ارزیابی سیستمی راهکارهای سیاستی کاهش آسیب‌پذیری دشت سیستان به نوسان و کاهش منابع آب

رضا میر[۱*]، غلامرضا عزیزیان[۱]، علیرضا مساح بوانی[۲] و علیرضا گوهری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸)

چکیده

با هدف توسعه تحلیل آسیب پذیری دشت سیستان به نوسانات و کاهش منابع آب رودخانه هیرمند از چارچوب آسیب‌پذیری فوزل با رویکرد برگشت‌پذیری گذار استفاده شده است. مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی و بیوفیزیکی مطرح شده در این چارچوب، در مجموعه‌ای از زیرسیستم‌های مدل پویایی سیستم‌ها درنظر گرفته شده است. بر این اساس چهار سطح برگشت‌پذیری مرجع بر پایه آورد سالانه رودخانه هیرمند تعریف و مقادیر مشخصه های نگرانی تحت ساختار موجود منطقه تا افق ۱۴۳۰ مشخص شد. در ادامه، راهکارهای پیشنهادی در ساختار اقتصادی- اجتماعی تحت دو حالت بحرانی مخاطره کم‌آبی و نوسان جریان رودخانه به‌کار گرفته شدند. مقادیر مشخصه‌های نگرانی دو حالت مذکور با هریک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع مطابقت داده شدند. نتایج حکایت از مناسب بودن گزینه سیاستی کاهش مصرف آب و اهمیت پیامدهای زیست‌محیطی مؤلفه بیوفیزیکی دارد. به‌نحوی که حالت‌های مخاطره کم‌آبی و نوسان جریان دارای درآمدهایی به‌ترتیب ۹۴۹۰ و ۵۱۰۰ میلیارد ریال (به قیمت پایه سال ۱۳۹۰) بوده‌اند ولی دارای جمعیت و سطح رفاهی یکسان هستند که علت آن به تأمین ۱۱۷ و ۶۰۰ میلیون متر مکعب از نیاز زیست‌محیطی ارتباط دارد. مدیریت، توسعه و حمایت مستمر بخش صنعت قادر خواهد بود الگوی "موفقیت برای موفق‌ها" را برای بخش اجتماعی- اقتصادی سیستان به ارمغان آورد.

واژه‌های کلیدی: برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری، منابع آب، دینامیک سیستم‌ها، سیستان

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲. گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: reza.mir@pgs.usb.ac.ir

مقدمه

آسیب‌پذیری به‌طور معمول نشان دهندهٔ درجه‌ای از آسیب است که یک سیستم به‌دلیل مواجه شدن با خطر، تجربه می‌کند (۲). برای مدت زمان طولانی تعریف واحدی برای مفهوم آسیب پذیری وجود نداشت، زیرا توسط چندین رشته علمی مورد توجه قرار گرفته بود و از جنبه‌های مختلف علمی، آسیب‌پذیری را بررسی و تعریف کرده بودند (۸). آسیب‌پذیری به روش‌های مختلف توسط دانشمندان از حوزه‌های مختلف دانش و حتی در حوزهٔ یکسان معرفی شده است (۳، ۵، ۲۰، ۲۳ و ۲۴). با وجود این، به‌عنوان یک تعریف جامع، آسیب‌پذیری را احتمال از دست دادن توصیف کرده‌اند (۲، ۸، ۱۱ و ۱۴). در ادامه، تلاش‌های متعددی برای ایجاد یک چارچوب مشترک میان رشته‌ای در مورد تحقیقات آسیب پذیری انجام شد که آسیب پذیری را تابعی از مواجهه با خطر، حساسیت و قابلیت سازگاری معرفی کردند (۱۱).

استفاده علمی از "آسیب‌پذیری" ریشه در پژوهش‌های جغرافیا و حوادث طبیعی دارد (۲۳). فوزل با هدف از بین بردن شکاف موجود بین روش‌های مختلف ارزیابی آسیب پذیری، یک چارچوب مفهومی آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهد (۱۱). با طرح یک سوال فرضی که کدام‌یک از دو منطقه فلوریدا یا تبت در مقابل نوسانات آب‌وهوایی و تغییر اقلیم بیشتر آسیب‌پذیر است، استدلال می‌کند که بررسی این سؤال بسته به زمینه و هدف ارزیابی، به شاخص شفاف و معین از مفهوم آسیب پذیری نیاز دارد. این چارچوب نظری دارای دو گام اساسی است. اولین گام با هدف شناخت مسئله آسیب‌پذیری انجام می‌شود. در این گام چهار ویژگی مسئله مشخص می شود: سیستم: مجموعه یا گروه آسیب پذیری که مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ مشخصه های نگرانی: خصوصیاتی از مجموعه یا گروه که مورد تهدید قرار دارد؛ خطر: تهدیدی که از جانب عوامل خارج از سیستم بر مشخصه های نگرانی سیستم مورد نظر وارد می شود؛ و مرجع زمانی: زمان یا بازه زمانی که برای تحلیل آسیب‌پذیری درنظر گرفته شده است. در گام دوم که با هدف بررسی دقیق‌تر ابعاد و نواحی تأثیرگذار و تأثیرپذیر یک سیستم در معرض خطر انجام می‌شود، چهار ویژگی شناسایی شده در گام اول به دو دسته کلی مؤلفه‌های بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی تقسیم می‌شوند. مؤلفه‌های بیوفیزیکی همان خصوصیات سیستم هستند و از دو دستهٔ مجزای مؤلفه‌های فیزیکی و محیط زیستی تشکیل می‌شوند. مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی در واقع همان ساختار اقتصادی و اجتماعی حاکم بر مجموعه سیستم است. لذا مؤلفه‌های بیرونی آسیب-پذیری در واقع همان مؤلفه‌های مخاطره یا شوک و مؤلفه‌های درونی، مشخصه های نگرانی سیستم محسوب می‌شوند. بنابراین برای ارزیابی آسیب‌پذیری پس از مشخص شدن مؤلفه‌های مورد نظر، فضای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقابل خطر، معین می شود (۱۱ و ۲۱).

با توجه به ماهیت پیچیده عوامل درونی و بیرونی مؤثر بر سیستم و مشکلات ناشی از آسیب‌پذیری در مسائل مدیریت منابع آب، راه حل‌هایی که بر مبنای تفکر خطی یا دیدگاه رویدادگرا استوار هستند مناسب نیستند و به رویکردی متفکرانه غیرخطی و چندرشته‌ای نیاز دارد. رویکردی که مدیریت منابع آب و منابع مرتبط را، به‌منظور حداکثر رساندن مشخصه های نگرانی، مانند سطح رفاه اقتصادی- اجتماعی، تضمین کند (۱۲و ۲۱). تفکر سیستمی بر پایه نظریه پویایی و حلقه‌های علی و معلولی به‌عنوان راهکار مناسب برای پیاده‌سازی سیستم های پیچیده کمک می‌کند در سیستم منابع آب که دارای بخش‌های متنوع اما مرتبط وجود دارد، بخش‌ها به‌صورت یکپارچه عمل کند (۲۲).

تحلیل آسیب پذیری روشی مناسب برای درک نقاط ضعف و بخش‌های آسیب پذیر سیستم در تحمل عوامل تنش‌زا در طول زمان و مکان است و به‌دنبال شناسایی تهدیدهایی است که به‌طور بالقوه می تواند به سیستم آسیب برساند (۲۶ و ۲۷)، اما درنهایت نیاز به اقدام مناسب برای حفظ و یا برگشت ویژگی‌های مورد نظر وجود دارد. مفهوم رویکردهای برگشت‌پذیری از نظر نحوه سازگاری با مخاطرات پیش آمده در تحقیقات مختلف متفاوت است. در محیط‌های پویا و دینامیک مانند جوامع انسانی و محیطی رویکرد برگشت‌پذیری در مفهوم گذار از پویایی و

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز مورد مطالعه (۶)

نوآوری بیشتری نسبت به سایر رویکردها برخوردار است. این رویکرد به‌جای تمرکز بر آسیب‌پذیری جامعه به ظرفیت‌های سازگاری بیشتر در برابر مخاطرات می‌پردازد و به‌جای تلاش برای حفظ و بقا در برابر مخاطرات به انعطاف‌پذیری و سازگاری با پیامدهای مخاطرات می‌پردازد (۲۱). در تحقیق حاضر از چارچوب ارائه شده توسط فوزل برای بررسی برگشت‌پذیری آسیب در مقابل کاهش و نوسان جریان سطحی رودخانه مرزی هیرمند استفاده و تلاش شده است نسبت به پژوهش‌های گذشته، سیستم (زیرسیستم‌ها) گسترده‌تر و از نظر مرجع زمانی نیز بروزرسانی شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان از لحاظ تقسیمات کشوری در استان سیستان و بلوچستان، جنوب شرق ایران، واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از طرف شمال، شرق و جنوب به افغانستان محدود می‌شود (۱۳). از لحاظ هیدرولوژی، سیستان در انتهای حوضه وسیع و بستهٔ هلمند (هیرمند) قرار دارد. رودخانه هیرمند با آب حاصل از ذوب برف های هندوکش، نقش اساسی در منطقه سیستان ایفا می‌کند. این آب‌ها در شرایط ترسالی کامل کفایت ورود به تالاب‌های بین‌المللی هامون را دارا هستند و در شرایط خشکسالی در مخازن چاه نیمه جمع‌آوری شده و به مصرف شرب و کشاورزی می‌رسند. کاهش و درنهایت قطع آورد سالانه رودخانه هیرمند و نیز کاهش سطح دریاچه هامون تا حد بحران و بروز فاجعهٔ اکولوژیکی، اثرات منفی زیادی بر معیشت و اقتصاد مردم منطقه گذاشته است (۲۱).

