. نمودارهای جریان شامل متغیرهای نرخ، سطح، کمکی و عناصر ثابت و یکسری آزمون‌ها، عملیات و دستورالعمل‌ها می‌باشد که برای شبکه‌ای پایدار از مبحث‌های اقتصاد، مالی، مدیریت و صنایع سازماندهی شده است [۳۵]. در مطالعات پویایی‌های سیستم، بایستی هفت مرحله تعریف مسئله، مفهوم‌سازی مدل، فرمول‌بندی مدل، شبیه‌سازی، ارزیابی برای تدوین مدل‌ها، تحلیل سیاست‌ها و استفاده از مدل را مد نظر قرار داد. در فرایند تدوین پویایی‌های سیستم از شروع تا پایان داشتن درک درستی از سیستم و حرکات، رفتار و مسائل آن لازم است و در حقیقت از ادراک اولیه سیستم شروع و با ادراک عمیق‌تر سیستم خاتمه می‌یابد.

۴- ابزار مدلسازی در دینامیک سیستم

نقطه آغاز بررسی و تحلیل سیستم، نگرش به کلیت سیستم و سپس رفتار و ویژگی‌های سیستم است. رفتار یک سیستم از ساختار آن نشأت می‌گیرد که این ساختار شامل حلقه‌های باز خورد، نمودارهای جریان ذخیره و روابط غیرخطی علت و معلولی می‌باشد. ساختار سیستم در طول زمان الگوهای رفتار آن را ایجاد می‌کند. الگوهای سیستمی، الگوهای غالب در رفتار سیستم‌ها را تشریح می‌کنند و ابزار موثری در شناخت سیستم می‌باشد. اولین قدم در توسعه یک مدل دینامیک پویا، ایجاد یک مدل مفهومی است که به طور کلی به عنوان نمودار حلقه علی شناخته می‌شود. دینامیک پویا درک عمیق‌تری و همچنین دیدی پویا از رفتار سیستم‌های پیچیده و چگونگی تکامل آنها ارائه می‌کند [۳۶]. سپس این فرضیه پویا با استفاده از نمودارهای سهام و جریان کمی‌سازی و شبیه

سازی می‌شود [۳۷]. نمودارهای علت و معلول، ابزاری توانمند (نسبت به جداول و فلوجارت‌ها) برای نمایش بازخورد ساختار و روابط عوامل اثر گذار بر سیستم می‌باشند. بنابراین جهت درک بهتر ساختار و بروز رفتار سیستم از نمودارهای بازخورد علت و معلولی استفاده خواهد شد. در واقع پایش صحیح رفتار سیستم‌ها با در نظر داشتن تعامل بین اجزا و تاثیرات متقابل از طریق روابط علت و معلولی و کنترل آنها صورت می‌گیرد [۳۸]؛ [۳۹]. توسعه CLD^۱ سیستم کمک می‌کند تا روابط بین زیرسیستم‌های تعاملی را به صورت گرافیکی به تصویر بکشد و بنابراین می‌تواند به عنوان مرحله مدل سازی مفهومی در نظر گرفته شود. CLD ها اطلاعات ارزشمندی درباره سیستم از جمله وجود حلقه های بازخورد، تسلط حلقه و وجود تاخیرهای زمانی ارائه می دهند [۴۰]. نمودارهای باز خورد از لحاظ اثرگذاری عوامل به دو دسته مثبت و منفی تقسیم می شوند. عناصر اساسی این حلقه ها عبارتند از متغیرها (عوامل) و فلشها (روابط).؛

۴-۱ حلقه های بازخورد

وقتی مجموعه‌ای از متغیرها در یک مسیر متصل بسته به یکدیگر وصل می‌شوند، یک حلقه ی علی را شکل می‌دهند. همه دینامیک ها از دو نوع حلقه بازخوردی مثبت (خود تقویت کننده) و منفی (خود اصلاح کننده) به وجود می آید. حلقه های بازخورد مثبت، دایره‌ای است که اگر یک عامل در آن در یک جهت تغییر داده شود، دایره، تغییرات را در آن جهت تقویت می‌کند. در واقع افزایش (کاهش) در یک متغیر بعد از یک تاخیر (فعل انفعالات در سیستم) باعث افزایش (کاهش) همان متغیر می‌شود. در آن طرف حلقه های بازخورد منفی، دایره‌ای است که اگر یک عامل در آن در یک جهت تغییر داده شود، دایره، با تغییرات آن عامل در آن جهت مخالفت می‌کند. در واقع افزایش (کاهش) در یک متغیر بعد از یک تاخیر (فعل انفعالات در سیستم) باعث کاهش (افزایش) همان متغیر می‌شود. حلقه منفی هدف را جستجو می‌کند. این حلقه با ساختار جستجوگر خود توازن و پایداری در سیستم را تولید می‌کند. به طور معمول، یک حلقه بازخورد متعادل شامل روابط علی است که در مجموع سعی در کاهش اختلاف بین وضعیت فعلی و حالت مطلوب دارند. از سوی دیگر، حلقه‌های بازخورد تقویت‌کننده اغلب روندهای مداوم رشد یا کاهش را مشخص می‌کنند. به عنوان یک قاعده کلی، اگر تعداد پیوندهای علی منفی آن زوج باشد، یک حلقه تقویت می‌شود و در غیر این صورت متعادل می‌شود، مشروط بر اینکه CLD به طور مناسب محرک‌های اصلی و روابط علی بین آنها را نشان دهد [۴۱]. در واقع بنا به تعریف باخورد، تاثیری که متغیر روی دیگر عوامل سیستم می‌گذارد دوباره آثار این اثرگذاری به خودش برمی‌گردد و هدف تاثیر گذاری و تاثیر پذیری روی یک متغیر است. در جدو (۱) نمایی از بازخورد ساختار و روابط عوامل اثر گذار بر یک سیستم آورده شده است.

