

ارزیابی تاثیر آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در برابر مخاطرات محیطی (مطالعه حوضه آبریز کارون بزرگ در استان خوزستان)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در برابر مخاطرات محیطی در حوضه آبریز کارون بزرگ استان خوزستان، با بهره‌گیری از چارچوب تلفیقی ISR و SPS انجام شد. داده‌ها از طریق تحلیل مصاحبه‌های تخصصی با استفاده از نرم‌افزار AQDA گردآوری و کدگذاری شدند و پس از دسته‌بندی در چارچوب ISR با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) تحلیل شدند. برای اطمینان از کفایت حجم نمونه، از نرم‌افزار G*Power استفاده شد. در نهایت ۹۰ پرسشنامه معتبر از کارشناسان جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که ساختار روابط در مدل اولیه به صورت خطی از نیروی محرکه به پاسخ بود، اما در مدل توسعه یافته روابط بازگشتی و چرخه‌ای میان پاسخ و سایر مؤلفه‌ها ایجاد شد. همچنین مؤلفه پاسخ تأثیر منفی معنادار بر (نیروی محرکه: -0.610 ، فشار: -0.333 ، وضعیت: -0.266 ، اثر: -0.373) داشت که نشان‌دهنده ضعف عملکرد پاسخ‌های نهادی در کنترل چرخه آسیب‌پذیری است. در مدل اولیه مؤلفه اثر با بیشترین ضریب مسیر (0.828) نقش اصلی را داشت، اما در مدل توسعه یافته با وارد شدن پاسخ‌ها، مؤلفه نیروی محرکه به عنوان محرک اصلی با ضریب مسیر (0.872) برجسته شد. این جابه‌جایی اهمیت نشان‌دهنده آن است که در شرایط ضعف پاسخ‌های نهادی، تأثیر عوامل انسانی و اقلیمی به عنوان نیروی محرکه برجسته‌تر و تعیین‌کننده‌تر می‌شود و چرخه آسیب‌پذیری شکل پایداری به خود می‌گیرد. مقادیر R^2 مؤلفه‌ها بین 0.372 تا 0.704 قدرت تبیینی متوسط تا بسیار بالا مدل را نشان می‌دهد. بر این اساس، بازطراحی پاسخ‌ها از طریق اصلاحات نهادی، برنامه‌ریزی فضایی، نوسازی زیرساخت‌ها و حمایت از کشاورزی پایدار پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، مخاطرات، حکمرانی آب، حوضه کارون بزرگ

Assessment of the Impact of Water Governance System Vulnerability to Environmental Hazards (A Case Study of the Karun-e Bozorg Basin in Khuzestan Province)

Abstract

The present study aimed to assess the vulnerability of the water governance system to environmental hazards in the Karun-e Bozorg Basin, Khuzestan Province, using an integrated ISR and SPS framework. Data were collected through expert interviews, coded and analyzed using AQDA software, and subsequently categorized within the ISR framework. Structural equation modeling with partial least squares (PLS-SEM) was applied for analysis. To ensure adequate sample size, G*Power software was employed, resulting in 90 valid questionnaires collected from experts. The results revealed that in the initial model, the structure of relationships followed a linear pattern from driving forces to responses. However, in the extended model, feedback loops and cyclical relationships emerged between the response component and other elements. The response component showed significant negative effects on driving forces (-0.610), pressure (-0.333), state (-0.266), and impact (-0.373), indicating the weak performance of institutional responses in controlling the vulnerability cycle. In the initial model, the impact component played the main role with the highest path coefficient (0.828), but in the extended model, with the inclusion of responses, the driving force component became the main driver with a path coefficient of (0.872). This shift highlights that under weak institutional responses, human and climatic factors as driving forces become more prominent and decisive, leading to a more stable vulnerability cycle. The R^2 values of the components ranged from 0.372 to 0.704 , indicating moderate to very high explanatory power of the model. Accordingly, it is recommended that responses be redesigned through institutional reforms, spatial planning, infrastructure modernization, and support for sustainable agriculture.

Keywords: Vulnerability, Hazards, Water governance, Karun-e Bozorg Basin.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

This research investigates the vulnerability of the water governance system to environmental hazards, focusing on the Karun River Basin in Khuzestan Province, Iran. Water governance in this region faces increasing challenges due to environmental changes and

ineffective institutional responses. While various studies address water resource management, few adopt an integrated approach combining qualitative and quantitative methods. To fill this gap, the study applies an integrated DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impact, Response) framework alongside Partial Least Squares (PLS) modeling to explore key factors affecting governance vulnerability. The study's significance lies in its potential to inform environmental planning, public policy, and decision-making for sustainable water management in vulnerable regions. The target audience includes policymakers, environmental managers, researchers, and stakeholders in water governance

Method:

A mixed methods design was used integrating qualitative and quantitative approaches to comprehensively examine water governance challenges in Mazandaran province. The qualitative phase involved semi-structured expert interviews which guided the development of a structured questionnaire. The quantitative phase consisted of administering this questionnaire to a wider expert sample for statistical analysis.

Sampling Procedures:

The planned sample included all identified experts ($N = 110$), with 100 valid responses obtained. Power analysis using G*Power confirmed this sample size was sufficient to detect medium to large effect sizes with acceptable confidence. No interim analyses or stopping rules were applied.

Sample Size, Power, and Precision:

The intended sample size included all identified experts ($N = 110$) with an achieved sample size of 100 valid responses. Power analysis conducted using G*Power software confirmed that this sample size was sufficient to detect medium to large effect sizes with an acceptable confidence level. No interim analyses or stopping rules were applied during data collection.

Mixed Methods Research:

The mixed methods approach leveraged the strengths of both qualitative and quantitative data. Qualitative data were thematically analyzed using MAXQDA to inform the questionnaire design within the DPSIR framework. Quantitative data were analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), facilitating an integrated assessment of governance vulnerabilities and institutional dynamics.

Results:

Findings revealed strong causal relationships among DPSIR components. Human and natural pressures significantly influenced the status of water resources, resulting in substantial negative impacts. Drivers indirectly affected other components through pressures. Institutional responses, although linked to pressures, were found ineffective and occasionally exerted adverse effects on status and impacts.

Conclusion:

This research highlights the vulnerability of the water governance system to environmental hazards and the inefficiency of current institutional responses. It recommends revising governance models, strengthening infrastructure, adopting innovative technologies, and enhancing integrated water resources management. Future studies should incorporate more diverse datasets, additional social and environmental factors, and apply nonlinear and comparative analyses to deepen understanding of system dynamics.

Author Contributions:

Conceptualization by A. A. Barabadi; methodology by K. H. K. Alantari; software by A. A. Barabadi; validation by A. A. Barabadi; data collection, data organization, preparation of charts and figures, and writing—original draft preparation by M. Shariati; writing—review and editing by K. H. K. Alantari; supervision and project administration by A. A. Barabadi. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to all individuals who participated in this study.

Ethical Considerations

The authors adhered to ethical research standards and avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and any form of research misconduct.

Conflict of Interest

The author declares that there are no conflicts of interest related to his study

مقدمه

در دهه‌های اخیر، بحران آب همواره یکی از مهم‌ترین تهدیدهای جهانی بوده است (Pahl-Walden et al, 2017). فشارهای ناشی از تغییرات اقلیمی و رشد سریع جمعیت، منابع آب را با چالش‌های فزاینده‌ای مواجه ساخته و مدیریت و نظام حکمرانی آب را بیش از پیش دشوار کرده است (Benson et al, 2015). این عوامل نه تنها الگوهای تأمین و مصرف آب را تغییر داده‌اند، بلکه ظرفیت نهادی و مدیریتی بسیاری از کشورها را نیز به چالش کشیده‌اند (Partnership 2004; Crogrov & Rysberman 2014). نظام حکمرانی آب شامل مجموعه‌ای از ساختارها، نهادها، فرایندها و سازوکارهای سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اجرایی است که مسئول توسعه، مدیریت و ارائه خدمات آبی در سطوح مختلف هستند (Rogers & Hall 2003). پژوهش‌ها تأکید کرده‌اند که بحران جهانی آب بیش از آنکه ناشی از کمبود منابع باشد، بازتابی از ضعف در نظام حکمرانی آب است (Gadgil 2007; Sathiyajeyaraj 2022). حکمرانی آب ذاتاً با پیچیدگی و عدم قطعیت همراه است؛ پیچیدگی به این دلیل که منابع آب مرزهای اداری و بیوفیزیکی را در بر می‌گیرند و عدم قطعیت ناشی از اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی بر توزیع آب و نوسانات نامشخص در الگوهای بارش است (Vossmarty et al, 2000). در ایران، ضعف‌های نهادی و ساختاری نظام حکمرانی، آسیب‌پذیری آن را در برابر خشکسالی، سیلاب و بحران‌های کیفی آب افزایش داده است (اسلامی و رحیمی، ۱۳۹۸).

مطالعات آسیب‌پذیری، به عنوان پارادایمی نسبتاً جدید، به تصمیم‌گیری علمی برای توسعه پایدار و تاب‌آور منطقه‌ای کمک می‌کنند (Xie & Zhang 2023). آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب شامل حساسیت، توان انطباق و ظرفیت پاسخ‌دهی در برابر تهدیدات محیطی است و مؤلفه‌هایی مانند قرار گرفتن در معرض، حساسیت ساختاری، ظرفیت نهادی و تاب‌آوری در برابر شوک‌های اقلیمی و جمعیتی را در بر می‌گیرد (Liu et al, 2005; Alder 2006; Ekin & Liu 2006; Cude & Finch 2008; Kashik et al, 2021; Xu et al, 2024).

