



Systemic Analysis of Vulnerability of the Sistan Plain to Water Scarcity - Experiencing Policy Options Based on the Resilience Approach

M. Shahbazbegian^۱ and A. Bagheri^{۲*}

Abstract

Sistan plain is located in Hirmand River delta which is the only source of water for the plain. The plain has therefore the highest level of dependency on transboundary water resources in national scale. In spite of many studies – mostly focusing on supply side management practices – the observations are implying unsustainability and vulnerability of the area to the Hirmand river discharge variations. Analyzing the Sistan plain vulnerability to water scarcity, the paper adopts the vulnerability framework developed by Fussler. To apply the framework, the system attributes of concern in terms of socio-economic and biophysical features need to be determined. Thus, the value added and total population were considered to represent the socio-economic features of the vulnerable system and the water reservoir associated to Lake Hamoun was considered as the biophysical feature. Then, in order to reduce the system vulnerability to water scarcity, this study suggested applying the theory of transition resilience which is in line with the real local conditions towards self-organized changes in the area. The economic local condition is transforming from purely agricultural towards activities with less dependency on water which is, somehow, an adaptation to the water scarcity conditions. In this way, the paper sought for economic changes to bring the local welfare in the water scarcity conditions back to that associated to the water abundant conditions. Therefore, five resilience levels have been defined as the reference levels for the system associated to the input annual water discharge to the area between ۳۰۰۰ to ۵۰۰۰ MCM. A system dynamic model was applied to determine the values associated to the system attributes of concern according to the five levels of the system resilience until ۲۰۵۰. Then, necessary changes were introduced to the system to satisfy the reference resilience levels under the condition that the river annual input discharge would decrease to ۷۰۰ MCM (۹۰ percent of Iran's water right from Hirmand River). The values of local water productivity and also the total volume of allocated water to economic uses necessary to satisfy the reference resilience levels were represented in terms of two curves. For instance, to bring the system into an equilibrium condition the model outputs suggested that increasing water productivity to ۵۶۰۰۰ Rial per Cubic meter (according to the base price of ۲۰۱۱) with ۲۴۰ MCM of maximum water volume supply will lead to residence of ۱ million inhabitants with ۱۶ million IRR annual income per capita (according to the base price of ۲۰۱۱) till ۲۰۵۰. However, the water reservoir in Lake Hamoun would never get back to its initial condition.

Keywords: Sistan plain, Vulnerability, Resilience, System thinking, System dynamics modelling

Received: June ۲۴, ۲۰۱۵

Accepted: October ۸, ۲۰۱۵

تحلیل سیستمی آسیب پذیری دشت سیستان به کاهش منابع آب - ارائه‌ی گزینه‌های سیاستی با رویکرد برگشت پذیری

محمد رضا شهبازبگیان^۱ و علی باقری^{۲*}

چکیده

دشت سیستان واقع در حوضه آبریز رودخانه هیرمند به عنوان تنها منبع آب موثر در این دشت، از وابسته‌ترین نواحی کشور به منابع آب‌های مرزی است. علی‌رغم مطالعات انجام شده به منظور تقویت مدیریت منابع آب در این محدوده، بخصوص با رویکرد تامین آب، مشاهدات حاکی از ناپایداری این ناحیه و آسیب‌پذیری شدید در اثر نوسانات آورد رودخانه هیرمند است. به منظور تحلیل آسیب‌پذیری دشت سیستان به کاهش منابع آب، مقاله پیش‌رو چارچوب آسیب‌پذیری فوژل را به کار می‌گیرد. بر اساس چارچوب مزبور ابتدا مشخصه‌های نگرانی باید مشخص شوند. بدین ترتیب متغیرهای سرانه تولید ناخالص داخلی دشت سیستان و جمعیت ساکن در آن را معرف مؤلفه اقتصادی-اجتماعی و حجم آب تالاب هامون را به عنوان مؤلفه بیوفیزیکی سیستم آسیب‌پذیر در نظر می‌گیرد. سپس به منظور کاهش آسیب‌پذیری سیستم تحت مطالعه، رویکرد برگشت‌پذیری گذار راه که با تغییرات خودسازمان‌یافته دشت سیستان قابل انطباق است، پیشنهاد می‌دهد. این ناحیه به سوی افزایش سازگاری در برابر کاهش منابع آب از طریق کاهش فعالیت کشاورزی و جایگزینی آن با مشاغل کمتر وابسته به آب ولی در عین حال سازگار با ملاحظات امنیتی، در حال حرکت است. در این راستا، و به دنبال برگرداندن سطح رفاه اقتصادی به دشت سیستان در شرایط کم آبی، تحقیق پیش‌رو به دنبال آنست که چگونه می‌توان ساختار اقتصاد محلی را به گونه‌ای تغییر داد که سطح رفاه به وضعیت پرآبی برگردد. بدین ترتیب با اجرای یک مدل سیستم دینامیکی تحت دو مقدار حدی بالا و پایین از آورد سالانه رودخانه هیرمند به دشت سیستان، ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب، پنج سطح از مقادیر مشخصه‌های نگرانی، تحت ساختار آسیب‌پذیری سابق، به عنوان سطوح برگشت‌پذیری مرجع تعریف شد. با اجرای مدل تحت پنج آورد متناسب به سطوح برگشت‌پذیری مرجع تا سال ۱۴۳۰ مقادیر مشخصه‌های نگرانی هر یک از سطوح مشخص گردید. سپس با در نظر گرفتن عدد ۷۰۰ میلیون مترمکعب (متوسط مقادیر آورد کمتر از میانگین مشاهداتی آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان (بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱) به عنوان مقدار بحرانی، و اجرای مدل تحت آن مقدار به همراه تغییر پارامترهای ساختار آسیب‌پذیری، مقادیر متناظر میزان بهره‌وری آب مورد نیاز و سقف آب مصرفی در دشت سیستان برای رساندن مقادیر مشخصه‌های نگرانی به مقادیر آنها در هر یک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع، تحت عنوان گزینه سیاستی با رویکرد برگشت‌پذیری ارائه شد. نتایج حاکی از آن است که گزینه سیاستی توانایی نسبتاً بالایی در رساندن دو مشخصه نگرانی جمعیت ساکن و متوسط سالانه سرانه تولید ناخالص داخلی در دشت سیستان تحت مخاطره کم آبی به مقادیر متناظر آنها در هر یک از سطوح مرجع پنجگانه دارد. به نحوی که با افزایش بهره‌وری متوسط آب در منطقه به میزان ۵۶۰۰۰ ریل (به قیمت پایه سال ۱۳۹۰) به ازای هر مترمکعب آب و محدود کردن سقف تخصیص سالانه‌ی آب به کاربری‌های اقتصادی به میزان ۲۴۰ میلیون مترمکعب، می‌توان به اسکان جمعیت ۱ میلیون نفر با متوسط سالانه سرانه تولید ناخالص داخلی ۱۶ میلیون ریل (به قیمت پایه سال ۱۳۹۰) به ازای هر نفر تا سال ۱۴۳۰ امیدوار بود. اما نتایج مربوط به متوسط سالانه حجم آب دریاچه هامون حکایت از آن دارد که حجم آب این دریاچه قابل برگشت به حالت پرآبی نخواهد بود.

کلمات کلیدی: دشت سیستان، آسیب‌پذیری، برگشت‌پذیری، تفکر

سیستمی، مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۴/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۷/۱۶

^۱- PhD. Student, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: mr.shahbazbegian@modares.ac.ir

^۲- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: Ali.bagheri@modares.ac.ir

*- Corresponding Author

^۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

^۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

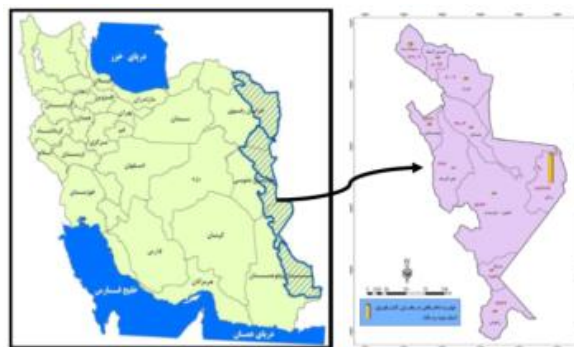
*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

تغییر سطح زیر کشت کشاورزی متمرکز بوده‌اند. اما نتایج مطالعات انجام شده در این دشت حاکی از آسیب‌های شدید وارده به سطح زیر کشت، حجم آب دریاچه هامون، امنیت و نیز افزایش معضلات اجتماعی از جمله شیوع مشاغل کاذب در این دشت در هنگام مواجهه با کم آبی می‌باشند (Mokhtari and Salehi, ۲۰۰۷). لذا به نظر می‌رسد که یکی از خلاءهای موجود در این گونه مطالعات کمبود و یا نبود رویکرد تحلیل آسیب‌پذیری سیستم در ارائه سیاست‌ها می‌باشد.

آسیب‌پذیری به طور معمول نشان‌دهنده‌ی درجه‌ای از آسیب است که یک سیستم به دلیل مواجه شدن با خطر، تجربه می‌کند (Adger, ۲۰۰۶). برای اولین بار به صورت علمی، از مفهوم آسیب‌پذیری، در تحقیقات جغرافیایی و خطرات طبیعی استفاده شد (Gilbert, ۱۹۹۵). در ابتدا، آسیب‌پذیری تنها به عنوان یک مفهوم کلی که تقریباً برای توصیف‌های دقیق غیرقابل استفاده است، در حوزه علم جغرافیا مورد استفاده قرار گرفت (Timmermann, ۱۹۸۱). اما به مرور زمان این مفهوم در حوزه‌های دیگر چون اکولوژی (Valenzuela-Ceballos et al., ۲۰۱۵)، سلامت عمومی (Vincent and Cull, ۲۰۱۳)، فقر و توسعه پایدار (Gloede et al., ۲۰۱۵)، توسعه کاربری اراضی (Collin and Melloul, ۲۰۰۳)، تغییر اقلیم (Biazin and Sterk, ۲۰۱۳)، و حتی مدیریت آب‌های مرزی (Varis et al., ۲۰۱۴) نیز مورد استفاده قرار گرفته و به تبع آن نوع مخاطرات نیز از انواع طبیعی به انواع انسانی تغییر یافته است (Burton et al., ۲۰۰۲). گستردگی استفاده از مفهوم آسیب‌پذیری از اقتصاد و جمعیت‌شناسی تا روانشناسی و مهندسی و متفاوت بودن نگرش محققان این شاخه‌ها در استفاده از این مفهوم، تعاریف متعددی از آسیب‌پذیری را به وجود آورده است. به عنوان مثال Blaikie و همکاران (۱۹۹۴) ادعان نمودند که منظور از آسیب‌پذیری ظرفیت شخصی یا گروهی در پیش‌بینی، مقابله با، مقاومت در برابر و بازبازی در مقابل تأثیرات خطرات طبیعی می‌باشد. (Cutter, ۱۹۹۶) اظهار کرد که آسیب‌پذیری به عنوان میزان پتانسیل برای صدمه دیدن تعریف می‌شود، وی همچنین آسیب‌پذیری افراد، جامعه و محیط بیوفیزیکی را مطرح کرد. IPCC در سال ۲۰۰۱ در گزارش خود آسیب‌پذیری را به عنوان درجه‌ای که یک سیستم طبیعی یا اجتماعی مستعد به صدمه دیدن از تغییرات اقلیم می‌باشد معرفی نمود. سپس در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ تعریف مزبور را به سه جزء در معرض خطر بودن، حساسیت و ظرفیت سازگاری تجزیه کرد

دشت سیستان محصور در مرزهای سیاسی دو شهرستان زابل و هیرمند (شکل ۱)، دو بدنه آبی رودخانه هیرمند و دریاچه هامون (به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین جهان و یکی از تالاب‌های بین‌المللی) را در خود جای داده است. منابع تامین آب این دشت به صورت مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به منابع آب رودخانه هیرمند می‌باشد که در داخل مرز ایران رودخانه سیستان نامیده می‌شود (Beikmohammadi and Noori, ۲۰۰۷).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز مورد مطالعه