جدول ۱. ابزارها و نمادها در ترسیم نمودارهای علت و معلول [۴۲].

رابطه ریاضی حاکم	توضیح	نمادها
------------------	-------	--------

¹ Diagram Loop Causal

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

	اگر X افزایش (کاهش) یابد Y نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. اگر Y یک منبع ذخیره باشد آنگاه X بر آن اضافه خواهد شد.	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$ $Y = \int_{t_0}^t (X + \dots) ds + Y_{t_0}$
	اگر X افزایش (کاهش) یابد Y نیز کاهش (افزایش) می‌یابد. اگر Y یک منبع ذخیره باشد آنگاه X از آن کم خواهد شد.	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$ $Y = \int_{t_0}^t (-X + \dots) ds + Y_{t_0}$

۴-۲- نمودارهای سهم و جریان

نمودارهای حلقه ای بر ساختار بازخورد از یک سیستم تأکید دارد. نمودارهای سهم و جریان بر فیزیک زیربنایی و ساختار تأکید دارد. سهام‌ها و جریان‌های پیگیری تجمع مواد، پول و اطلاعات از طریق یک سیستم حرکت می‌کنند. متغیر حالت شامل موجودی محصول، قیمت، مخزن آب، جمعیت و غیره می‌باشد. جریان‌ها نرخ افزایش یا کاهش سهام، نرخ مرگ و میر و جریان ورود و خروج آب از مخزن و غیره هستند. حالت‌ها وضعیت سیستم را مشخص و اطلاعاتی که براساس تصمیم‌گیری‌هاست را ایجاد می‌کنند. پس از آن تصمیم‌گیری‌ها نرخ جریان را دگرگون می‌کنند، و باعث تغییر متغیر حالت و بسته شدن حلقه بازخوردی در سیستم می‌شوند. نمودارهای ساختار سیاست این نمودارهای اتفاقی نشان دهنده ورودی اطلاعات به یک قانون تصمیم خاص می‌باشد. نمودار ساختار سیاست تمرکز ویژه‌ای بر اطلاعات مدل‌ساز، فرض را بر این می‌گیرد که تصمیم‌گیرندگان باید نرخ در جریان را در سیستم اداره کنند. آن‌ها از ساختار اتفاقی و تأخیر زمانی در تصمیم‌های خاص به جای ساختار بازخورد از کل سیستم استفاده می‌کنند [۴۳]. از این رو، تصمیم‌گیری در مهندسی منابع آب باید بر اساس یک دیدگاه کل نگر باشد که پویایی پیچیده سیستم و فرآیندهای بازخورد و همچنین وابستگی‌های متقابل بین فرآیندهای مختلف را در نظر می‌گیرد. علیرغم این واقعیت که سهام و جریان و بازخورد دو مفهوم اصلی نظریه پویا سیستم هستند، CLD ها قادر به ضبط سهام و ساختار جریان یک سیستم نیستند [۴۴]؛ [۴۵]، این یک دلیل مهم برای استفاده از نمودار سهام و جریان برای نشان دادن ساختار یک سیستم با اطلاعات دقیق تر است که در یک CLD نشان داده شده است [۴۶].

بنابراین، یک سهام با یک جریان ورودی و جریان منفرد می‌تواند از نظر ریاضی به صورت رابطه ۱ فرمتیک فرموله شود:

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t [Inflow(s) - outflow(s)] ds + stock(t_0) \quad (1)$$

که در آن جریان نشاندهنده مقدار جریان در هر زمان بین زمان اولیه و به زمان t جاری است. پویایی سیستم‌ها بر مبنای فلسفه بازنمایی ساختار و ردیابی و تعقیب مسیرهای علت و معلولی استوار است. پس از تکمیل حلقه‌های علت و معلولی (مثبت و منفی)، هدف اصلی پویایی سیستم کسب دانش در مورد رفتار منتج از ساختار سیستم است تا از این طریق، به طراحی سیاست‌های بهبود یافته برای اجرا در سیستم مورد نظر، کمک کند [۲۶].