طبق گزارش IPCC (2022)، تأیید می‌کند که تغییرات اقلیمی در حال حاضر آثار منفی مستقیمی بر زندگی، سلامت، و چرخه هیدرولوژیکی دارد. تغییرات اقلیمی و نوسانات آن به عنوان چالش‌هایی اساسی برای نسل حاضر مطرح شده‌اند و به دلیل دخالت‌های انسانی در طبیعت، احتمالاً در آینده وخیم‌تر خواهند شد (Svoboda et al, 2020; Svoboda et al, 2022). تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری بر چرخه هیدرولوژیکی، الگوهای بارش، دما و وقوع پدیده‌های حدی (سیلاب، خشکسالی) نه تنها منابع آبی را تحت فشار قرار داده بلکه ظرفیت حکمرانی را نیز محدود ساخته است (Dadan et al, 2022). پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۷۰، منابع آب جهانی تا ۲۰ درصد کاهش یابد و اراضی تحت تنش آبی از ۱۹ به ۳۵ درصد افزایش یابد (Pakmehr et al, 2020). در کنار آن، رشد سریع جمعیت و شهرنشینی نیز فشار زیادی بر منابع آب و ساختارهای نهادی وارد کرده‌اند. تا سال ۲۰۵۰، تقاضای آب ممکن است تا ۵۵ درصد افزایش یابد که می‌تواند ۲۴۰ میلیون نفر را در معرض کمبود شدید آب قرار دهد و روند توسعه کشورهای در حال توسعه را مختل کند (Katamori et al, 2012; He et al, 2021; Majumdar & Amano, 2021).

استان خوزستان، با ۴۳ درصد مساحت حوضه کارون بزرگ و بهره‌مندی از منابع غنی آب و خاک و شرایط طبیعی و اقتصادی مساعد، به یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی، صنعت و آبی‌پروری تبدیل شده است؛ با این حال، توسعه سریع و بدون هماهنگی باعث فشار شدید بر منابع آب و خاک و افزایش آلودگی شده و در نهایت ظرفیت زیست‌محیطی منطقه را کاهش داده است (Hoseini & Zare, 2014). همچنین استان خوزستان به شدت در معرض آثار خشکسالی و تغییرات اقلیمی قرار دارد و ضعف در حکمرانی و مدیریت منابع آب، این بحران‌ها را تشدید کرده است (بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ارشدی و باقری، ۱۳۹۲).

وابستگی شدید فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری به منابع آب سطحی، به‌ویژه رودخانه کارون، در کنار فشار جمعیتی و تغییرات اقلیمی، نشان‌دهنده ناکارآمدی نظام حکمرانی در پاسخ به بحران‌هاست. ضعف ظرفیت نهادی، نبود هماهنگی بین دستگاه‌های مسئول، ناتوانی در پیش‌بینی و انطباق با تغییرات اقلیمی و سیاست‌گذاری‌های غیریکپارچه از جمله عوامل کاهش تاب‌آوری این نظام هستند. از این رو، این پژوهش با هدف تحلیل آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در برابر تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت در حوضه کارون بزرگ انجام می‌شود تا عوامل انسانی و محیطی مؤثر بر آن شناسایی و زمینه تقویت تاب‌آوری و سیاست‌گذاری پایدار فراهم گردد. پرسش اصلی آن است که نظام حکمرانی آب در این منطقه تا چه اندازه در برابر مخاطرات محیطی آسیب‌پذیر است، و چه عواملی در تضعیف یا تقویت آن نقش دارند؟

پیشینه پژوهش

از روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری محیطی بهره گرفته شده است از جمله ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در حوضه آبریز بختگان با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره $ELF-IR-HII$ (نصیرنیا و زبایی، ۱۳۹۵)، تهیه نقشه حساسیت‌پذیری کارست حوضه آبریز اخلمد با استفاده از $ELF-IR-HII$ (حری و همکاران، ۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌های رودخانه‌ای در حوضه رودخانه جراحی با رویکرد $R-BV$ (رستم‌اصل، ۱۳۹۹)، ارزیابی‌های آسیب‌پذیری سازگار و جامع برای سامانه‌های منابع آب در جهانی با تغییرات سریع با استفاده از روش تحلیل محتوای شاخص (Gordon & al, 2024)، ارزیابی آسیب‌پذیری خدمات اکوسیستمی چشم‌انداز تالاب با استفاده از مدل محرک-فشار-وضعیت-اثر-پایخ (M dekmohammad & J dhanishakib, 2017)، DSR تغییرات فضایی-زمانی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی در حوضه رودخانه شی‌یانگ چین با مدل حساسیت-تاب‌آوری-فشار $X-IR-P$ (et al, 2024)، آسیب‌پذیری منابع آب چین: تحلیل فضایی-زمانی (Cai & al, 2017)، ارزیابی‌های آسیب‌پذیری منابع آب با روش الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (Bogomeo & al, 2015)، اما مطالعات متعددی نیز وجود دارند که برای تحلیل جامع‌تر و سیستمی آسیب‌پذیری محیطی، به‌ویژه در حوزه حکمرانی آب، از ترکیب چارچوب DSR و مدل معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی (PLSM) استفاده کرده‌اند.

چارچوب مفهومی DSR (نیروی محرکه-فشار-وضعیت-تأثیر-پاسخ) که توسط آژانس محیط‌زیست اروپا (EPA) توسعه یافته است، یک مدل علی برای تحلیل روابط بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیط‌زیستی به‌شمار می‌رود. این مدل با شناسایی پیوندهای

۱- River Basin Vulnerability

2- Driving, Pressures, State, Impacts, Responses

۳ Sensitivity-Resilience-Pressure

۴ European Environment Agency

علت و معلولی بین عوامل اجتماعی-اقتصادی، فشارهای محیطی، وضعیت اکولوژیکی، پیامدهای انسانی و واکنش‌های سیاستی، امکان تحلیل جامع و یکپارچه سیستم‌های محیط‌زیستی را فراهم می‌سازد (Lewison et al, 2016). از سوی دیگر، مدل‌یابی معادلات ساختاری (SEM) به‌ویژه نسخه حداقل مربعات جزئی (PLS) به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیلی قوی برای آزمون مدل‌های مفهومی پیچیده با متغیرهای پنهان مطرح است. این روش برخلاف مبتنی بر کوواریانس، نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها ندارد و برای نمونه‌های کوچک‌تر و مدل‌هایی با ساختارهای پیچیده نیز مناسب است (Hair et al, 2021; Henseler et al, 2009). ترکیب مدل D-ISR با روش PLS-SEM در سال‌های اخیر در مطالعات مختلف مورد توجه قرار گرفته است، زیرا این رویکرد امکان تحلیل علی و کمی روابط بین مؤلفه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به شکل دقیق‌تری فراهم می‌کند. این ادغام رویکردی نوین برای تحلیل پویایی‌های محیطی و ارزیابی سیاست‌های پاسخ‌گو در حوزه‌هایی مانند آب، اقلیم، سکونتگاه‌ها و تاب‌آوری شهری ارائه می‌دهد. در حال حاضر، برخی مطالعات از PLS-SEM همراه با مدل D-ISR صورت گرفته است. مطالعات متعددی در سال‌های اخیر با استفاده از چارچوب D-ISR و مدل PLS-SEM به بررسی مسائل محیطی پرداخته‌اند:

(Sun et al, 2018) در پژوهشی، به ارزیابی فقر آبی در مناطق روستایی چین با استفاده از مدل D-ISR پرداخته است. شاخص‌های فقر آبی با توجه به روابط علی این مدل توسعه یافته و سپس با استفاده از مدلسازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) تحلیل شده‌اند. نتایج نشان داد که فقر آبی در این مناطق به صورت خوشه‌ای با الگوهای "پایین-پایین" و "بالا-بالا" توزیع شده است. همچنین، پیشنهاد شد که سیاست‌گذاران از منابع آبی بهتر در مناطق شرقی و مرکزی برای کمک به رفع فقر آبی در مناطق شمال غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی استفاده کنند.

(Kistiadi et al, 2022) در مطالعه خود، راهبردهایی برای مدیریت تغییرات اقلیمی در مناطق شهری از چارچوب D-ISR همراه با سنجش از دور برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی در شهر جاکارتا استفاده شده است. روش‌های تحقیق وزن آنتروپی و PLS-SEM (به منظور ارزیابی پایداری شهری به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که رشد جمعیت و صنعتی شدن جاکارتا منجر به فشارهای زیست‌محیطی مانند افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب شده و تغییراتی در وضعیت محیطی مانند کاهش منابع آب و افزایش آلودگی هوا ایجاد کرده است. برای مقابله با این تأثیرات، نیاز به اقدامات دولتی نظیر افزایش ظرفیت زیرساخت‌های آب و فاضلاب و آموزش مصرف بهینه آب ضروری است.

(Zhao et al, 2021) در تحقیق خود، از چارچوب D-ISR و روش PLS-SEM برای ارزیابی تاب‌آوری اکولوژیکی شهری در ۳۵ شهر چین استفاده شده است. نتایج نشان داد که شاخص تاب‌آوری اکولوژیکی شهری (UR I) به‌طور سالانه افزایش می‌یابد، اما از مناطق ساحلی توسعه یافته به مناطق داخلی کاهش دارد. عوامل نیروی محرکه، وضعیت و پاسخ باعث افزایش UR I و عوامل فشار و تأثیر باعث کاهش آن می‌شوند. تمام روابط علی مدل تأیید شد و تاب‌آوری اکولوژیکی در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ کاهش یافته و کمتر از مقدار ایده‌آل بوده است.

۱ Structural Equation Modeling

۲ Partial Least Squares

۳ Urban Ecological Resilience Index

Zhang et al. (2024) در پژوهشی با استفاده از مدل D-BSR و PLS-SEM به ارزیابی سکونتگاه‌های انسانی روستایی در ۳۱ استان چین بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ پرداختند و نتایج نشان داد که نیروی محرکه اجتماعی-اقتصادی باعث ایجاد فشار اکولوژیکی و تأثیرات زیست‌محیطی شده که همراه با اقدامات واکنشی، وضعیت سکونتگاه‌های روستایی را تغییر داده است. از نظر زمانی، بهبود در تمامی استان‌ها مشاهده شد و از نظر مکانی، کیفیت سکونتگاه‌ها با الگوی قوی در شرق و ضعیف در غرب توزیع شده است. بعد فشار بیشترین مقدار و کمترین تغییر را داشت. این نتایج به دولت برای بهبود محیط زندگی روستایی کمک می‌کند.

با توجه به پیشینه نظری و مطالعات تجربی، پژوهش حاضر نیز با بهره‌گیری از چارچوب DPSIR و روش PLS-SEM، به تحلیل علی متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری محیطی نظام حکمرانی آب در حوضه آبریز کارون بزرگ می‌پردازد. مدل مفهومی این پژوهش بر مبنای روابط علی بین پنج مؤلفه اصلی DPSIR طراحی شده است:

- نیروهای محرکه (مانند رشد جمعیت، تغییر اقلیم، توسعه صنعتی و شهرنشینی ...)
- فشارها (شامل برداشت بیش‌ازحد آب، آلودگی و تخریب منابع طبیعی...)
- وضعیت محیطی (کیفیت و کمیت منابع آب، وضعیت زیرساخت‌ها...)
- تأثیرات (تغییر بحران‌های آب، آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی...)
- پاسخ‌ها (سیاست‌ها، برنامه‌های مدیریت منابع و اقدامات کنترلی...)