Iran water master plan (۲۰۱۱)

از سوی دیگر، دو شهرستان مزبور بیش‌ترین حجم تولید ناخالص داخلی کشاورزی را در حوزه مورد مطالعه داشته و حیات اقتصادی و اجتماعی محدوده مورد مطالعه، به خصوص بخش کشاورزی، بستگی تام به حیات هیرمند و هامون دارد (Iran water master plan, ۲۰۱۱). کاهش و نهایتاً قطع آورد سالانه رودخانه هیرمند و نیز کاهش سطح دریاچه هامون تا حد بحران و بروز فاجعه‌ی اکولوژیکی، اثرات منفی زیادی بر معیشت و اقتصاد مردم منطقه گذاشته است (Beek et al., ۲۰۰۸). از آنجا که شهرستان‌های مزبور به لحاظ میزان جمعیت ساکن، موثرترین شهرستان‌ها در تامین امنیت دشت سیستان در قسمت مرزی ایران با افغانستان محسوب می‌شوند، اهمیت وابستگی به منابع آب در این حوزه آبریز دو چندان می‌شود (Ahmadi and Derafshi, ۲۰۱۲). به همین دلیل مطالعات زیادی برای تخفیف اثرات منفی کاهش منابع آب بر دشت سیستان انجام شده است (Karimi, ۲۰۱۲; Kiyani et al., ۲۰۱۲; Reispour et al., ۲۰۰۸). مهم‌ترین مطالعات انجام شده در این ناحیه مطالعاتی عبارت از مدیریت یکپارچه منابع آب دشت سیستان (Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶) و نیز طرح جامع آب کشور (Iran water master plan, ۲۰۱۱) است. سیاست‌های پیشنهادی منتج از این مطالعات تاکنون بر دو محور تامین منابع آب (با تاکید بر افزایش حجم چاه نیمه‌ها) و

(Bates et al., ۲۰۰۸). همچنین (Cutter, ۲۰۰۰) آسیب‌پذیری را خصوصیت بالقوه سیستم برای خسارت دارایی یا زندگی در مقابل خطرات محیطی تفسیر نمود.

آنچه مسلم است آن است که هریک از تعاریف مزبور نگرش‌ها، رویکردها و روش‌های خود را برای مطالعه آسیب‌پذیری به کار می‌گیرد. بر این اساس، در دهه ۷۰ میلادی رویکرد ریسک-خطر^۱ (Burton et al., ۱۹۷۸) با تمرکز بر ارزیابی ریسک مؤلفه‌های معین (واحدهای در معرض خطر) به خطراتی با نوع، مقدار و احتمال مشخص ارائه شد. از آن به بعد، آسیب‌پذیری اقتصادی-اجتماعی وارد چارچوب‌های تحلیل آسیب‌پذیری شد (Wei et al., ۲۰۰۴). بدین ترتیب رویکرد اقتصاد سیاسی^۲ به منظور تشریح اثرات اقتصادی و سیاسی قدرت‌ها، در بوجود آوردن آسیب‌پذیری توسعه داده شد (Steckley, ۲۰۰۶). دو رویکرد ریسک-خطر و اقتصاد سیاسی به ترتیب به جنبه فیزیکی و اجتماعی نگاه بخشی داشته و به سایر جنبه‌ها توجه ندارند. به همین دلیل به منظور ایجاد پل ارتباطی بین این دو جنبه (Blaikie et al., ۱۹۹۴) مدل رویکرد فشار-و-رهایی^۳ را با بررسی ریسک به عنوان تابعی از آشفتگی و محرک‌ها و آسیب‌پذیری واحدهای در معرض خطر ارائه دادند. اما نگاه حاکم بر این مدل، بخشی و تمرکز به جنبه‌های اجتماعی با در نظر گرفتن وقایع بیوفیزیکی می‌باشد. به منظور تکمیل رویکرد فشار-و-رهایی، رویکردهای یکپارچه^۴ که از ترکیب رویکرد ریسک-خطر و اقتصادی-اجتماعی حاصل می‌شوند، با ارائه رویکرد خطر-مکان^۵ که توسط (Cutter, ۲۰۰۰) توسعه داده شد، مطرح شدند. در ادامه، رویکرد آسیب‌پذیری دوجانبه انسان-محیط‌زیست^۶ توسط (Turner II, ۲۰۰۳) ارائه شد.

به منظور ارائه رویکردی که دربرگیرنده جنبه‌های مختلف رویکردهای مزبور باشد، فوزل با طرح یک سوال فرضی که کدام یک از دو منطقه فلوریدا یا تبت در مقابل نوسانات آب و هوایی و تغییرات اقلیم بیشتر آسیب‌پذیر است؟ مطرح می‌کند که جواب‌های مختلفی با رویکردهای مزبور به این سوال داده خواهد شد. نظر به پاسخ‌های گوناگونی که به این نمونه سوالات داده می‌شود، فوزل به ارائه یک چارچوب نظری برای تحلیل آسیب‌پذیری پرداخت (Fussel, ۲۰۰۷). چارچوب فوزل که در سال ۲۰۰۷ توسعه داده شده است، در اولین قدم برای شناخت مسئله آسیب‌پذیری در یک سیستم مشخص کردن چهار ویژگی سیستم مورد مطالعه بدین شرح را لازم می‌داند: **سیستم**: هر مجموعه یا گروه، از قبیل سیستم‌های طبیعی، جمعیت و یا یک بخش اقتصادی که آسیب‌پذیری آن مد نظر

می‌باشد؛ **مشخصه‌های نگرانی**: خصوصیتی از مجموعه یا گروه آسیب‌پذیر که در معرض تهدید قرار دارد؛ **خطر**: تهدیدی که از جانب عوامل خارج از سیستم بر مشخصه‌های نگرانی سیستم مورد نظر وارد می‌شود؛ و **مرجع زمانی**: زمان یا دوره زمانی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری مد نظر می‌باشد. هدف از مشخص شدن ویژگی‌های مزبور آن است که به طور مشخص بتوان گفت که در بررسی آسیب‌پذیری قرار است چه خصوصیتی از چه سیستمی تحت چه خطری و در چه دوره زمانی مورد تحلیل قرار گیرد. در قدم دوم، ویژگی‌های چهارگانه مزبور به دو دسته کلی مؤلفه‌های بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی می‌شوند. مؤلفه‌های بیوفیزیکی مربوط به خصوصیات سیستم هستند که به‌وسیله علوم فیزیکی مشخص می‌شوند و از دو دسته‌ی مجزای مؤلفه‌های فیزیکی و محیط‌زیستی تشکیل می‌شوند. مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی در واقع همان ساختار اقتصادی و اجتماعی بوده و مرتبط با منابع اقتصادی، توزیع قدرت، سازمان‌های اجتماعی، فعالیت‌های فرهنگی و از این دست موارد می‌باشند. این تقسیم‌بندی در راستای بررسی دقیق‌تر ابعاد و ناحیه تأثیرگذار و تأثیرپذیر یک سیستم در معرض خطر انجام می‌شود. لذا مؤلفه‌های بیرونی آسیب‌پذیری در واقع همان مؤلفه‌های مخاطره یا شوک و مؤلفه‌های درونی، مشخصه‌های نگرانی سیستم محسوب می‌شوند. به‌طور مشخص، هر کدام از مؤلفه‌های تعیین‌شده می‌تواند به زیر مؤلفه‌های کوچکتری تقسیم‌بندی شوند. بنابراین برای ارزیابی آسیب‌پذیری پس از مشخص شدن مؤلفه‌های مورد نظر، فضای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقابل خطر، معین می‌گردد. به ادعان خود فوزل از نقاط ضعف چارچوب مزبور آن است که روشی عملیاتی به منظور بررسی آسیب‌پذیری ارائه نکرده و تنها به ارائه چارچوبی با مفاهیم جدید به منظور ارتقاء فهم محققان در هنگام بررسی آسیب‌پذیری و اینکه این بررسی در چه فضایی انجام خواهد شد، اکتفا می‌کند (Fussel, ۲۰۰۷).

باید توجه داشت که تحلیل آسیب‌پذیری مبتنی بر دو مؤلفه درونی و بیرونی آسیب‌پذیری به نحوه تفکر در تحلیل آنها بستگی دارد. لذا بسته به رویکردهای فکری به کار رفته در تحلیل آسیب‌پذیری از منظر تفکر خطی و غیر خطی، به تبع آن ارائه سیاست‌ها نیز متفاوت خواهد بود. در تفکر خطی، علت‌های مرتبط با معلول به صورت خطی لیست و بر اساس درجه اهمیت عوامل، ضریبی به آنها تعلق می‌گیرد (Richmond, ۱۹۹۳). از رویکردهای خطی در تحلیل آسیب‌پذیری منابع آب می‌توان به استفاده از شاخص‌هایی همچون WTA^۷ در (Vörösmarty et al., ۲۰۱۳) ، WSSI^۸ در (Paroissien et al., ۲۰۱۵) ، WST^۹ (Hybel et al., ۲۰۱۵) در

و PESI^۱ در (Pedro-Monzonis et al., ۲۰۱۵) اشاره نمود. در نقطه مقابل تفکر خطی، تفکر سیستمی قرار می‌گیرد که تحلیل روابط را به صورت دینامیک و در گذر زمان انجام می‌دهد. سیستمی دیدن روابط کمک به بررسی دقیق‌تر دنیای واقعی و در نظر گرفتن اثر مؤلفه‌های مختلف بر هم می‌کند (Sterman, ۲۰۱۵).

براین اساس، به منظور استفاده کاربردی‌تر از چارچوب فوزل برای کاهش آسیب‌پذیری دشت سیستان در برابر کم‌آبی، مقاله پیش‌رو به جای ارائه تک شاخص برای تحلیل و کاهش آسیب‌پذیری از مفهوم برگشت‌پذیری^{۱۱} به عنوان خصوصیت واکنشی یک سیستم پیچیده با روابط و تعاملات غیرخطی در برابر یک شوک بهره می‌گیرد. آنچه قابل توجه است آن است که مفاهیم آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری در تحقیقات مختلف به طرق مختلف تفسیر می‌شوند (Adger, ۲۰۰۶). آسیب‌پذیری خصوصیات ذاتی و کنشی سیستم با بار معنایی منفی می‌باشد، در صورتی که برگشت‌پذیری یک خصوصیت واکنشی است (Rose, ۲۰۰۷). برگشت‌پذیری توانایی یک سیستم اجتماعی یا اکولوژیکی در پاسخ به یک خطر (انسانی یا طبیعی) و برگشت به حالت اولیه را، پس از تجربه کردن یک شوک، نشان می‌دهد، به طوری که تغییر در حالت سیستم اتفاق نیفتد (Gloede et al., ۲۰۱۵). در بسیاری از موارد برگشت‌پذیری متضاد آسیب‌پذیری تعبیر می‌شود. مشکل این تعریف گرفتار دور تسلسل شدن است به نحوی که جامعه آسیب‌پذیر است چون برگشت‌پذیر نیست و برگشت‌پذیر نیست چون آسیب‌پذیر است (Rafieian et al., ۲۰۱۰). لذا به نظر می‌رسد که بهتر است دو مفهوم مزبور به عنوان دو روی یک سکه در نظر گرفته شوند.