معادلات حاکم اولیه به صورت دو معادله پیوستگی و معادله تغییرات و نرخ‌ها قابل تعریف هستند. معادله پیوستگی به طور کلی بر اساس قانون بقای جرم استوار است. طبق قضیه انتقال رینولدز جمع تغییرات زمانی و مکانی حجم کنترل در نظر گرفته شده برابر است. طبق قضیه رینولدز می‌توان در قالب رابطه ۲ نوشت:

$$\iint \rho \cdot V \cdot dA + \frac{d}{dt} \iiint \rho \cdot dV = 0 \quad (2)$$

معادله فوق، معادله پیوستگی به فرم انتگرال است. اگر ρ ثابت و از طرفین حذف شود طبق معادله ۳ خواهیم داشت:

$$\iint V \cdot dA + \frac{d}{dt} \iiint dV = 0 \quad (3)$$

که این معادله بیانگر رابطه ۴ یا همان معادله بیلان آب است (در فرم دیفرانسیلی) دبی ورودی - دبی خروجی = تغییرات زمانی حجم کنترل

$$I - O = \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

ا. A.O و V به ترتیب بیانگر ورودی به سیستم، خروجی از سیستم، سطح کنترل و حجم کنترل می‌باشند.

۳-۴- حالت‌های مرجع

مدل‌سازان پویایی‌های سیستم، بطور پویا به دنبال تعیین مشکل هستند، به این معنی که به عنوان یک الگوی رفتار در زمان زیادی آشکار می‌شود که چطور مشکلات زیاد می‌شوند و چطور می‌توانند در آیند نمو پیدا کند. شما باید یک شیوه مرجع را توسعه دهید که بطور لفظی دست‌های از نمودارها و دیگر اطلاعات توصیفی، توسعه مشکلات را در زمان زیاد نشان می‌دهد. روش‌های مرجع به شما کمک می‌کنند. بنابراین برای انجام این کار شما باید افق زمانی را تشخیص دهید، متغیرات را معین کنید، مفاهیمی که برای دانستن مشکلات مهم هستند را در نظر بگیرید و سیاست‌هایی را برای حل آن طراحی کنید. نمودارهای مرجع به عنوان الگوی رفتاری مدل از یک طرف به اعتبارسنجی مدل کمک می‌کند و از سویی دیگر با شناخت الگوی رفتاری متغیرهای مهم در روند مدل‌سازی و انتخاب متغیرها موثر خواهد بود.

۵- بررسی سناریوها و تصمیم‌گیری

بررسی روش‌های تصمیم‌گیری در خصوص سیستم، بررسی اینکه چه شرایط و حالت‌های ممکن است، رخ بدهد؟ چه معیارهایی برای تصمیم‌گیری‌های بهتر می‌توان تعریف کرد و چگونه می‌توان آن‌ها را در مدل تعریف کرد؟ تحلیل حساسیت این تغییرات، بررسی روابط میان سیاست‌ها و تصمیمات مختلف، بررسی نوع ارتباطات میان آن‌ها و چگونگی تاثیر آن‌ها بر هم می‌باشد [۴۷]. در واقع هنگامی که از ساختار و رفتار مدل مطمئن می‌شوید، می‌توانید آن را برای طراحی و ارزیابی سیاست‌ها در جهت بهبود استفاده کنید. طراحی سیاست‌ها خیلی بیش از تفسیر ارزش‌های پارامترهایی چون نرخ مالیات و یا نسبت‌های نشانه‌گذاری است. طراحی سیاست‌ها شامل ایجاد استراتژی‌های کاملاً جدید، ساختار و قواعد تصمیم‌گیری است. از آنجایی که، ساختار بازخورد از یک سیستم پویایی آن را تعیین می‌کند، بیشتر اوقات، سیاست‌های اهرم بالا، شامل تغییر در بازخورد حلقه‌ها توسط طراحی مجدد سهام، ساختار جریان از بین بردن تأخیر زمانی تغییر جریان و کیفیت اطلاعات موجود در تصمیم‌گیری‌های کلیدی، یا اختراع دوباره فرآیندهای تصمیم‌گیری از بازیگران در سیستم است. نیرومندی سیاست‌ها و حساسیت‌شان به عدم قطعیت در پارامترهای مدل و ساختار باید ارزیابی شود. از جمله عملکردشان تحت طیف گسترده‌ای از سناریوهای جایگزین. اثر مختلف سیاست‌های مختلف باید در نظر گرفته شوند. سیستم‌های واقعی بسیار غیرخطی، اثر ترکیبی سیاست‌هایی است که معمولاً مجموعه اثرات شان

به تنهایی نیست. اغلب سیاست‌ها با یکدیگر مداخله دارند. گاهی اوقات آنها یکدیگر را تقویت و به طور قابل توجهی برای هم سودمنداند [۳۵].