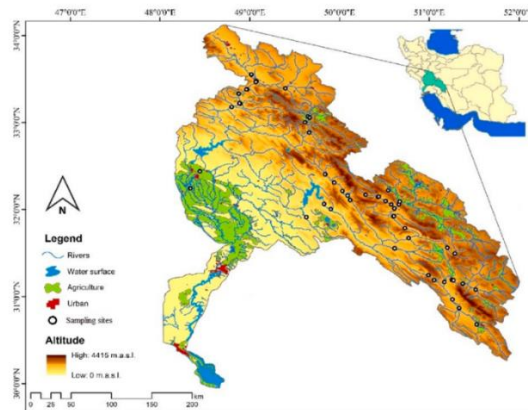
با بهره‌گیری از روش PLS-SEM، این روابط به‌صورت کمی تحلیل و ارزیابی خواهند شد تا تصویری دقیق از آسیب‌پذیری حاکمیتی در بخش آب ارائه شود.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

محدوده مکانی این تحقیق حوضه آبریز کارون بزرگ واقع در استان خوزستان می‌باشد. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، حوضه آبریز کارون بزرگ بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس با مساحت ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع است (افشین، ۱۳۷۳)، که در محدوده ۸ استان اصفهان، چهارمحال بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، مرکزی، فارس و همدان واقع شده است (مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۳). در این میان استان خوزستان بیشترین سهم را در مساحت و تولید آب (۴۳ درصد مساحت) دارد. حوضه آبریز کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که از ارتفاعات زاگرس میانی سرچشمه می‌گیرند، که بین طول‌های ۴۸°-۰۰' تا ۵۲°۳۰' شرقی و عرض‌های ۲۹°۵۴' تا ۳۲°۳۷' شمالی قرار دارد. که ۴/۱ درصد از مساحت کل کشور را در برمی‌گیرد و پرآب‌ترین و طولانی‌ترین رود ایران در این حوضه واقع شده است (شرکت جاباب، ۱۳۸۴).

رودخانه کارون بزرگ از اتصال رودخانه‌های دز و کارون در محل بند قیر، ۴۰ کیلومتری شمال اهواز تشکیل می‌شود. از کل منابع آب‌های سطحی مورد استفاده در سطح استان که معادل ۱۱۷۶۰/۳۲ میلیون متر مکعب برآورد شده است، ۹۰/۴۶ درصد آن برابر با ۱۰۶۳۸/۹ میلیون متر مکعب در بخش کشاورزی و مابقی آن به ترتیب ۵/۲۶، ۳/۹۳ و ۰/۳۵ درصد در بخش شیلات، شرب و صنعت و معدن به مصرف می‌رسد (سازمان برنامه و بودجه استان خوزستان، ۱۳۹۲).

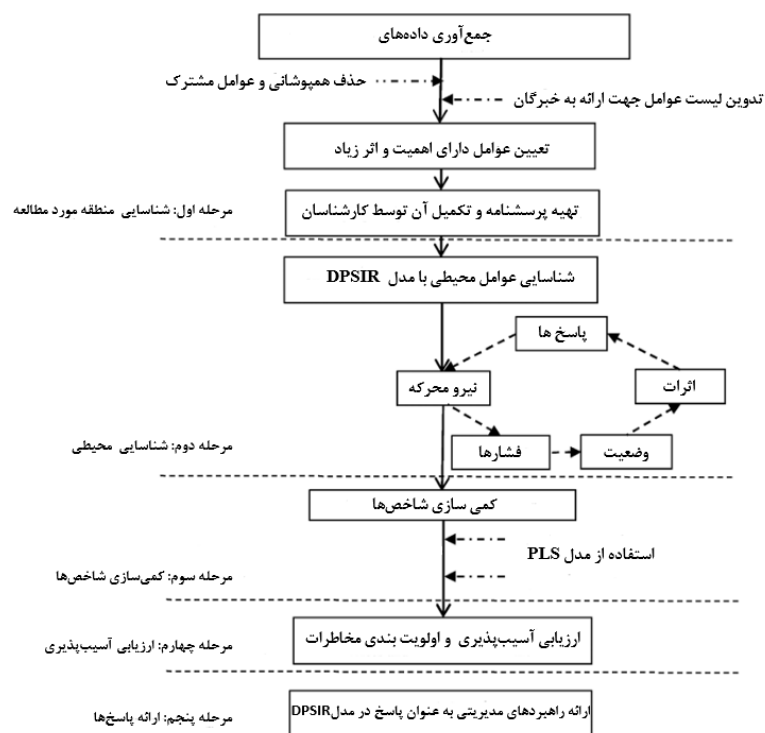


شکل (۱): حوزه آبریز کارون بزرگ (Gh et al., 2023)

تنظیم مدل

چارچوب نظری DPSIR و مدل ساختاری PLS

مدل DPSIR یک چارچوب علی است که برای توصیف تعاملات بین جامعه و محیط‌زیست استفاده می‌شود (Maxim et al., 2009). بنابراین در مطالعه حاضر ابتدا به شناسایی و تحلیل آسیب‌پذیری منابع با استفاده از چارچوب مفهومی DPSIR پرداخته شد. سپس برای تحلیل داده‌ها و تعیین روابط علی بین متغیرها، از روش مدل ساختاری (Hart et al., 2021) این پژوهش از نظر هدف کاربردی است؛ داده‌ها به صورت پیمایشی گردآوری شده‌اند و روابط بین متغیرها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی تحلیل شده است. جامعه آماری این پژوهش، کارشناسان و متخصصان در زمینه آب در سطح سازمان آب‌و برق خوزستان، جهاد کشاورزی، محیط‌زیست و توسعه نیشکر در استان خوزستان می‌باشند، که با توجه به محدود بودن کارشناسان حوزه آب در بخش‌های مختلف جمع‌آوری اطلاعات از آن‌ها با استفاده از پرسشنامه، به صورت سرشماری انجام گرفت و در نهایت از ۱۱۰ پرسشنامه توزیع شده ۹۰ فقره از جامعه آماری مورد مطالعه جمع‌آوری شد. ابزار اصلی جمع‌آوری اطلاعات پس از انجام مصاحبه با کارشناسان خبره و تعیین مهمترین عوامل آسیب‌های محیطی تاثیرگذار بر نظام حکمرانی، پرسشنامه بود که شامل ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کارشناسان، مقیاس‌های مربوط به عوامل انسانی (تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی)، مقیاس‌های مربوط به عوامل طبیعی (تغییرات اقلیم) بود.



شکل (۲): چارچوب روش‌شناسی در ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه کارون بزرگ برگرفته از مدل (Malekmohammadi & Jahanishakib, 2017)

شناسایی و تحلیل آسیب‌پذیری منابع آب

شکل (۳) دو مسئله کلیدی در ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه رودخانه را نشان می‌دهد. برای هر مسئله کلیدی، عامل اجتماعی، اقتصادی یا زیست‌محیطی، همراه با فشار و تغییرات در وضعیت منابع آب ناشی از آن شناسایی شده است. در این مورد، کمبود منابع آب توسط رشد جمعیت هدایت می‌شود که فشارهایی چون شهرنشینی و توسعه اقتصادی را به همراه دارد و این فشارها بر وضعیت منابع آب تأثیر می‌گذارند. تأثیرات این فشار اضافی شامل فقر و تخریب محیط‌زیست است که نمایانگر تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی هستند. سیاست‌های آب و اصلاح الگوی حکمرانی به عنوان یک پاسخ مرکزی شناسایی شده‌اند. این دو مسئله شناسایی شده در اینجا، نمونه‌هایی از مسائل منابع آب در سطح پایه و مسائل متغیر منابع آب هستند (Pegram et al, 2013). کمبود منابع آب یک مسئله پایه است که به رشد کلی جمعیت مربوط می‌شود. در حالی که نوسان منابع آب یک مسئله متغیر است که توسط تغییرات اقلیمی هدایت می‌شود (Huang & Cui, 2009). انتظار می‌رود که تغییرات اقلیمی باعث افزایش افراط‌های هیدرولوژیک شود (Tayeb et al, 2015; Xiong & Yang, 2024). که منجر به خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تر در برخی مناطق خواهد شد (Zhang et al, 2020; Li & Kang, 2021; Qiu et al, 2023).

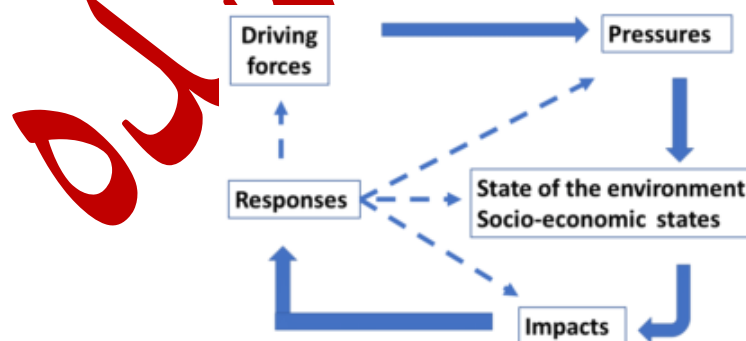


شکل (۳): مسائل کلیدی در آسیب پذیری حوزه رودخانه (Huang & Cai, 2009)

حوزه آبریز کارون بزرگ به واسطه تامین ۷۸ درصد انرژی برق آبی و ۱۳ درصد تولیدات کشاورزی کشور (بزرگترین مصرف کننده آب در حوزه آبریز کارون بزرگ شبکه های آبیاری و زهکشی هستند)، نقش انکارناپذیری در تامین غذا و انرژی کشور دارد. این خصوصیت منجر به اعمال فشار زیاد به سیستم منابع آب این حوزه به واسطه ایجاد طرح های توسعه در بخش کشاورزی، صنعت و خدمات شده و آسیب پذیری آن را نسبت به شرایط بیرونی افزایش داده است (ارشدی و باقری، ۱۳۹۲).