محققان بسته به چگونگی سازگاری و انطباق جوامع با مخاطرات، رویکردهای برگشت‌پذیری را به سه دسته تقسیم نموده‌اند: برگشت‌پذیری در مفهوم پایداری: توانایی بازگشت به حالت قبل؛ برگشت‌پذیری در مفهوم بازیابی: مدت زمان بازگشت به حالت قبل؛ و برگشت‌پذیری در مفهوم گذار^{۱۲}: توانایی سیستم در تغییر به حالتی جدید و نه لزوماً حالت اول (Rafieyan et al., ۲۰۱۰). دو رویکرد اول درکی قطعی از برگشت‌پذیری را بیان می‌کنند بدین صورت که نتیجه تحقیق مبتنی بر دو رویکرد مزبور این خواهد شد که جامعه برگشت‌پذیر هست یا نیست. اما رویکرد سوم با تمرکز بر تعامل بین انسان و محیط، به نوعی از پویایی و نوآوری بیشتری نسبت به دو رویکرد دیگر برخوردار است و به جای تمرکز بر آسیب‌پذیری جامعه به ظرفیت‌های پیش‌رو، به خصوص ایجاد تنوع وابستگی در جوامع، به سازگاری بیشتر در برابر مخاطرات می‌پردازد. رویکرد برگشت-پذیری گذار به جای تلاش برای حفظ و بقاء در برابر مخاطرات به

انعطاف‌پذیری و سازگاری با پیامدهای مخاطرات می‌پردازد (Polsky et al., ۲۰۰۷).

جایگزینی فعالیت‌های اقتصادی غیر وابسته به آب به جای فعالیت کشاورزی در دشت سیستان هنگام وقوع کم‌آبی (Mokhtari and Salehi, ۲۰۰۷)، حکایت از آن دارد که این ناحیه به صورت خود سازمان یافته در حال گذار از ساختار اقتصادی - اجتماعی مبتنی بر فعالیت صرف کشاورزی به ساختاری جدید و کمتر وابسته به منابع آب می‌باشد که بسیار منطبق با مفهوم برگشت‌پذیری گذار است. اما دغدغه مهم آن است که بیشتر فعالیت‌های اقتصادی جایگزین فعالیت کشاورزی از نوع مشاغل غیر رسمی از جمله مبادله کالا از مرز افغانستان همچون قاچاق بنزین، گازوئیل، سیمان و آرد می‌باشند که برای امنیت اجتماعی-سیاسی منطقه بسیار نامطلوب محسوب می‌شوند (Bezi, ۲۰۰۸). همچنین نتایج مطالعاتی که بر توسعه بخش غیر کشاورزی دشت سیستان از جمله توسعه فرودگاه زابل (Dahmardeh and Aryaie, ۲۰۱۰)، تقویت فعالیت گردشگری (Sadeghi and Shahbazbegian, ۲۰۱۳)، راه‌اندازی حمل و نقل ترانزیت (Bouyeh and Sharifi, ۲۰۱۰) و تقویت بازارچه‌های مرزی دشت سیستان (Ebrahimzadeh, ۲۰۰۱) متمرکز می‌باشند حکایت از جدی‌تر شدن این موضوع و تلاش برای هدایت نظام‌مند این جریان خود سازمان یافته به سوی فعالیت‌های اقتصادی مطلوب دارد. مسلماً ارائه توصیه‌هایی از این نوع که بر ایجاد تنوع اقتصادی تاکید دارند ناشی از عدم توانایی رویکرد تامین منابع آب در کاهش آسیب‌پذیری دشت سیستان با حفظ ساختار اقتصادی-اجتماعی کنونی و نگرانی از ایجاد تنوع اقتصادی نامطلوب و در نتیجه کاهش امنیت در این ناحیه است.

به منظور افزایش سازگاری دشت سیستان نسبت به کم‌آبی و حرکت به سوی یک وضعیت جدید و نسبتاً ایمن با توجه به ملاحظات فوق‌الذکر، تحقیق پیش‌رو از تلفیق مفهوم برگشت‌پذیری گذار با چارچوب آسیب‌پذیری فوزل استفاده می‌نماید. بدین ترتیب این سوال مطرح می‌شود که: چگونه می‌توان با تغییر نظام‌مند ساختار مؤلفه‌های درونی چارچوب آسیب‌پذیری فوزل یا همان مشخصه‌های نگرانی، بدون تمرکز بر تخفیف مخاطره کم‌آبی یا همان مؤلفه‌های بیرونی، مقادیر مشخصه‌های نگرانی تحت آن مخاطره را به مقادیر آن قبل از وقوع مخاطره یا در حالت پر آبی ارتقاء بخشید؟ با مقایسه سیاست‌های ارائه شده قبلی برای کاهش آسیب‌پذیری دشت سیستان با رویکرد صرف مهندسی منابع آب، همچون کاهش سطح زیر کشت، افزایش حجم چاه‌نیمه‌ها یا تلفیق این دو با یکدیگر توسط

(Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶) و مطالعات انجام شده حاکی از تغییرات خودسازمان یافته در این دشت در پاسخ به کم‌آبی، می‌توان به این درک رسید که رویکردهای سیاست‌گذاری با ابزار صرف مهندسی منابع آب در دشت سیستان مبتنی بر رویکردهای خطی آسیب‌پذیری بوده‌اند و تحقیق پیش‌رو به دنبال تحلیلی غیر خطی از آسیب‌پذیری دشت سیستان و به تبع آن هدایت نظام‌مند تغییرات خودسازمان یافته دشت سیستان با رویکرد برگشت‌پذیری گذار می‌باشد.

در این مقاله با استناد به تحقیقات علمی، ابتدا به تبیین مؤلفه‌های آسیب‌پذیری دشت سیستان مطابق چارچوب فوزل با ترسیم یک مدل مفهومی پرداخته شده، سپس بر اساس آن ارائه سیاست با رویکرد برگشت‌پذیری گذار انجام می‌شود. در مرحله بعد، ارزیابی سیاست‌های ارائه شده با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها که توانایی شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و پستخوری را دارد انجام می‌شود. در نهایت بر اساس نتایج بدست آمده در خصوص کارایی سیاست‌های ارائه شده در مورد تحقق برگشت‌پذیری گذار و امکان‌سنجی اعمال سیاست‌ها بحث خواهد شد.

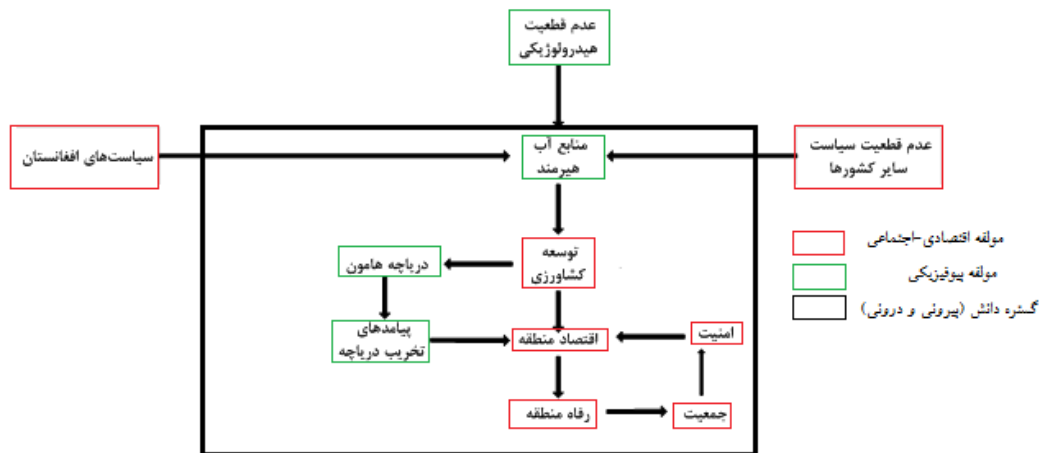
هایی مانند سیاست‌های کشور افغانستان و نیز سیاست‌های تاثیرگذار سایر کشورها به عنوان عوامل تاثیرگذار بین‌المللی است (Sadeghi and Shahbazbegian, ۲۰۱۳). همچنین در فضای بیرونی، پدیده‌های طبیعی از جمله خشکسالی از مهمترین عوامل بیوفیزیکی بیرونی تاثیرگذار بر آسیب‌پذیری دشت سیستان است. در تحقیق پیش‌رو، تأثیر مؤلفه‌های بیرونی آسیب‌پذیری دشت سیستان به عنوان پیش‌ران‌های حاکم بر جریان آب در رودخانه سیستان، تنها در قالب سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه از ورود منابع آب به دشت سیستان در نظر گرفته خواهند شد. بر اساس مدل مفهومی ارائه شده، توسعه کشاورزی وابسته به منابع آب، اقتصاد کشاورزی و عوامل اجتماعی-اقتصادی همچون جمعیت ساکن و اشتغال از مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی درونی محسوب می‌شوند. همچنین در این مدل، دریاچه هامون و میزان منابع آب در دسترس دشت سیستان نیز به عنوان 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 مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان از دو نقطه نظر بیوفیزیکی درونی و اقتصادی-اجتماعی درونی به طور مفصل‌تر مورد بررسی قرار گیرند.

۲- تحلیل آسیب‌پذیری دشت سیستان

به منظور تحلیل مؤلفه‌های آسیب‌پذیری دشت سیستان بر اساس چارچوب فوزل، یک مدل مفهومی از مؤلفه‌های آسیب‌پذیری دشت سیستان در شکل ۲ ترسیم شده است. همان‌طور که از روی مدل مفهومی شکل ۲ پیداست منابع آب هیرمند به شدت متأثر از مقدار آب رها شده در کشور افغانستان و مؤلفه اقتصادی-اجتماعی بیرونی است (Beek et al., ۲۰۰۸). این مؤلفه قابل تجزیه به زیر مؤلفه-

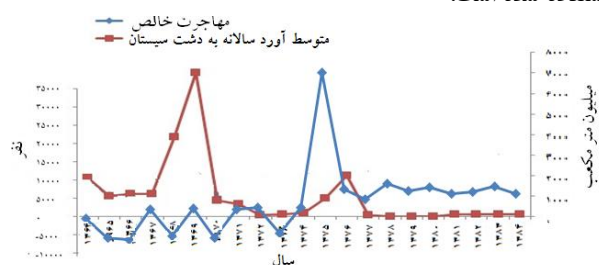
۲-۱- مشخصه‌های نگرانی

مهمترین مؤلفه بیوفیزیکی درونی آسیب‌پذیری دشت سیستان و از نوع محیط زیستی آن همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، حجم آب دریاچه هامون است. همچنین مهمترین مؤلفه بیوفیزیکی درونی و از نوع فیزیکی آن، منابع آب قابل دسترس دشت سیستان می‌باشد که بسیار تاثیرگذار بر حجم آب دریاچه هامون بوده و مطالعات زیادی به

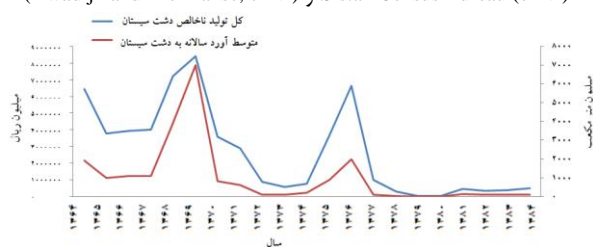


شکل ۲- مدل مفهومی آسیب‌پذیری دشت سیستان بر اساس چارچوب فوزل (Fussel, ۲۰۰۷)

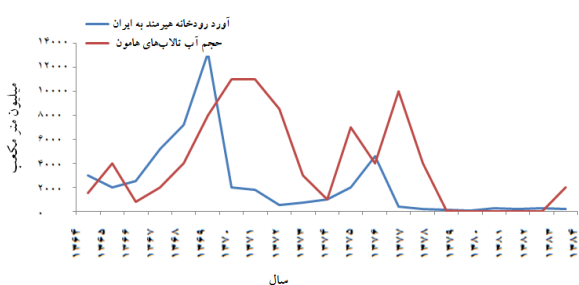
کاهش منابع آب رودخانه هیرمند به سمت ایران است (Najafi, ۲۰۱۰; Nakhaei and Akbar, ۲۰۱۳). علاوه بر مطرح شدن این موضوع به عنوان یکی از دغدغه‌های دشت سیستان در مطالعات انجام شده تا کنون، شکل ۳ (ب) با ترسیم نمودار سری زمانی کل تولید ناخالص داخلی تولیدی در منطقه مورد مطالعه در برابر سری زمانی جریان آب ورودی به دشت سیستان و رفتار همسان دو نمودار با یکدیگر در طول زمان، وابستگی شدید و به تبع آن آسیب‌پذیری اقتصادی مبتنی بر کشاورزی منطقه به کاهش منابع آب را تأیید می‌نماید. در این تحقیق به منظور اضافه نمودن بعد اجتماعی به متغیر تولید ناخالص داخلی، از متغیر سرانه تولید ناخالص داخلی دشت سیستان به عنوان سومین مشخصه‌نگرانی این محدوده استفاده شده است.