حدود ۱۲۰۰۰۰ هکتار از زمین‌های این دشت دارای پتانسیل کشاورزی بوده و می‌تواند در چرخه تولید زراعی قرار گیرد. از آنجا که میزان جمعیت ساکن نقش بسیار مهمی در تأمین امنیت دشت سیستان در قسمت مرزی ایران با افغانستان دارد، اهمیت وابستگی به منابع آب در این حوضه آبریز دو چندان می‌شود (۴). اهمیت نقش آب برای ساکنان دشت سیستان زمینه‌ساز بررسی علل و تأثیرات کاهش منابع آب و راهکارهای مختلف سازگاری شده است (۲۱). راهکارهای حاصل و اقدامات انجام شده به میزان ورودی آب از افغانستان وابسته بوده و به‌همین دلیل با کاهش آورد رودخانه مرزی اقدامات اتخاذ شده به اهداف مورد نظر خود دست نیافته است و باعث آسیب جدی به منطقه و ساکنان شده است. در واقع راهکارهای عرضه محور از قبیل افزایش حجم ذخیره در چاه نیمه‌ها و اصلاحات هیدرولیکی در رودخانه سیستان برای افزایش سهم برداشت از رودخانه مرزی تاکنون نتیجه‌بخش نبوده است. در سال‌های اخیر نیز طرح آبرسانی دشت سیستان (پمپاژ آب به مزارع

توسط لوله) با عدم ورود آب از افغانستان و تخلیه آب قابل برداشت چاه نیمه‌ها (حجم زنده مخازن) با مشکل مواجه شده است. به‌دلیل نامشخص بودن وضعیت آب، در طرح جامع ناحیه سیستان توصیه شده تا به‌طور آگاهانه توسعه صنعت و صادرات به استان‌های غربی افغانستان مدنظر قرار گیرد (۹). به‌همین دلیل این ناحیه در حال گذار از ساختار اقتصادی- اجتماعی مبتنی بر فعالیت صرف کشاورزی به ساختاری جدید و کمتر وابسته به منابع آب است که بسیار منطبق با مفهوم برگشت‌پذیری گذار است. بنابراین پژوهش حاضر به‌دنبال توسعه گسترده‌تری از تحلیل غیرخطی آسیب‌پذیری سیستان شامل زیرسیستم‌های هیدرولوژیکی، کشاورزی، اجتماعی و محیط زیستی و ارائه راهکارهای متنوع سازگاری و مدیریت پایدار دشت سیستان با رویکرد برگشت پذیری در یک مرجع زمانی بروزرسانی شده است. سوال اصلی مطرح شده در این تحقیق نحوه افزایش سازگاری و تاب‌آوری دشت سیستان از طریق اصلاح ساختار مؤلفه‌های درونی چارچوب آسیب‌پذیری یا همان مشخصه‌های نگرانی با نوسانات شدید سالیانه آورد رودخانه مرزی هیرمند و مخاطره کم‌آبی به‌عنوان مؤلفهٔ بیرونی چارچوب آسیب‌پذیری است.

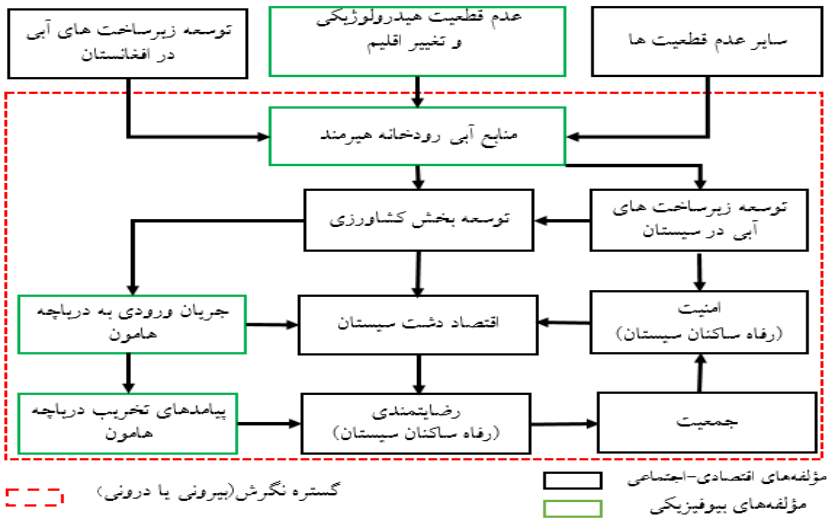
ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه

شناسایی عوامل آسیب‌پذیری منطقه سیستان بر اساس چارچوب فوزل، نیاز به شناخت کافی از منطقه دارد. رژیم آبدهی رودخانه هیرمند به‌دلیل شرایط فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه کاملاً وابسته به شرایط حوضه آبگیر رودخانه هیرمند است. بدین معنا که میزان آبدهی این رودخانه‌ها مستقل از میزان بارندگی روی سطح آنها و کاملاً تابع شرایط بالادست است. بدین ترتیب کاهش میزان آب ورودی به هر دلیل به‌طور مستقیم منجر به کاهش ذخایر آبی مخازن چاه نیمه‌ها و هامون می‌شود (۱). بنابراین منابع آب قابل بهره‌برداری در هر سال متأثر از آب رها شده در کشور افغانستان و شرایط هیدرولیکی و مخازن موجود در ایران خواهد بود. این عامل به دو پارامتر تأثیرگذار داخلی و خارجی قابل تفکیک است. سیاست‌ها و زیرساخت‌های آبی کشور افغانستان به‌عنوان کشور همسایه و سیاست‌های تأثیرگذار سایر کشورها عوامل مؤثر بین المللی است که به‌عنوان عوامل بیرونی درنظر گرفته شده است (۲۱). شرایط هیدرولیکی و مخازن چاه نیمه به‌عنوان عوامل داخلی مؤثر بر بهره‌برداری آب در سیستان درنظر گرفته شده و در زیرسیستم هیدرولیکی وارد شده است.

در فضای بیرونی تأثیر عوامل خارجی از طریق آورد رودخانه سیستان به‌عنوان تنها منبع تأمین آب درنظر گرفته شده است. زیرسیستم‌های کشاورزی و اجتماعی- اقتصادی شامل سطح زیرکشت محصولات، آب کشاورزی مورد نیاز، جمعیت ساکن و درآمد ساکنین از مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی درونی محسوب می‌شوند. همچنین در این مدل جریان ورودی به دریاچه هامون برای تثبیت ریزگردها و میزان منابع آب موجود در چاه نیمه‌ها نیز به‌عنوان مؤلفه‌های بیوفیزیکی درونی تلقی شده‌اند. در این مقاله ارائه سیاست با محور تغییر در ساختار مؤلفه‌های مرز درونی مدل مفهومی انجام خواهد شد. لذا در ادامه لازم است تا مشخصه های نگرانی دشت سیستان از دیدگاه بیوفیزیکی درونی و اقتصادی- اجتماعی درونی به‌طور مفصل‌تر مورد بررسی قرار گیرند. نمایی از عوامل آسیب‌پذیری دشت سیستان مورد نظر در شکل ۲ نمایش شده است.

مشخصه‌های نگرانی

تالاب هامون به عنوان یکی از منابع آب در سیستان نقش زیادی در میکرواقلیم و اکوسیستم منطقه از خود بر جای می‌گذارد. جریان ورودی به تالاب هامون جزء عوامل زیست‌محیطی و درونی آسیب‌پذیری دشت سیستان است که نه تنها متأثر از جریان رودخانه سیستان است، بلکه تحت تأثیر شبکه رودخانه‌ای منطقه و حجم مخازن چاه نیمه نیز است. دریاچه هامون در سال‌های اخیر اغلب خشک بوده است و تنها در بعضی از ماه‌های سال آب در آن جاری شده و در گودال‌های عمیق‌تر جمع شده است. در تابستان، تبخیر زیاد از پهنه وسیع تالاب این گودال‌ها را کوچک و یا خشک کرده است. بنابراین جریان سالیانه ورودی به تالاب هامون به‌عنوان مشخصه‌های نگرانی درنظر گرفته شده است. از نقطه نظر عوامل اقتصادی- اجتماعی درونی، مهم‌ترین مشخصه نگرانی اجتماع –ملی در منطقه مورد مطالعه که متأثر از آورد



شکل ۲. مدل مفهومی آسیب‌پذیری دشت سیستان بر اساس چارچوب آسیب‌پذیری (برگرفته از (۲۱))

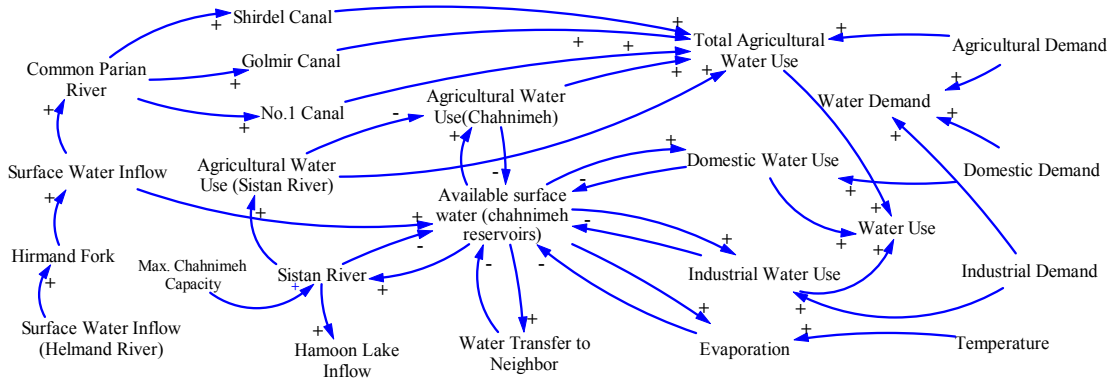
رودخانه هیرمند است، مهاجرت است (۱۰). فقدان آب به‌عنوان منبع اصلی حیات و فعالیت، اختلال اساسی در فعالیت‌های اقتصادی و درنتیجه معیشت و زیست ایجاد کرده و مهاجرت‌های وسیع به‌سمت شهرهای دیگر استان و کشور را موجب شده است و در دهه‌های اخیر دارای موقعیت کم ثبات جمعیتی بوده است. با توجه به واقع شدن محدوده مورد مطالعه در یک منطقه مرزی، عدد جمعیت ساکن از اهمیت بالقوه‌ای برخوردار است (۱۷) و می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی درونی و دومین مشخصه نگرانی دشت سیستان مطرح باشد. سومین مشخصه نگرانی از مؤلفه‌های اقتصای اجتماعی-درونی دشت سیستان، ارزش افزوده دشت سیستان بوده که به‌شدت متأثر از فعالیت کشاورزی است (۱۶). در واقع وضعیت کشاورزی و دامداری منطقهٔ سیستان بستگی کامل به وضعیت رودخانه هیرمند و کم‌آبی و پرآبی آن دارد و آمار تولیدات زراعی، باغی و دامی منطقه نیز تحت تأثیر این جریان دارای نوسان است. بنابراین ارزش افزوده کل بخش‌های کشاورزی و صنعت به‌عنوان مشخصه نگرانی درنظر گرفته شده است.