نهایی کردن عوامل DPSIR شناسایی شده

مدل DSR یک ساختار سازمان یافته برای تحلیل دلایل، نتایج و پاسخ به تغییرات در اکوسیستم فراهم می کند (Ness et al., 2010). چارچوب نیروهای محرکه-فشارها-وضعیت-تأثیر-پاسخ ها (D-PSIR) به طور گسترده ای برای حمایت از توسعه سیاست های زیست محیطی استفاده شده است (Agamont et al., 2022). این چارچوب با هدف ارزیابی سیستماتیک تعاملات بین عوامل انسانی، محیطی و اجتماعی از جمله ارزیابی منابع و محیط زیست (Zao et al., 2024) کارایی توسعه پایدار (Khan et al., 2021) امنیت و انعطاف پذیری اکوسیستم (Mithwani et al., 2019) سیاست گذاری ها و تصمیم گیری ها (Nemeijer & de Groot, 2008) بکار گرفته می شود. این مدل بر اساس مدل های PR (فشار-وضعیت-پاسخ) و DR (راننده-وضعیت-پاسخ) و نظریه سیستم ها ساخته شده و عوامل تأثیرگذار بر جامعه، اقتصاد، منابع و محیط زیست را به پنج جزء کلیدی تقسیم می کند: محرک ها (علل زمینه ای تغییرات محیطی)، فشارها (استرس های مستقیم بر محیط)، وضعیت ها (شرایط کنونی محیط زیست)، تأثیرات (اثرات تغییرات محیطی) و پاسخ ها (اقداماتی که برای کاهش یا تطبیق انجام می شوند). پس از آن، داده های موجود سازمان دهی می شوند و روش هایی برای جمع آوری داده های مفقود جهت تحلیل های آینده پیشنهاد می شود.



شکل (۴): چارچوب نیروی محرکه-فشار-وضعیت-تأثیر-پاسخ (Allen, 2022)

از آنجا که داده های تحقیق از نوع کیفی و از طریق مصاحبه با کارشناسان خبره (متخصص و با سابقه در حوزه آب) بدست آمدند. بنابراین به منظور کدگذاری داده ها و شناسایی الگوها و مفاهیم از داده های متنی از روش MAXQDA استفاده شد. در جدول (۱) پس

از حذف عوامل تکراری و دارای اهمیت کمتر، عوامل مهم نهایی شدند و دسته‌بندی متغیرها در هر یک از ابعاد صورت گرفت، سپس پرسشنامه تدوین و در اختیار کارشناسان سازمان آبرورق، مدیریت جهاد کشاورزی، سازمان محیط‌زیست و شرکت توسعه و کشت نیشکر خوزستان قرار گرفت.

جدول (۱): عوامل شناسایی شده و نهایی شده

ابعاد	عوامل شناسایی شده	عوامل نهایی شده
D	۲۲	۱۴
P	۳۲	۱۸
S	۲۴	۱۴
I	۴۱	۲۰
R	۱۷	۱۱

منبع: یافته‌های تحقیق

برای هر مسئله یا آسیب‌پذیری کلیدی، مراحل زیر برای درک ماهیت آسیب‌پذیری و تعیین واکنش انجام می‌شود. مشاوره با کارشناسان اغلب به‌عنوان روش تحلیلی استفاده می‌شود (Regram et al., 2013). پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها در MAXQDA، نتایج را در چارچوب DPSIR سازمان‌دهی و روابط میان محرک‌ها، فشارها، وضعیت‌ها، اثرات و پاسخ‌ها مدل‌سازی شدند.

۱. نیروهای محرکه ایجادکننده آسیب‌پذیری را که شامل تغییرات اجتماعی، اقتصادی و طبیعی تعیین شد.
۲. فشارها یعنی فشارهای عمده‌ای که ناشی از نیروهای محرکه هستند و بر منابع آب تأثیر می‌گذارند.
۳. تغییرات در وضعیت فعلی و روندهایی که از فشارها به‌وجود می‌آیند، مشخص شد.
۴. تأثیرات تغییرات در وضعیت فعلی شامل تأثیرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی تجزیه و تحلیل شد.
۵. پاسخ‌ها را برای مقابله با آسیب‌پذیری‌های سیستم تعریف و فرموله شد.

کمی‌سازی شاخص‌ها

برای تعیین سهم متغیرهای مستقل (محرک- فشار- وضعیت- اثر- پاسخ) در تبیین واریانس متغیر وابسته (آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب)، از روش PLS استفاده شد. روش PLS یک تکنیک مدل‌سازی معادلات ساختاری است که برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ توسط هرمان ولد (Wold, 1975, 1980, 1982) توسعه یافت. ولد با تمرکز بر علوم اجتماعی، روش‌هایی را طراحی کرد که بتواند مدل‌ها و داده‌های نرم را تحلیل کند؛ داده‌هایی که قوانین سخت‌گیرانه و ساختارهای قطعی در آنها حاکم نیست و مدل‌هایی که بر پیش‌بینی دقیق تأکید دارند، ارزش بالایی دارند (Dijkstra, 2010). یکی از نتایج تلاش‌های ولد، مدل‌سازی مسیر با حداقل مربعات جزئی بود که بعدها به مدل‌سازی معادلات ساختاری با حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) توسعه یافت (Hair et al., 2011). برای کمی‌سازی شاخص‌ها با استفاده از روش PLS، ابتدا باید به ماهیت شاخص‌ها و داده‌های ورودی و خروجی توجه کرد. معمولاً شاخص‌ها به عنوان متغیرهای وابسته (هدف) و متغیرهای دیگر مانند ویژگی‌های تهدیدات یا داده‌های محیطی به عنوان متغیرهای مستقل در

نظر گرفته می‌شوند. سپس با استفاده از ضرایب رگرسیون، بارهای عاملی و وزن‌ها، این شاخص‌ها کمی‌سازی می‌شوند (Hair et al., 2011).

ارزیابی آسیب‌پذیری

به منظور تحلیل و پیش‌بینی اثرات تهدیدات بر آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب و شاخص‌های کلیدی تأثیرگذار با استفاده از نرم‌افزار Smart PLS 4.0، چهار معیار پایایی بارهای عاملی^۱ (Chin, 1998)، سازگاری درونی^۲ (پایایی سازم^۳ (Dawson & Hinkley, 1997; Dijkstra & Henseler, 2015; Hair et al., 2021) روایی همگرا^۴ (Chin, 1998; Hair et al., 2021) و روایی افتراقی^۵ (Henseler et al., 2015; Hair et al., 2021) بررسی شدند. هدف اصلی روش PLS-SEM، ارزیابی اعتبار و قابلیت اطمینان داده‌ها و مدل است. برای بررسی قابلیت اطمینان، شاخص‌هایی مانند آلفای کرونباخ و قابلیت اطمینان ترکیبی^۶ (CR) به کار می‌روند که هر دو باید حداقل مقدار ۰/۷ را داشته باشند تا نشان‌دهنده سازگاری داخلی مناسب داده‌ها باشند (Hair et al., 2011). همچنین، اعتبار همگرا از طریق میانگین واریانس استخراج‌شده^۷ (AVE) که باید بیش از ۰/۵ باشد، تعیین می‌شود، به این معنا که بیش از نیمی از واریانس شاخص‌ها توسط سازه‌ها تبیین شده است. برای اثبات روایی افتراقی نیز جذر AVE هر سازه باید بیشتر از همبستگی آن سازه با سایر سازه‌ها باشد (Fornell & Larcker, 1981). بنابراین در تحلیل مدل اندازه‌گیری مشخص می‌شود که آیا مفاهیم نظری به درستی توسط متغیرهای مشاهده شده اندازه‌گیری شده‌اند یا خیر.

ارائه پاسخ‌ها

در نهایت، با توجه به اولویت‌بندی تهدیدها و مقادیر آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب، استراتژی‌های مناسب مدیریت منابع آب را براساس چارچوب DPSIR برای حفظ منابع آب ارائه شود.

یافته‌های پژوهش

توصیف جامعه آماری مورد مطالعه

از لحاظ سن کارشناسان، بیشترین فراوانی مربوط به فاصله سنی ۴۶-۵۰ سال (۲۷/۸ درصد) می‌باشد. اغلب پاسخگویان مرد (۸۹ درصد) بودند. از نظر تحصیلات افراد با تحصیلات کارشناسی ارشد (۷۲/۲ درصد) بیشترین فراوانی را داشتند. بیشترین گروه از نظر

- 1- Factor Loading Reliability
- 2- Internal Consistency Reliability
- 3- Convergent Validity
- 4- Discriminant Validity
- ۵- Cronbach's alpha
- ۶- Composite Reliability
- ۷- Average Variance Extracted

سابقه کاری مربوط به افرادی با سابقه بیش از ۲۰ سال، با سهمی در حدود ۴۶ درصد بود. سایر جزئیات در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول (۲): ویژگی‌های شخصیتی کارشناسان مورد مطالعه

متغیر	سطح	درصد فراوانی
سن	۳۰-۳۵	۶/۷
	۳۶-۴۰	۲۰
	۴۱-۴۵	۲۲/۲
	۴۶-۵۰	۲۷/۸
	> ۵۰	۲۳/۳
جنسیت	مرد	۸۹
	زن	۱۱
سطح تحصیلات	کارشناسی	۶/۷
	کارشناسی ارشد	۷۲/۲
	دکتر	۲۱/۱
	آبیاری	۲۷/۸
	عمران آب	۲۰/۶
رشته تحصیلی	سازه‌های آبی	۱۶/۸
	خاک‌شناسی	۱۸/۳
	مهندسی محیط زیست	۱۶/۵
	۵- سال	۴/۴
	۵-۱۰ سال	۱۱/۱
سابقه کار	۱۰-۱۵ سال	۱۸/۹
	۱۵-۲۰ سال	۲۰
	بیش از ۲۰ سال	۴۵/۶
	سازمان آب و برق خوزستان	۳۳/۳
	مدیریت جهاد کشاورزی	۳۳/۱
محل فعالیت	سازمان محیط زیست خوزستان	۱۶/۷
	شرکت توسعه و کشت نیشکر	۱۶/۷
نوع سازمان	سازمان دولتی	۱۰۰
	تامین کننده	۲۵
نقش سازمان	تحويل دهنده	۵۰
	مصرف کننده	۲۵

