Integrated Watershed Management, Spring, 2024, 4(1), 46-60 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/IWM.2024.2018715.1120 **Online ISSN: 2783-4581**

Application of systems thinking approach in the extreme events analysis (Case study: Karoun Basin)

Payam Amouzegari[1], Arash Malekian[1]*, Khaled Ahmadaali[1], Mehdi Ghorbani[1], Seyed Hamzeh Safavi Homami[2]

1- Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Department of Regional Studies, Faculty of Law and Political Science, University of Tehran, Tehran, Iran

***Corresponding Author:** Malekian@ut.ac.ir

(Received: 26 December 2023 Revised: 18 January 2024 Accepted: 23 January 2024)

Extended Abstract

Introduction: The growing global population and increasing demands have significantly intensified the pressure on natural resources and created inherent instability in watershed ecosystems and the complex ecological processes essential for habitat preservation, biodiversity conservation, erosion mitigation, soil formation, water retention, environmental stability, and cultural fulfillment have encountered disruptions. The inter-connected adaptability challenges within human-natural systems, intensified by climate change, bring more uncertainty that complicates the planning and management of ecosystem services in the watersheds. This uncertainty often results in flawed decision-making in water resources utilization and environmental management, contributing to instability and a shift toward critical thresholds in watersheds. This study adopts a systemic approach to analyze the Karoun Basin as a dynamic human-nature system, exploring five systemic analysis patterns and their impacts on water resource management paradigm.

Materials and methods: The research progresses through three crucial steps. Firstly, the current status of the Karoun Basin is outlined based on extensive literature studies, characterizing the water system as a complex, adaptive entity. Secondly, leveraging a diverse range of research literature, five recognized structures in dynamic system analysis are explored. These structures offer a detailed understanding of the interconnectedness of human-nature systems, providing insights into the impact of human behavior on water resources management in the Karoun Basin. In the final step, using a systemic thinking approach, the study explores the occurrence of extreme events. This approach enhances the understanding of how extreme events interact with human activities, influencing the sustainability of the Karoun Basin.

Results and Discussion: The outcomes highlight the inherent risk of a linear approach to water resource management in the Karoun Basin, which is because of the lack of systemic thinking. This approach disrupts various relationships within the water system, leading to instability and worsening extreme events such as floods, droughts, and water disputes. The systemic investigation reveals recurrent behaviors that align with recognized structures in dynamic systems analysis, referred to as ancient patterns. Understanding and addressing these patterns are crucial for achieving sustainability and ensuring the continuous provision of ecosystem services.

Conclusion: Depending solely on short-term solutions, without considering long-term consequences in water resource management worsens water scarcity issues and intensifies social conflicts within watershed units. Solutions for Karoun Basin can be categorized into mitigating (hard) and adaptive (soft) scenarios. Mitigating measures address immediate needs, including advanced water storage and distribution infrastructure, while adaptive solutions incorporating policy measures are crucial for aligning the managed system with fluctuating water availability levels. A comprehensive resolution requires the simultaneous implementation of both strategies, recognizing the interconnected nature of human-nature systems and embracing sustainability principles.

Keywords: Adaptation, Climate change, Water resources, System archetypes

Citation: Amouzegari, P., Malekian, A., Ahmadaali, K., Ghorbani, M., & Safavi Homami, S. H. (2024). Application of systems thinking approach in the extreme events analysis (Case study: Karoun Basin). *Integrated Watershed Management*, 4 (1), 46-60. doi: 10.22034/iwm.2024.2018715.1120

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، صفحات (۶۰-۴۶) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/IWM.2024.2018715.1120

کاربست رویکرد تفکر سیستمی در تحلیل وقایع حدی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کارون)

پیام آموزگاری[۱]، آرش ملکیان*[۱]، خالد احمدآلی[۱]، مهدی قربانی[۱]، سیدحمزه صفوی همامی[۲]

۱- گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه مطالعات منطقه‌ای، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

***نویسنده مسئول:** Malekian@ut.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۱۰/۲۸ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۱/۰۳)

چکیده مبسوط

مقدمه: رشد جمعیت و طبیعتاً افزایش نیاز و تقاضا موجب تحمیل فشار بر منابع طبیعی و ناپایداری در کارکرد حوزه‌های آبخیز شده است به‌طوری‌که رفتار اکوسیستم در حفاظت از زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، مهار فرسایش و رسوب، خاک سازی و ذخیره آب، مطبوعیت محیط‌زیستی، رفع نیازهای فرهنگی و به‌طورکلی ارائه مستمر خدمات اکوسیستمی دچار اختلال شده است. پویندگی و تغییرپذیری اجزای سیستم‌های انسانی-طبیعی که تغییرات اقلیمی آن را پیچیده‌تر کرده است، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای بهره‌وری پایدار از خدمات اکوسیستمی حوزه آبخیز را با عدم قطعیت همراه می‌سازد. به‌طوری‌که تصمیم‌گیری برای بهره‌برداری از منابع آب و سایر کالاهای مشاع محیط زیستی توأم با خطا می‌شود. خطا در تصمیم‌گیری به‌تدریج زمینه را برای ظهور ناپایداری واحد حوزه آبخیز و حرکت به سمت آستانه‌ها مهیا می‌کند. در پژوهش کنونی با اتکا به رویکرد تفکر سیستمی حوزه آبخیز کارون به‌عنوان یک سیستم انسانی-طبیعی در نظر گرفته شده و پنج مورد از کهن‌الگوهای تحلیل سیستمی شامل تراژدی منابع مشترک، درمان‌های بدتر از درد، انتقال فشار از راه‌حل‌های اساسی به راه‌حل‌های موقتی، تشدید رقابت و تنزل اهداف به‌منظور واکاوی در سیاست‌گذاری‌های مدیریت منابع آب بررسی شده است. این ساختارها که در ادبیات تحلیل سیستم شناخته‌شده هستند به تصمیم‌گیران و مدیران برای حل بخش عمده‌ای از مشکلات یک سیستم کمک می‌کنند.

مواد و روش‌ها: پژوهش کنونی در سه گام اصلی انجام شده است. در گام اول پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای وضعیت موجود حوزه آبخیز کارون بیان شده است و ماهیت سامانه آب از نظر قرارگیری در دسته‌ی سیستم پیچیده و یا سیستم سخت مشخص می‌شود. در گام دوم با استناد به ادبیات پژوهش پنج مورد از مهم‌ترین ساختارهای شناخته شده در تحلیل پویایی سیستم که کارایی مناسبی برای درک درهم تنیدگی سیستم‌های انسانی-طبیعی دارند به‌منظور بررسی اثرگذاری رفتار انسان در مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز کارون بررسی شده است. در گام سوم بر اساس رویکرد تفکر سیستمی چگونگی رخداد وقایع حدی و نقش آن‌ها در پایداری حوزه آبخیز کارون بررسی شده است.