الف) نمودار آورد ورود رودخانه هیرمند به ایران و مهاجرت خالص در سیستان (Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶) و Sistan Census Bureau (۲۰۰۶)



ب) نمودار جریان ورودی به سیستان در برابر کل تولید ناخالص داخلی دشت سیستان (نسبت به شاخص قیمت سال پایه ۹۰) (Iran statistical center (۲۰۰۶) و Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶)



ج) نمودار جریان رودخانه هیرمند به سمت ایران در برابر حجم آب دریاچه هامون (Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶)

شکل ۳- نمودارهای مبین مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان

مقدار کاهش قابل توجه حجم آب دریاچه هامون به دلیل کاهش منابع آب ورودی به دشت سیستان به عنوان یکی از مهمترین دغدغه‌های این دشت می‌نگرند (Najafi, ۲۰۱۰). به علاوه، از ترسیم سری زمانی جریان آب ورودی به سیستان که متأثر از شیوه مدیریت منابع آب در این دشت است، در برابر سری زمانی حجم آب دریاچه هامون در شکل ۳ (ج) می‌توان به رابطه علت و معلولی بین این دو مؤلفه بیوفیزیکی درونی پی برد. لذا، حجم آب دریاچه هامون می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان مطرح باشد.

مطابق مطالعات انجام شده، از نقطه نظر مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی درونی، مهمترین مشخصه نگرانی اجتماعی-ملی در منطقه مورد مطالعه که متأثر از آورد رودخانه هیرمند است، مهاجرت می‌باشد (Ebrahimzadeh, ۲۰۰۱). با توجه به واقع شدن محدوده مورد مطالعه در یک منطقه مرزی، عدد جمعیت ساکن از اهمیت بالقوه‌ای برخوردار است (Kiyani et al., ۲۰۱۲) و می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی درونی و دومین مشخصه نگرانی دشت سیستان مطرح باشد. همچنین شکل ۳ (الف) با ترسیم نمودارهای سری زمانی مهاجرت خالص (یعنی مهاجرت به خارج از محدوده منتهای مهاجرت به داخل منطقه، که به تبع علامت منفی نشانه غالبیت مهاجرت به داخل است) و سری زمانی جریان ورودی رودخانه هیرمند به ایران، تأثیر خشکسالی‌های تاریخی بر روی مهاجرت خالص و به تبع آن جمعیت ساکن در دشت سیستان را تبیین می‌نماید. همان طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است با کاهش جریان رودخانه هیرمند به سمت ایران بین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۴، خیل عظیمی از مهاجرت به خارج از دشت سیستان در سال ۱۳۷۵ اتفاق افتاد. همچنین همان طور که مشاهده می‌شود با وقوع یک ترسالی نسبتاً مطلوب در سال ۱۳۷۶، رفتار منحنی مهاجرت خالص دشت سیستان از همان سال مقداری تعدیل شد. نکته قابل توجه از رفتار نمودارها در برابر یکدیگر آن است که با کاهش مجدد جریان ورودی رودخانه هیرمند از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۴، رفتار منحنی مهاجرت خالص با همان روند سابق ادامه یافت. یک عامل توجیه کننده چنین رفتاری می‌تواند افزایش سازگاری مردم ساکن در دشت سیستان در برابر وقوع کم آبی نسبت به سال‌های قبل باشد که خود مبین گسترش فعالیت‌های اقتصادی غیر وابسته به کشاورزی است. سومین مشخصه نگرانی از مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی درونی دشت سیستان، کل تولید ناخالص داخلی در دشت سیستان بوده که به شدت متأثر از فعالیت کشاورزی در این دشت می‌باشد (Iran water master plan, ۲۰۰۶) و مستقیماً و بی‌درنگ متأثر از

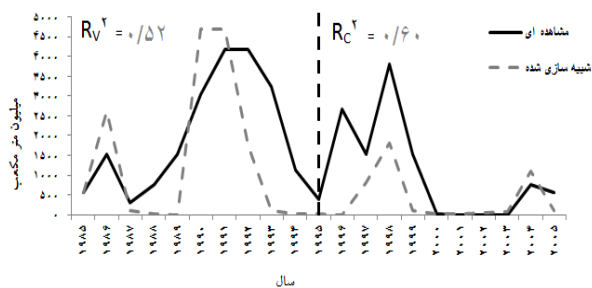
پس از شناسایی سه مشخصه نگرانی شامل جمعیت ساکن، حجم آب دریاچه هامون و سرانه تولید ناخالص داخلی دشت سیستان، به منظور ارزیابی گزینه‌های سیاستی مبتنی بر برگشت‌پذیری گذار نیاز به شبیه‌سازی ساختار حاکم بر مشخصه‌های نگرانی در چارچوب مؤلفه‌های درونی چارچوب فوزل می‌باشد. همان طور که از مدل مفهومی شکل ۲ مشخص است مشخصه‌های نگرانی معرفی شده و اجزای آنها در یک سیستم پسخوران محصور می‌باشند. پیچیدگی و ارتباط با اجزاء مؤلفه‌های آسیب‌پذیری با یکدیگر و ارتباط آن با منابع آب دشت سیستان نیاز به ابزاری که توانایی بیان و شبیه‌سازی چنین پیچیدگی را داشته باشد خواهد داشت. به همین دلیل، تحقیق پیش‌رو از مدل‌سازی به سبک پویایی سیستم‌ها که توانایی شبیه‌سازی سیستم‌های پسخور را دارد استفاده نموده است.

۲-۲- مکانیزم سیستمی حاکم بر مشخصه‌های نگرانی

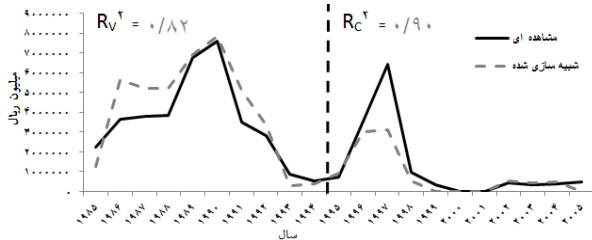
در اینجا از ابزار حلقه‌های علیتی ارائه شده در تفکر پویایی سیستم‌ها برای نمایش مکانیزم سیستمی حاکم بر مشخصه‌های نگرانی استفاده شده است (Senge, ۱۹۹۷). از ترکیب حلقه‌های علیتی، مکانیزم سیستمی بوجود می‌آید که رفتار منتسب به آن نتیجه برآیند فعالیت حلقه‌های تشکیل دهنده خود می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از اصول ترسیم حلقه‌های علیتی تفکر سیستمی و نیز رفتارهای مشاهده شده از مشخصه‌های نگرانی که در پویایی سیستم به آنها نمودارهای رفتار^{۱۶} گفته می‌شود، مکانیزم سیستمی دربرگیرنده مشخصه‌های نگرانی در شکل ۴ ترسیم شده است. همان طور که در شکل ۴ قابل مشاهده است مکانیزم سیستمی ترسیم شده متشکل از دو حلقه تقویتی R_1 و R_2 و دو حلقه تعادلی B_1 و B_2 است. حلقه‌های تقویتی مسئول رفتار رشد و حلقه‌های تعادلی مسئول رفتار هدف‌جو در یک سیستم می‌باشند (Sterman, ۲۰۰۰). خاستگاه زایش حلقه تقویتی R_1 ارتباط مستقیم بین فعالیت‌های اقتصادی وابسته به کشاورزی و به تبع آن تولید ناخالص داخلی در دشت سیستان است (Beek et al., ۲۰۰۸). اثر مستقیم تولید ناخالص داخلی در دشت سیستان نیز به صورت مستقیم بر امنیت دشت سیستان که تامین کننده فعالیت اقتصادی پایدار است تأثیر می‌گذارد (Sahraie and Tahmasbi, ۲۰۱۲) و این مسیر چرخه علیتی این حلقه را تکمیل می‌نماید. بدین صورت که فعالیت اقتصادی در این ناحیه و افزایش تولید ناخالص داخلی موجب افزایش امنیت اقتصادی-اجتماعی شده که خود موجب تقویت مجدد فعالیت اقتصادی و به خصوص کشاورزی در این دشت می‌شود (Baranpour and Bandariyan, ۲۰۱۲). باید در نظر داشت که این مکانیزم می‌تواند به صورت عکس نیز عمل نماید. این حلقه

همچنین توجیه کننده هرگونه توسعه منابع آب و اقتصاد در دشت سیستان است و مشاهده هرگونه رفتار رشد سرانه تولید ناخالص داخلی (اعم از منفی یا مثبت)، به عنوان یکی از مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان در طی سال، منتج از فعالیت این حلقه می‌باشد. حلقه تقویتی R_2 ، دیگر حلقه تقویتی مکانیزم سیستمی حاکم بر مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان است که مسئول تقویت فرآیندهای اجتماعی وابسته به فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آب در دشت سیستان همچون مهاجرت و اشتغال است. این حلقه تقویتی با استناد به ارتباط مستقیم بین فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آب و اشتغال در دشت سیستان (Sadeghi and Shahbazbegian, ۲۰۱۳) آغاز شده و ادامه این ارتباط علیتی تا مهاجرت به خارج از سیستان به عنوان یکی از عناصر تأثیرپذیر از اشتغال در این ناحیه ادامه می‌یابد. همچنین فرآیند مهاجرت به عنوان مهمترین فرایند تأثیرگذار بر جمعیت در دشت سیستان (Parvaneh and Deghani, ۲۰۰۹) با یک رابطه معکوس با آن مرتبط می‌شود. در نهایت با ایجاد ارتباط بین امنیت متاثر از جمعیت ساکن در این ناحیه مرزی به عنوان یکی از مهمترین عوامل فعالیت اقتصادی پایدار در دشت سیستان (Shahverdi and Kiyani, ۲۰۱۱)، حلقه تقویتی R_2 تشکیل می‌شود. این حلقه تقویتی وابستگی اقتصادی-اجتماعی به منابع آب هیرمند را افزایش داده، عامل اصلی افزایش جمعیت از طریق مهاجرت به دشت سیستان می‌باشد. فعالیت حلقه‌های تقویتی مزبور با فعال شدن دو حلقه تعادلی B_1 و B_2 در اثر محدودیت منابع آب دشت سیستان، یا همان سهم ایران از آورد رودخانه هیرمند، تعدیل می‌شوند. حلقه تعادلی B_1 مسئول اصلی متوقف کردن هرگونه فعالیت وابسته به منابع آب در دشت سیستان به دلیل کاهش منابع آب بوده، به تبع آن حلقه سیستمی B_2 نیز عامل اصلی کاهش جریان آب به سمت دریاچه بین المللی هامون و سربرآوردن مشخصه نگرانی بیوفیزیکی درونی یا همان حجم آب دریاچه هامون می‌باشد. رفتار دو نمودار ترسیم شده آورد رودخانه هیرمند به ایران و نیز حجم آب دریاچه هامون در برابر یکدیگر در شکل ۳ تصدیق کننده فعالیت دو حلقه مزبور است. حلقه تعادلی B_1 با ایجاد ارتباط بین برداشت آب از رودخانه هیرمند توسط افغانستان که ارتباط معکوسی با سهم آب در دسترس رودخانه سیستان دارد (Haghighatjou and Behniya, ۲۰۰۶) شروع می‌شود. حلقه سیستمی مزبور با ایجاد ارتباط مستقیم بین جریان ورودی رودخانه هیرمند به ایران و فعالیت اقتصادی مبتنی بر کشاورزی به عنوان مهمترین عامل برداشت آب از رودخانه سیستان و به تبع آن نیاز به برداشت از منابع آب هیرمند ادامه می‌یابد و سپس با ایجاد یک ارتباط معکوس بین برداشت آب و سهم آب قابل دسترس در این دشت