منبع: یافته‌های تحقیق

تحلیل و توسعه مدل ترکیبی DPSIR-PLS برای ارزیابی آسیب‌پذیری حکمرانی آب

نتایج به همان صورت که در مراحل روش‌شناسی آمده است، به این صورت ارائه شده‌اند: مرحله اول: بر اساس نتایج دو مسئله‌ی کلیدی در آسیب‌پذیری حوضه آبریز (تغییرات جمعیتی و تغییرات اقلیمی) شناسایی شد. مرحله دوم: دسته‌بندی‌های مخاطرات محیطی که به عنوان شاخص‌های انسانی (تغییرات جمعیتی) و طبیعی (تغییرات اقلیمی) وارد مدل DPSIR شدند (جدول ۳)، و سپس نام‌گذاری نشانگرهای معنادار شده جدول (۴). مرحله سوم: کمی‌سازی شاخص‌ها با استفاده از مدل اندازه‌گیری سازه‌ها صورت گرفت. نتایج تحلیل مدل اندازه‌گیری در جدول (۵) نشان داد که تمامی سازه‌ها از نظر اعتبار همگرایی ($A_V \Rightarrow \Delta$) پایایی ترکیبی ($CR > 0.7$) و پایایی

درونی (۰/۷ > آلفای کرونباخ) در وضعیت قابل قبول یا مطلوب قرار دارند. همچنین، بارهای عاملی تمامی گویه‌ها از نظر آماری معنادار بودند، زیرا آماره t آن‌ها همگی بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بوده و نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. همچنین اغلب بارهای عاملی به جزء بالاتر از ۰/۷ بوده‌اند که بیانگر قدرت مناسب گویه‌ها در سنجش سازه‌های مربوطه است. با این حال، چند گویه مانند کاهش آورد رودخانه (2 S) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (1 A) بار عاملی پایین‌تر از ۰/۷ داشته‌اند، اما به دلیل معناداری آماری و تأثیر مثبت آن‌ها بر میانگین واریانس استخراج‌شده (B V A) کل سازه، می‌توان آن‌ها را در مدل حفظ کرد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تمامی گویه‌ها از نظر آماری معتبر و از نظر مفهومی قابل قبول هستند.

جدول (۳): دسته‌بندی مولفه‌های به دست آمده از روش MAXQDA براساس چارچوب DPSIR

مولفه‌ها	زیر مولفه‌ها	نشانه‌ها
نیرو محرکه	تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی	شهروشنینی و بهره‌برداری از منابع آبی، افزایش جمعیت و تامین امنیت غذایی، تحریم‌ها و خودکفایی در محصولات کشاورزی، تغییرات در الگوهای مصرف، پیشرفت‌های فناوری و نوآوری، سیاست‌های دولتی و قوانین جدید، تقاضا برای محصولات کشاورزی
	تغییرات اقلیمی	خشکی ذاتی اقلیم کشور، افزایش دما، گرمایش زمین، توسعه شهری و تغییرات کاربری اراضی، فعالیت‌های صنعتی و تولیدی، تغییر در الگوهای مصرف، افزایش مصرف انرژی
فشار	تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی	کشت محصولات با نیاز آبی بالا، کشت‌های تابستانه و خارج از فصل، عدم رعایت تناوب زراعی، نوع سیستم آبیاری، شبکه‌های آبیاری و زهکشی فرسوده و قدیمی، آلودگی منابع آب سطحی، کانال‌های روبار و فاقد پوشش، رشد و توسعه صنایع، چاه‌های غیرمجاز، طرح‌های سدسازی در حوضه آبریز، افزایش فشار بر زیرساخت‌ها و خدمات عمومی
	تغییرات اقلیمی	خشکسالی‌های پی‌درپی، افزایش تخریب سطحی، افزایش کانون ریزگردها، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، تخریب جنگل‌ها و مراتع، افزایش ضایعات و پسماندها، افزایش گازهای گلخانه‌ای
وضعیت	تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی	پساب‌های صنعتی و ذرات کشاورزی در رودخانه، افزایش مناقشات و درگیری، عدم توازن منطقه‌ای در توسعه، مشکلات اجتماعی و بهداشتی، افزایش سطح زیر کشت، تغییر کاربری اراضی، توسعه کشت و صنعت‌ها (تغییر نظام‌های بهره‌برداری)
	تغییرات اقلیمی	کاهش آورد رودخانه‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش شوری آب، تغییرات در الگوهای بارش، کاهش نزولات جوی، پراکنش نامناسب نزولات جوی، بی‌کفایتی منابع آب
اثر	تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی	فقر و شکاف طبقاتی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات در ساختار اجتماعی، کیفیت زندگی، امنیت اجتماعی، افزایش رقابت بین بخش‌ها، تحرکات و مهاجرت‌های داخلی و بین‌المللی، مهاجرت و شهروشنینی
	تغییرات اقلیمی	کاهش منابع آب، افزایش آلودگی منابع آبی، کاهش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی، تخریب زیستگاه‌ها و کاهش تنوع زیستی، خطرات بهداشتی و افزایش بیماری‌ها، تأثیرات اجتماعی و اقتصادی، کاهش منابع غذایی و تأثیر بر امنیت غذایی، کاهش تنوع زیستی، تخریب تالاب‌ها و رودخانه‌ها، افت کیفیت خاک، کاهش میزان حبابه‌ها
پاسخ	تغییرات سریع جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی	وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب، طرح‌های انتقال آب در بالادست در حوضه آبریز، برنامه‌های توسعه و اصلاحات اجتماعی، پروژه‌های ارتقای زیرساخت‌ها، توسعه فناوری‌های جدید
	تغییرات اقلیمی	مدیریت منابع آب و اصلاحات سیاستی، حفاظت از منابع طبیعی و احیای اکوسیستم‌ها، آموزش و ارتقای آگاهی عمومی، ایجاد سیاست‌های تطبیقی و کاهش اثرات، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی، ارتقاء همکاری‌های بین‌المللی

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۴): دسته‌بندی مولفه‌های معنی‌دار شده در مدل براساس چارچوب DPSIR و نماد آنها

مولفه‌ها	نماد مولفه در مدل	زیر مولفه‌ها	نشانگر	نماد نشانگر در مدل
نیرو محرکه	Driver	تغییرات جمعیتی	شهرنشینی و بهره‌برداری از منابع آبی	D1
			افزایش جمعیت و تامین امنیت غذایی	D2
			تقاضا برای محصولات کشاورزی	D3
		تغییرات اقلیمی	افزایش دما	D4
فشار	Pressure	تغییرات جمعیتی	شبکه‌های آبیاری و زهکشی فرسوده و قدیمی	P1
			کانال‌های روباز و فاقد پوشش	P2
			آلودگی منابع آب سطحی	P3
		تغییرات اقلیمی	خشکسالی‌های پی‌درپی	P4
وضعیت	Status	تغییرات جمعیتی	افزایش تبخیر سطحی	P5
			افزایش کانون ریزگردها	P6
			افزایش مناقشات و درگیری	S1
		تغییرات اقلیمی	کاهش آورد رودخانه‌ها	S2
اثر	Impact	تغییرات جمعیتی	کاهش سطح آب‌های زیرزمینی	S3
			کاهش نزولات جوی	S4
			انتشار گازهای گلخانه‌ای	I1
		تغییرات اقلیمی	مهاجرت و شهرنشینی	I2
پاسخ	Response	تغییرات جمعیتی	کاهش منابع آب	I3
			افزایش آلودگی منابع آبی	I4
			کاهش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی	I5
		تغییرات اقلیمی	کاهش میزان حقایقه‌ها	I6
		تغییرات جمعیتی	توسعه فناوری‌های جدید	R1
			وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب	R2
		تغییرات اقلیمی	-	-

منبع: یافته‌های تحقیق

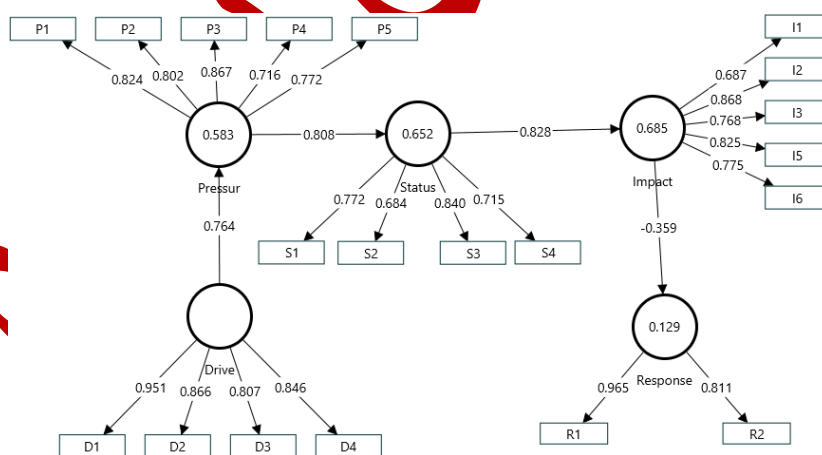
جدول (۵): سنجش سازه‌های مدل PLS برای آسیب‌پذیری حکمرانی آب در حوضه کارون بزرگ

سازه	معرف‌ها	کد	بار عاملی	آماره t	آلفای کرونباخ	میانگین واریانس استخراجی (AVE)	پایایی ترکیبی (CR)
نیرو محرکه	شهرنشینی و بهره‌برداری از منابع آب	D1	۰/۹۵۱	۱۱۲/۰۴۱	۰/۸۹۲	۰/۷۵۵	۰/۹۲۵
	افزایش جمعیت و تامین امنیت غذایی	D2	۰/۸۶۶	۲۶/۳۷۰			
	تقاضا برای محصولات کشاورزی	D3	۰/۸۰۷	۱۹/۷۸۸			
	افزایش دما	D4	۰/۸۴۶	۳۴/۶۰۷			
فشار	خشکسالی‌های پی‌درپی	P1	۰/۸۲۴	۲۶/۴۹۱	۰/۸۵۶	۰/۶۳۶	۰/۸۹۷
	افزایش تبخیر سطحی	P2	۰/۸۰۲	۱۹/۹۵۳			
	افزایش کانون ریزگردها	P3	۰/۸۶۷	۴۱/۱۹۴			
	کانال‌های رو باز و فاقد پوشش	P4	۰/۷۱۶	۱۴/۶۰۴			
وضعیت	آلودگی منابع آب‌های سطحی	P5	۰/۷۷۲	۱۵/۳۸۴	۰/۷۵۲	۰/۵۷۰	۰/۸۴۰
	کاهش آورد رودخانه‌ها	S1	۰/۷۷۲	۱۲/۷۹۶			
	کاهش سطح آب‌های زیرزمینی	S2	۰/۶۸۲	۸/۹۹۴			
	کاهش نزولات جوی	S3	۰/۸۴۰	۲۹/۲۲۴			