نتایج و بحث: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نگرش خطی در مدیریت منابع آب که معلول خلأ تفکر سیستمی است از طریق انقطاع در زنجیره‌ای از روابط گوناگون سامانه آب با دیگر اجزای اکوسیستم موجب ناپایداری و تشدید وقایع حدی مثل سیل، خشک‌سالی، نزاع بر سر آب و ... در حوزه آبخیز کارون شده است. واکاوی مبتنی بر تفکر سیستمی در این پژوهش نشان می‌دهد که برخی از رفتارهای تکراری در حوزه آبخیز کارون ساختارهای شناخته‌شده‌ای در رویکرد پویایی سیستمی هستند که تحت عنوان کهن‌الگوهای تحلیل سیستم در حوزه آبخیز کارون فعال هستند. کارکرد نهایی حوزه آبخیز کارون در گرو شناسایی، مهار و تغییر این ساختارها به سمت پایداری و ارائه مستمر خدمات اکوسیستمی است.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اتکا به اقداماتی که موجب دستیابی به نتایج دلبخواه کوتاه‌مدت می‌شوند و عدم توجه به اثرات بلندمدت تصمیم‌سازی در مدیریت منابع آبی در نهایت به تقویت مشکل کمبود آب و بروز درگیری‌های اجتماعی در واحد حوزه آبخیز منجر خواهد شد. به‌طورکلی راهکارهای موجود برای مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز کارون در دو گروه تسکین‌دهنده (مسکن) و درمان‌محور (سازگارانه) دسته‌بندی می‌شوند. راهکارهای مسکن معمولاً از جنس سخت و شامل راه‌حل‌های فنی نظیر حفر چاه، سدسازی، انتقال آب و ... هستند که هدف آن‌ها تسکین درد کمبود آب از طریق افزایش عرضه آب در کوتاه‌مدت است و معمولاً توسط مدیران حوزه آب اعمال می‌شوند؛ اما راهکارهای سازگارانه (انطباقی) معمولاً از جنس نرم و شامل راهکارهای سیاستی هستند که با هدف سازگاری سامانه تحت مدیریت با موجودی آب در سطوحی بالاتر از اختیار مدیران آب اعمال می‌شوند. حل مشکلات مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز کارون به اعمال توأمان راهکارهای تسکینی و تطبیقی نیاز دارد.

کلمات کلیدی: سازگاری، تغییر اقلیم، منابع آب، کهن‌الگوی سیستمی

استناد: آموزگاری، پ.، ملکیان، آ.، احمدآلی، خ، قربانی، م؛ و صفوی همامی، س.ح. (۱۴۰۲). کاربست رویکرد تفکر سیستمی در تحلیل وقایع حدی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کارون). *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز* (۱)۴، ۶۰-۴۶.

حق چاپ: حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

واحد حوزه آبخیز به‌عنوان محیطی پویا دربرگیرنده مجموعه‌ای از روابط درهم‌تنیده و جدایی‌ناپذیر بین انسان و سامانه آب است که در حیطه سیستم‌های انسانی-طبیعی دسته‌بندی می‌شود (Meadows, 2008). پویندگی و تغییرپذیری اجزای این سیستم‌ها که تغییرات اقلیمی[1] آن را پیچیده‌تر کرده است، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای بهره‌وری پایدار از خدمات اکوسیستمی[2] حوزه آبخیز را با عدم قطعیت همراه می‌سازد. این درهم‌ریختگی موجب شده تا تصمیم‌گیری برای بهره‌برداری عقلانی از منابع آب و سایر کالاهای مشاع محیط زیستی توأم با خطا شود (Pahl-Wostl, 2007; Sivakumar, 2011; Kundzewicz *et al.*, 2018). از طرفی رشد جمعیت و طبیعتاً افزایش نیاز و تقاضا موجب تحمیل فشار بر منابع طبیعی و ناپایداری در کارکرد حوزه‌های آبخیز شده است (Cropper & Griffiths, 1994; Timah *et al*, 2008). به‌طوری‌که رفتار اکوسیستم در حفاظت از زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، مهار فرسایش و رسوب، خاک سازی و ذخیره آب، مطبوعیت محیط‌زیستی، رفع نیازهای فرهنگی و به‌طورکلی ارائه مستمر خدمات اکوسیستمی دچار اختلال شده است (Alilou *et al.*, 2019). این در حالی است که در مسیر توسعه ایران قدرت سیاسی تصمیم‌گیران نسبت به مقوله‌های آمایش سرزمین و ملاحظات آبی اولویت داشته و توسعه استان‌های مستقر در حوزه‌های آبخیز کشور به‌صورت نامتوازن انجام شده است (Ashraf *et al.*, 2017)؛ بنابراین احتمال رخداد وقایع حدی[3] نظیر سیل، خشک‌سالی، فرونشست و منازعات اجتماعی افزایش یافته و بستر خطرناکی برای تداوم تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران شکل گرفته است (Maghrebi *et al.*, 2020) وقایع حدی به دنبال ناپایداری اکوسیستم و در جهت رسیدن به تعادل در حوزه آبخیز آشکار می‌شوند (Albeverio *et al*, 2006). استناد به آخرین گزارش‌های علمی هیات بین‌المللی تغییر اقلیم[4]، در آینده‌ی نزدیک تغییرات آب و هوایی برای خاورمیانه کاهش بارش‌ها را به دنبال دارد و این منطقه خشک‌تر می‌شود. لذا کمبود فیزیکی منابع آب در ایران نیز تشدید می‌شود (Kahil *et al.*, 2015; MansouriDaneshvar *et al*, 2019). از طرف دیگر توسعه ناهمگون کشور موجب کمبود اقتصادی آب شده است به‌طوری‌که در برخی از مناطق کشور مثل استان‌خوزستان زیرساخت‌های موردنیاز برای بهره‌وری و استحصال از آب در نظر گرفته نشده است (Madani *et al.*, 2016). با توجه به تهدید پیری در هرم سنی جمعیت کشور و تلاش جدی دولت برای افزایش جمعیت، روزبه‌روز سرانه آب برای شهروندان ایرانی کمتر می‌شود (Mehri *et al*, 2020). آن‌طور که از روند افزایشی سدسازی و طرح‌های انتقال آب پیداست، می‌توان استنباط داشت که سیاست‌های کلان کشور در چند دهه اخیر روی مدیریت عرضه آب تمرکز داشته است و رویکرد کاهش مصرف آب در تنظیم سیاست‌های کلان آبی مدنظر نبوده است (Madani *et al.*, 2016). انکار پیچیدگی ذاتی سامانه‌های انسانی- طبیعی و درک نکردن روابط درهم‌تنیده سامانه آب با دیگر زیرسیستم‌های حوزه آبخیز باعث کاهش چشمگیر موجودی منابع آب شده است به‌طوری‌که تنوع زیستی در معرضخطر انقراض قرار گرفته است و جوامع انسانی نیز گرفتار خشک‌سالی‌های انسان‌ساخت[5] شده‌اند (AghaKouchak *et al*, 2015; AghaKouchak *et al*, 2021). از طرفی عطش توسعه موجب شده تا بدون توجه به وضعیت رو به افول منابع آبی کشور، حقابه‌های قانونی و البته غیرمعقول فراوانی برای ذینفع‌ها تعریف شود. به‌طوری‌که می‌توان گفت کشور ایران با ورشکستگی آبی[6] روبرو شده است

1. Climate change
2. Ecosystem services
3. Extreme events
4. **I**ntergovernmental **P**anel on **C**limate **C**hange
5. Anthropogenic drought
6. Water-Bankrupt