جمعیت، تأمین حداقل جریان زیست‌محیطی ورودی به دریاچه هامون و ارزش افزوده کل منطقه سیستان با اولویت تخصیص آب به‌ترتیب شرب، کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی از مشخصه‌های نگرانی درونی سیستم برای پیاده‌سازی در چارچوب فوزل است. در تحقیق حاضر از مدل پویایی سیستم‌ها برای شبیه‌سازی بازخورد عوامل درونی موجود و مؤثر استفاده شده است و مشخصه های نگرانی برای ارزیابی و مقایسه رفتار زیرسیستم‌ها در برابر پیشنهادات سیاستی مبتنی بر برگشت‌پذیری گذار بهره‌برداری شده است.

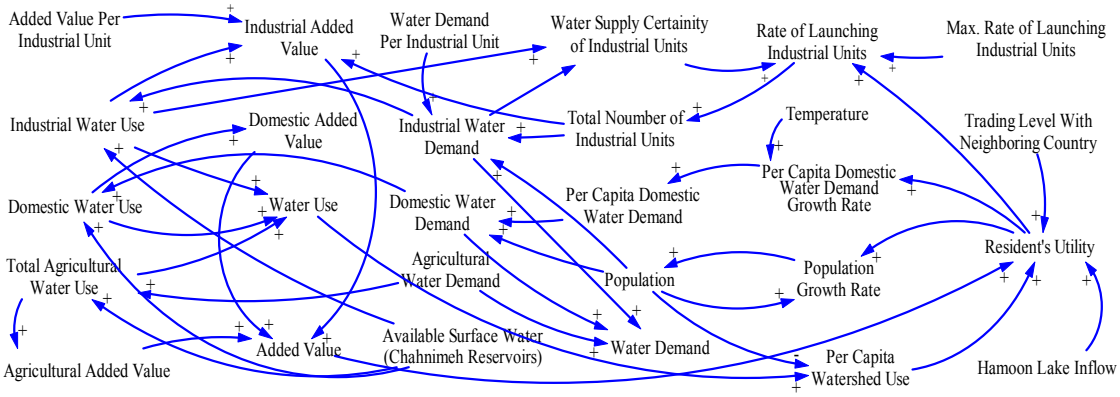
مدل‌سازی دینامیکی منابع آب یکپارچه

مدل مدیریت سیستم منابع آب با رویکرد یکپارچه‌سازی و مشخصه‌های نگرانی بر مبنای تئوری دینامیک سیستم‌ها توسعه یافته است. این مدل از زیرسیستم‌های هیدرولوژیک، اجتماعی-اقتصادی و کشاورزی تشکیل شده است. زیر سیستم هیدرولوژیک: متغیرهای چرخه هیدرولوژی، تأمین آب و اکوسیستم را نشان می‌دهد (شکل ۳). اولویت تخصیص آب به‌ترتیب به بخش‌های شرب، صنعت، کشاورزی و درنهایت محیط زیست درنظر گرفته شده است.

زیرسیستم اجتماعی- اقتصادی: تقاضای آب در حوضه آبریز از وضعیت توسعه اجتماعی- اقتصادی حوضه ناشی می‌شود که این وضعیت به‌نوبه خود به رفاه ساکنان و جمعیت این حوضه وابسته است (شکل ۴). باز یا بسته بودن مرز برای تجارت با کشور افغانستان، عامل اقتصادی خارجی است که بر جذابیت شرایط زندگی در سیستان تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه فرض بر این است که ترکیبی از سرانه مصرف آب، ارزش افزوده ناشی از



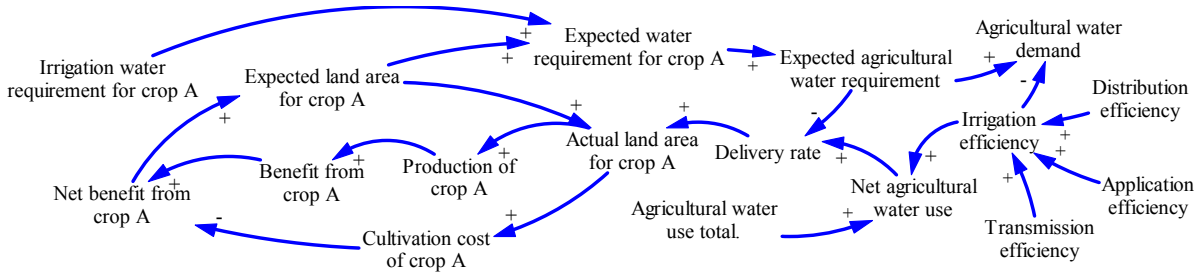
شکل ۳. نمودار حلقه علی و معلولی زیر سیستم هیدرولوژیک



شکل ۴. نمودار حلقه علی و معلولی زیرسیستم اجتماعی- اقتصادی

مصرف آب، وضعیت تجارت از طریق مرز و تأمین حداقل آب زیست‌محیطی مورد نیاز دریاچه هامون، ۲۵۰ میلیون متر مکعب (م.م.م) برای احیای گودال‌های دریاچه هامون (۱۳)، تعیین کننده رفاه ساکنان این منطقه است. زیرسیستم کشاورزی: بیش از ۹۰ درصد عرضه آب مصرفی به بخش کشاورزی اختصاص داده می‌شود. دشت سیستان دارای الگوی کشت متنوعی از انواع مختلف محصولات آبی شامل ۴ دسته از محصولات مختلف کشاورزی از قبیل غلات، نباتات علوفه‌ای، هندوانه و خربزه و سایر محصولات است. فرض بر این است که میزان سطح زیر کشت هر محصول بر اساس تجربه فرضی کشاورزان از میزان درآمد حاصل از کشت همان محصول در سال قبل محاسبه می‌شود (شکل ۵).

. نرم افزار Vensim از سری نرم‌افزارهای مناسب برای ارزیابی دینامیکی سیستم‌ها است که در دانشگاه هاروارد ماساچوست در سال ۱۹۸۵ ایجاد شده است (۲۵). درک رفتارهای حاکم بر سیستم، می‌تواند بینش مناسب برای متعادل‌سازی مدیریت منابع آب و توسعه فراهم کند. الگوهای متداول سیستم‌ها و رفتارهای مرتبط با آن را اینگونه توصیف می‌کند: محدودیت رشد، انتقال بار، تنزل هدف‌ها، تشدید، موفقیت برای موفق و اصلاحات ناموفق. برخی از این الگوها می‌توانند برای توضیح جنبه‌های مختلف مدیریت منابع آب حوضه استفاده شوند (۷، ۱۹ و ۲۸). الگوی موفقیت برای موفق، بیان می‌کند که یک بخش از سیستم می‌تواند با عملکرد موفق خویش، منابع بیشتری را به‌دست آورد، و این امکان را برای آن بخش از سیستم فراهم می‌آورد که حتی نتایج بهتر و منابع بیشتری کسب کند. با توجه به خصوصیت ویژه رویکرد دینامیک سیستم‌ها مبنی بر آموزش در حین مدل‌سازی، به‌مرور با حصول تجربه از روند آن با داده‌های واقعی می‌توان رفتار سیستم را مورد امتحان قرار داد. این کار باعث تدقیق مدل در طول مدل‌سازی و قبل از صحت‌سنجی نهایی آن می‌شود. توانایی مدل در شبیه‌سازی



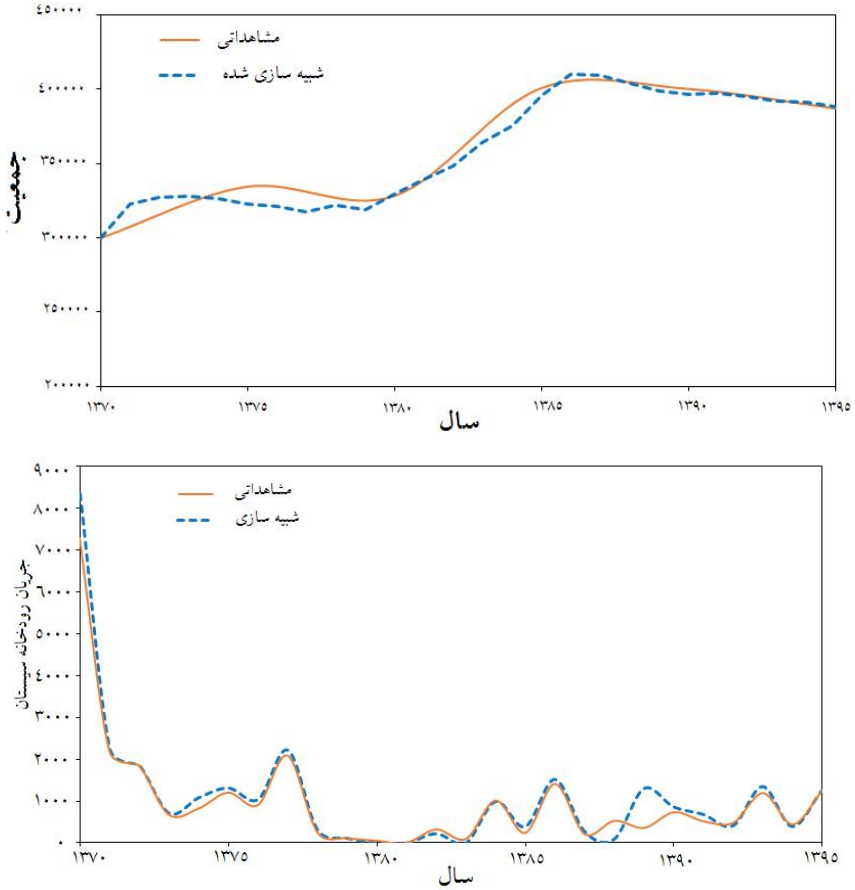
شکل ۵. نمودار حلقه علی و معلولی زیر سیستم کشاورزی