اثر	۰/۸۷۶	۶۱۹	۹۰۷	۱۴/۶۷۰	۰/۷۱۶	S4	افزایش مناقشات و درگیری ها
				۸/۵۰۸	۰/۶۷۲	I1	کاهش منابع آب
				۲۸/۳۷۶	۰/۸۷۶	I2	افزایش آلودگی منابع آبی
				۱۳/۸۱۱	۰/۷۵۸	I3	کاهش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی
				۱۸/۱۱۶	۰/۸۲۸	I4	کاهش میزان حقایقه ها
				۳۵/۲۲۸	۰/۸۱۹	I5	انتشار گازهای گلخانه ای
پاسخ	۰/۷۷۲	۰/۷۹۳	۰/۸۸۴	۲۰/۵۱۸	۰/۷۵۲	I6	مهاجرت و شهرنشینی
				۳۹/۵۵۷	۰/۹۶۶	R1	توسعه فناوری های جدید
				۹/۸۳۰	۰/۸۰۸	R2	وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب

منبع: یافته‌های تحقیق

مرحله چهارم: برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و سنجش قدرت توضیحی مدل، از مقدار R^2 استفاده شد. مطابق با نظر کوهن (2013)، مقادیر R^2 برابر با ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ به ترتیب نشان‌دهنده قدرت توضیحی بسیار بالا، بالا و پایین برای متغیرهای مدل هستند. بر این اساس، متغیرهای فشار ($R^2 = ۰/۵۸۳$)، وضعیت ($R^2 = ۰/۶۵۲$) و اثر ($R^2 = ۰/۶۵۸$) دارای قدرت توضیحی بالا هستند، در حالی که متغیر پاسخ ($R^2 = ۰/۴۱۹$) از قدرت توضیحی پایینی برخوردار است. این نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل توانسته‌اند بخش زیادی از واریانس متغیرهای وابسته را تبیین کنند. با استفاده از روش (Bootstrap) و نمونه‌برداری ۵۰۰۰ باره در سطح اطمینان ۹۵٪، مشخص شد که ($t > ۱/۹۶$) تمام مسیرهای علی‌محل در سطح معناداری ۵٪ تأیید شده‌اند. به ویژه، نیروهای محرک اثر معناداری بر فشارها دارند ($\beta = ۰/۷۶۴, t = ۱۹/۸۵۸, p < ۰/۰۰۱$)، فشارها نیز اثر مثبت معناداری بر وضعیت‌ها دارند ($\beta = ۰/۸۰۸, t = ۴/۹۵۶, p < ۰/۰۰۱$)، وضعیت‌ها تأثیر معناداری بر اثرات دارند ($\beta = ۰/۸۲۸, t = ۲۴/۴۲۵, p < ۰/۰۰۱$) و در نهایت اثرات تأثیر منفی معناداری بر پاسخ‌ها ($p < ۰/۰۰۱$) دارند. این نتایج بیانگر وجود روابط علی معتبر بین ابعاد مدل DPSIR در زمینه آسیب‌پذیری حکمرانی آب در حوضه کارون بزرگ است (شکل ۵، جدول ۵).



شکل ۵. مدل ساختاری نهایی داده‌های ثانویه: فرضیه ۱: نیروهای محرک تأثیر مثبتی بر فشارها دارند؛ فرضیه ۲: فشارها تأثیر مثبتی بر وضعیت‌ها دارند؛ فرضیه ۳: وضعیت‌ها تأثیر مثبتی بر اثرات دارند؛ فرضیه ۴: پیامدها تأثیر منفی بر پاسخ‌ها دارند؛ (منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول (۵): نتایج آزمون فرضیه‌های پژوهش مدل DPSIR-PLS

Hypothesis	Path	Path coefficient	T-statistic	p-value	Hypothesis test Results
------------	------	------------------	-------------	---------	-------------------------

H1	Drive -> Pressure	۰/۷۶۴	۱۹/۸۵۸	۰/۰۰۰	accept
H2	Pressure -> Status	۰/۸۰۸	۴/۹۵۶	۰/۰۰۰	accept
H3	Status->Impact	۰/۸۲۸	۲۴/۴۲۵	۰/۰۰۰	accept
H4	Impact-> response	-۰/۳۵۹	۲۹/۸۰۱	۰/۰۰۰	accept

منبع: یافته‌های تحقیق

همچنین جهت آزمون معناداری ضرایب مسیر، به آزمون معناداری اثر کلی پرداخته شد. رابطه مسیر به دو نوع تقسیم می‌شود: یکی رابطه مسیر مستقیم که ضریب مسیر آن تأثیر مستقیم بین دو متغیر است و دیگری رابطه مسیر غیرمستقیم که یک یا چند متغیر میانی بین متغیر اولیه و نهایی وجود دارد و تأثیر غیرمستقیم با ضرب ضرایب مسیر مستقیم چندمتغیره در طول این مسیر تعیین می‌شود. اثر کلی با جمع کردن مقادیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم تعیین می‌شود. این اثر، تأثیر تجمعی هر دو نوع تأثیر را نشان می‌دهد (Hair et al., 2021). بدین منظور، روابط علی در مدل DPSIR، ضرایب مسیر مستقیم، غیرمستقیم و کلی بین سازه‌ها برآورد و در جدول (۶) گزارش شد. نتایج نشان می‌دهد که تمامی روابط مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرها معنادار هستند (با p value برابر با ۰/۰۰۰) که نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱٪ است. در مسیرهای مستقیم، اثر مثبت و قوی بین «نیروی محرکه» و «فشار» با ضریب ۰/۷۶۴ و بین «فشار» و «وضعیت» با ضریب ۰/۸۰۸ وجود دارد. همچنین، وضعیت تأثیر مستقیمی بر «اثرات» با ضریب ۰/۸۲۸ دارد. از سوی دیگر، بین «پیامدها» و «پاسخها» رابطه‌ای منفی و معنادار با ضریب -۰/۳۵۹ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش اقدامات پاسخگو در برابر افزایش اثرات منفی است.

در میان اثرات غیرمستقیم، مسیر $D \rightarrow P \rightarrow S \rightarrow I$ با ضریب ۰/۹۷ و مسیر $I \rightarrow S \rightarrow P$ با ضریب ۰/۶۶۸ دارای اثرات قابل توجهی هستند. همچنین، مسیر کامل $Drive \rightarrow Pressure \rightarrow Status \rightarrow Impact \rightarrow Response$ دارای اثر غیرمستقیم و منفی (۰/۱۸۳-) است که نشان می‌دهد، نیروهای محرکه به صورت زنجیره‌ای و از طریق افزایش فشار، بدتر شدن وضعیت و افزایش اثرات، نهایتاً منجر به کاهش کارآمدی پاسخ‌ها می‌شوند. در مجموع، مقادیر اثرات کل (مستقیم و غیرمستقیم) نیز نشان‌دهنده تأثیر معنادار و تا حدی قوی بین متغیرها هستند که اعتبار مدل DPSIR-PLS را در تبیین آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب تأیید می‌کند.

جدول (۶): نتایج برآورد ضرایب مسیر مدل DPSIR-PLS

	Direct effects	Direct effect p-value	Indirect effects	Indirect effect p-value	Total effect	Total effect p-value
Drive → Pressure	۰/۷۶۴	۰/۰۰۰			۰/۷۶۴	۰/۰۰۰
Pressure → Status	۰/۸۰۸	۰/۰۰۰			۰/۸۰۸	۰/۰۰۰
Status → Impact	۰/۸۲۸	۰/۰۰۰			۰/۸۲۸	۰/۰۰۰
Impact → Response	-۰/۳۵۹	۰/۰۰۰			-۰/۳۵۹	۰/۰۰۰
Status → Impact → Response			-۰/۲۹۷	۰/۰۰۰	-۰/۲۹۷	۰/۰۰۰
Drive → Pressure → Status			۰/۶۱۷	۰/۰۰۰	۰/۶۱۷	۰/۰۰۰
Pressure → Status → Impact			۰/۶۶۸	۰/۰۰۰	۰/۶۶۸	۰/۰۰۰
Pressure → Status → Impact → Response			-۰/۲۴۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۴۰	۰/۰۰۰
Drive → Pressure → Status → Impact			۰/۵۱۱	۰/۰۰۰	۰/۵۱۱	۰/۰۰۰
Drive → Pressure → Status → Impact → Response			-۰/۱۸۳	۰/۰۰۰	-۰/۱۸۳	۰/۰۰۰

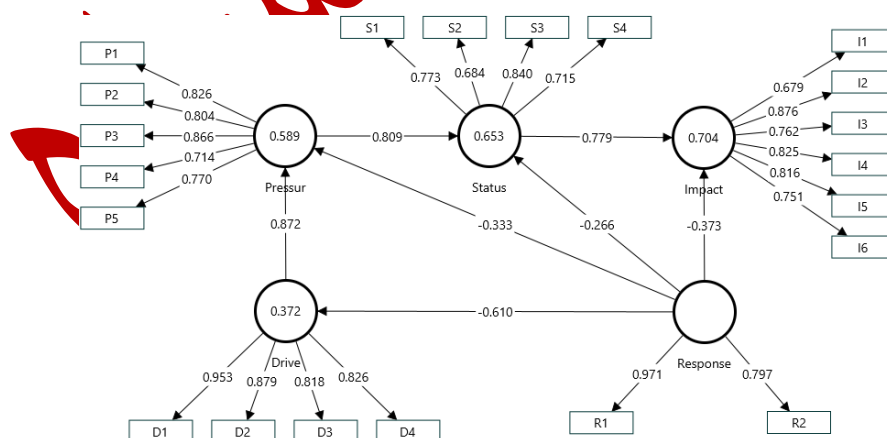
برای بررسی روایی تشخیصی سازه‌ها از معیار فورنل-لارکر استفاده شد. بر اساس این معیار، جذر میانگین واریانس استخراج شده (AVE) برای هر سازه باید بزرگ‌تر از ضرایب همبستگی آن سازه با سایر سازه‌ها باشد. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که تنها سازه‌های نیرو محرکه ($AVA=0/869$) و پاسخ ($AVA=0/891$) دارای روایی تشخیصی کامل هستند، زیرا جذر AVE آن‌ها از تمام ضرایب همبستگی با سایر سازه‌ها بیشتر است. در مقابل، سازه‌های اثر، فشار و وضعیت معیار فورنل-لارکر را به‌طور کامل برآورده نمی‌کنند. برای مثال، جذر AVE سازه اثر ($0/787$) از همبستگی آن با سازه‌های فشار ($0/865$) و وضعیت ($0/824$) کمتر است. به‌صورت مشابه، جذر AVE سازه فشار ($0/798$) از همبستگی آن با اثر ($0/865$) و وضعیت ($0/808$) کمتر بوده و سازه وضعیت نیز جذر AVE پایین‌تری نسبت به برخی همبستگی‌ها (فشار و اثر) دارد. با وجود این کاستی، سایر شاخص‌های اعتبار مدل اندازه‌گیری برای تمامی سازه‌ها تأیید شده‌اند. بنابراین، با وجود ضعف نسبی در روایی تشخیصی برخی سازه‌ها، مدل اندازه‌گیری از اعتبار نسبی قابل قبولی برخوردار است.