یعنی میزان تقاضا و مصرف آب از میزان ورودی آب به اکوسیستم بیشتر شده است (Madani *et al.*, 2016). لذا مدیریت منابع آب ایران به یک دوراهی تلخ رسیده است که مدیریت انسانی بزرگ‌ترین نقش را در نابودی منابع آبی آن داشته است (Noori *et al.*, 2021)؛ یا باید شیوه مدیریت موجود ادامه پیدا کند که در این صورت تداوم تخریب سرزمین را به دنبال دارد یا اینکه سیاست جدیدی برای مدیریت منابع آب کشور اتخاذ شود (Madani *et al.*, 2016) که لازمه آن درک پیچیدگی سیستم انسانی-طبیعی و کشف روابط درهم‌تنیده سامانه آب با سایر زیرسیستم‌های حوزه آبخیز است (Mirchi *et al.*, 2012). یکی از رویکردهای مدیریتی قابل‌اتکا و موردپذیرش جامعه جهانی برای درک پیچیدگی روابط درهم‌تنیده موجود در هر اکوسیستم رویکرد مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز[1] است (Heathcote, 2009; Haregeweyn *et al.*, 2012; Mirchi *et al.*, 2012). این رویکرد بیانگر تشبیه حوزه آبخیز به یک کلان سیستم بوده که متشکل از زیرسیستم‌های متعددی است و عملکرد نهایی سیستم برآیندی از نحوه ارتباط و تعامل بین اجزاء سیستم است (Forrester, 1961,1970; Meadows *et al.*, 1972; Richmond, 1993; Ford, 1999; Sterman, 2010). برای پی بردن به چگونگی روابط مابین این زیرسیستم‌ها از رویکرد تفکر سیستمی[2] استفاده می‌شود که نوعی از نگرش جامع در مواجهه با پویایی سیستم است (Meadows, 2008) و می‌تواند جنبه‌های مختلف اثرگذار در عملکرد حوزه آبخیز را جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب شناسایی کند (Hjorth & Bagheri., 2006; Simonovic, 2012). همسو با توافق قطعی جامعه علمی مبنی بر وجود ارتباط تنگاتنگ بین سامانه آب با سایر حوزه‌های دیگر پژوهشگران در زمینه‌های مختلف رویکرد تفکر سیستمی را برای مطالعه سامانه آب بکار گرفته‌اند. در یکی از اساسی‌ترین پژوهش‌ها Hjorth و Bagheri (۲۰۰۶) مفاهیم پویایی سیستم را در سیستم‌های پیچیده بررسی کردند و دریافتند که تغییر طرز تفکر خطی به غیرخطی پیش‌نیاز اصلی توسعه پایدار است. در پژوهش دیگری Winz و همکاران (۲۰۰۹) ادبیات پویایی سیستم را در تحلیل سامانه آب بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که مطالعه سیستم‌های پیچیده و پویا مثل سامانه آب بدون رویکرد تفکر سیستمی همراه با خطا می‌شود. همچنین Mirchi و همکاران (۲۰۱۲) با تکیه‌بر لزوم به‌کارگیری تفکر سیستمی برای مدیریت منابع آب الگوهای تحلیل سیستم مثل تراژدی منابع مشترک[3]، محدودیت رشد[4]، موفقیت برای موفق[5] و درمان‌های بدتر از درد[6] را بررسی کردند. در پژوهش دیگری Gohari و همکاران (۲۰۱۳) با تکیه‌بر مفاهیم پویایی سیستم و الگوی درمان‌های بدتر از درد به تحلیل سیستمی طرح‌های انتقال آب در حوزه آبخیز زاینده‌رود پرداختند و دریافتند که این طرح‌ها پاسخی کوتاه‌مدت و مسکن به مشکل کم‌آبی بوده و در بلندمدت موجب تشدید تنش آبی و منازعات اجتماعی در این حوضه شده است. رویکرد تفکر سیستمی به‌ویژه در حوزه سیاست‌گذاری منابع آب مدنظر پژوهشگران متعددی قرار گرفته است (Simonovic & Fahmy, 1999; Xu *et al.*, 2002; Stewart *et al.*, 2004; Sehlke & Jacobson, 2005; Madani & Mariño, 2009; Hassanzadeh *et al.*, 2012; Kotir, 2017; Anandhi & Kannan, 2018; Mashaly & Femald, 2020; Ram & Iefan, 2021; Polaine *et al*, 2022; WanRosely & Voulvoulis, 2023; Eidin *et al.*, 2023). مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر و با شدت یافتن مشکلات گوناگون حوزه آب در سرتاسر جهان، پژوهشگران در تلاش هستند تا نگاه جزیره‌ای به سامانه آب را به یک نگاه سیستمی و اکوسیستم محور تغییر دهند. هم‌فکر با جامعه علمی در پژوهش

1. Integrated Watershed Management, IWM
2. Systems thinking

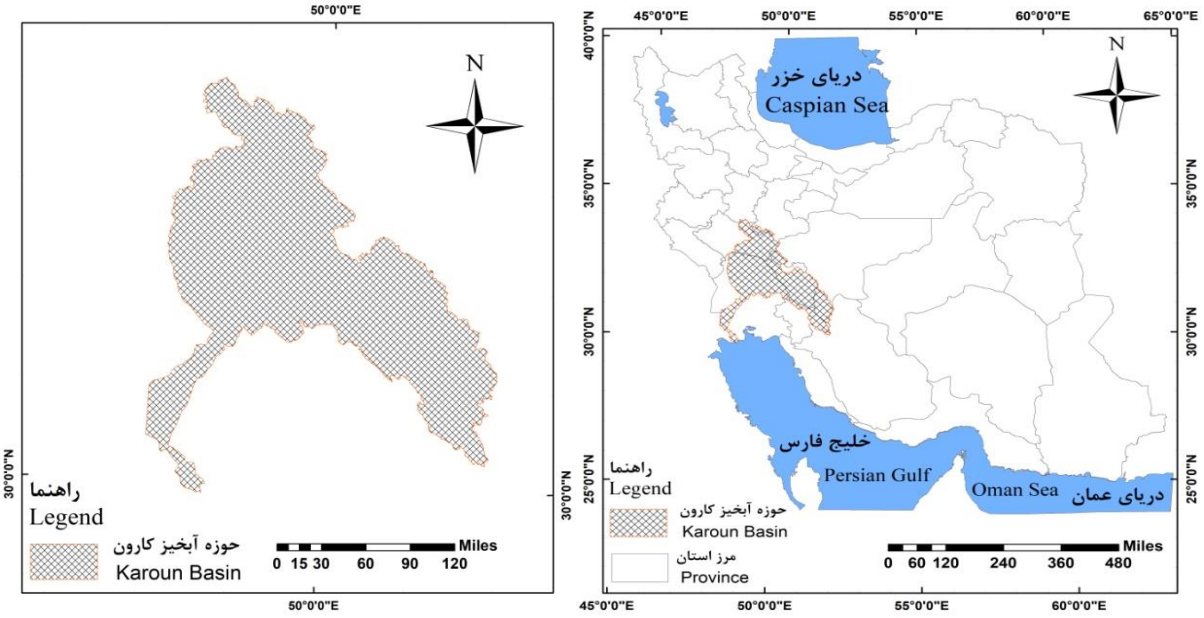
3. Tragedy of the Commons
4. The Limits to Growth
5. Success to the Successful
6. Fixes that Backfire