۶- کالیبراسیون و صحت سنجی مدل پویایی سیستم

با توجه به ویژگی خاص رویکرد پویایی سیستم‌ها مبنی بر آموزش در حین مدل‌سازی، به مرور با کسب تجربه از روند آن با داده‌های واقعی می‌توان رفتار سیستم را مورد آزمون قرار داد. این امر موجب دقت مدل در طول مدل‌سازی و قبل از صحت سنجی نهایی آن می‌شود. در حالت کلی هیچ مدلی وجود ندارد که کاملاً مورد اطمینان باشد، زیرا در هر مدل نواقصی نسبت به سیستم واقعی و هدف اصلی وجود خواهد داشت، بنابراین در عمل بایستی بیشتر در پی بررسی مفید بودن مدل با توجه به صورت مسأله و اهداف بیان شده بود تا اثبات صحت کامل آن. در نتیجه پیش از استفاده از مدل برای تعیین و آزمون گزینه‌های سیاست‌گذاری، بایستی نسبت به عملکرد درست مدل اطمینان حاصل نمود و چنانچه مدل بیان کننده روند مسئله ساز مشاهده شده باشد، می‌توان این اطمینان را داشت که مدل شامل عناصر و مکانیزم‌های کلیدی در ایجاد رفتار مورد نظر است. لازم است که آزمایشات برای بررسی عملکرد مدل و مقایسه ساختار و رفتار آن با سیستم واقعی انجام شود. به طور کلی، آزمایشات عمدتاً کیفی هستند؛ روش‌های کمی شامل تست ساختار سیستم و هماهنگی کلی، برآورد پارامترها و خطای مدل است. تست خطا با استفاده از ضریب تعیین R^2 ، معیار نش-ساتکلیف و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای ارزیابی عملکرد بیشتر مدل انجام می‌شود.

۷- شاخص‌های منابع آب

به منظور تحلیل شاخص‌های مختلف مدیریت منابع آب و ارزیابی و مقایسه سیاست‌های پیشنهادی از شاخص‌های منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص‌هایی چون قابلیت اطمینان، آسیب پذیری، حداکثر کمبود و شاخص پایداری سیستم تأمین آب می‌باشند. شاخص قابلیت اطمینان طبق رابطه بصورت احتمال تأمین تقاضای آب در دوره زمانی شبیه سازی شده با استفاده از منابع آب در دسترس تعریف می‌شود. با توجه به رابطه (۵) این شاخص‌ها توانایی سیستم را در مهیا نمودن و تأمین آب کافی در طولانی مدت نشان می‌دهد [۴۸].

$$Rel = \frac{\text{Number of years with } D=0}{N} \quad (5)$$

که در آن D نشان دهنده کمبود آب و N تعداد سال یا ول دوره شبیه سازی می‌باشد. شاخص آسیب پذیری در سال i ام به صورت مقدار مورد انتظار کمبود یا میانگین سالانه کمبود نسبت به میانگین سالانه تقاضا در دوره کمبود تعریف شده است (رابطه ۶). این شاخص بیان کننده احتمال عدم توانایی منابع آب در تأمین تقاضای آب می‌باشد [49].

$$Vul = \frac{(\sum_{i=1}^N D_i) / \text{Number of years with } D>0}{\text{Water demand}} \quad (6)$$

شاخص کمبود حداکثر نشان دهنده حداکثر کمبود آب در هر بخش مصرف آب در سال i ام می‌باشد. این شاخص به صورت یک شاخص بی‌بعد با توجه به رابطه (۵) از تقسیم حداکثر کمبود سالانه هر بخش بر نیاز آب سالانه همان بخش محاسبه می‌شود [۵۰].

$$Max.Def = \frac{\max(D_{Annual})}{\text{Water demand}} \quad (7)$$

شاخص پایداری منابع آب به صورت یک تابع از شاخص‌های قابلیت اطمینان، آسیب‌پذیری و کمبود حداکثر طبق رابطه (8) محاسبه می‌شود [۵۱].

$$SI = [Rel \times (1 - vul)(1 - Max . Def)]^{1/3} \quad (8)$$

8- مروری بر مطالعات داخلی و خارجی برای کاربرد پویایی سیستم در مدیریت منابع آب

در جدول ۲، مروری بر مطالعات صورت گرفته، چالش‌های مورد بررسی و اهداف ارائه شده است.