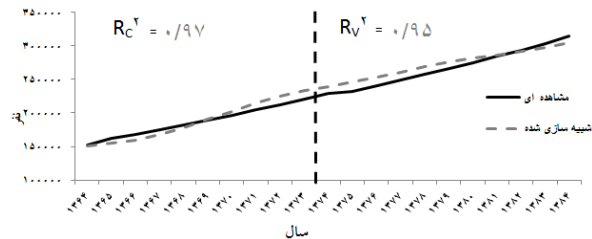
زیستی (شامل سیستم فیزیکی دریاچه هامون)، حلقه R1 در قالب دو بخش اقتصادی-کشاورزی (شامل سیستم بخش کشاورزی و تولید ناخالص داخلی بخش متبوع) و اقتصادی-غیر کشاورزی (شامل بخش غیر کشاورزی و تولید ناخالص داخلی بخش متبوع) و حلقه R2 در قالب بخش اقتصادی-اجتماعی (شامل سیستم جمعیت، مهاجرت و اشتغال) ساخته شد. نهایتاً، فرآیند آموزش و واسنجی و صحت‌سنجی مدل به ترتیب بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۴ و ۱۳۷۴ تا سال ۱۳۸۴ انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی به تفکیک دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، برای سه متغیر معرف مشخصه‌های نگرانی شامل سرانه تولید ناخالص داخلی دشت سیستان شکل ۵(الف)، حجم آب دریاچه هامون شکل ۵(ب)، و جمعیت ساکن شکل ۵(ج) ترسیم شده‌اند. همچنین مقایسه رفتارهای شبیه‌سازی شده با رفتارهای مشاهداتی در دوره زمانی یکسان انجام شد و فراز و فرودهای رفتار نمودارهای منتج از مدل شبیه‌سازی شده و همچنین میزان تغییرات آنها در مقاطع زمانی خاص و هنگام بروز شوک‌های وارده به سیستم با واقعیت مقایسه و میزان توانایی مدل در بازتولید این رفتارها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بقیه آزمون‌های معمول مدل سیستمی، همچون آزمون حالت حدی و آنالیز حساسیت نیز بر روی مدل انجام شد که حاکی از نتایج قابل قبولی می‌باشد.



الف) واسنجی و صحت‌سنجی ارزش افزوده تولیدی دشت سیستان

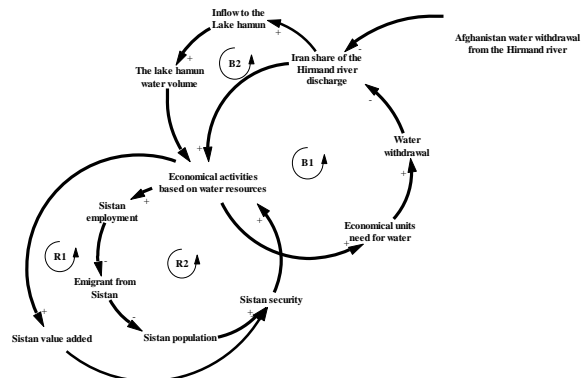


ب) واسنجی و صحت‌سنجی حجم آب دریاچه هامون



ج) واسنجی و صحت‌سنجی جمعیت ساکن

تشکیل می‌شود. متعاقباً حلقه تعادلی B2 نیز از ارتباط مستقیم بین جریان آب ورودی رودخانه هیرمند به ایران، جریان ورودی به دریاچه هامون و به تبع آن حجم آب دریاچه هامون (Jalilvand and Jalilvand, 2010) آغاز شده، با تأثیر مستقیم بر فعالیت‌های اقتصادی و به خصوص بخش کشاورزی، مشابه مسیر علیتی حلقه تعادلی B1، تا سهم آب قابل دسترس ایران ادامه می‌یابد. دو نوع رفتار رشد و هدف‌جو مشاهده شده از رفتار نمودارهای متغیرهای اقتصادی-اجتماعی همچون مهاجرت و جمعیت ساکن در واقع برآیند فعالیت حلقه‌های تقویتی و تعادلی معرفی شده می‌باشند که در قالب مکانیزم سیستمی شکل ۴ ترسیم شده‌اند.



شکل ۴- مکانیزم سیستمی آسیب‌پذیری دشت سیستان

نهایتاً، در تایید حاکم بودن سازوکار سیستمی مزبور می‌توان به سازوکار سیستمی مشابه معرفی شده توسط Beek et al. (2008) اشاره نمود که در آن مطالعه از دو حلقه تقویتی و تعادلی برای ترسیم مکانیزم سیستمی حاکم بر محدودیت توسعه دشت سیستان استفاده شد.

۳- مدل‌سازی سیستمی

پس از ترسیم و تبیین مکانیزم سیستمی حاکم بر مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان، فرآیند مدل‌سازی در نرم افزار Vensim انجام شد. بدین ترتیب نمودار جریان از روی مکانیزم سیستمی ترسیم شده در شکل ۴ به عنوان مدل مفهومی برای ساخت مدل، در نرم افزار Vensim نیز ترسیم شد. متعاقباً مکانیزم سیستمی مزبور، مدل شبیه‌سازی شده در نرم افزار از چهار حلقه سیستمی تشکیل شد که در قالب شش بخش مرتبط با هم در نرم افزار Vensim ترسیم شد. بدین ترتیب، حلقه B1 در قالب دو بخش منابع آب (شامل سیستم منابع آب رودخانه هیرمند و رودخانه سیستان تا چاه‌نیمه‌ها) و تخصیص آب (شامل سیستم تخصیص آب به چهار بخش شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیست)، حلقه B2 در قالب بخش محیط

شکل ۵- واسنجی^{۱۷} (۱۳۶۴-۱۳۷۴) و صحت سنجی^{۱۸}
 (۱۳۸۰-۱۳۸۴) مدل شبیه‌ساز بر اساس مشخصه‌های
 نگرانی

۴- اعمال گزینه‌ی سیاستی

تحقیق پیش‌رو تفسیر ایجاد تنوع وابستگی و تقویت سازگاری در تعریف ارائه شده از برگشت‌پذیری گذار (Cutter et al., ۲۰۰۸) را اعمال سیاست با محوریت افزایش بهره‌وری آب در دشت سیستان به ازای تخصیص مقدار مشخصی از منابع آب به دشت سیستان در سال، به عنوان برآیند منتج از تغییرات مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی در آن ناحیه، می‌داند. لذا نیاز به تغییر زیرمؤلفه‌ها و یا پارامترهای موثر در مؤلفه اقتصادی-اجتماعی درونی در مدل شبیه‌ساز، تا آنجا که نتیجه مطلوب حاصل شود، می‌باشد. به عبارت دیگر، انجام چنین فرآیندی به منظور ارائه ساختار اقتصادی-اجتماعی است که بتواند تحت مخاطره کم آبی مقادیر مشخصه‌های نگرانی را به مقادیر مطلوب برگشت دهد. برای گسترش فضای تصمیم‌گیری نیاز به ارائه یک نرم طبقه‌بندی شده از سطوح برگشت‌پذیری یا همان سطوح مطلوب از مشخصه‌های نگرانی به عنوان مرجع تغییرات می‌باشد. برای ارائه چنین نرمی، تحقیق حاضر دو مقدار ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب را به ترتیب به عنوان دو کران بدبینانه و خوشبینانه از متوسط آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان در نظر گرفته و بر آن اساس پنج سطح از برگشت‌پذیری مورد انتظار تحت عنوان "سطوح برگشت‌پذیری مرجع" را طبق جدول ۱ ارائه می‌نماید. مقادیر مزبور در گزارش ارائه شده توسط (Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶) بر اساس عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی و نیز توسعه‌ی طرح‌های منابع آبی افغانستان محاسبه شده‌اند. بدین ترتیب که عدد ۵۰۰۰ میلیون متر مکعب با در نظر گرفتن وقوع ترسالی در حوضه آبریز هیرمند و روندی کند در توسعه طرح‌های آبی افغانستان که منجر به افزایش حجم آب سرریزی به سمت دشت سیستان می‌شود، بدست آمده و عدد ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال در شرایط وقوع خشکسالی در آن حوضه آبریز و عدم رعایت حقایق ایران از سوی افغانستان^{۱۹} ارائه شده است.

لازم به ذکر است که مقادیر مشاهداتی آورد رودخانه هیرمند طی چند سال اخیر حاکی از آورد بسیار کمتری از موارد مزبور می‌باشد. لذا به منظور به کاربردن مقدار دقیق‌تری از آورد بحرانی، میانگین بلند مدت آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱ طبق مقادیر مشاهداتی ارائه شده در گزارش هیدرولوژی (Kwadijk and Diermanse, ۲۰۰۶) محاسبه شد که مقدار آن ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب بدست آمد. سپس میانگین مقادیر کمتر از ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب محاسبه و به عنوان آورد بحرانی رودخانه هیرمند به دشت سیستان در نظر گرفته شد. میانگین مقادیر مزبور برابر ۷۰۰ میلیون متر مکعب در سال (معادل با ۹۰٪ حبابه سالانه‌ی ایران از رودخانه‌ی هیرمند طبق معاهده‌ی سال ۱۳۵۱) به دست آمد. بدین ترتیب مخاطره کم آبی در این تحقیق معادل آورد ۷۰۰ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد. بنابراین در مرحله بعد در نظر است تا با تغییر پارامترهای موثر در ساختار اقتصادی - اجتماعی دشت سیستان تحت مخاطره کم آبی و یا همان ۷۰۰ میلیون مترمکعب در سال، مقادیر مشخصه‌های نگرانی را به هریک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع (جدول ۱) رساند.

۵- نتایج و بحث

ابتدا برای مشاهده مقادیر مشخصه‌های نگرانی متناظر با هریک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع، مدل شبیه‌ساز تحت مقادیر آورد متناظر با هریک از سطوح مزبور تا افق ۱۴۳۰ هجری شمسی (۲۰۵۰ م) اجرا و نتایج آن در شکل ۶ ترسیم شد.

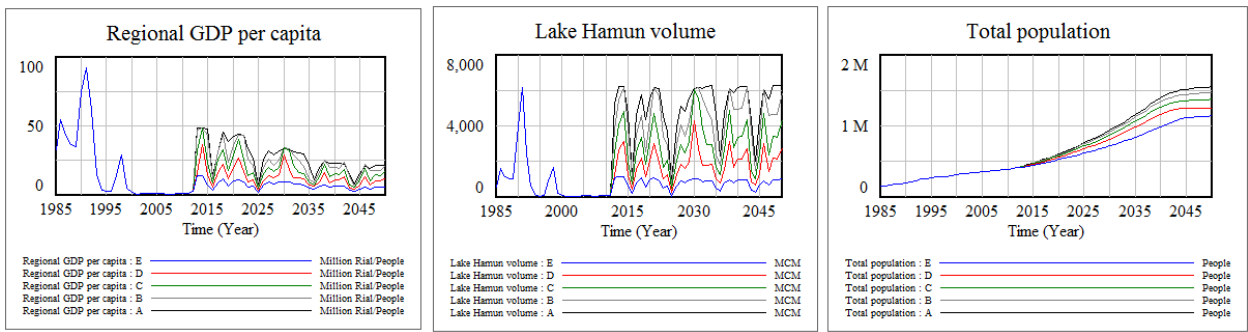
با توجه به رویکرد سیاست‌گذاری، ارائه ساختار اقتصادی - اجتماعی جدید تحت عنوان گزینه سیاستی در نظر گرفته شد و از توانایی نرم افزار Vensim در تغییر پارامترهای مؤلفه‌های مشخصه‌های نگرانی، تحت مخاطره کم آبی تا رسیدن به مقادیر مطلوب آنها استفاده شد. به منظور تسهیل در تحلیل ساختار اقتصادی-اجتماعی دشت سیستان، دو بخش اقتصادی-کشاورزی و اقتصادی-غیر کشاورزی، هر دو معرف فعالیت حلقه R1، با یکدیگر ادغام و به یک بخش اقتصادی تبدیل شدند.