پیش‌رو با اتکا به رویکرد تفکر سیستمی و کهن ساختارهای شناخته‌شده در آن که نوآوری پژوهش کنونی است به واکاوی سیاست‌گذاری‌های کلان مدیریت منابع آب و تبعات آن در شکل‌گیری وقایع حدی در قالب یک حوزه آبخیز پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

با توجه به گستره وسیع کشور ایران و به‌منظور درک آسان‌تر پیچیدگی ذاتی مدیریت منابع آب در مقاله کنونی رویکرد تفکر سیستمی در مورد حوزه آبخیز کارون بزرگ به‌عنوان یکی از پرچالش‌ترین حوزه‌های آبخیز کشور بررسی شده است. کارون بزرگ یکی از حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور است که با مساحتی حدود ۶۶۴۹۹ کیلومترمربع در غرب و جنوب‌غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). این حوضه بارش‌های جوی را از محدوده هشت استان کشور به سمت خلیج‌فارس زهکشی می‌کند و با اروندرود نیز ارتباط دارد. وجود منابع آبی غنی، تنوع فرهنگی، وجود سازندهای کارستی و مسئله فرار آب، مقوله سدسازی و انتقال آب حوزه آبخیز کارون را نسبت به سایر حوزه‌های آبخیز کشور چالش‌زا کرده است. در چند دهه اخیر مجموعه‌ای از سیاست‌گذاری‌های مدیریتی نشات گرفته از نگاهی جزءنگر فشار وارد بر منابع آبی این حوزه آبخیز را تشدید کرده است (Yousefi *et al.*, 2018)؛ به همین دلیل پژوهش حاضر با تکیه‌بر رویکرد تفکر سیستمی سیاست‌گذاری‌های کلان مدیریت منابع آب و تبعات آن در پایداری حوزه آبخیز کارون بزرگ را موردبررسی قرار می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز کارون

Figure 1- Geografical location of Karoun Basin

روش تحقیق

در گام اول پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای وضعیت موجود حوزه آبخیز کارون بیان شده است و ماهیت سامانه آب از نظر قرارگیری در دسته‌ی سیستم پیچیده[1] و یا سیستم سخت[2] مشخص می‌شود (Hjorth & Bagheri, 2006). در گام دوم با استناد به ادبیات پژوهش پنج مورد از مهم‌ترین ساختارهای شناخته‌شده در تحلیل پویایی سیستم که کارایی مناسبی برای درک درهم تنیدگی سیستم‌های انسانی-طبیعی دارند (Wolstenholme, 2003; Senge, 2006; Mirchi *et al.*, 2012). به‌منظور بررسی اثرگذاری رفتار انسان در مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز کارون بررسی شده است.

۱. الگوی تراژدی منابع مشترک، نشان‌دهنده وضعیتی است که استفاده از منابع مشاع موجب شکل‌گیری رقابتی مخرب بین ذینفعان می‌شود (Hardin, 1968; Loaiciga, 2004; Madani, 2010).

۲. الگوی درمان‌های بدتر از درد تداعی‌کننده حالتی است که راه‌حل‌های پیشنهادی برای بهبود کارکرد سیستم به پیچیده‌تر شدن مسئله منجر شود (Madani & Marino, 2009; Gohari *et al.*, 2013).

۳. الگوی انتقال فشار از راه‌حل‌های اساسی به راه‌حل‌های موقت بیانگر ساختار مشخصی از سیستم است که باعث وابسته شدن به راه‌حل‌های موقت و کنار گذاشتن راه‌حل‌های اساسی می‌شود (Wolstenholme, 2003).

۴. الگوی تشدید رقابت حالتی از رشد نامتوازن اجزای سیستم است و موجب می‌شود تا در حوزه مورد رقابت رشد فزاینده حاصل شود اما این رشد در ازای تضعیف در سایر زمینه‌ها است (Senge, 2006).

۵. الگوی تنزل اهداف منعکس‌کننده وضعیتی از سیستم است که موجب کاهش تدریجی تحقق اهداف از پیش تعریف‌شده و درنتیجه راضی شدن به وضع موجود است (Wolstenholme, 2003).

در گام سوم با اتکا به رویکرد تفکر سیستمی به توضیح چگونگی رخداد وقایع حدی و نقش آن‌ها در پایداری حوزه آبخیز کارون پرداخته شده است.

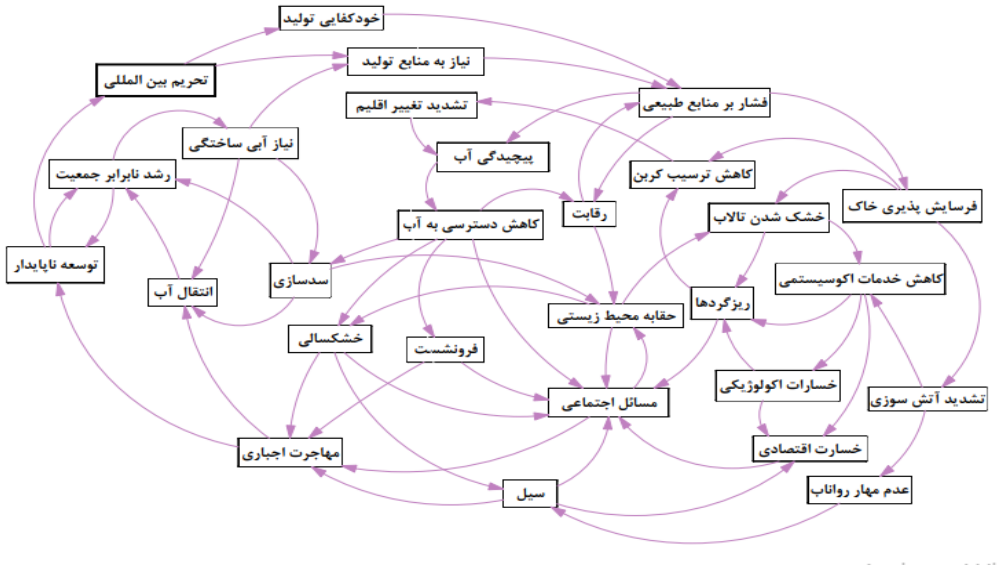
نتایج

استناد به مطالعات کتابخانه‌ای در شرایط کنونی توسعه ناپایدار موجب شده تا منابع آبی و سایر کالاهای مشاع محیط‌زیستی در حوزه آبخیز کارون تحت تأثیر ملاحظات سیاسی در معرض رقابت بین استان‌های واقع در این حوضه قرار گیرند. مطالعات صرفاً فنی در حیطه سدسازی و رونق طرح‌های انتقال آب بدون توجه به تفکر سیستمی و اعمال ملاحظات محیط‌زیستی نشان می‌دهد که حوزه آبخیز کارون از جانب سیاست‌گذاران و مدیران معادل یک سیستم سخت و ایستا در نظر گرفته شده است. درحالی‌که حوزه آبخیز کارون در گروه سیستم‌های پیچیده و پویا دسته‌بندی می‌شود. ازآنجایی‌که نحوه‌ی رفتار با هرکدام از این دو نوع سیستم کاملاً متفاوت است، لذا سیاست‌گذاری‌های کلان مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز کارون با خطا همراه بوده و موجب توسعه نامتوازن شده است که پیامد آن تشدید وقایع حدی نظیر سیل، خشک‌سالی، نزاع بر سر آب، فرونشست زمین و... در حوزه آبخیز کارون است (شکل ۲).