جدول ۲. مروری بر مطالعات گذشته مرتبط با تحقیق

نویسنده	روش شناسی	چالش و مسئله مورد نظر	داده ها/ متغیرها/ منطقه‌ی تحقیق
لی و همکاران [۵۲]	رابطه پویایی سیستم بین آب و غذا	اعمال ۹ سناریو مختلف توسعه اقتصادی و جمعیت برای شبیه‌سازی تا سال ۲۰۳۰	شبیه‌سازی مدل عرضه- تقاضای آب و نرخ خودکفایی غذا / چین
تیان و همکاران [۵۳]	پایداری از منابع آب در محیط نرم‌افزار استلا	مقایسه استفاده پایدار از منابع آب در سناریوهای مختلف توسعه برای سال ۲۰۲۵	تحلیل حساسیت برای هر متغیر و چهار متغیر تصمیم‌گیری برای ایجاد چهار سناریو / چین
تنا و همکاران [۵۴]	مدل‌سازی هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آب	بررسی مؤلفه‌های مهم هیدرولوژیکی و برآورد تعادل آب حوضه با استفاده از مدل ارزیابی و برنامه ریزی آب (ویپ)	میانگین بارندگی طی یک دوره ۵۲ ساله و یک ۳۴ ساله از داده‌های اندازه‌گیری جریان/ زامبیا
سانگ و همکاران [۵۵]	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش آنتروپی و روش پیگیری طرح ریزی برای تعیین هر شاخص	کاربرد مدل‌سازی پویا برای شبیه‌سازی سیاست‌های بهینه در مورد حفاظت از آب شهر	عوامل هیدرولوژیکی، جمعیت و مصارف آبی/چین
	استفاده از آب در سیستم‌های	تجزیه و تحلیل تغییرات	تبخیر و تعرق و بارش سالانه

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

معیشت زراعی و کشاورزی	پوشش زمین بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۲۰۱۳ و توصیف استراتژی‌های معیشتی رایج و شیوه‌های کشاورزی	نقشه‌های پوششش زمین/ مغولستان غربی	جوردن و همکاران [۵۶]
مدل‌سازی بازخورد سیستمی برای مدیریت منابع آب پایدار و توسعه کشاورزی، کاربرد رویکرد مدل‌سازی مشارکتی	استفاده از یک رویکرد PM_2 ، بر اساس اصل تفکر سیستم و پویایی سیستم	داده‌های هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم، جمعیت و مصارف آبی/ عوامل و فرآیندهای بیوفیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، اجتماعی و سیاستی/ آفریقا	جولیوس و همکاران [۵۷]
پویاشناسی سیستم‌ها	شبیه‌سازی بازه ۳۰ ساله، از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۲۰	منابع زیرزمینی، منابع انتقالی و فاضلاب تصویه شده/ قم	روزبهرانی و سیفی [۵۸]
چارچوب علت و معلولی DPSIR مدل مفهومی	بررسی مدیریت یکپارچه منابع آب	عوامل هیدرولوژیکی، جمعیت و مصارف آبی	سلیمانی ساردو و همکاران [۵۹]
استفاده از مدل‌سازی پویا برای تعیین الگوی کشت بهینه مبتنی بر شاخص ردپای	استفاده از مفهوم ردپای آب به منظور رسیدن به دید واقعی از منابع مصارف آب تعیین محصولات قابل کشت در منطقه، محصولات اصلی امتیازدهی و انتخاب محصولات بر مبنای معیارهای مورد نظر و با لحاظ محدودیت‌های سیستم	ردپای آب محصولات عمده زراعی باغی کشت شده در ۲۴ دشت/ کرمانشا	فرزی و همکاران [۶۰]
مدل‌سازی پویای سیستم سد مخزنی		افزایش شاخص‌های پایداری با اعمال الگوی بهینه کشت در مقایسه با شرایط فعلی	فتوکیان و همکاران [۶]
پویایی سیستم‌ها به منظور بررسی تأثیر سیاست‌های احیاء مختلف	تأثیر سیاست‌های احیاء تحت تأثیر تغییر اقلیم	عوامل هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم، جمعیت و مصارف آبی/ تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت/ ارومیه	سرین دیزج و ضرغامی [۶۱]

۸- نتیجه‌گیری

² participatory modeling

با توجه به چالش‌ها و تهدیدهای منابع آبی، مدیریت کمی و کیفی مخازن از طریق تعیین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. پیش‌بینی تغییرات رفتاری در سیستم‌های منابع آب تحت تأثیر اعمال سناریوها و سیاست‌های بهره‌برداری می‌تواند به بهره‌برداری بهینه از این منابع کمک کند. استفاده از مدل‌های دینامیک سیستم می‌تواند ابزار مناسبی در ارائه مقادیر بهینه مصارف آبی در قالب برداشت انتخابی و ترکیب بهینه از بهترین راهکارهای مدیریتی باشد. با توجه به اینکه تأمین نیازهای بخش‌های مختلف از طریق مهار آب‌های سطحی و زیر سطحی انجام می‌گردد. وجود محدودیت منابع آب تحت کنترل و افزایش مداوم تقاضاها، نیاز به برنامه‌ریزی مناسب جهت مدیریت و بهره‌برداری بهتر منابع آب دارد. مدیریت سیستم‌های منابع آب ممکن است اهداف متفاوت و متناقضی را برای ذینفعان برطرف کند. بنابراین، برای جلوگیری از اعمال سیاست نادرست و ناپایداری در سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی یا زیست محیطی، ضروری است که یک رویکرد کل‌نگر برای برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری در سیستم آب اعمال شود. پویایی سیستم یک تکنیک مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای توصیف ساختار سیستم‌های پیچیده و تجزیه و تحلیل رفتار دینامیکی آن‌هاست. این رویکرد در اصل با هدف تسهیل تعاملات بین مدل‌های ذهنی مدیران و مدل‌های قراردادی تحلیل گران توسعه یافته است. هدف اصلی این مدل‌ها قانونمندی و بررسی و ارزیابی طرح‌های گوناگون به جهت پاسخ‌گویی به مسائل و تقاضاهای آب است به گونه‌ای که از منابع موجود به بهترین حالت استخراج گردد، سبب رفع نیازهای نسل فعلی و آینده می‌گردد.