جدول (۷): مقایسه ریشه دوم میانگین واریانس استخراج شده با همبستگی‌های موجود (معیار فورنل لارکر)

سازه	۱	۲	۳	۴	۵
نیرو محرکه	۰/۸۶۹	-	-	-	-
اثر	۰/۷۴۳	۰/۷۸۷	-	-	-
فشار	۰/۷۶۴	۰/۸۶۵	۰/۷۹۸	-	-
پاسخ	۰/۶۰۱	-۰/۳۷۳	-۰/۳۲۹	۰/۸۹۱	-
وضعیت	۰/۶۳۸	۰/۸۲۴	۰/۸۰۸	-۰/۲۶۲	۰/۷۵۵

منبع: یافته‌های تحقیق

به منظور افزایش دقت مدل‌سازی، شبیه‌سازی بهتر شرایط پیچیده، تحلیل دقیق‌تر تعاملات متقابل میان مؤلفه‌ها، و ارتقاء اعتبار و اعتماد به نتایج، از مدل ساختاری توسعه‌یافته در چارچوب DPSIR-PLS استفاده شد که در آن، تأثیر پاسخ‌ها نه تنها بر اثر بلکه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر دیگر سازه‌ها نیز بررسی گردید.



شکل ۶. مدل ساختاری نهایی داده‌های ثانویه: فرضیه ۱: نیروهای محرک تأثیر مثبتی بر فشارها دارند؛ فرضیه ۲: فشارها تأثیر مثبتی بر وضعیت‌ها دارند؛ فرضیه ۳: وضعیت‌ها تأثیر مثبتی بر پیامدها دارند؛ فرضیه ۴: پاسخ‌ها تأثیر منفی بر پیامدها دارند؛ فرضیه ۵: پاسخ‌ها تأثیر منفی بر نیروهای محرک دارند؛ فرضیه ۶: پاسخ‌ها تأثیر منفی بر فشارها دارند؛ فرضیه ۷: پاسخ‌ها تأثیر منفی بر وضعیت دارند. (منبع: یافته‌های تحقیق)

برای ارزیابی قدرت توضیحی مدل، از معیار R^2 استفاده شده است. مقدار R^2 برای سازه نیرو محرکه برابر با ۰/۳۷۲ است که نشان دهنده قدرت توضیحی متوسط، همچنین مقدار R^2 برای سازه‌های فشار و وضعیت به ترتیب برابر با ۰/۵۸۹، ۰/۶۵۳ که نشان دهنده قدرت توضیحی بالا این دو متغیر است. در نهایت مقدار R^2 برای سازه اثر برابر با ۰/۷۰۴ که نشان دهنده قدرت توضیحی بسیار بالای این متغیر است. این نتایج بیانگر آن است که متغیرهای پنهان مدل، توان مناسبی در تبیین واریانس متغیرهای وابسته دارند.

همچنین جدول (۸)، آزمون فرضیات با استفاده از روش Bootstrapping و ۵۰۰۰ نمونه‌گیری مجدد در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد که از میان هفت فرضیه، شش فرضیه مورد تأیید قرار گرفتند. نتایج نشان داد که متغیر پاسخ تأثیر منفی معناداری بر سازه‌های نیرو محرکه فشار و اثر داشت. اما تأثیر آن بر وضعیت معنادار نبود که می‌تواند نشان دهنده تأخیر در بروز نتایج سیاست‌های پاسخ‌گو بر وضعیت فعلی منابع باشد.

جدول (۸): نتایج آزمون فرضیه‌های پژوهش مدل DPSIR-PLS

Hypothesis	Path	Path coefficient	T-statistic	p-value	Hypothesis test Results
H1	Drive → Pressure	۰/۸۷۲	۱۵/۷۸۲	۰/۰۰۰	accept
H2	Pressure → Status	۰/۸۰۹	۲۰/۲۵۶	۰/۰۰۰	accept
H3	Status → Impact	۰/۷۷۹	۲۰/۴۶۵	۰/۰۰۰	accept
H4	Response → Drive	-۰/۶۱۰	۱۳/۳۷۷	۰/۰۰۰	accept
H5	Response → Pressure	-۰/۳۳۳	۲/۰۳۹	۰/۰۴۱	accept
H6	Response → Status	-۰/۲۶۶	۰/۰۰۰	۰/۹۵۲	Don't accept
H7	Response → Impact	-۰/۳۷۳	۳/۱۰۴	۰/۰۰۲	accept

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۹) اثرات مستقیم و غیرمستقیم و همچنین اثرات کل را نشان می‌دهد. مولفه‌های نیرو محرکه‌ها (۰/۸۷۲)، فشارها (۰/۸۰۹)، حالت (۰/۷۷۹)، بیشترین تأثیر را بر افزایش آسیب‌پذیری حکمرانی آب دارند. از سوی دیگر، مولفه پاسخ اثرات مستقیم منفی و معناداری بر سایر مؤلفه‌ها دارد؛ به‌طوری‌که اثر آن بر نیرو محرکه برابر با ۰/۶۱۰-، بر فشارها ۰/۳۳۳-، بر وضعیت ۰/۲۶۶- (با سطح معنی‌داری ۰/۰۰۳) و بر اثرات ۰/۳۷۳- گزارش شده است. همچنین، اثرات غیرمستقیم نیز به‌صورت معنادار در سطح (۰/۰۰۰) مشاهده می‌شود؛ از جمله مسیر (نیرو محرکه ← فشار ← وضعیت) با ضریب ۰/۷۰۶، مسیر (نیرو محرکه ← فشار ← وضعیت ← تأثیر) با ضریب ۰/۵۵۰، و مسیر (فشار ← وضعیت ← تأثیر) با ضریب ۰/۶۳۰ می‌باشند. اثرات کل نیز حائز اهمیت‌اند؛ نیرو محرکه با مجموع اثر ۰/۸۷۲، فشار با ۰/۸۰۹، وضعیت با ۰/۷۷۹، و مسیرهای ترکیبی مانند (نیرو محرکه → فشار → وضعیت) با اثر کل ۰/۷۰۶، و (نیرو محرکه → فشار → وضعیت → تأثیر) با اثر کل ۰/۵۵۰ نقش مؤثری در افزایش آسیب‌پذیری دارند. به‌طور کلی، این نتایج بیانگر زنجیره علی و تقویت‌شونده‌ای هستند که از نیرو محرکه آغاز شده و تا اثرات نهایی ادامه می‌یابند، در حالی‌که پاسخ‌ها نقش بازدارنده و اصلاحی دارند. بنابراین، تقویت پاسخ‌های مدیریتی و حکمرانی می‌تواند نقش مهمی در مهار آسیب‌پذیری ناشی از سایر مؤلفه‌ها ایفا کند.

جدول (۹). نتایج برآورد ضرایب مسیر مدل DPSIR-PLS

Direct effects	Direct effect p-value	Indirect effects	Indirect effect p-value	Total effect	Total effect p-value

Drive → Pressure	۰/۸۷۲	۰/۰۰۰	۰/۸۷۲	۰/۰۰۰
Pressure → Status	۰/۸۰۹	۰/۰۰۰	۰/۸۰۹	۰/۰۰۰
Status → Impact	۰/۷۷۹	۰/۰۰۰	۰/۷۷۹	۰/۰۰۰
Response → Drive	-۰/۶۱۰	۰/۰۰۰	-۰/۶۱۰	۰/۰۰۰
Response → Pressure	-۰/۳۳۳	۰/۰۰۰	-۰/۳۳۳	۰/۰۰۰
Response → Status	-۰/۲۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۲۶۶	۰/۰۰۳
Response → Impact	-۰/۳۷۳	۰/۰۰۰	-۰/۳۷۳	۰/۰۰۰
Drive → Pressure → Status		۰/۷۰۶	۰/۷۰۶	۰/۰۰۰
Drive → Pressure → Status → Impact		۰/۵۵۰	۰/۵۵۰	۰/۰۰۰
Pressure → Status → Impact		۰/۶۳۰	۰/۶۳۰	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول (۱۰) بیانگر آن است که مدل اندازه‌گیری از روایی و پایایی مناسبی برخوردار است. سازه «نیرو محرکه» با آلفای کرونباخ ۰/۸۹۲ و پایایی ترکیبی ۰/۹۲۶ دارای بالاترین میزان پایایی در میان سازه‌ها است. شاخص (D 1) «شه‌نشینی و بهره‌برداری از منابع آب» با بار عاملی ۰/۹۵۳ و آماره t برابر ۱۲۳/۲۰۴، بیشترین همبستگی را با این سازه دارد و نشان می‌دهد که این عامل نقش مهمی در تبیین مفهوم نیرو محرکه دارد. همچنین سایر شاخص‌های این سازه نیز دارای بارهای عاملی قابل قبول (بالاتر از ۰/۸) هستند. در سازه «فشار»، شاخص (P 3) «افزایش کانون ریزگردها» با بار عاملی ۰/۸۶۶ و آماره t برابر ۴۱/۴۰۰ قوی‌ترین شاخص است، در حالی که شاخص (P 4) «کانال‌های روباز و فاقد پوشش» با بار عاملی ۰/۷۱۴ کمترین مقدار را دارد، که هر دو در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرند. سازه «وضعیت» نیز از پایایی ترکیبی (۰/۸۴۱) مناسبی برخوردار است و شاخص (3) «کاهش نزولات جوی» با بار عاملی ۰/۸۴۰ مهم‌ترین عامل آن محسوب می‌شود، هرچند شاخص (2) «کاهش سطح آب‌های زیرزمینی» با بار عاملی ۰/۶۸۹ در آستانه پذیرش قرار دارد و می‌تواند نیازمند بررسی بیشتر باشد. در سازه «اثر»، شاخص (2) «افزایش آلودگی منابع آب» با بار عاملی ۰/۸۷۶ قوی‌ترین شاخص است و سایر شاخص‌ها نیز در دامنه قابل قبول قرار دارند (همگی بالاتر از ۰/۷۵). همچنین سازه «پاسخ» دارای بالاترین بار عاملی در کل مدل برای شاخص (R 1) «توسعه فناوری‌های جدید» با مقدار ۰/۹۷۱ و آماره t بسیار بالا (۵۹/۶۱۶) است که نشان‌دهنده اهمیت برجسته این عامل در پاسخ‌های مدیریتی است. در مجموع، تمامی مقادیر میانگین واریانس استخراجی (AV E) بالاتر از ۰/۵ و آماره‌های t برای بارهای عاملی بالاتر از ۱/۹۶ هستند که دلالت بر معناداری آماری روابط دارد. بنابراین، ساختار مفهومی مدل به‌درستی توسط شاخص‌های قابل سنجش تبیین شده و از نظر آماری از اعتبار مناسبی برخوردار است.