تفکر سیستمی در حوزه آبخیز کارون و تعمق در شیوه تعامل زیرسیستم‌های گوناگون مرتبط با سامانه آب، نشان می‌دهد ساختارهای شناخته‌شده متعددی از کهن‌الگوهای سیستمی[3] در این حوضه شکل گرفته و فعال است (جدول ۱).

1. Complex System
2. Complicated System

3. System archetypes



شکل ۲- رویکرد تفکر سیستمی حاکم در حوزه آبخیز کارون

Figure 2- Systems thinking approach in Karoun Basin

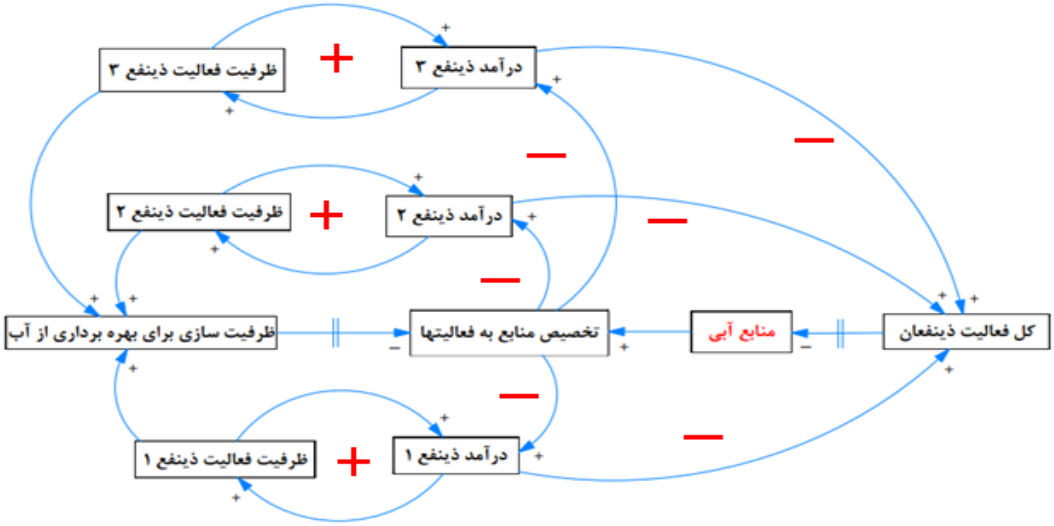
جدول ۱- کهن‌الگوهای تحلیل سیستمی در حوزه آبخیز کارون بزرگ

Table 1- System archetypes in Karoun Basin

سیستم	کهن‌الگوهای سیستمی	شواهد موجود (علائم)	وضعیت (فعال/غیرفعال)
	تراژدی منابع مشترک	رقابت بر سر منابع مشاع و محدود	فعال
حوزه آبخیز	درمان‌های بدتر از درد	تسکین مقطعی و تشدید مشکل کم‌آبی	فعال
کارون	انتقال فشار	حذف علائم (کوتاه‌مدت) و تقویت عوامل کمبود آب (بلندمدت)	فعال
	تشدید رقابت	رشد پروژه‌های هیدرولیکی در ازای تضعیف در سایر زمینه‌ها	فعال
	تنزل اهداف	کاهش انتظارات و راضی شدن به حفظ وضع موجود	فعال

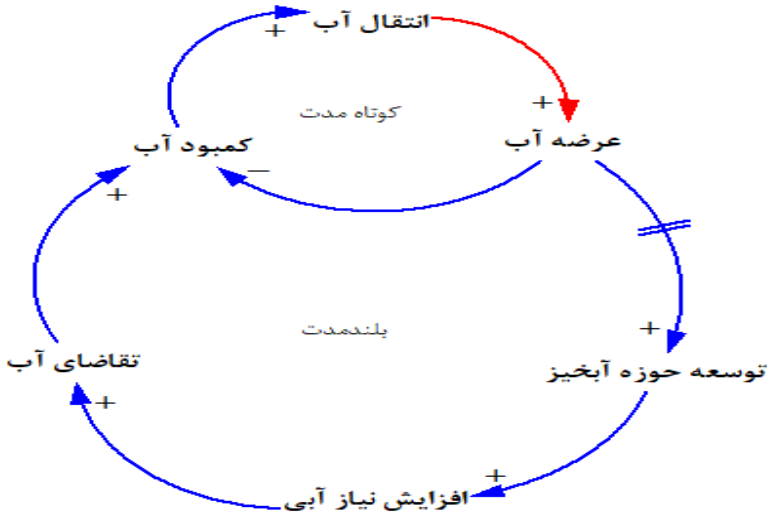
تراژدی منابع مشترک: همانند سایر مناطق کشور در حوزه آبخیز کارون نیز توسعه منوط به وجود منابع آب است. با توجه به رشد جمعیت، توسعه ناپایدار، کاهش کیفیت آب، اثر منفی تغییرات اقلیم بر میزان دسترسی به آب و سایر عواملی که در اضمحلال منابع آبی حوزه آبخیز کارون اثرگذاری داشته‌اند می‌توان چنین اظهار داشت که سرانه منابع آب در این حوضه کاهش یافته است. از طرفی منابع آب عام‌المنفعه و مشاع هستند لذا رقابت بر سر منابع آبی مشترک شدت گرفته و موجب بروز درگیری‌های اجتماعی و نزاع بر سر منابع آب شده است. محدودیت و کم شدن منابع آب حوزه آبخیز کارون درنهایت باعث کاهش رشد و به آسیب دیدن تمام ذینفع‌های آب منتهی شده است (شکل ۳).

درمان‌های بدتر از درد: در استان‌های مختلف واقع در حوزه آبخیز کارون رویکردهای تسکین‌محور که در پی عرضه آب هستند بر رویکردهای درمان‌محور که در پی بهینه‌سازی مصرف آب هستند، ترجیح داده شده‌اند. این رویکردها باوجوداینکه در کوتاه‌مدت موجب مخفی نگه‌داشتن علائم توسعه ناپایدار شده‌اند اما در بلندمدت موجب تقویت عوامل توسعه ناپایدار شده‌اند و پیچیدگی مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز کارون را بیشتر کرده‌اند (شکل ۴).