۹- منابع

- [1] Lester S, Rhiney K. Going beyond basic access to improved water sources: Towards deriving a water accessibility index, Habitat International, Volume 73, March 2018, Pages 129-140, 2018.
- [2] Stavenhagen M, Buurman J, Tortajada C. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. Journal of Cities; 79, Pages 187-195, 2018.
- [3] Winz I, Brierley G, Trowsdale S. Mint. The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management. Water Resources Management; 23(7), 1301-1323, 2008.
- [4] سردار شهرکی، ع.، شهرکی، ج.، هاشمی منفرد، آ. بررسی رویکردهای مدیریتی بهره‌برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). پژوهش‌های مدیریت عمومی. ۳۱(۹). ۹۸-۱۳۹۵.
- [5] Schluter M, D.C. Savitsky, D. McKinney, and H. Lieth. Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River Delta: A water management Model for ecological impact assessment. Envir. Model. and Software; 20: 529-545, 2005.
- [6] فتوکیان، م.ر.، صفاری، ن.، زرغامی، م. مدلسازی پویای سیستم سد مخزنی یامچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره‌برداری. تحقیقات منابع آب. ۳(۱۳). ۱۶-۱۳۹۶.
- [7] Saysel AK. System dynamics, systemic feedback modeling for water resources management. Institute of environmental sciences. Bogaziçi University Research. Istanbul. Turkey; 12p. 200۲.
- [8] Simonovic SP, Li L. Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system. Journal of Water Resource Planning Management.; 361-371, 2003.
- [9] Ahmad S, Simonovic SP. Modeling reservoir operations for flood management using system dynamics. Journal of Computing Civil Engineering; 14(3). 190-198, 2000.

- [10] Ahmad S, Simonovic SP. Spatial system dynamics: a new approach for simulation of water resources systems. *Journal of Computing Civil Engineerin.*; 18(4). 331– 340,2004.
- [11] Ahmad S, Prashar D. Evaluating municipal water conservation policies using a dynamic simulation model. *Water Resource Management*; 24(13), 3371–3395, 2010.
- [12] Gastelum JRJ, Valdes B, Stewart S. A decision support system to improve water resources management in the conchos basin. *Water Resource Management*. 2009; 1519–1548, 14(3).
- [13] Qaiser K, Ahmad S, Johnson W, Batista J. Evaluating the impact of water conservation on fate of outdoor water use: a study in an arid region. *Journal of Environmental Management* 2011; 2061–2068, 92(8)
- [14] Sahlke G, Jacobson J. System dynamics modeling of transboundary system: the Bear River basin model. *Journal of GroundWater*; 43(5), 722-730. 2005.
- [15] Simonovic SP, Rajasekaram V. Integrated analyses of Canada's water resources: a system dynamics approach. *Canadian Water Resource Journal*; 29(4), 223–250. 2004.
- [16] Shahbazbegian M, Bagheri A. Rethinking assessment of drought impacts: a systemic approach towards sustainability. *Journal of Sustainability Science.*; 223–236, 5(2). 2010
- [17] Yang J, Lei K, Khu S, Meng W. Assessment of Water Resources Carrying Capacity for Sustainable Development Based on a System Dynamics Model: A Case Study of Tieling City, China. *Water Resour Manage.* 2015; 885–899, 29.
- [18] Simonovic SP, Ahmad S. Computer-based model for flood evacuation emergency planning. *Natural Hazard*; 34(1), 25–51, 2005.
- [19] Bagheri A, Darijani M, Asgari A, Morid S,. Crisis in urban water systems during the reconstruction period: a system dynamics analysis of alternative policies after 2003 earthquake in Bam– Iran. *Water Resource Management*; 24(11), 2567–2596, 2010.
- [20] Kotir J H, Smith C, Brown G, Marshall N , Johnstone R. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana, *Science of The Total Environment*; 573(2), 444-457, 2016.
- [21] Agarwal S, Patil JP, Goyal V C, Singh. A. Assessment of water supply–demand using water evaluation and planning (WEAP) model for Ur river watershed. Madhya Pradesh, India. *Journal of The Institution of Engineers (India)*; 100(1), 21-32 , 2019.
- [22] Vlachos D, PGeorgiadis E. Iakovou. A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. *Computers and Operations Research*; 34, 367-394, 2007.
- [23] محمودی، ز.، بهرهمند، ع. ر.، عبدالهی، خ.، میرعباسی، ر.، سعدالدین، ا.، کوهستانی، ش.، بایرام کمکی، چ. بهینه سازی تخصیص آب در دسترس بر مبنای شاخص پایداری آب زیرزمینی در حوضه ارازکوسه با استفاده از رویکرد پویایی سیستم. *مجله پژوهش آب ایران*. ۱۳۹۹. ۴۵-۵۹. ۳(۱۴).
- [24] Loucks D.P, Beek E.V, Stedinger J.R, Dijkaman J.P.M, Villars M.T. *Water resources system planning and management: An Introduction to methods, models and application*. 1th Ed., UNESCO, Paris,. 2005.
- [25] Read L, Madani K, Inanloo B. Optimality versus stability in water resource allocation, *Journal of Environmental Management*; 133, 343-354. 2014.
- [26] پایمزد، ش. تخصیص آب بین حوضه ای در حوضه های مشترک، با تاکید بر پویایی سیستم: مطالعه موردی در حوضه قزل اوزن. رساله دکتری. گروه مهندسی سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ۱۳۸۸.