جدول ۱- سطوح برگشت‌پذیری مرجع

ملاحظات	سطوح برگشت‌پذیری
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب	A
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه ۴۵۰۰ میلیون مترمکعب	B
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب	C
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه ۳۵۰۰ میلیون مترمکعب	D
مقادیر مشخصه‌های نگرانی با ساختار آسیب‌پذیری سابق و تحت آورد متوسط سالانه ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب	E

تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

Volume ۱۲, No. ۱, Spring ۲۰۱۶ (IR-WRR)



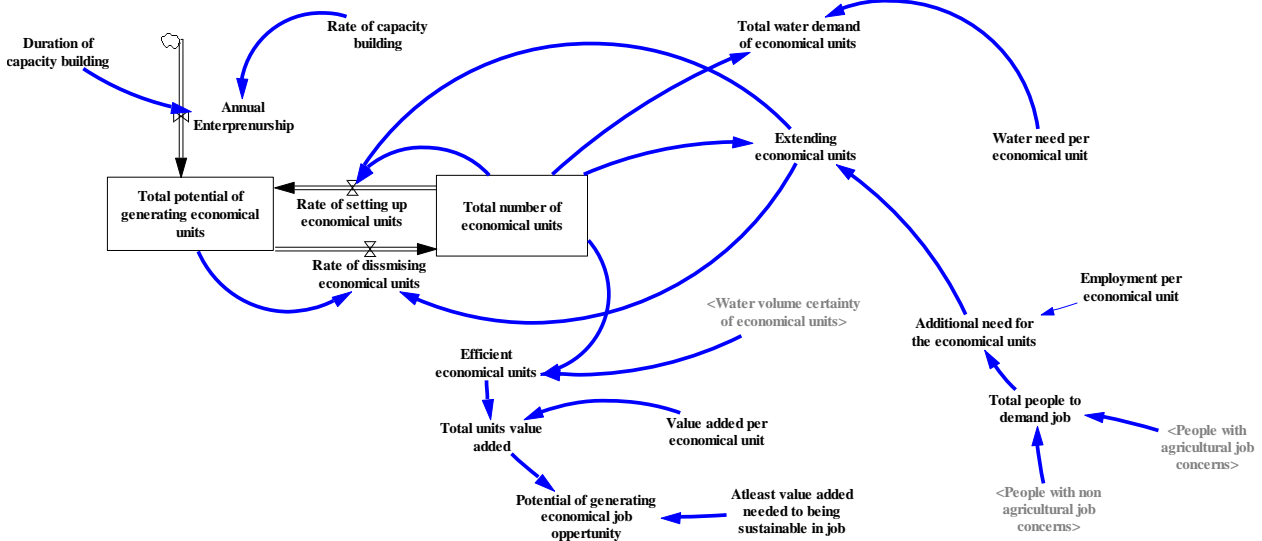
شکل ۶- نتایج مدل برای مشخصه‌های نگرانی متناظر با سطوح مرجع آسیب‌پذیری جدول ۱

که در بخش اجتماعی و تخصیص آب مدل تاثیر گذار می‌باشد، تعیین می‌نماید.

بر اساس بخش اقتصادی مدل (شکل ۷)، سه پارامتر موثر در ساختار اقتصادی- اجتماعی، با در نظر گرفتن قید بزرگتر یا مساوی صفر، برای ایجاد تغییرات به مدل معرفی شدند (جدول ۲).

در ادامه، مدل تحت آورد ۷۰۰ میلیون مترمکعب به دشت سیستان و با تغییر پارامترهای مشخصه‌های نگرانی (جدول ۱) از سال ۱۳۸۴ به بعد (به عنوان سال اعمال سیاست) به صورت متواتر و با استفاده از مدول سیاست‌گذار^{۲۰} نرم افزار Vensim تا سال ۱۴۳۰ تا تحقق نزدیک‌ترین حالت ممکن از مقادیر مشخصه‌های نگرانی به مقادیر آنها در هریک از سطوح مرجع اجرا شد. بدین ترتیب و به منظور ارائه نتایج بدست آمده از مدل، جدول ۳ با چهار ردیف مجزا ارائه شده است.

بر این اساس شماتیک بخش اقتصادی در مدل Vensim در شکل ۷ ترسیم شد. مشابه هریک از بخش‌های اقتصادی کشاورزی و غیر کشاورزی، بخش اقتصادی تلفیقی، براساس نیاز شاغلین بخش‌های مختلف کشاورزی و غیر کشاورزی به اشتغال، تعداد واحد اقتصادی مورد نیاز را تعیین می‌نماید. سپس نرخ ایجاد واحد اقتصادی تعیین کننده پتانسیل راه اندازی تعداد واحد اقتصادی در یک سال در دشت سیستان می‌باشد. همچنین تعداد واحد اقتصادی به فعلیت رسیده، میزان آب مورد نیاز برای فعالیت‌های اقتصادی را مشخص نموده که در بخش تخصیص آب مدل و تعیین تقاضای آب، تاثیر گذار خواهد بود. بدین ترتیب درصد تامین حجمی منتج از بخش تخصیص آب مدل، تعیین کننده کارایی واحدهای اقتصادی ایجاد شده و تولید ناخالص داخلی به لحاظ محدودیت آبی در بخش اقتصادی مدل می‌باشد. میزان کل تولید ناخالص داخلی تولیدی بر اساس میزان تولید ناخالص داخلی به ازای هر واحد اقتصادی محاسبه شده و با تقسیم آن بر حداقل تولید ناخالص داخلی مورد انتظار برای ادامه فعالیت اقتصادی در دشت سیستان، کل ظرفیت اشتغال در دشت را



شکل ۷- بخش اقتصادی مدل سیستمی از تلفیق دو بخش اقتصادی کشاورزی و غیر کشاورزی
 جدول ۲ - مقادیر پارامترهای مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی دشت سیستان

نام متغیر در مدل شبیه‌سازی شده	ملاحظات
Minimum value added needed to feel sustainable in job	حداقل تولید ناخالص داخلی یک واحد اقتصادی در سال برای ادامه فعالیت هر نفر در یک واحد اقتصادی، مقدار اولیه ۱۵۰ میلیون ریال در سال. واقع در بخش اقتصادی. (۲۰۱۱) Iran water master plan
Value added per economic unit	تولید ناخالص داخلی به ازای هر واحد اقتصادی در سال. مقدار اولیه ۲۰۰۰ میلیون ریال در سال به ازای هر واحد اقتصادی. (معادل یک واحد صنعتی متوسط به لحاظ تولید ناخالص داخلی (۲۰۱۳) Iran Ministry of Industry
Water consumption per economic unit	مصرف آب به ازای هر واحد اقتصادی در سال. مقدار اولیه ۲۰۰۰۰ متر مکعب به ازای هر واحد اقتصادی. (معادل یک واحد صنعتی پر مصرف آب (۲۰۱۳) Iran Ministry of Industry

متغیر مزبور پرداخته است. نهایتاً به منظور مشاهده اثر بخشی رویکرد برگشت‌پذیری گذار مقادیر مشخصه‌های نگرانی پس از اعمال گزینه سیاستی در ردیف چهارم جدول ۳ ارائه شده‌اند. از آنجا که احتمال قرائت‌های مختلفی به لحاظ عملیاتی بودن تحقق مقادیر پارامترهای سه‌گانه وجود دارد، لذا تحقیق پیش‌رو بدون هیچگونه قضاوتی در خصوص راهکارهای تحقق مقادیر پارامترهای سه‌گانه، بر روی ساختار پیشنهادی منتج از تغییرات پارامترهای مزبور یا همان ردیف سوم جدول ۴ بحث می‌نماید.

بر آن اساس، ردیف اول به مقادیر مشخصه‌های نگرانی منتسب به هریک از سطوح مرجع تا افق شبیه‌سازی و ردیف دوم به مقادیر تغییر یافته پارامترها اختصاص داده شد. همچنین از آنجا که برآیند منتج از تغییرات پارامترهای مزبور در قالب تغییرات دو متغیر کلیدی متوسط سالانه بهره‌وری آب و متوسط سالانه حجم آب مصرفی در دشت سیستان تا افق شبیه‌سازی قابل بیان می‌باشد، ردیف سوم تحت عنوان ساختار اقتصادی-اجتماعی منتج از تغییر پارامترها و یا همان ساختار مورد نیاز برای گذار به وضعیت جدید، به ارائه مقادیر دو

جدول ۳- نتایج ارائه شده پس از اجرای مدل تحت گزینه سیاستی

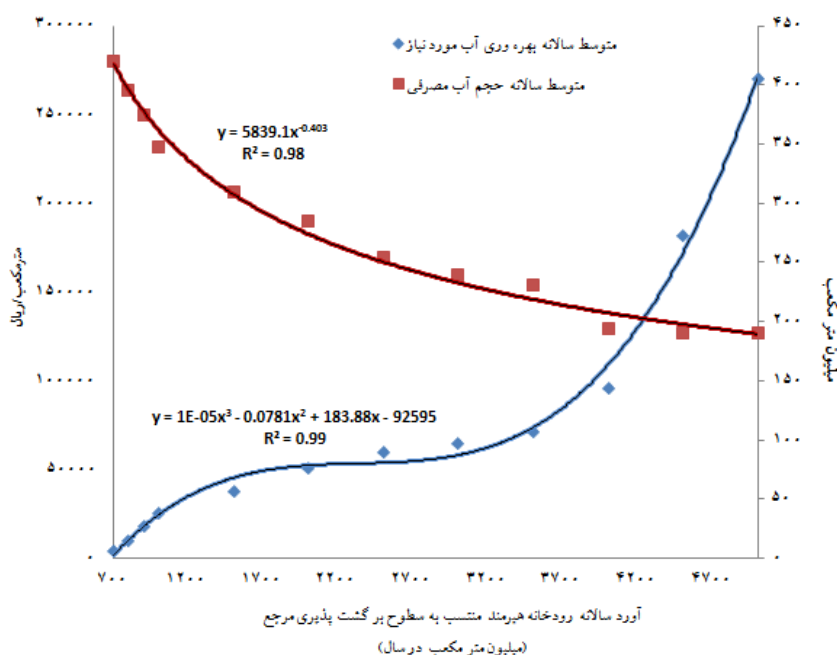
		سطوح برگشت‌پذیری مرجع				
		E	D	C	B	A
مشخصه‌های نگرانی	متوسط سالانه حجم آب دریاچه هامون (میلیون مترمکعب) ۱۳۸۵-۱۴۳۱	۶۸۶	۱,۵۹۴	۲,۹۹۵	۳,۶۷۷	۴,۴۱۸
	متوسط سالانه سرانه ارزش افزوده (میلیون ریال در سال) ۱۳۸۵-۱۴۳۱ نسبت به سال پایه ۱۳۹۰	۱۸	۳۹	۴۶	۵۸	۶۶
	جمعیت ساکن در سال ۱۴۳۰ (میلیون نفر)	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۷	۱/۴۱	۱/۴۷
مقادیر پارامترهای سه‌گانه	حداقل ارزش افزوده یک واحد اقتصادی در سال برای ادامه فعالیت هر نفر در یک واحد اقتصادی تا سال ۱۴۳۰ (میلیون ریال در سال برای هر نفر شاغل)	۱۵۸	۱۵۸	۱۵۸	۱۵۸	۱۵۸
	ارزش افزوده به ازای هر واحد اقتصادی نسبت به سال پایه ۱۳۹۰ (میلیون ریال در سال)	۱,۶۱۷	۱,۷۰۴	۲,۸۸۰	۷,۲۰۰	۱۳,۵۰۰
	آب مصرفی به ازای هر واحد اقتصادی (هزارمترمکعب)	۲۱	۲۴	۳۰	۴۰	۵۰
ساختار منتج از تغییر پارامترها	متوسط سالانه بهره‌وری آب مصرفی (مترمکعب هزارریال) تا سال ۱۴۳۰	۶۵	۷۱	۹۶	۱۸۲	۲۷۰
	متوسط سالانه حجم آب تخصیصی دشت سیستان ۱۳۸۵-۱۴۳۰ (میلیون متر مکعب)	۲۴۰	۲۳۱	۱۹۴	۱۹۰	۱۹۰
الزیفشی گزینه سیاستی	متوسط سالانه حجم آب دریاچه هامون (میلیون مترمکعب) ۱۳۸۵-۱۴۳۱	۳۸۴	۳۹۳	۴۳۰	۴۳۲	۴۳۲
	متوسط سالانه سرانه ارزش افزوده (میلیون ریال در سال) ۱۳۸۵-۱۴۳۱ نسبت به سال پایه ۱۳۹۰	۱۹,۲	۳۲,۷۶	۴۳,۷	۵۳,۳	۶۲
	جمعیت ساکن در سال ۱۴۳۰ (میلیون نفر)	۱	۱,۲۵	۱,۳۲	۱,۳۳	۱,۴