ساختار سیستم با استفاده از بررسی بازسازی رفتار سیستم در گذشته و تحلیل حساسیت سنجیده می‌شود (شکل ۶). در این مطالعه پارامترهای اقلیمی منطقه از خروجی ۱۰ مدل AOGCM بر اساس RCP 4.5 استخراج و تبخیر به‌عنوان تابعی از دما با استفاده از نتایج تشتک تبخیر کلاس A در محل مخازن چاه نیمه درنظر گرفته شده‌اند.

پیاده‌سازی گزینه سیاستی

در پژوهش حاضر سطوح برگشت‌پذیری مرجع بر اساس متوسط جریان آب ورودی به رودخانه سیستان درنظر گرفته شده است. مقادیر ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون متر مکعب بر اساس بررسی جریان ورودی پس از سال ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۸۰ هجری شمسی) به عنوان مقادیر محتمل حداکثر و حداقل متوسط جریان ورودی منظور شده است (جدول ۱). مقادیر مزبور بر اساس عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی و نیز توسعهٔ طرح‌های منابع آبی افغانستان محاسبه شده‌اند. عدد ۵۰۰۰ میلیون متر مکعب با درنظر گرفتن وقوع ترسالی در حوضه آبریز هیرمند و روندی کند در توسعه طرح‌های آبی افغانستان که منجر به افزایش حجم آب سرریزی و عدد ۲۰۰۰ میلیون متر مکعب در سال در شرایط وقوع خشکسالی در حوضه و عدم رعایت حقابه ایران از سوی افغانستان ارائه شده است (۱۸). مقادیر مشاهداتی آورد رودخانه هیرمند طی چند سال اخیر حاکی از آورد بسیار کمتری از موارد مزبور است. لذا به‌منظور به‌کار بردن مقدار دقیق‌تری از آورد بحرانی، میانگین بلندمدت آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ طبق مقادیر مشاهداتی ارائه شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان محاسبه شد که مقدار آن ۱۳۵۰ میلیون متر مکعب به دست آمد. سپس میانگین مقادیر کمتر از ۱۳۵۰ میلیون متر مکعب محاسبه و به عنوان آورد بحرانی رودخانه هیرمند (۵۰۰ میلیون متر مکعب در سال) به دشت سیستان درنظر گرفته شد و از آن با عنوان مخاطره کم آبی یاد خواهد شد. در ادامه دو پیش‌بینی جداگانه درباره حجم آب ورودی از افغانستان درنظر گرفته شده است. در پیش بینی اول آورد ۵۰۰ میلیون متر مکعب (کم‌آبی) و در پیش‌بینی دوم جریان (نوسانی) مشابه ۱۵ سال اخیر (از سال ۲۰۰۱ به بعد) به دشت سیستان فرض شده است. جریان نوسانی به واقعیت منطقه سیستان نزدیک‌تر است. بنابراین در مرحله بعد هدف این است که با تغییر پارامترهای مؤثر در ساختار اقتصادی اجتماعی دشت سیستان تحت مخاطره کم‌آبی و نوسانی، مقادیر مشخصه‌های نگرانی به هریک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع (جدول ۱) رسانده شود.

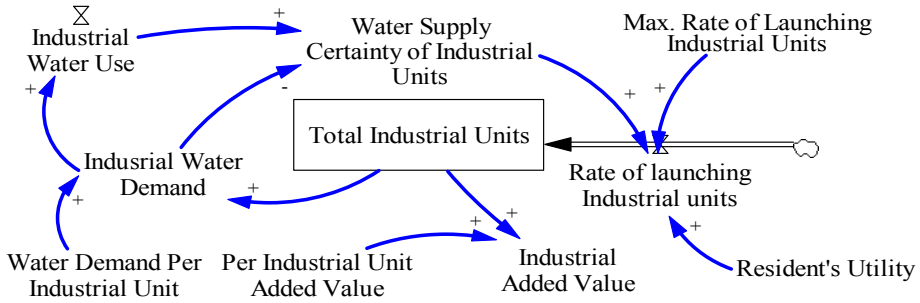
بخش های اقتصادی (کشاورزی و صنعتی، به‌عنوان بخش اقتصادی مولد) بر اساس اطمینان از تأمین آب مورد نیاز، اقدام به زیر کشت بردن زمین‌های کشاورزی و افزایش تعداد واحدهای اقتصادی خواهند کرد. پس از پیاده‌سازی گزینه سیاستی در زیرسیستم اقتصادی–اجتماعی تعداد واحد اقتصادی فعال، میزان آب مورد نیاز برای فعالیت های اقتصادی را مشخص کرده که در بخش تخصیص آب و تعیین تقاضای آب، تأثیرگذار خواهد بود (شکل ۷). بدین ترتیب تأمین آب مورد نیاز واحدهای فعال و راه‌اندازی واحدهای جدید بر اساس اولویت‌های موجود و حجم آب موجود در مخازن چاه نیمه‌ها است که تحت عامل اطمینان از تأمین آب مورد تقاضا در مدل وارد شده است. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود



شکل ۶. واسنجی و صحت‌سنجی مدل توسعه‌یافته

جدول ۱. سطوح برگشت‌پذیری مرجع

سطوح برگشت‌پذیری	A	B	C	D
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه (میلیون متر مکعب)	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰

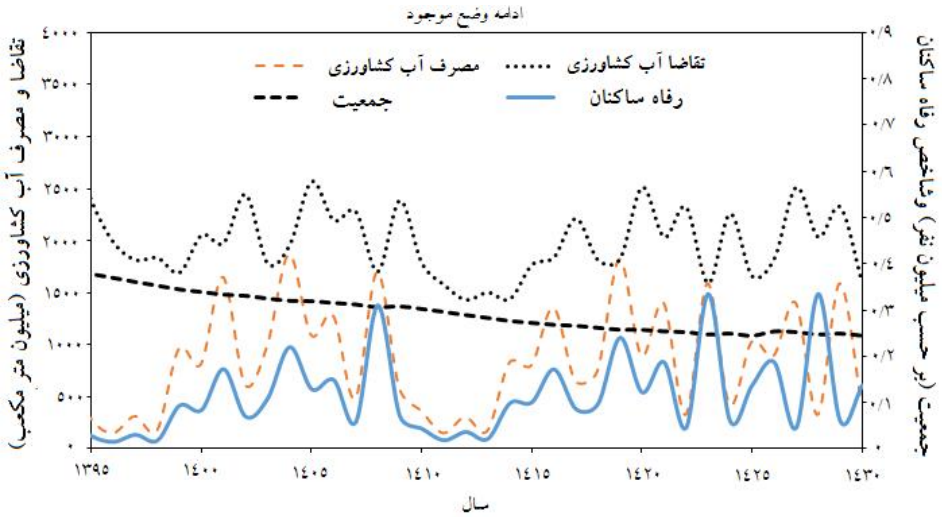


شکل ۷. پیاده‌سازی گزینه سیاستی فعال‌سازی بخش صنعت

میزان کل تولید ناخالص داخلی بر اساس میزان تولید ناخالص داخلی به ازای هر واحد اقتصادی صنعتی و بخش کشاورزی محاسبه می‌شود که در بخش اجتماعی و تخصیص آب مدل تأثیرگذار است. تولید ناخالص داخلی به‌ازای هر واحد صنعتی در سال معادل یک واحد صنعتی متوسط به لحاظ تولید ناخالص داخلی برابر ۱۰۰۰ میلیون ریال در سال و مصرف آب سالانه به‌ازای هر واحد

جدول ۲. مشخصه‌های نگرانی در صورت ادامه سیاست‌های موجود

مشخصه‌های نگرانی	دامنه تغییرات	میانگین
متوسط سالانه حجم آب ورودی به دریاچه هامون (م.م.م) ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰	۰–۱۶۰۰	۵۹۸
متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان ۱۳۹۵تا ۱۴۳۰ (م.م.م)	۱۶۶–۱۹۹۲	۵۹۰
متوسط سالانه بهره وری آب مصرفی (متر مکعب/هزار ریال) تا سال ۱۴۳۰	۷/۵–۱۴/۹	۱۲/۰۰
شاخص رفاه منطقه (بین ۰ تا ۱)	۰/۰۲–۰/۳	۰/۱۵
جمعیت در سال ۱۴۳۰	۲۶۵۰۰۰	–



شکل ۸ . رفتار متغیرهای مدل در صورت ادامه وضع موجود

اقتصادی برابر ۱۰۰۰۰ متر مکعب که معادل یک واحد صنعتی پر مصرف آب است فرض شد (۱۵).