شکل ۳-کهن‌الگوی تراژدی منابع مشترک در حوزه آبخیز کارون

Figure 3- Tragedy of the commons system archetypes in Karoun Basin



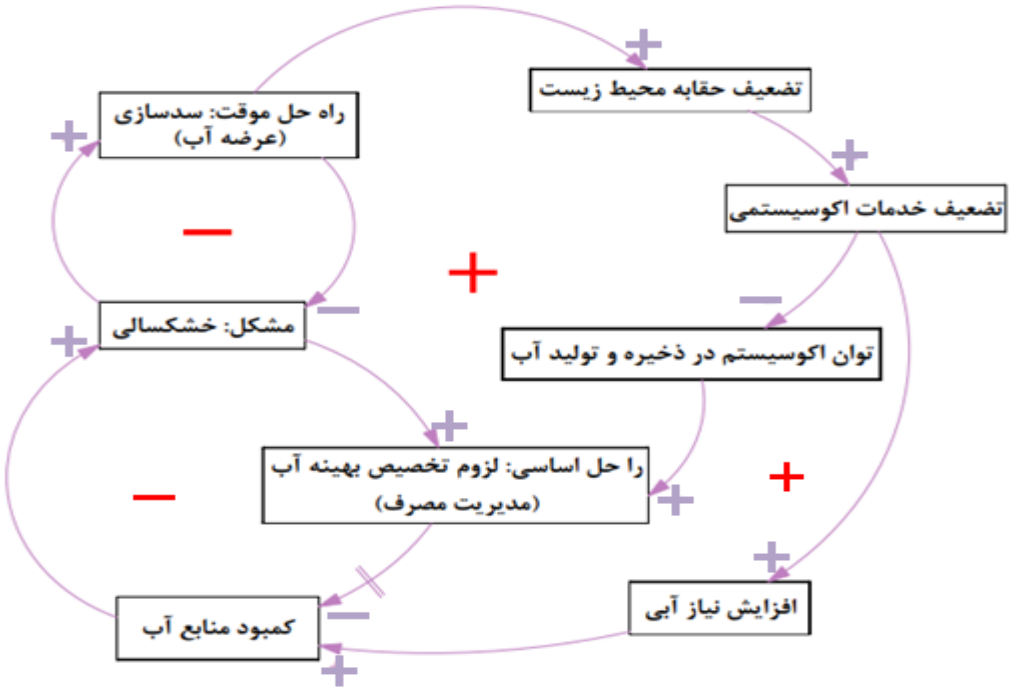
شکل ۴- کهن‌الگوی درمان‌های بدتر از درد در حوزه آبخیز کارون

Figure 4- Fixes that backfire system archetypes in Karoun Basin

انتقال فشار از راه‌حل‌های اساسی به راه‌حل‌های موقت

تلاش تصمیم‌گیران و مدیران برای از بین بردن علائم و نشانه‌های مشکل و وابستگی به راه‌حل‌های موقت موجب کنار گذاشته شدن توجهات نسبت به درمان ریشه‌ای مشکلات منابع آبی در حوزه آبخیز کارون شده است (شکل ۵).

تشدید رقابت: یکی از تله‌هایی که مدیران و تصمیم‌گیران حوزه آبخیز کارون را گرفتار کرده است تمرکز روی موفقیت ناشی از اجرای پروژه‌های عظیم هیدرولیکی شامل طرح‌های انتقال آب و سدسازی‌ها در ازای تضعیف در سایر زمینه‌ها اعم از کنترل فرسایش خاک، مهار سیلاب، حفظ تنوع زیستی و... است (جدول ۲).



شکل ۵- الگوی انتقال فشار از راه‌حل‌های اساسی به راه‌حل‌های موقت در حوزه آبخیز کارون

Figure 5- Transferring pressure system archetypes in Karoun Basin

جدول ۲- کهن‌الگوی تشدید رقابت در حوزه آبخیز کارون

Table 2- Intensification of competition system archetypes in Karoun Basin

اقدامات مدیریتی در اکوسیستم		وضعیت کلی عملکرد اقدام مدیریتی		منابع
		موفقیت	شکست	
عرضه آب	حفر چاه	*		(Gohari *et al*, 2013) (Maghrebi *et al*, 2020)
	سدسازی	*		
	انتقال آب	*		
حفاظت آب‌وخاک	حفظ جنگل‌ها و مراتع		*	(Noori *et al*,2021) (Madani *et al*, 2016) (Yousefi *et al*,2018)
	مهار سیلاب		*	
	حفاظت کیفی رودخانه‌ها		*	
	حفاظت کمی و کیفی آبخوان‌ها		*	
سلامت اکوسیستم	حفاظت از تنوع زیستی		*	(Farashi and Shariati, 2017) (Yousefi *et al*, 2019) (Ghanian *et al*,2022)
	حفاظت از تالاب‌ها		*	
	حفاظت از خدمات اکوسیستمی		*	

به‌طورکلی این ساختارها از طریق درهم‌ریختگی مجموعه‌ای از حلقه‌های بازخوردی مثبت و منفی در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت شکل گرفته و بنابر پویندگی که دارند موجب بازتولید همدیگر شده به حالتی که هم‌افزایی بین کهن‌الگوهای تحلیل سیستمی از طریق ابهام در مرز تفکیک علائم و عوامل مرتبط با مسائل آبی موجب پیچیدگی مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز کارون شده است (جدول ۳).

جدول ۳- کهن‌الگوهای تحلیل سیستمی در حوزه آبخیز کارون
Table 3- System archetypes in Karoun Basin

سیستم	علائم	عوامل	کهن‌الگو (ساختار شناخته‌شده)
حوزه آبخیز کارون	رقابت و درگیری و نزاع بر سر دسترسی به منابع آب	کمبود منابع آب و تخصیص بیشتر از توان حوضه	تراژدی منابع مشترک
	خشکیدگی اکوسیستم و تقویت ریشه مشکل در بلندمدت	عدم در نظر گرفتن اثر بلندمدت تصمیمات	درمان‌های بدتر از درد
	وابستگی به راه‌حل موقت مثل انتقال آب و...	عدم اجرای راه‌حل اساسی	انتقال فشار
	رشد در زمینه سدسازی و انتقال آب در ازای تضعیف در سایر زمینه‌ها شامل، مهار فرسایش، حفظ تنوع زیستی و...	عدم در نظر داشتن همه اجزای حوزه آبخیز و رشد نامتوازن	تشدید رقابت
	رها شدن هدف تبیین شده (خودکفایی گندم) و راضی شدن به حفظ وضعیت موجود (تأمین آب شرب)	درک نادرست از وضع موجود و هدف‌گذاری اشتباه	تنزل اهداف

کارکرد نهایی حوزه آبخیز کارون در گرو شناسایی، مهار و تغییر این ساختارها به سمت پایداری و ارائه مستمر خدمات اکوسیستمی است که نیازمند به‌کارگیری ترکیبی از راه‌حل‌های مدیریتی است (جدول ۴).

جدول ۴- راه‌حل‌های مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز کارون
Table 4- Water resource management solutions in Karoun Basin

مشکل	کمبود آب	
	رویکرد ترکیبی (تسکینی-سازگارانه)	
راهکارهای مدیریتی	رویکرد تسکین‌دهنده (مسکن)	رویکرد درمان‌محور (سازگارانه)
جنس	سخت	نرم
شیوه اجرا	فنی	سیاستی
زمان اثرگذاری	کوتاه‌مدت	بلندمدت
هدف	افزایش عرضه آب	مدیریت مصرف
مثال	حفر چاه، سدسازی و انتقال آب	سازگاری با کمبود آب
حوزه اختیارات	مدیران منابع آب	بالاتر از اختیارات مدیران آب

بحث

به‌منظور حفظ پایداری و جلوگیری از برهم ریختن نظم ذاتی حوزه آبخیز کارون بایستی هرگونه تصمیم‌گیری برای بهره‌وری از خدمات اکوسیستمی ازجمله استحصال آب در چارچوب تفکر سیستمی گرفته شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نگرش خطی در مدیریت منابع آب که معلول خلأ تفکر سیستمی است از طریق انقطاع در زنجیره‌ای از روابط گوناگون سامانه آب با دیگر اجزای اکوسیستم موجب ناپایداری و تشدید وقایع حدی مثل سیل، خشک‌سالی، نزاع بر سر آب و... در حوزه آبخیز کارون شده است که با نتایج پژوهش Hjorth و Bagheri (۲۰۰۶)، Winz و همکاران (۲۰۰۹) و Gohari و همکاران (۲۰۱۳) تطابق دارد. توقف درگیری‌های