وضعیت دریاچه هامون، نتایج حاکی از موفقیت نسبتاً بالای این رویکرد در ارتقای دو مشخصه‌ی نگرانی جمعیت ساکن و سرانه تولید ناخالص داخلی به مقادیری نزدیک به سطح مرجع A می‌باشند. به گونه‌ای که با ارتقای بهره‌وری آب به میزان ۵۶۰۰۰ ریال (به قیمت پایه سال ۱۳۹۰) به ازای هر مترمکعب و سقف تخصیص آب مصرفی به میزان ۲۴۰ میلیون مترمکعب، جمعیت ساکن به یک میلیون نفر^{۲۱} و متوسط سالانه سرانه تولید ناخالص داخلی به ۱۶ میلیون ریال (براساس قیمت پایه سال ۱۳۹۰) به ازای هر نفر در سال^{۲۲} تحت مخاطره کم آبی خواهد رسید.

در ادامه، به منظور افزایش درک از رابطه بین ساختار آسیب‌پذیری مورد نیاز و آورد منتسب به هر یک از سطوح مرجع برگشت‌پذیری و نیز تعمیم نتایج به طیف گسترده‌تری از سطوح برگشت‌پذیری، گزینه سیاستی به همان ترتیب قبل، برای تحقق سطوح دیگری از برگشت‌پذیری متناظر با مقادیر متوسط سالانه آورد رودخانه هیرمند بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰^{۲۳}، میلیون مترمکعب در سال اجرا شد و دو متغیر متوسط سالانه بهره‌وری آب و حجم آب مصرفی سالانه در برابر متغیر آورد رودخانه هیرمند به دشت سیستان در شکل ۸ تحت عنوان نمودار ارائه طریق ترسیم شد. همانطور که از رفتار منحنی‌های متوسط سالانه بهره‌وری آب و نیز آورد رودخانه هیرمند پیداست، این نمودار تا رسیدن به سطح مرجع ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب رفتاری هدف‌جو داشته، از آن به بعد با یک رفتار نمای افزایش می‌یابد.

بدین صورت دست سیاستگذار برای تحقق ساختار جدید تنها محدود به تغییر پارامترهای مزبور و یا حتی مقادیر پیشنهادی آن نبوده و متمرکز بر ایجاد ساختار اقتصادی- اجتماعی پیشنهادی با دو محور اصلی متوسط سالانه بهره‌وری آب و متوسط حجم آب مصرفی در دشت سیستان خواهد بود. همانطور که از نتایج برمی‌آید به تناسب افزایش انتظار از برگشت‌پذیری گذار، اثربخشی گزینه سیاستی در بهبود حجم آب دریاچه هامون تقلیل یافته و این موضوع موید آن است که هیچ یک از گزینه‌های سیاستی به عنوان سیاست‌های داخلی ایران نه تنها توانایی بهبود حجم آب دریاچه هامون به اندازه حداکثر پتانسیل حجم دریاچه یعنی ۴۷۰۰ میلیون مترمکعب (Najafi, ۲۰۱۰) را ندارد، بلکه توانایی تحقق میزان حجم آب دریاچه هامون منتسب به هیچ یک از سطوح برگشت‌پذیری مرجع را نیز نداشته به طوری که اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه داخلی برای تحقق بالاترین سطح برگشت‌پذیری مرجع (سطح A)، تحت مخاطره کم آبی، حتی با تخصیص ۱۹۰ میلیون مترمکعب از ۷۰۰ میلیون مترمکعب آب ورودی به دشت سیستان به استفاده‌های اقتصادی، مقدار متوسط سالانه حجم آب دریاچه هامون را نهایتاً به حدود ۴۳۰ میلیون متر مکعب می‌رساند. این موضوع لزوم وارد شدن بحث‌های حقوق بین الملل و به خصوص حقوق مربوط به تالاب‌ها و نقش افغانستان در این خصوص را روشن می‌کند.

بر خلاف اثربخشی ضعیف رویکرد برگشت‌پذیری گذار در بهبود



شکل ۸- نمودار ارائه طریق برگشت‌پذیری دشت سیستان

تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵
Volume ۱۲, No. ۱, Spring ۲۰۱۶ (IR-WRR)

بر این اساس می‌توان اظهار داشت که برای اعمال گزینه سیاستی جهت تحقق سطوح برگشت‌پذیری متناظر با بیش از ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب نیاز به افزایش نمایی در بهره‌وری آب تا حدود ۲۷۰۰۰۰ ریال به مترمکعب بوده ولی برای مقادیر ۷۰۰ میلیون مترمکعب تا ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب، این مقدار نیازمند به افزایشی هدف‌جو تا حدود ۵۰۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب می‌باشد.

در این خصوص باید گفت که مقادیر به‌دست آمده برای میزان بهره‌وری آب در هر یک از سطوح مرجع، تنها در صورت تقویت بخش‌های اقتصادی غیر کشاورزی همچون صنعت، خدمات و گردشگری ممکن بوده، تبدیل دشت سیستان به یک قطب صنعتی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای تحقق گزینه سیاستی و به تبع آن رسیدن به نتایج فوق‌الذکر، مطرح باشد. همچنین، در صورت محاسبه هزینه‌های تحقق هر یک از الزامات ارائه شده در نمودار ارائه طریق برگشت‌پذیری، برای رسیدن به سطح برگشت‌پذیری مورد نظر، می‌توان به ارائه یک نمودار ارائه طریق دیپلماسی آب برای نظام‌مندتر شدن مذاکرات بین دو کشور ایران و افغانستان بر سر رودخانه هیرمند به خصوص مذاکرات در خصوص خرید آب پرداخت. بدین ترتیب که با در دست داشتن هزینه مورد نیاز برای تحقق الزامات مزبور به عنوان سیاست جایگزین افزایش آورد رودخانه هیرمند به سمت ایران، با در نظر گرفتن میزان اثربخشی آن، می‌توان به صورت نظام‌مندتری وارد معاملات احتمالی با کشور افغانستان بر سر آورد رودخانه هیرمند به سمت ایران شد. در آن صورت توانایی تشخیص چگونگی تلفیق دیپلماسی خارجی و سیاست داخلی برای کاهش آسیب‌پذیری دشت سیستان افزایش خواهد یافت.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله آسیب‌پذیری دشت سیستان بر اساس چارچوب فوزل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی آسیب‌پذیری در دو مقیاس درونی به عنوان مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان و بیرونی مخاطره کم آبی در دشت سیستان طبق چارچوب مزبور شناسایی شد. بر اساس منابع و آمار، متغیرهای سرانه تولید ناخالص داخلی و جمعیت ساکن به عنوان مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی و حجم آب دریاچه هامون به عنوان مؤلفه بیوفیزیکی درونی مشخصه‌های نگرانی دشت سیستان در نظر گرفته شدند. ارائه سیاست بر پایه مفهوم برگشت‌پذیری گذار و با تمرکز بر دو مؤلفه اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی درونی انجام شد. سیاست‌های پیشنهادی تحت عنوان گزینه سیاستی با محوریت ایجاد

تنوع اقتصادی متمرکز بر مؤلفه اقتصادی-اجتماعی درونی بررسی شد. به منظور اعمال سیاست‌ها و ارزیابی آنها از مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها استفاده شد. پس از ساخت مدل شبیه‌ساز سیستمی شامل شش بخش مرتبط با هم، بخش منابع آب، بخش تخصیص آب، بخش اقتصادی کشاورزی، بخش اقتصادی غیر کشاورزی، بخش دریاچه هامون و بخش اجتماعی به همراه انجام آزمون‌های مربوطه، مدل تحت پنج سناریو از مقدار آورد سالانه‌ی رودخانه هیرمند بین ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب تا افق سال ۱۴۳۰ اجرا شد. نتایج بدست آمده برای مشخصه‌های نگرانی تحت عنوان مقادیر منتسب به پنج سطح مرجع برگشت‌پذیری یا سطوحی که قرار است با ارائه گزینه سیاستی تحت مخاطره کم آبی به آنها رسید، در نظر گرفته شدند. سپس به منظور اعمال گزینه سیاستی، با توجه به محوریت ایجاد تنوع اقتصادی، ابتدا دو بخش اقتصادی کشاورزی و غیر کشاورزی مدل با یکدیگر تلفیق و به یک بخش تحت عنوان بخش اقتصادی تبدیل شدند و مدل تحت آورد ۷۰۰ میلیون متر مکعب، به عنوان مخاطره کم آبی، تا افق ۱۴۳۰ اجرا شد. سپس با تغییر سه پارامتر کلیدی بخش اقتصادی مدل، ساختار مورد نیاز برای نزدیک شدن مقادیر مشخصه‌های نگرانی به مقادیر آنها در هر یک از سطوح مرجع، با ارائه میزان بهره‌وری آب مورد نیاز و سقف آب مصرفی، معرفی شد. بدین ترتیب به ازای هر یک از سطوح مرجع، ساختار مورد نیاز یا همان الزامات تحقق گزینه سیاستی به همراه اثربخشی آن در مخاطره کم آبی ارائه شد. نتایج حاکی از کارایی نسبتاً بالای گزینه سیاستی در تحقق مقادیر جمعیت ساکن و سرانه تولید ناخالص داخلی در دشت سیستان بود. همچنین نتایج به‌دست آمده مؤید آن بود که اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه داخلی همچون رساندن سقف تخصیص مصارف آب به ۱۹۰ میلیون متر مکعب از ۷۰۰ میلیون متر مکعب آورد رودخانه هیرمند، یارای احیای دریاچه هامون نبوده، برای این منظور موثرترین راهکار افزایش آورد رودخانه هیرمند از افغانستان به سمت ایران خواهد بود. همچنین به منظور تعمیم نتایج گزینه سیاستی برای سطوح کمتری از برگشت‌پذیری گذار، اعمال گزینه سیاستی برای مقادیر متوسط سالانه آورد رودخانه هیرمند بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰ میلیون مترمکعب، به همان ترتیب انجام و دو مقدار متوسط سالانه بهره‌وری آب و سقف آب مصرفی در دشت سیستان در برابر آوردهای دیگر ترسیم شد. نتایج حاکی از آن بود که تحقق برگشت‌پذیری منتسب به آوردهای بیش از ۳۰۰۰ میلیون متر مکعب مستلزم افزایش بهره‌وری آب به صورت نمایی بوده ولی از ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب مستلزم افزایش آن با یک روند هدف‌جو تا حدود ۵۶۰۰۰ ریال (بر حسب قیمت پایه سال ۱۳۹۰) در هر مترمکعب و سقف تخصیص به مصارف آب تا حدود ۲۴۰ میلیون مترمکعب در