نتایج و بحث

کمبود آب و نوسان بسیار زیاد جریان ورودی به دشت سیستان به‌عنوان مشکل اصلی و ایجادکننده مشکلات ثانویه اجتماعی-اقتصادی شناخته می‌شوند. در اولین گام برای بیان لزوم توجه به شرایط سیستان به‌عنوان منطقه مرزی و اهمیت حفظ جمعیت، شرایط منطقه با فرض مقادیر آورد سالیانه ۱۵ سال اخیر تا سال ۱۴۳۰ و کاهش ۵ درصد این مقدار در هر ۱۰ سال برای توجه به توسعه زیرساخت‌های آبی و تغییر اقلیم، مدل‌سازی انجام شده است. هدف اصلی از فرضیات بالا ایجاد نوسان در جریان ورودی و عدم اطمینان ساکنان از دریافت حداقل حقابه سالیانه است. مشخصه‌های نگرانی در صورت ادامه سیاست‌های موجود از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰ در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که جمعیت ساکنان سیستان از ۳۸۷۱۴۶ نفر در سرشماری سال ۱۳۹۵ به مقادیر بسیار کمتری تا سال ۱۴۳۰ کاهش خواهد یافت و مردم مجبور به مهاجرت از سیستان خواهند شد. شاخص رفاهی ساکنان بسیار پایین خواهد بود و جریان ورودی به دریاچه هامون تنها در بعضی سال‌ها برای تثبیت بستر تالاب هامون کافی خواهد بود، بنابراین تغییر رویکرد و تدوین سیاست مناسب ضرورت می‌یابد (شکل ۸).

فعالیت بخش‌های اقتصادی مولد نیز به‌عنوان اهرم‌های سیاستی فرض شده است تا از سال ۱۳۹۵ به بعد (به‌عنوان سال اعمال سیاست) تا سال ۱۴۳۰ تا تحقق نزدیک‌ترین حالت ممکن از مقادیر مشخصه های نگرانی به مقادیر آنها در هریک از سطوح مرجع جدول ۱ اجرا شده است. مقادیر مشخصه های نگرانی متناظر با هریک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع با ساختار آسیب‌پذیر فعلی (فعالیت بخش کشاورزی) اجرا شد (جدول ۳). بر اساس آن، هر ردیف به مقادیر مشخصه های نگرانی متسب به هریک از سطوح

جدول ۳. نتایج ارائه شده پس از اجرای مدل تحت راهکار سیاستی

	مشخصه‌های نگرانی	A	B	C	D
سطوح برگشت‌پذیری مرجع (فعالیت کشاورزی)	متوسط سالانه حجم آب ورودی به دریاچه هامون (م.م.م) ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰	۳۲۰	۱۳۶۰	۲۳۶۲	۳۳۶۵
	متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان ۱۳۹۵تا ۱۴۳۰ (م.م.م)	۱۸۲۶	۲۰۰۹	۲۲۴۰	۲۴۷۰
	متوسط سالانه بهره‌وری آب مصرفی (متر مکعب/هزار ریال) تا سال ۱۴۳۰	۱۲/۹۸	۱۲/۶۴	۱۲/۵۰	۱۲/۴۷
	شاخص رفاه منطقه (بین ۰ تا ۱)	۰/۲۵	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۴
	متوسط سالانه ارزش افزوده میلیارد ریال در سال نسبت به سال پایه ۹۰	۲۳۷۰	۲۵۴۰	۲۸۰۰	۳۰۸۰
	جمعیت در سال ۱۴۳۰	۳۸۹۰۰۰	۶۶۶۰۰۰	۷۰۲۰۰۰	۷۳۹۰۰۰
اثربخشی گزینه سیاستی در مخاطره کم‌آبی (آورد رودخانه هیرمند ۵۰۰ (م.م.م)) (فعالیت صنعتی)	متوسط سالانه حجم آب ورودی به دریاچه هامون (م.م.م) ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰	۱۱۷	۱۰۳	۹۹	۹۵
	متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان ۱۳۹۵تا ۱۴۳۰ (م.م.م)	۱۴۱	۱۵۹	۱۶۴	۲۱۷
	متوسط سالانه بهره وری آب مصرفی (متر مکعب/هزار ریال) تا سال ۱۴۳۰	۶۶	۱۳۵	۱۵۱	۱۷۱
	شاخص رفاه منطقه (بین ۰ تا ۱)	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۵۲
	متوسط سالانه ارزش افزوده میلیارد ریال در سال نسبت به سال پایه ۹۰	۹۴۹۰	۲۳۵۰۰	۲۷۵۰۰	۲۹۵۰۰
	جمعیت در سال ۱۴۳۰	۳۸۶۰۰۰	۶۶۲۰۰۰	۷۰۶۰۰۰	۷۳۹۰۰۰
اثربخشی گزینه سیاستی (آورد رودخانه هیرمند مشابه ۱۵ سال اخیر(۲۰۰۱ به بعد) (فعالیت صنعتی)	متوسط سالانه حجم آب ورودی به دریاچه هامون (م.م.م) ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰	۶۳۸	۶۲۲	۶۱۹	۶۱۳
	متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان ۱۳۹۵تا ۱۴۳۰ (م.م.م)	۲۶۳	۲۸۳	۲۸۷	۲۹۷
	متوسط سالانه بهره وری آب مصرفی (متر مکعب/هزار ریال) تا سال ۱۴۳۰	۲۷/۴۱	۶۵/۸۰	۷۳/۲۰	۸۴/۲۳
	شاخص رفاه منطقه (بین ۰ تا ۱)	۰/۲۸	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۸
	متوسط سالانه ارزش افزوده میلیارد ریال در سال نسبت به سال پایه ۹۰	۵۱۰۰	۱۴۹۰۰	۱۷۳۰۰	۲۱۰۰۰
	جمعیت در سال ۱۴۳۰	۳۹۹۰۰۰	۶۷۶۰۰۰	۶۹۸۰۰۰	۷۵۷۰۰۰
اثربخشی گزینه سیاستی (آورد رودخانه هیرمند مشابه ۱۵ سال اخیر (۲۰۰۱ به بعد) (فعالیت کشاورزی + صنعتی)	متوسط سالانه حجم آب ورودی به دریاچه هامون (م.م.م) ۱۳۹۵ تا ۱۴۳۰	۳۸	۳۷	۳۹	۴۱
	متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان ۱۳۹۵تا ۱۴۳۰ (م.م.م)	۹۳۰	۹۱۷	۹۱۳	۹۱۰
	متوسط سالانه بهره‌وری آب مصرفی (متر مکعب/هزار ریال) تا سال ۱۴۳۰	۱۱/۸۱	۴۷/۲۸	۴۱/۹۵	۳۷/۲۵
	شاخص رفاه منطقه (بین ۰ تا ۱)	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۵۲
	متوسط سالانه ارزش افزوده میلیارد ریال در سال نسبت به سال پایه ۹۰	۷۸۸۰	۱۹۳۹۰	۲۱۸۰۰	۲۴۴۸۰
	جمعیت در سال ۱۴۳۰	۳۹۱۰۰۰	۶۶۸۰۰۰	۷۰۳۰۰۰	۷۴۰۰۰۰

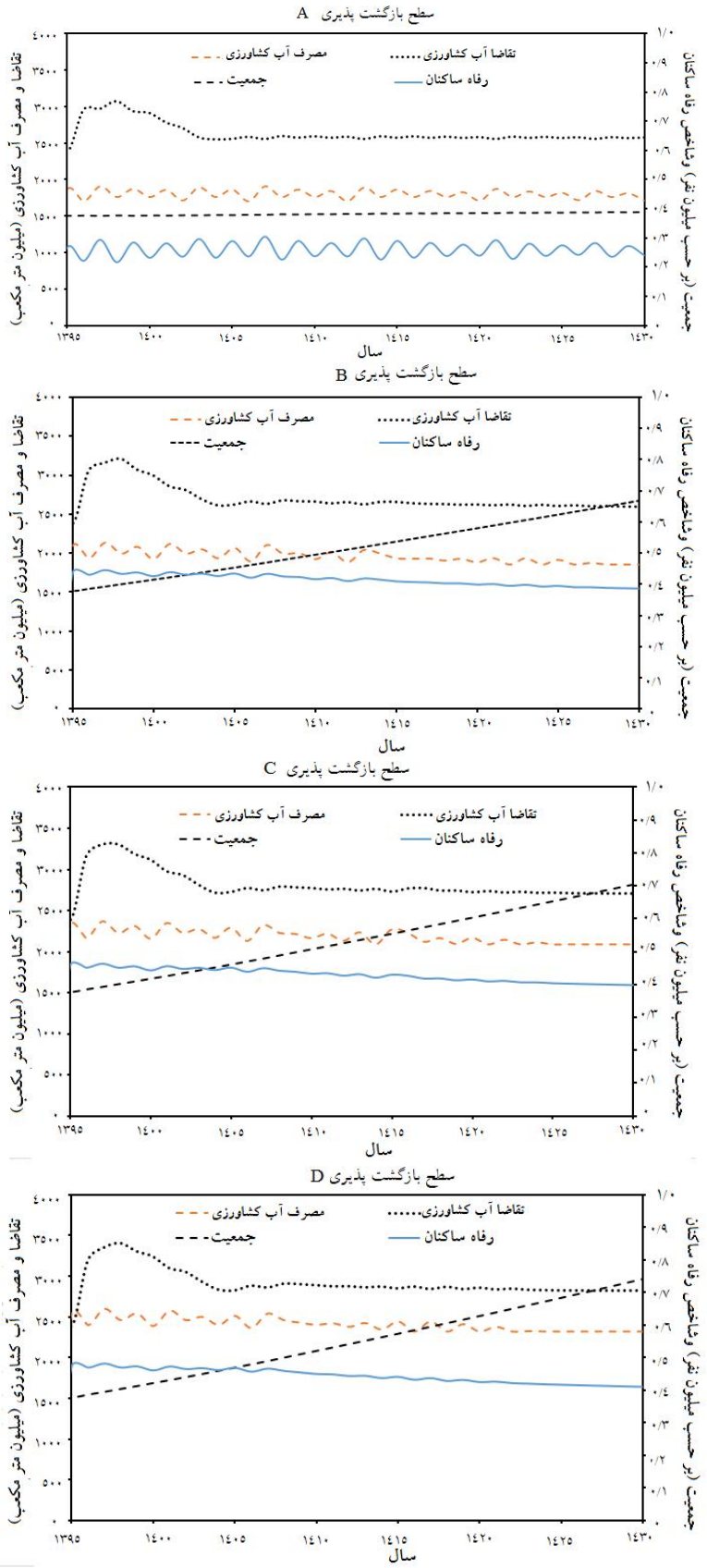
مرجع تا افق شبیه‌سازی است. به‌منظور مشاهده اثر بخشی رویکرد برگشت‌پذیری گذار مقادیر مشخصه‌های نگرانی پس از اعمال گزینه سیاستی سه حالت فرض شده است: مخاطره کم‌آبی (آورد رودخانه هیرمند ۵۰۰ میلیون متر مکعب)، نوسان جریان و فعالیت بخش صنعت و درنهایت نوسان جریان و فعالیت همزمان بخش A) جمعیت سیستان ثابت شده و روند مهاجرت متوقف خواهد شد و با افزایش آورد در سطح D جمعیت به حدود دو برابر مقدار کنونی افزایش خواهد یافت که نتیجه افزایش شاخص رفاه منطقه از ۰/۲۵ به ۰/۴۴ بوده است. در این سطح بخش زیادی از نیاز کشاورزی منطقه تأمین می شود و دریاچه هامون تنها به مقدار حداقل نیاز زیست محیطی (احیای گودال‌های هامون) دریافت خواهد کرد و این مقدار تقریباً ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ میلیون متر مکعب متغیر خواهد بود. در سایر سطوح با افزایش آورد، بخش بیشتری از نیاز کشاورزی تأمین و دریاچه هامون جریان بیشتری را دریافت خواهد کرد. روند نزولی موجود به فرض کاهش آورد رودخانه به‌دلیل توسعه زیرساخت‌های افغانستان ارتباط دارد.