اجتماعی و جلوگیری از منازعات آبی در حوزه آبخیز کارون مستلزم بازنگری در برنامه‌های توسعه در قالب تخصیص منابع آبی بین ذینفعان مبتنی بر وضعیت موجود و توان اکوسیستم است. واکاوی مبتنی بر تفکر سیستمی در این پژوهش نشان می‌دهد که برخی از رفتارهای تکراری در حوزه آبخیز کارون ساختارهای شناخته‌شده‌ای در رویکرد پویایی سیستمی هستند که تحت عنوان کهن‌الگوهای تحلیل سیستم در حوزه آبخیز کارون فعال هستند. این ساختارها به‌صورت تدریجی زمینه را برای تکثیر خطا در تصمیم‌گیری و قرارگیری در مدار تخریب مهیا ساخته‌اند که با نتایج Wolstenholme (۲۰۰۳)؛ Senge (۲۰۰۶)؛ Madani و Marino (۲۰۰۹)؛ Madani (۲۰۱۰) و Mirchi و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. برای تصمیم‌سازی و مدیریت جامع حوزه آبخیز کارون بایستی سیاست‌های اعمالی در مدیریت منابع آب را مبتنی بر از بین بردن این ساختارها تدوین نمود و تلاش شود تا بجای مخفی نمودن نشانه‌ها و علائم، عوامل بروز تخریب از بین برده شود (جدول ۳). این پژوهش نشان می‌دهد که اتکا به اقداماتی که موجب دستیابی به نتایج مطلوب کوتاه‌مدت می‌شوند و عدم توجه به اثرات بلندمدت تصمیم‌سازی در مدیریت منابع آبی درنهایت به تقویت مشکل کمبود آب و بروز درگیری‌های اجتماعی در واحد حوزه آبخیز منجر خواهد شد که با نتایج Lowi (۱۹۹۵) و Madani (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی راهکارهای موجود برای مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز کارون در دو گروه تسکین‌دهنده (مسکن) و درمان‌محور (سازگارانه) دسته‌بندی می‌شوند. راهکارهای مسکن معمولاً از جنس سخت و شامل راه‌حل‌های فنی نظیر حفر چاه، سدسازی، انتقال آب و... هستند که هدف آن‌ها تسکین درد کمبود آب از طریق افزایش عرضه آب در کوتاه‌مدت است و معمولاً توسط مدیران حوزه آب اعمال می‌شوند؛ اما راهکارهای سازگارانه (انطباقی) معمولاً از جنس نرم و شامل راهکارهای سیاستی هستند که با هدف سازگاری سامانه تحت مدیریت با موجودی آب در سطوحی بالاتر از اختیار مدیران آب اعمال می‌شوند. حل مشکلات مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز کارون به اعمال توأمان راهکارهای تسکینی و تطبیقی هم به‌صورت واکنشی و هم به‌صورت کنشگرایانه نیاز دارد. از راه‌حل‌های تطبیقی یا رویکرد کنشگرایانه معمولاً استقبال نمی‌شود چراکه اعمال آن‌ها مستلزم داشتن دید کلان و درک درهم‌ریختگی سیستم‌های انسانی-طبیعی است که به حوزه اختیاراتی وسیع‌تر از حوزه منابع آب نیاز دارد. این در حالی است که موضوع آب به‌طورکلی در سطح عالی سیاست‌گذاری، موضوعی غیراضطراری تلقی می‌شود که در مقایسه با موضوعات حوزه‌های اقتصاد، دفاع، بهداشت و... فاقد اولویت است؛ بنابراین در اکثر موارد، تغییرات جدی صورت گرفته در حوزه منابع آب متکی به وقوع رخدادهای حدی نظیر سیل، خشک‌سالی، تنش‌های اجتماعی و نزاع بر سر آب، مهاجرت و... هستند چراکه این رخدادها می‌توانند با ایجاد حس اضطرار اولویت موضوع آب را در سطوح سیاست‌گذاری و عمومی به‌طور موقت بالا ببرد. وقایع حدی درواقع پنجره فرصت را برای تغییراتی می‌گشایند که اعمال آن‌ها در شرایط عادی از لحاظ سیاسی پرهزینه است و تمایلی برای اجرای آن‌ها از جانب سیاست‌گذاران وجود ندارد؛ بنابراین وقایع حدی باوجود تحمیل هزینه‌های چشمگیر در کوتاه‌مدت، می‌توانند موجب بهبود عملکرد سامانه‌های آب در حوزه آبخیز کارون شوند؛ اما تکیه‌بر وقوع رخدادهای حدی برای پیشرفت با رویکرد واکنشی می‌تواند بسیار پرهزینه و خطرناک باشد چراکه تغییرات واکنشی معمولاً پرهزینه‌تر از تغییرات کنشگرایانه و پیشگیرانه هستند و بعلاوه رخدادهای حدی گاهی اوقات می‌تواند سامانه‌های فیزیکی و اجتماعی را به‌طور کامل نابود کنند. برای

تغییر رویکرد واکنشی به کنشگرایانه می‌توان از اطلاع‌رسانی و آموزش عمومی برای تقویت و ایجاد تداوم در حس اضطرار در مورد مسئله آب در سطح عمومی و سیاسی بهره برد.

References

AghaKouchak, A., Feldman, D., Hoerling, M., Huxman, T. & Lund, J. (2015). Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature*, 524(7566), 409-411. https://doi.org/10.1038/524409a

AghaKouchak, A., Mirchi, A., Madani, K., Di Baldassarre, G., Nazemi, A. & Alborzi, A. (2021). Anthropogenic drought: Definition, challenges, and opportunities. *Review of Geophysics*, 59(2), e2019RG000683. https://doi.org/10.1029/2019RG000683

Albeverio, S., Jentsch, V. & Kantz, H. (Eds). (2006). *Extreme events in nature and society*. Springer Science & Business Media.

Alilou, H., Rahmati, O., Singh, V. P., Choubin, B., Pradhan, B., Keesstra, S. & Sadeghi, S.H.R. (2019). Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo-environmental and topohydrological criteria. *Journal of Environmental Management*, 232, 22-36. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.019

Anandhi, A. & Kannan, N. (2018). Vulnerability assessment of water resources–translating a theoretical concept to an operational framework using systems thinking approach in a changing climate: case study in Ogallala Aquifer. *Journal of Hydrology*, 557, 460-474. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.032

Ashraf, B., AghaKouchak, A., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., R. Moftakhari, H., Mirchi, A. & Madani, K. (2017). Quantifying anthropogenic stress on groundwater resources. *Scientific reports*, 7(1), 12910. https://doi.org/10.1038/s41598-017-12877-4

Cropper, M. & Griffiths, C. (1994). The interaction of population growth and environmental quality. *The American Economic Review*, 84(2), 250-254.