- Conference on security and border towns, challenges and approaches, Zabol (In Persian).
- Bardsley D.K, Wiseman N.D (۲۰۱۲) Climate change vulnerability and social development for remote indigenous communities of South Australia. *Global Environmental Change* ۲۲(۳):۷۱۳-۷۲۳.
- Bates B, Kundzewicz Z, Wu S, Palutikof J (۲۰۰۸) Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.
- Beek E, Bozorgy B, Vekerdy Z, Meijer K (۲۰۰۸) Limits to agricultural growth in the Sistan Closed Inland Delta, Iran. *Irrigation and Drainage Systems* ۲۲(۲), ۱۳۱-۱۴۳.
- Beikmohammadi H, Noori H (۲۰۰۷) Droughts effects between ۸۳-۱۳۷۷ on Sistan rural economics and strategies to cope with. *Geographics and Development Journal* ۴۰, ۱۲۳-۱۳۷. (In Persian)
- Bezi, K (۲۰۰۸) Look at the environmental and socio-economic effects of the cyclical crises of water in Sistan, First International Conference on Water Crisis, Zabol. (In Persian)
- Biazin B, Sterk G (۲۰۱۳) Drought vulnerability drives land-use and land cover changes in the Rift Valley dry lands of Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* ۱۶۴(۰), ۱۰۰-۱۱۳.
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (۱۹۹۴) *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters.*, Routledge London.
- Bouyeh C, Sharifi M (۲۰۱۰) Transit and geopolitical position of Sistan and Baluchestan province and new economic strategy Persian Gulf states, Fourth International Congress of the Islamic World Geographers, Tehran. (In Persian)
- Burton I, Huq S, Lim B, Pilifosova O, Schipper E.L (۲۰۰۲) From impact assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy* ۲, ۱۴۵-۱۴۹.
- Collin M.L, Melloul A.J (۲۰۰۳) Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development. *Journal of Cleaner Production* ۱۱(۷), ۷۲۷-۷۳۶.
- سال می‌باشد. به نظر می‌رسد که تحقق مقادیر مزبور از طریق تبدیل دشت سیستان به یک قطب صنعتی و خدماتی امکان‌پذیر باشد که این موضوع نیاز به بررسی و برنامه‌ریزی منسجم خواهد داشت.
- پی‌نوشت‌ها**
- ۱-Risk-Hazard Approach
 ۲-Political Economy Approach
 ۳-Pressure-And-Release Model
 ۴-Integrated Approach
 ۵-Hazard-of-Place
 ۶-Coupled Human-Environment System
 ۷-Withdrawal To Availability
 ۸-Water Supply Stress Index
 ۹-Watershed Sustainability Index
 ۱۰-Physical and Economical Scarcity
 ۱۱-Resilience
 ۱۲-Transformation
 ۱۳-Reference mode
 ۱۴-Calibration
 ۱۵-Verification
- ۱۶- حقایق ایران از رودخانه هیرمند طبق آخرین معاهده (سال ۱۳۵۱) با کشور افغانستان حدود ۸۲۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (۲۰۱۰) Najafi (۲۰۱۰)
- ۱۷-Policy optimization
- ۱۹- حداکثر جمعیت قابل اسکان در دشت سیستان تنها به لحاظ محدودیت فضایی، ۳ میلیون نفر می‌باشد (۲۰۰۷) Zabol master plan
- ۲۰- این مقدار برای دشت سیستان در سال ۱۳۹۰، ۱۶ میلیون ریال به ازای هر نفر در سال گزارش شده است (۲۰۱۱) Iran water master plan
- ۲۱-
- ۷- مراجع**
- Adger, W.N (۲۰۰۶) Vulnerability. *Global Environmental Change* ۱۶, ۲۶۸-۲۸۱.
- Ahmadi M, Derafshi K (۲۰۱۲) Drought impacts on the Sistan region border security between ۱۹۹۸-۲۰۱۰, National Conference on security and border towns, challenges and approaches, Zabol (In Persian).
- Baranpour M, Bandariyan A (۲۰۱۲) Joint economic activities and its role in border security (Case study Sistan and Balouchestan province), National

- Iran statistical center (۲۰۰۶) Iran statistical year book, Iran statistical center press (In Persian).
- Jalilyvand R, Jalilyvand J (۲۰۱۰) Evaluation of the environmental problems caused by the drought and its impacts on the local economy of Sistan plain wetland, Fourth Conference of Environmental Engineering, Tehran (In Persian).
- Karimi F (۲۰۱۲) Contexts and geographical conditions affecting the realization of sustainable development in the border cities of Sistan and Baluchestan province, National Conference on security and border towns, challenges and approaches, Zabol (In Persian).
- Kiyani A, Tafakori A, Yousefi R (۲۰۱۲) An assessment of the social and economic structure of the city of Zabol in terms of attracting tourism, The first national conference on tourism and ecotourism Iran, Tehran (In Persian).
- Kwadijk J, Diermanse F (۲۰۰۶) Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta, Iran: Forecasting the flow from Afghanistan, Water Research Institute of Hydraulics, WL delf.
- Mokhtari D, Salehi A (۲۰۰۷) Analysis of economic and social aspects of drought and its impact on rural households in the Sistan region, Sixth Conference of Agricultural Economics, Tehran (In Persian).
- Nakhaei M, Akbari M (۲۰۱۳) Analysis of the economic indicators of the population and the body and face of the city, National Conference of Environmental Research, Tehran (In Persian).
- Najafi M (۲۰۱۰) Environmental challenges in international lake Hamun. Bearu of Environmental Protection Journal ۴۵:۴۳-۵۱ (In Persian).
- Paroissien J-B, Darboux F, Couturier A, Devillers B, Mouillot F, Raclot D, Le Bissonnais Y (۲۰۱۵) A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). Journal of Environmental Management ۱۵۰:۵۷-۶۸.
- Parvaneh A, Dehghani M (۲۰۰۹) Evaluation of the environmental, social and economic consequences of Sistan plain dieback, caused by disruption of the Helmand river by Afghanistan government and proposed solutions, The Second National Conference on the Effects of Drought and its ManagementP, Isfahan (In Persian).
- Cutter S.L, Barnes L, Bery M, Burton C, Evans E, Tate E, Webb J (۲۰۰۸) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change ۱۸, ۵۹۸-۶۰۶.
- Dahmardeh N, Aryaie F (۲۰۱۰) Zabol airplan development and the role of entrepreneurship on the Sistan economic development, First international conference on management, innovation and entrepreneurship, Tehran. (In Persian)
- Ebrahimzadeh A (۲۰۰۱) Rural migration; Causes and consequences; Case study the Sistan and Balouchesta province. Quarterly of geographical researschs ۶۰, ۵۶-۷۳. (In Persian)
- Fussel H (۲۰۰۷) Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change ۲(۱۷), ۱۵۵-۱۶۷.
- Gilbert C (۱۹۹۵) Studying disaster: a review of the main conceptual tools. International Journal of Mass Emergencies and Disaster ۱۳, ۲۳۱-۲۴۰.
- Gloede O, Menkhoff L, Waibel H (۲۰۱۵) Shocks, individual risk attitude, and vulnerability to poverty among rural households in Thailand and Vietnam. World Development ۷۱(۰), ۵۴-۷۸.
- Haghighatjou P, Behniya A, (۲۰۰۶) Iranian river border problems and proposed solutions Case Study: Helmand River, The first regional conference on optimal utilization of water resources and river basins Shahre Kord (In Persian).
- Hybel A.M, Godskesen B, Rygaard M (۲۰۱۵) Selection of spatial scale for assessing impacts of groundwater-based water supply on freshwater resources. Journal of Environmental Management ۱۶۰, ۹۰-۹۷.
- Iran Ministry of Industry (۲۰۱۳) Industry, trade and mines according to the statistics and data, Department of Planning of Iran Ministry of Industry, Mine and Trade (In Persian).
- Iran water master plan (۲۰۰۶) Economic report of water master plan studies of the Iran Eastern watersheds, Iran Ministry of Energy (In Persian).
- Iran water master plan (۲۰۱۱) Water resources master plan studies of Iran eastern basins, Iran Ministry of Energy. (In Persian).

- Shahverdi D, Kiyani A (۲۰۰۱) Assessment of the relationship between social capital and sustainable development of the local economy using TOPSIS in Zabol, Conference of Sustainable Architecture and Urban Development, Tehran (In Persian).
- Sistan Census Bureau (۲۰۰۶) Reported Sistan and Baluchestan registration of births and deaths, Registered annually at the segregated city Department of Sistan-Baluchistan province (In Persian).
- Steckley M (۲۰۰۶) The Impact of governance on disaster vulnerability, Ontario, Canada,; Waterloo.
- Sterman, J (۲۰۰۰) Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world, Irwin/McGraw-Hill.
- Sterman J, Oliva R, Linderman K, Bendoly E (۲۰۱۵) System dynamics perspectives and modelling opportunities for research in operations management. Journal of Operations Management. In Press.
- Valenzuela-Ceballos S, Castañeda G, Rioja-Paradela T, Carrillo-Reyes A, Bastiaans E (۲۰۱۵) Variation in the thermal ecology of an endemic iguana from Mexico reduces its vulnerability to global warming. Journal of Thermal Biology ۴۸(۰):۵۶-۶۴.
- Varis O, Kummu M, Lehr C, Shen D (۲۰۱۴) China's stressed waters: Societal and environmental vulnerability in China's internal and transboundary river systems. Applied Geography ۵۳(۰):۱۰۵-۱۱۶.
- Vincent K, Cull T (۲۰۱۳) Climate vulnerability. Pielke, R.A. (ed), pp. ۱۸۳-۱۸۷, Academic Press, Oxford.
- Vörösmarty CJ, Pahl-Wostl C, Bhaduri A (۲۰۱۳) Water in the anthropocene: New perspectives for global sustainability. Current Opinion in Environmental Sustainability ۵(۶):۵۳۵-۵۳۸.
- Zabol master plan (۲۰۰۷) Analysis and conclusion of the status quo and offer suggestions patterns, Tash Consultant Engineers (In Persian).
- Pedro-Monzonís M, Solera A, Ferrer J, Estrela T, Paredes-Arquiola J (۲۰۱۵) A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. Journal of Hydrology ۵۲۷:۴۸۲-۴۹۳.
- Polsky C, Neff R, Yarnal B (۲۰۰۷) Building comparable global change vulnerability assessments: the vulnerability scoping diagram. Global Environmental Change ۱۷:۴۷۲-۴۸۵.
- Rafieian M, Rezaie M, Asgari A, Shayan S (۲۰۱۰) The concept of resilience and their indicators in the disaster management community. J. Landuse Planning ۴:۳۸-۲۸ (In Persian).
- Reispour K, Tavousi T, Khosravi M (۲۰۰۸) Drought and its unintended consequence on plant ecosystem of lake Hamun, First national conference on Iran lakes, Ahvaz (In Persian).
- Richardson G.P (۱۹۹۱) System dynamics: simulation for policy analysis from a feedback perspective. In Qualitative simulation modeling and analysis, Springer, New York.
- Richmond B (۱۹۹۳) Systems thinking: critical thinking skills for the ۱۹۹۰s and beyond. System Dynamics Review ۲:۱۱۳-۱۳۳.
- Rose A (۲۰۰۷) Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. Environmental Hazards ۷:۳۸۳-۳۹۸.
- Sahraie A, Tahmasbi G (۲۰۱۲) The impact of urban development on security policy with an emphasis on Sistan and Baluchistan province., National Conference on Border Cities and Security, Challenges and Strategies, Zabol (In Persian).
- Senge PM (۱۹۹۷) The fifth discipline. Measuring Business Excellence ۱(۳):۴۶-۵۱.
- Shahbazbegian MR, Sadeghi M (۲۰۱۳) System analysis of effective mechanisms on Sistan sustainability versus water deficit emphasizing on land use planning, Fifth National Conference on Water Resources Management, Tehran (In Persian).