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در مخاطره کم‌آبی با فرض آغاز صنعتی‌سازی به‌عنوان راهکار اثربخش، می‌تواند روند کاهش جمعیت و مهاجرت از این منطقه را کنترل کند و با استفاده از ایجاد ارزش افزوده و رهاسازی مازاد آب به دریاچه هامون (مطابق جدول ۳ متوسط سالانه حدود ۱۰۰ میلیون متر مکعب) رفاه ساکنان را افزایش خواهد داد. در این شرایط تقاضای بخش کشاورزی تأمین نخواهد شد و راه‌اندازی بخش صنعت به اطمینان از تأمین آب مورد تقاضای صنعت و حداکثر ظرفیت سالانه راه‌اندازی بخش صنعت ارتباط خواهد داشت. نمودار عرضه و تقاضای آب بخش صنعت بر یکدیگر منطبق خواهد بود. در صورت اطمینان از دریافت سالانه ۵۰۰ میلیون متر مکعب می‌توان با اطمینان خاطر اقدام به برنامه‌ریزی کرد، درحالی که دریافت چنین آبی را نه طبیعت و نه بشر نمی تواند تضمین کند. نتایج پژوهش‌های مشابه در حالت مخاطره کم‌آبی نیز حاکی از موفقیت به‌نسبت بالای این رویکرد در ارتقای دو مشخصهٔ نگرانی جمعیت ساکن و ارزش افزوده سالیانه است (۲۱).

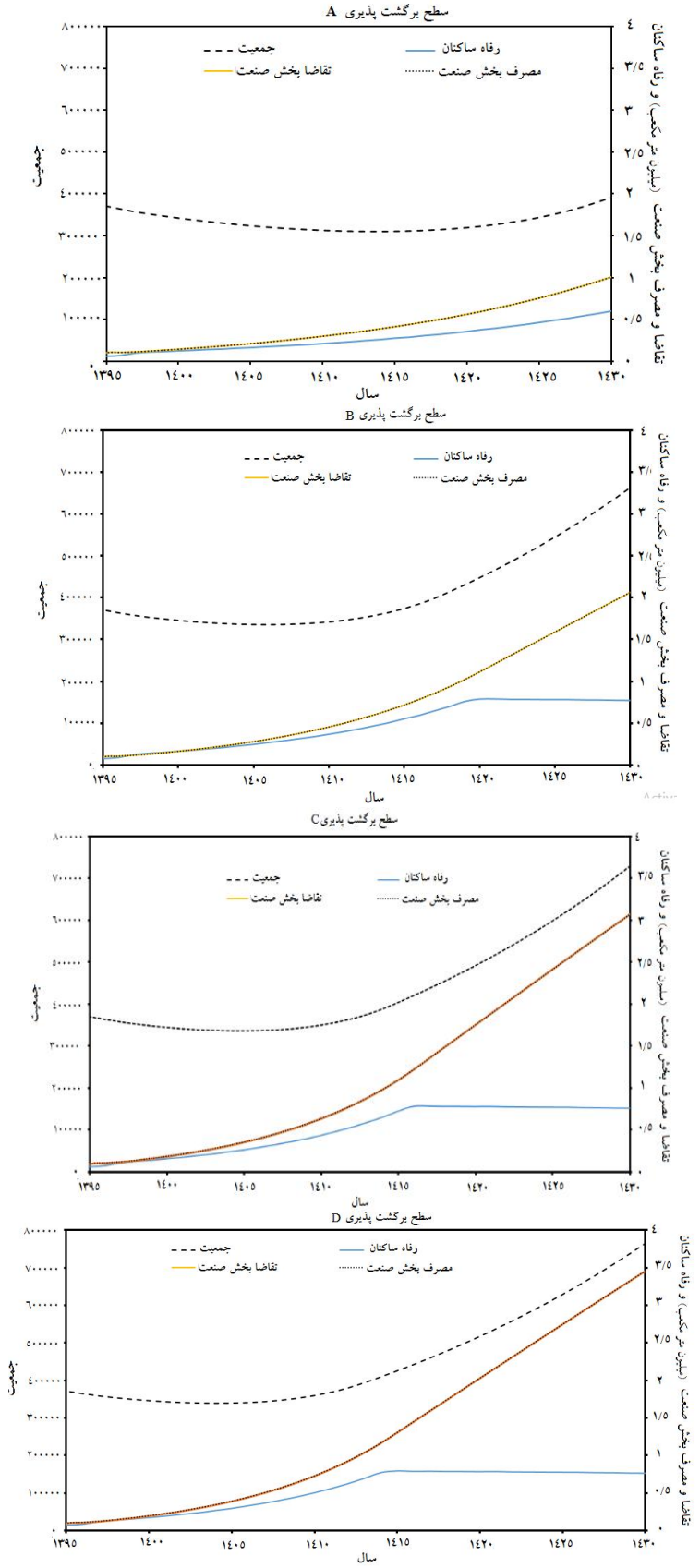
نمودارهای شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در جریان نوسانی با فرض شروع صنعتی‌سازی سیستان به‌عنوان راهکار اثربخش، روند کاهش جمعیت و مهاجرت کنترل خواهد شد. ارزش افزوده حاصل از بخش صنعت و رهاسازی مازاد آب به دریاچه هامون (مطابق جدول ۳ متوسط حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب) رفاه ساکنان را افزایش خواهد داد. در این شرایط تقاضا و مصرف بخش کشاورزی صفر فرض شده و راه‌اندازی بخش صنعت به اطمینان از تأمین آب مورد تقاضا و حداکثر ظرفیت سالانه راه اندازی ارتباط خواهد داشت. اجرای این حالت در منطقه نیاز به آگاهی بخشی مردم درباره شرایط کم‌آبی و متقاعد کردن افکار عمومی برای توقف کشاورزی و توسعه صنعتی سیستان دارد.

همان‌گونه که بیان شد متقاعد کردن مردم سیستان از طریق آگاهی‌بخشی، به‌ویژه مردم مناطق روستایی که کشاورزی تنها راه درآمد آنها است، آنها را در شرایط دشواری قرار خواهد داد. در این شرایط علاوه بر بخش صنعت، بخش کشاورزی نیز فعال است و جریان محیط زیستی دچار کاهش قابل توجه خواهد شد و به مقدار متوسط سالیانه ۴۰ میلیون متر مکعب خواهد رسید که دریاچه هامون خشک باقی خواهد ماند (شکل ۱۲). از موارد مهم در این حالت عدم تأمین آب مورد نیاز بخش صنعت در سال‌های با آورد سالیانه کم یا ناچیز (مشابه سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲) است که در صورت تکرار این شرایط آب مورد نیاز صنعت تأمین نخواهد شد.