Eidin, E., Bielik, T., Touitou, I., Bowers, J., McIntyre, C., Damelin, D. & Krajcik, J. (2023). Thinking in terms of change over time: opportunities and challenges of using system dynamics models. *Journal of Science Education and Technology*, 1-28. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10047-y

Farashi, A. & Shariati, M. (2017). Biodiversity hotspots and conservation gaps in Iran. *Journal for nature conservation*, 39, 37-57. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2017.06.003

Ford, F. A. (1999). *Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems*. Island press.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics mit press cambridge*. MA.

Forrester, J. W. (1970). *Urban dynamics*. IMR; Industrial Management Review (pre-1986), 11(3), 67.

Ghanian, M., Ghoochani, O. M., Noroozi, H. & Cotton, M. (2022). Valuing wetland conservation: a contingent valuation analysis among Iranian beneficiaries. *Journal for Nature Conservation*, 66, 126140. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126140

Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M. & Madani, K. (2013). Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. *Journal of Hydrology*, *491*, 23-39. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.021

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons: the population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. *Science*, 162(3859), 1243-1248. https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243

Haregeweyn, N., Berhe, A., Tsunekawa, A., Tsubo, M. & Meshesha, D. T. (2012). Integrated watershed management as an effective approach to curb land degradation: a case study of the Enabered watershed in northern Ethiopia. *Environmental management*, 50, 1219-1233. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9952-0

Hassanzadeh, E., Zarghami, M. & Hassanzadeh, Y. (2012). Determining the main factors in declining the Urmia Lake

level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, 26, 129-145. https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8

Heathcote, I. W. (2009). *Integrated watershed management: principles and practice*. John Wiley & Sons.

Hjorth, P. & Bagheri, A. (2006). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 38(1), 74-92. https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.04.005

Kahil, M. T., Dinar, A. & Albiac, J. (2015). Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. *Journal of Hydrology*, 522, 95-109. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.042

Kotir, J. (2017). *Systems thinking and modelling for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin*, West Africa. https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.04.005

Kundzewicz, Z. W., Krysanova, V., Benestad, R. E., Hov, Ø., Piniewski, M. & Otto, I. M. (2018). Uncertainty in climate change impacts on water resources. *Environmental Science & Policy*, 79, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.008

Loaiciga, H. A. (2004). Analytic game—theoretic approach to ground-water extraction. *Journal of Hydrology*, 297(1-4), 22-33. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.006

Lowi, M. R. (1995). *Water and power: The politics of a scarce resource in the Jordan River basin* (No. 31). Cambridge University Press.

Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of hydrology*, 381(3-4), 225-238.

Madani, K. (2019). The value of extreme events: What doesn't exterminate your water system makes it more resilient. *Journal of Hydrology*, 575, 269-272. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.049

Madani, K. & Mariño, M. A. (2009). System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud River basin. *Water resources management*, 23, 2163-2187. https://doi.org/10.1007/s11269-008-9376-z

Madani, K., AghaKouchak, A. & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian studies*, 49(6), 997-1016. https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286

Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., AlAnsari, N. & Madani, K. (2020). Iran's agriculture in the anthropocene. *Earth's Future*, 8(9), e2020EF001547. https://doi.org/10.1029/2020EF001547

Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3

Mashaly, A. F. & Fernald, A. G. (2020). Identifying capabilities and potentials of system dynamics in hydrology and water resources as a promising modeling approach for water management. *Water*, 12(5), 1432. https://doi.org/10.3390/w12051432

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea green publishing.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth*: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind.

Mehri, N., Messkoub, M. & Kunkel, S. (2020). Trends, determinants and the implications of population aging in Iran. *Ageing International*, 45(4), 327-343. https://doi.org/10.1007/s12126-020-09364-z

Mirchi, A., Madani, K., Watkins, D. & Ahmad, S. (2012). Synthesis of system dynamics tools for holistic conceptualization of water resources problems. *Water resources management*, 26, 2421-2442. https://doi.org/10.1007/s11269-012-0024-2

Noori, R., Maghrebi, M., Mirchi, A., Tang, Q., Bhattarai, R., Sadegh, M. & Madani, K. (2021). Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(25), e2024221118. https://doi.org/10.1073/pnas.2024221118

Pahl-Wostl, C. (2007). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water resources management*, 21, 49-62. https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4.

Polaine, X. K., Dawson, R., Walsh, C. L., Amezaga, J., Peña-Varón, M., Lee, C. & Rao, S. (2022). Systems thinking for water security. Civil Engineering and Environmental Systems, 39(3), 205-223. https://doi.org/10.1080/10286608.2022.2108806

Ram, S. A. & Irfan, Z. B. (2021). Application of System Thinking Causal Loop Modelling in understanding water Crisis in India: A case for sustainable Integrated Water resources management across sectors. *Hydro Research*, 4, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.02.001

Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System dynamics review*, 9(2), 113-133. https://doi.org/10.1002/sdr.4260090203

Sehlke, G. & Jacobson, J. (2005). System dynamics modeling of transboundary systems: the Bear River basin model. *Groundwater*, 43(5), 722-730. https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00065.x

Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Broadway Business.

Simonovic, S. P. (2012). *Managing water resources: methods and tools for a systems approach*. Routledge.

Simonovic, S. P. & Fahmy, H. (1999). A new modeling approach for water resources policy analysis. *Water resources research*, 35(1), 295-304. https://doi.org/10.1029/1998WR900023

Sivakumar, B. (2011). Global climate change and its impacts on water resources planning and management: assessment and challenges. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 583-600. https://doi.org/10.1007/s00477-010-0423-y

Sterman, J. (2010). *Business dynamics* (p. 982). Irwin/McGraw-Hill c2000.

Stewart, S., Valdés, J., Gastelum, J., Brookshire, D., Aparicio, J., Hidalgo, J. & Velazco, I. (2004). A decision support system for demand management in the Rio Conchos Basin, México. Proceedings of hydrology: science & practice for the 21st Century. *British Hydrological Society* II, 487-494.

Timah, E. A., Ajaga, N., Tita, D. F., Ntonga, L. M. & Bongsiysi, I. B. (2008). Demographic pressure and natural resources conservation. *Ecological Economics*, 64(3), 475-483. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.024

Wan Rosely, W. I. H. & Voulvoulis, N. (2023). Systems thinking for the sustainability transformation of urban water systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(11), 1127-1147. https://doi.org/10.1007/s11269-006-9040-4

Winz, I., Brierley, G. & Trowsdale, S. (2009). The use of system dynamics simulation in water resources management. *Water resources management*, 23, 1301-1323. doi.org/10.1007/s11269-008-9328-7

Wolstenholme, E. F. (2003). Towards the definition and use of a core set of archetypal structures in system dynamics. *System Dynamics Review*, 19(1), 7-26. https://doi.org/10.1002/sdr.259

Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H. & Zhang, X. W. (2002). Sustainability analysis for Yellow River water resources using the system dynamics approach. *Water Resources Management*, 16, 239-261. https://doi.org/10.1023/A:1020206826669

Yousefi, M., Kafash, A., Valizadegan, N., Ilanloo, S. S., Rajabizadeh, M., Malekoutikhah, S. & Ashrafi, S. (2019). Climate change is a major problem for biodiversity conservation: A systematic review of recent studies in Iran. *Contemporary Problems of Ecology*, 12, 394-403. https://doi.org/10.1134/S1995425519040127

Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H. R., Zakizadeh, H. R. & Tabibian, S. (2018). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, 30-39.

https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034