- [27] میان آبادی، ح.، افشار، ع. تصمیم‌گیری گروهی فازی ناهمگن در مدیریت یکپارچه منابع آب، مجله شریف (مهندسی عمران)، ۲۷(۴)، ۱۳۱-۱۲۳، (۱۳۹۰).
- [28] Zhang B, Qin Y, Huang M, Sun Q, Li S, Wang L, Yu C. SD-GIS-based temporal-spatial simulation of water quality in sudden water pollution accidents, Computers & geosciences, 37(7), 874-882, 2011.
- [29] سلطانی، م، علیزاده، ح. ع. مدیریت جامع آب کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز (IWMsim) با رویکرد پویایی سیستم، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، 7(2)، ۷۰-۹۰، ۱۳۹۶.
- [30] کدخداحسینی، م، شامحمدی، ش، میرعباسی نجف آبادی، ر، نوذری، ح. ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب سد چغاخور با استفاده از روش‌های پویایی سیستم، انجمن آبخیزداری ایران، ۱۱(۶)، ۳۴-۲۲، ۱۳۹۶.
- [31] Sterman J.D. (1994). Learning in and about complex systems. System Dynamics Review, 10(2 - 3):291-330.
- [32] Senge P.M. The Fifth Discipline. Random House, Australia, 7th ed. Edition. (1992).
- [33] پایمزد، ش. شبیه‌سازی تخصیص آب‌های سطحی با استفاده از نرم افزار Vensim و شناسایی الگوهای رفتاری (منطقه مطالعاتی: حوضه آبریز قروه دهگلان). پژوهش‌های مهندسی اکوسیستم بیابان. ۳۱(۱۰)، ۱۴۱-۱۲۳، ۱۴۰۰.
- [34] Fiorillo F, A, Palestini P, Polidori, C Socci. Modeling water policies with sustainability constraints: A dynamic accounting analysis. Ecological Economics; 63, 392-402, 2007.
- [35] علی احمدی، ن، مرادی، ا، حسینی، م و سردارشرکی، ع. شبیه‌سازی پویای منابع آب در حوضه آبریز هیرمند تحت سناریوهای اقتصادی - زیست - محیطی. رساله دکتری، دانشکده اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۳۷۷-۱، (۱۴۰۰).
- [36] Ringersma J. Optimizing green water use and improved crop water productivity under rainfed agriculture in Sub-Sahara Africa. ISRIC Abstract of a data search and literature study; 1- 50, 2003.
- [37] Nazari-Sharabian M, Taheriyoun M, Ahmad S, Karakouzian M, Ahmadi A. Water Quality Modeling of Mahabad Dam Watershed-Reservoir System under Climate Change Conditions, Using SWAT and System Dynamics. Water; 11, 394, 2019.
- [38] Akhtar M K, Wibe J, Simonovic S P, MacGee J. Integrated assessment model of society-biosphere-climate-economy-energy system. Environmental modeling& Software; 1-21, 49, 2013.
- [39] Smith P, Ackere A. A note on the integration of system dynamics and economic models. Journal of Economic Dynamics and Control; 26(1), 1-10, 2002.
- [40] Mirchi A, Madani K, Watkins D, Ahmad S. Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. Water Resour. Manage; 26 (9), 2421-2442, 2012.
- [41] Sterman JD. Business dynamics, systems thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill, Boston; 982, 2000.
- [42] فتوکیان، محمد، ر.، ضرغامی، م، نورانی، و. بهره برداری پویای سد یامچی از دید توسعه پایدار با هدف تامین نیاز زیست محیطی و الگوی بهینه کشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. تبریز. ۱۲۳-۱، ۱۳۹۴.
- [43] استرمن، ج. اصول و مبانی مدل‌های پویایی سیستم، ترجمه استادی جعفری، م و جوانشیر، ح، انتشارات شریانی، ۳۰۹ ص. ۱۳۹۵.
- [44] Ford F, Ford A. Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems. Island Press. **Second Edition**; 488 p. 1999
- [45] Sterman JD. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World; 43(4), 2001.