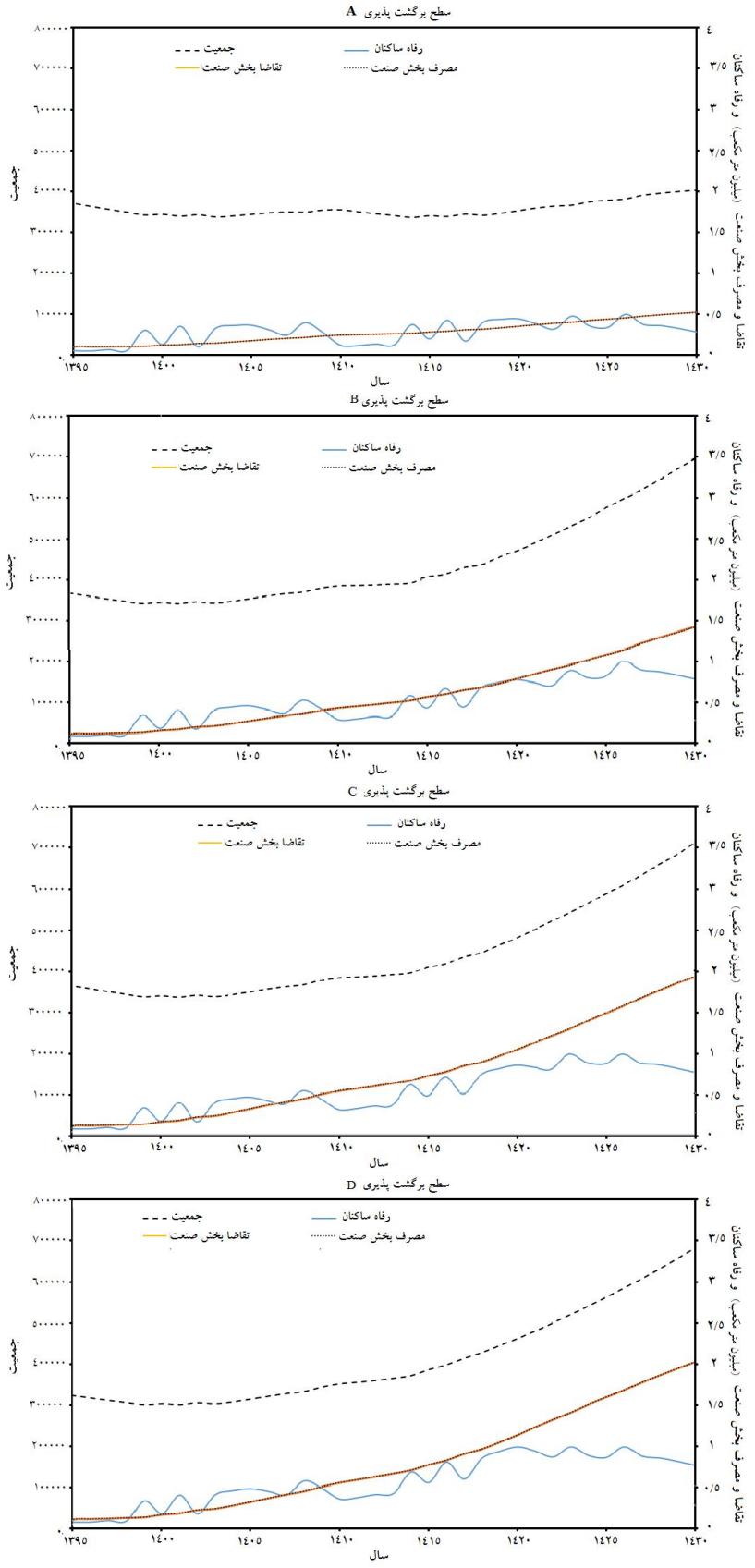
در تحقیق حاضر از دیدگاه مدیریت، توسعه و حمایت بخش صنعت در منطقه سیستان ویژگی‌های الگوی "موفقیت برای موفق" را داراست. محرک‌های اصلی در صنعتی‌سازی سیستان افزایش بهره‌وری آب و تأمین اقتصاد پایدار خانوارهای ساکن سیستان است که از طریق کاهش تقاضا منجر به کاهش وابستگی به اقتصاد بخش کشاورزی و کاهش آسیب‌پذیری نوسانات جریان آب رودخانه هیرمند خواهد شد.



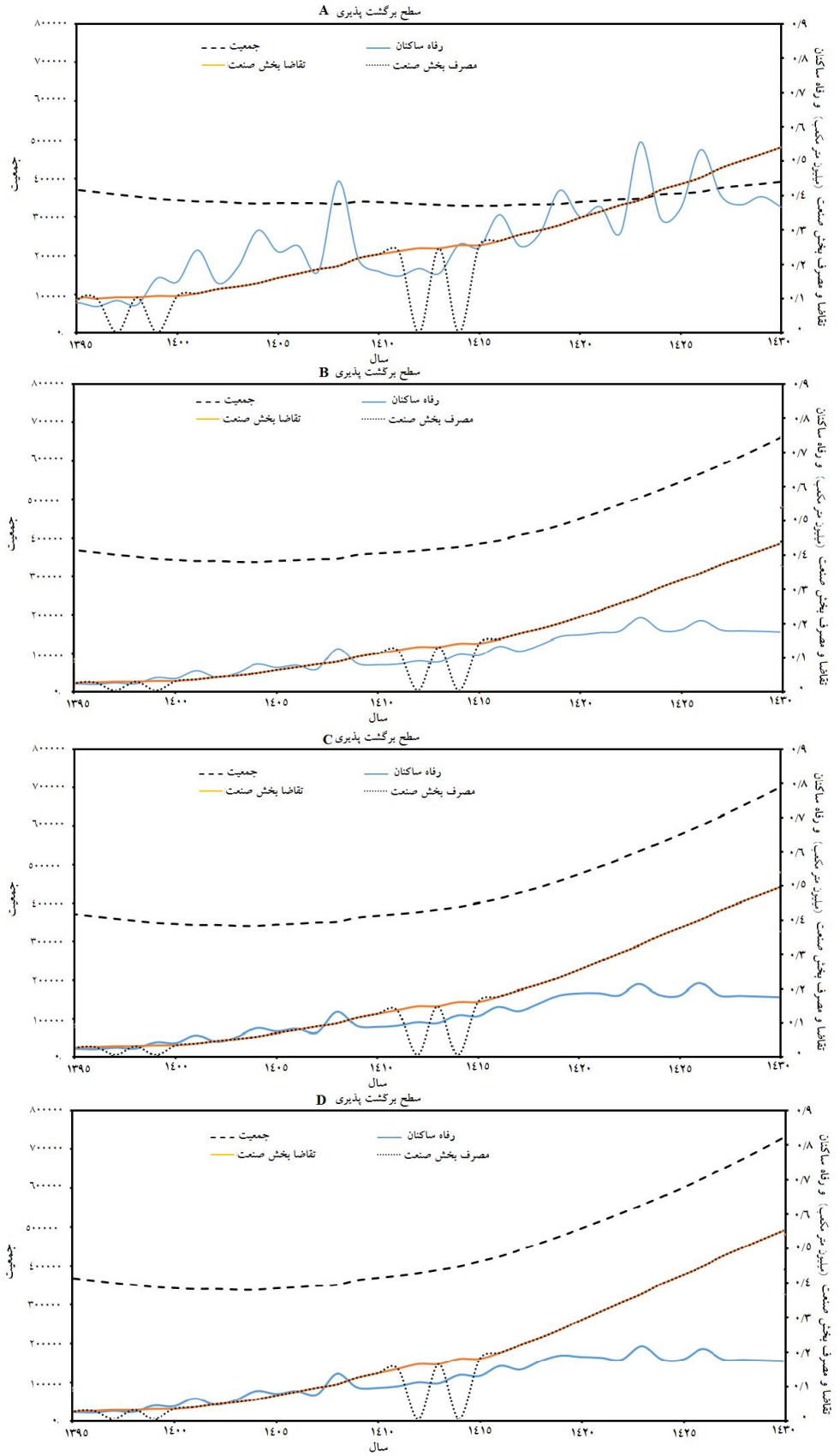
شکل ۹. رفتار متغیرهای مدل در سطوح برگشت‌پذیری مرجع



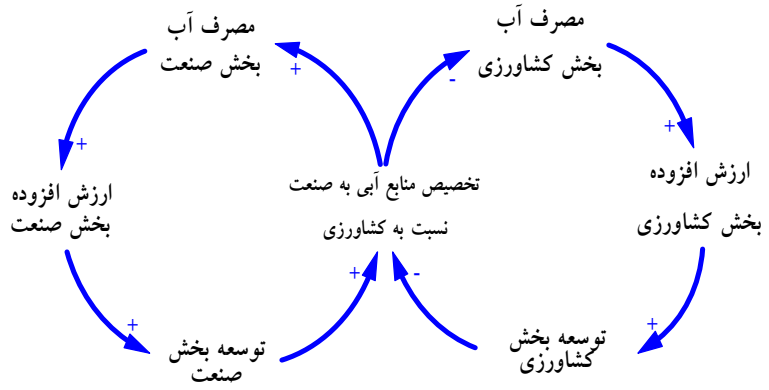
شکل ۱۰. رفتار متغیرهای مدل در حالت کم آبی و صنعتی‌سازی



شکل ۱۱. رفتار متغیرهای مدل در جریان نوسانی و صنعتی‌سازی



شکل ۱۲. رفتار متغیرهای مدل در جریان نوسانی، صنعتی‌سازی و ادامه کشاورزی



شکل ۱۳. حلقه‌های اصلی الگوی سیستم کشاورزی و توسعه صنعت دشت سیستان

درحقیقت با کاهش سهم آب کشاورزی و تأمین آب مورد نیاز بخش صنعت با گذشت زمان بخش صنعت روز به‌روز توسعه خواهد یافت و بخش کشاورزی تضعیف خواهد شد (شکل ۱۳).

همانگونه که در جدول ۲ آمده است ادامه شرایط موجود منطقه سیستان از لحاظ اقتصادی-اجتماعی منجر به رکود اقتصادی و مهاجرت ساکنان تا سال ۱۴۳۰ خواهد شد، بنابراین برای جلوگیری از مهاجرت مردم مناطق مرزی و به‌ویژه مهاجرت از مناطق روستایی به قصد شهرنشینی نیاز به سیاست‌گذاری مناسب برای بهبود ساختار اقتصادی-اجتماعی موجود است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ساختار اقتصادی-اجتماعی پیشنهادی، به‌عنوان راهکار سیاستی نتوانسته است میزان جریان ورودی سالیانه دریاچه هامون را به برگشت‌پذیری مرجع افزایش دهد. بر اساس نتایج می‌توان تأکید کرد که با جریان متوسط سالانه ۲۰۰۰ میلیون متر مکعب در رودخانه هیرمند، نمی‌توان به احیای این دریاچه امیدوار بود، زیرا ادامه وابستگی اقتصادی سیستان به بخش کشاورزی (بهره‌وری پایین)، بخش اقتصادی را به‌عنوان مصرف کننده اصلی آب عرضه شده در سیستان تبدیل کرده است. راهکار پیشنهادی سازگاری در شرایط مخاطره کم‌آبی و یا نوسان جریان، به‌عنوان رویکرد برگشت‌پذیری گذار، تنها خواهد توانست باعث حفظ جمعیت و افزایش سطح رفاه منطقه که از مؤلفه‌های نگرانی سیستان است، شود. نتایج در سطوح مرجع نشان می‌دهد که با وجود نزدیک بودن جمعیت و شاخص رفاه منطقه به یکدیگر متوسط سالانه ارزش افزوده در حالت نوسانی بسیار کمتر از حالت مخاطره کم‌آبی است. دلیل یکسان بودن شاخص‌های نگرانی با وجود درآمد کمتر، تأمین حداقل نیاز آب زیست‌محیطی است مثلاً در سطح مرجع A در حالت مخاطره کم‌آبی با در آمد ۹۴۹۰ میلیارد ریال و حالت نوسانی ۵۱۰۰ میلیارد ریال دارای جمعیت و سطح رفاهی یکسان هستند که علت آن می‌تواند به دریافت تنها ۱۱۷ میلیون متر مکعب آب از حداقل نیاز زیست‌محیطی در حالت مخاطره کم‌آبی باشد ولی در حالت نوسانی این مقدار بیش از ۶۰۰ میلیون متر مکعب است که باعث احیای گودال‌های هامون می‌شود و کاهش غلظت ریزگردها را باعث خواهد شد. پژوهش‌های مشابه در حالت مخاطره کم‌آبی ضمن تأیید نتایج این پژوهش، حتی با وجود تخصیص ۱۹۰ میلیون متر مکعب به دریاچه هامون، لزوم وارد شدن بحث‌های حقوق بین‌الملل و به‌خصوص حقوق مربوط به تالاب‌ها و نقش افغانستان در احیای تالاب هامون را مطرح کرده‌اند و راهکارهای داخلی را به‌تنهایی اثربخش توصیف نکرده‌اند (۲۱).

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر آسیب‌پذیری دشت سیستان در قالب مؤلفه‌های

اقتصادی- اجتماعی و بیوفیزیکی درونی که تحت تاثیر مؤلفه‌های اقتصادی – اجتماعی و بیوفیزیکی بیرونی مخاطره کم‌آبی و نوسان جریان ورودی است، طبق چارچوب آسیب پذیری بررسی و اقدام به ارائه سیاست بر پایه مفهوم برگشت‌پذیری گذار شد. با توجه به سیاست و ساختار جدید اقتصاد منطقه و وابستگی کمتر به جریان رودخانه هیرمند، کارایی راهکار سیاستی مطرح شده قابل تأیید است. نتایج حکایت از تأثیر جریان ورودی به دریاچه هامون بر رفاه و رضایت مردم از زندگی در منطقه سیستان دارد، اما احیای کامل دریاچه هامون در حالت مخاطره کم‌آبی به‌دلیل جریان متوسط سالانه حدود ۱۱۷ میلیون متر مکعب امکان‌پذیر نخواهد بود. در حالت نوسان جریان با وجود درآمد کمتر، رفاه مردم به‌دلیل کاهش پیامدهای خشک شدن تالاب هامون و امکان احیای گودال‌های دریاچه هامون به‌دلیل جریان متوسط حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب در هر سال وضعیت بهتری را داشته است. مدیریت، توسعه و حمایت مستمر بخش صنعت در منطقه سیستان قادر خواهد بود الگوی "موفقیت برای موفق‌ها" را برای بخش اجتماعی- اقتصادی به ارمغان آورد که درنتیجه شاهد استقرار شهرک‌های صنعتی فعال و کاهش فعالیت‌های کشاورزی مردم منطقه خواهیم بود.

منابع مورد استفاده

1. Absaran Consulting Engineers. 2008. Hamoun Water Resources Development Recognition Studies. Iran Ministry of Energy. (In Farsi).
2. Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Journal of Global Environmental Change* 16(3): 268-281.
3. Ahmadalipour, A. and H. Moradkhani. 2018. Multi-dimensional assessment of drought vulnerability in Africa: 1960-2100. *Journal of Science of The Total Environment* 644: 520-535.
4. Ahmadi, M. and K. Derafshi. 2012. Drought impacts on the Sistan region border security between 1998-2010. Proceeding of 2012 National Conference on Security and Border Towns, Challenges and Approaches, Zabol, Iran. (In Farsi).
5. Arriagada, L., O. Rojas, J. L. Arumí, J. Munizaga, C. Rojas, L. Farias and C. Vega. 2019. A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors: A case study in mediterranean Chile. *Journal of Science of The Total Environment* 651: 1517-1533.
6. Beek, E., B. Bozorgy, Z. Vekerdy and K. Meijer. 2008. Limits to agricultural growth in the Sistan Closed Inland Delta, Iran. *Journal of Irrigation Drainage Systems* 22: 131-143.
7. Braun, W. 2002. The system archetypes. System 2002: 27.
8. Brooks, N. 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Tyndall Centre for Climate Change Research. School of Environmental Sciences ,University of East Anglia Norwich.
9. City and Home Consulting Engineers. 2017. Review of Development Plan of Zabol City. Ministry of Roads and Urban development Islamic Repoblic of Iran. (In Farsi).
10. Ebrahimzadeh, A. 2001. Rural migration; Causes and consequences; Case study the Sistan and Balouchesta province. *Quarterly of Geographical Researchs* 60: 56-73. (In Farsi).
11. Füssel, H. M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Journal of Global Environmental Change* 17(2): 155-167.
12. Gohari, A., S. Eslamian, A. Mirchi, J. Abedi-Koupaei, A. Massah Bavani and K. Madani. 2013. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Backfire. *Journal of Hydrology* 491(1): 23-39.
13. Hamoun Wetland International Institute. 2015. Investigation of Recovery of the Sections of International Hamoun Wetland (Natural trenches). Zabol: Office of Natural Environment. (In Farsi).
14. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P. 1132. *In*: Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
15. Iran Ministry of Industry. 2013. Industry, Trade and Mines According to the Statistics and Data. Department of Planning of Iran Ministry of Industry, Mine and Trade. (In Farsi).

16. Iran Water Master Plan. 2006. Economic Report of Water Master Plan Studies of the Iran Eastern Watersheds'. Iran Ministry of Energy. (In Farsi).
17. Kiyani, A., A. Tafakori and R. Yousefi. 2012. An assessment of the social and economic structure of the city of Zabol in terms of attracting tourism. In: The First National Conference on Tourism and Ecotourism Iran, Tehran, Iran. (In Farsi).
18. Kwadijk, J. and F. Diermanse. 2006. . Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta, Iran, annex B: forecasting the flow from Afghanistan,Water Research Institute of Hydraulics and WL | Delft Hydraulics. version 1.2.
19. Mirchi, A. K. Madani, D. Watkins and S. Ahmad. 2012. Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problem. *Journal of Water Resources Management* 26(9): 2421-2442.
20.Prowse, M. 2003. Towards a Clearer Understanding of 'Vulnerability' in Relation to Chronic Poverty. CPRC Working Paper No. 24, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1754445 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1754445.
21.Shahbazbegian, M. and A. Bagheri. 2016. Systemic analysis of vulnerability of the sistan plain to water scarcity-experiencing policy options based on the resilience approach. *Journal of Iran-Water Resources Research* 12(1): 40-55. (In Farsi).
22.Sterman, J. 2000. Sterman, J. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World. McGraw-Hill, Boston, MA.
23.Timmermann, P. 1981. Vulnerability, resilience and the collapse of society. Environmental Monograph, vol. 1. Institute for Environmental Studies, University of Toronto.
24.UNEP . 2002. Assessing Human Vulnerability due to Environmental Change: Concepts, Issues, Methods and Case Studies.
25.Vensim PLE user manual and Guide, U. 2007.Vensim PLE user manual', Commentary. Ventana Systems, Inc. USA.
26.Williams, L. R. R. and L. A. Kapustka. 2000. Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. *International Journal of Environmental Toxicology and Chemistry* 19(4): 1055-1058.
27. Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon and I. Davis. 2004. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. 2nd Editio. Routledge, London.
28.Wolstenholme, E. 2003.Towards the definition and use of a core set of archetypal structures in system dynamics. *Journal of System Dynamics Review* 19(1): 7-26.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 3, Fall 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Systematic Evaluation of Policy Strategies of the Vulnerability Reduction of the Sistan Plain to the Fluctuations and Water Scarcity

R. Mir[1]*, Gh. R. Azizyan[1], A. R. Massah Bavani[2] and A. Gohari[3]

(Received: August 2-2019; Accepted: January 8-2020)

Abstract

This study aimed to investigate the vulnerability of Sistan plain to fluctuations and Water Scarcity in Hirmand River using the vulnerability framework, by applying the resilience approach. The socioeconomic and biophysical components presented in this framework were embedded in a set of subsystems of the System Dynamics (SD) model. According to this, four levels of reference resilience were defined based on the annual flow from the Hirmand River, and the system attributes of concern were identified under the existing structure until 2050. Then, the proposed strategies to the socio-economic structure of the model were applied under two critical conditions of water scarcity and fluctuations of the river flow. The values associated to the system attributes of concern of the two mentioned conditions were compared with the reference resilience levels. The results showed the efficiency of the policy option in reducing water scarcity and the importance of the environmental impacts of the biophysical component. For example, the two modes of water scarcity and water inflow fluctuations had the revenues of 9490 and 5100 billion IRR (annual income according to the base price of 2011), but they had the same population and resident's utility, which was related to receiving 117 and 600 MCM of the environmental demand, respectively. Management, development and continuous support of the industrial sector can provide a "Success to the Successful" archetype for the socio-economic section of Sistan Plain.

Keywords: Resilience, Vulnerability, Water resources, System dynamics, Sistan.

1. Civil Engineering Department, Engineering Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
2. Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: reza.mir@pgs.usb.ac.ir