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

- [46] Naseri A, Babazadeh H, Nakhjavani S. Select the most appropriate runoff water from an emitting point emitting a distribution analysis. Journal of Soil and Water Resources Protection; 1,29-42.2011. (In Persian).
- [47] Stave K. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. Journal of Environmental Management; 67(4), 303-313,2003.
- [48] Hashimoto T, Stedinger J. R. Loucks D. P. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resour. Res; 18, 14-20. 1982.
- [49] Sandoval-Solis S., D, McKinney CLoucksD. P. Sustainability index for water resources planning and management. J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE; 137, 381-390.2011.
- [50] Moy W. S, Cohon J. L, Revelle C. S. A programming model for analysis of reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. Water Resour. Res; 22,489-498, 1986.
- [51] Loucks D. P. Quantifying trends in system sustainability. Hydrol. Sci. J, 42, 513-530. 1997.
- [52] Li J , Yuyang Yu. System dynamic relationship between service water and food: Case study at Jinghe River Basin; 330(161),129794,2022.
- [53] Tena T. M, MwaangaP , Nguvulu A. Hydrological Modelling and Water Resources Assessment of Chongwe River Catchment using WEAP Model. Water; 11, 839,2019.
- [54] Tian Y, Li Yi C.Y, Wang X , Shu A Dynamic Model of a Sustainable Water Resources Utilization System with Coupled Water Quality and Quantity in Tianjin City; 12, 4254, (2020).
- [55] Song J, Tang B, Zhang J, Dou X, Liu Q and Shen W System dynamics simulation for optimal stream flow regulations under consideration of coordinated development of ecology and socio-economy in the Weihe River Basin, China, Ecological Engineering; 124,51- 68. 2018.
- [56] Jordan G, Goenster-Jordan S, Lamparter G. J, Ulziisuren B, Soninkishig N, Schlecht E ,Buerkert, A Water use in agro-pastoral livelihood systems within the Bulgan River watershed of the Altay Mountains, Western Mongolia, Agriculture, Ecosystems & Environment, 251, 180-193. 2018.
- [57] Julius H. Kotir a, Greg Brown b , Nadine Marshall c , Ron Johnstone. Systemic feedback modelling for sustainable water resources management and agricultural development: An application of participatory modelling approach in the Volta River Basin. Environmental Modelling & Software; 88, 106e118,(2017).
- [58] [روزبهرانی، ا.آ، سیفی،ع. پویاشناسی منابع آبی قم. مجله مهندسی و بهره وری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (۱)۴، ۲۵-۷. ۱۴۰۰]
- [59] [سلیمانی ساردو، ف، وکیلی تجربه، ف، رستمی خلیج، م. مدیریت یکپارچه منابع آب جنوب استان کرمان با استفاده از مدل پویایی سیستم. نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران. (۱۵)۵۵. ۲۰-۱۱. ۱۴۰۰]
- [60] [فرزی، س، گلابی، م.ر و رادمنش، ف. تعیین الگوی کشت بهینه مبتنی بر شاخص رد پای آب (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۱۳)۳. ۶۰۲-۵۸۸. ۱۳۹۸]
- [61] Sarindizaj E, Zarghami M. Comparing Effects of Restoration Policies Under Climate Change By Using System Dynamics. Case Study Urmia Lake Ecosystem; 13(4). 184-189.2018.



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

دوازدهمین همایش ملی
سامانه‌های سطوح آبگیر باران

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

Fundamental study of system dynamics model in optimizing water resources and uses

Fereshteh Zafarshademan¹ *

1*. - Ph.D Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural
Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. e-mail:
fr.zafarshademan@gmail.com

Abstract

In recent decades, water has been an important issue at the center of international discussions and negotiations, and its management has been placed as one of the main factors and elements in the agenda of governments. The reduction of water resources and its critical situation has made the drinking, agriculture, industry and environmental sectors face a big problem. Achieving the sustainable development of water resources systems requires evaluating and examining the long-term economic, social and environmental effects of water resources development and management plans. In addition to the complex nature of water resources issues, there is a need for methods that bring together different management approaches in a coherent format. One of the powerful management tools, which has been widely used in recent years to simulate complex systems of water resources, is the system dynamics method. In this method, attention is paid to the dynamic relationships between the quantitative and qualitative characteristics of water and even socio-economic issues and the intended system can be easily simulated without the need for complex mathematics. Therefore, in this article, we discuss how the system dynamics model works in optimizing water resources and uses and expressing the systemic interactions governing it.

Key words: system dynamics model, water resource management, sustainable development