جدول (۱۰): مقادیر اصلاح شده نشانگرهای سنجش مدل اندازه‌گیری سازه‌های آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در حوضه آبریز کارون بزرگ خوزستان

سازه	نشانگر	کد	بار عاملی	آماره t	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی (CR > 0.7)	میانگین واریانس استخراجی (AV E > 0.5)
شه‌نشینی و بهره‌برداری از منابع آب	افزایش جمعیت و تامین امنیت غذایی	D1	۰/۹۵۳	۱۲۳/۲۰۴	۰/۸۹۲	۰/۹۲۶	۰/۷۵۸
	تقاضا برای محصولات کشاورزی	D2	۰/۸۷۹	۳۱/۶۹۷			
	افزایش دما	D3	۰/۸۱۸	۲۳/۳۶۱			
	خشکسالی‌های پی‌درپی	D4	۰/۸۲۶	۲۵/۳۷۵			
افزایش تبخیر سطحی	افزایش تبخیر سطحی	P1	۰/۸۲۶	۲۷/۰۷۷	۰/۸۵۶	۰/۸۹۷	۰/۶۳۶
	افزایش کانون ریزگردها	P2	۰/۸۰۴	۲۰/۳۳۴			
		P3	۰/۸۶۶	۴۱/۴۰۰			

توسعه	۰/۷۱۴	۱۴/۴۲۳	P4	کانال‌های رو باز و فاقد پوشش
			P5	آلودگی منابع آب‌های سطحی
			S1	کاهش آورد رودخانه ها
			S2	کاهش سطح آب های زیرزمینی
			S3	کاهش نزولات جوی
توسعه	۰/۷۱۵	۱۳/۶۱۹	S4	افزایش مناقشات و درگیری ها
			I1	کاهش منابع آب
			I2	افزایش آلودگی منابع آب
			I3	کاهش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی
			I4	کاهش میزان خفایه ها
توسعه	۰/۸۱۶	۳۴/۵۴۷	I5	انتشار گازهای گلخانه ای
			I6	مهاجرت و شهرنشینی
			R1	توسعه فناوری‌های جدید
			R2	وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج معیار فورنل (۱۱) نشان می‌دهد که تمایز بین برخی سازه‌ها از نظر مفهومی به‌خوبی حفظ شده است. سازه‌های «نیرو محرکه» با مقدار جذر $AV E$ برابر با ۰/۸۲۱ و «پاسخ» با مقدار ۰/۸۸۸ دارای روایی تشخیصی مطلوبی هستند، زیرا مقادیر جذر $AV E$ آن‌ها از تمام ضرایب همبستگی‌شان با سایر سازه‌ها بیشتر است. در مقابل، سازه‌های «اثر» (۰/۷۲۷)، «فشار» (۰/۷۵۱) و «وضعیت» (۰/۷۵۵) از این نظر با محدودیت‌هایی مواجه‌اند؛ به‌طوری‌که مقادیر جذر $AV E$ آن‌ها از برخی ضرایب همبستگی‌شان با دیگر سازه‌ها، از جمله فشار با اثر (۰/۸۶۳) و وضعیت با اثر (۰/۸۲۳)، کمتر است. این نتایج نشان می‌دهد که سازه‌های مذکور از نظر تمایز مفهومی تا حدی هم‌پوشانی دارند، در حالی که دو سازه دیگر از تمایز ساختاری بیشتری برخوردارند.

جدول (۱۱). مقایسه ریشه دوم میانگین واریانس استخراج شده با همبستگی‌های موجود (معیار فورنل لارکر)

سازه	۱	۲	۳	۴	۵
نیرو محرکه	۰/۸۷۱	-	-	-	-
اثر	۰/۷۲۷	۰/۷۸۷	-	-	-
فشار	۰/۷۵۱	۰/۸۶۳	۰/۷۹۸	-	-
پاسخ	-۰/۶۱۰	-۰/۳۷۳	-۰/۳۳۳	۰/۸۸۸	-
وضعیت	۰/۶۲۷	۰/۸۲۳	۰/۸۰۸	-۰/۲۶۶	۰/۷۵۵

منبع: یافته‌های تحقیق

مرحله پنجم: پس از ارزیابی برازندگی مدل ارائه شده می‌توان به تفسیر نتایج پرداخت. تاثیر آسیب‌پذیری بر نظام حکمرانی آب در حوضه آبریز کارون بزرگ شامل دو مولفه تغییرات جمعیتی، اقتصادی و اجتماعی و تغییرات اقلیمی می‌باشند. بر اساس ضرایب مسیر (شکل ۵) از میان مولفه‌های مختلف اثرات (با ضریب مسیر ۰/۸۲۸) مهم‌ترین مولفه می‌باشد. پس از اثرات به ترتیب مولفه‌های وضعیت و فشار و در نهایت پاسخ قرار دارند که ضرایب مسیر مربوط به هر یک از آنها به ترتیب عبارت است از ۰/۸۰۸، ۰/۷۶۴ و ۰/۳۵۹- می‌باشند. از میان اثرات براساس بار عاملی آنچه دارای اهمیت است به ترتیب عبارتند از: افزایش آلودگی منابع آبی (با بار عاملی ۰/۸۶۸)،

انتشار گازهای گلخانه‌ای (با بار عاملی ۰/۸۲۵)، مهاجرت و شهرنشینی (با بار عاملی ۰/۷۷۵)، کاهش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی (با بار عاملی ۰/۷۶۸) و کاهش منابع آب (با بار عاملی ۰/۶۸۷). مؤلفه وضعیت به عنوان مؤلفه بعدی، براساس بار عاملی آنچه دارای اهمیت است عبارتند از: کاهش نزولات جوی (با بار عاملی ۰/۸۴۰)، کاهش آورد رودخانه (با بار عاملی ۰/۷۷۲)، افزایش مناقشات و درگیری (با بار عاملی ۰/۷۱۵) و کاهش آب‌های زیرزمینی (با بار عاملی ۰/۶۸۴). مؤلفه فشار نیز، براساس بار عاملی متغیرهای دارای اهمیت عبارتند از: افزایش کانون ریزگردها (با بار عاملی ۰/۸۶۷)، خشکسالی‌های پی‌درپی (با بار عاملی ۰/۸۲۴)، افزایش تبخیر سطحی (با بار عاملی ۰/۸۰۲)، آلودگی منابع آب‌های سطحی (با بار عاملی ۰/۷۷۲) و کانال‌های روباز و فاقد پوشش (با بار عاملی ۰/۷۱۶). مؤلفه آخر، پاسخ که با ضریب مسیر ۰/۳۵۹- متغیرهای مانند: توسعه فناوری‌های جدید (با بار عاملی ۰/۹۶۵) و وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب (با بار عاملی ۰/۸۱۱) که نشان‌دهنده واکنش ضعیف به اثرات است و در واقع پاسخ‌ها نتوانسته‌اند اثرات را کاهش دهند. نتایج این مدل نشان داد که اثرات مثبت و تشدیدکننده شرایط بیشتر از اثرات منفی است و در واقع پاسخ‌ها متناسب با شرایط توسعه نیافته‌اند. در همین راستا، به منظور ارزیابی دقیق‌تر مدل، شبیه‌سازی بهتر واقعیت و ارتقاء اعتبار و اعتماد مدل، مدل ساختاری توسعه‌یافته‌ای طراحی شد که در آن روابط بین پاسخ با هر یک از مؤلفه‌ها به طور جداگانه برقرار شد. این توسعه ساختاری که در (شکل ۶) نشان داده شده، سه رابطه جدید را علاوه بر چهار رابطه پیشین اضافه می‌کند: پاسخ → نیروهای محرک، پاسخ → فشار و پاسخ → وضعیت. در نتیجه، نقش پاسخ‌ها از یک سازه نهایی به یک متغیر مداخله‌گر اصلی در سراسر زنجیره علی ارتقاء یافته است. ضرایب مسیر به‌دست آمده در مدل دوم (شکل ۶) مدل اول را تأیید کردند و رابطه منفی بین پاسخ با هر یک از مؤلفه‌های نیرو محرکه، فشار، وضعیت و اثر که به ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۶۱۰-، ۰/۳۳۳-، ۰/۲۶۶- و ۰/۳۷۳- می‌باشند و نشان‌دهنده پاسخ‌گویی ضعیف به هر یک از سازه‌ها می‌باشد. مزیت کلیدی مدل (شکل ۶) نسبت به مدل (شکل ۵) این است که نه تنها اثربخشی پاسخ‌ها را بر اثرات نهایی بررسی می‌کند، بلکه چگونگی تأثیر مستقیم پاسخ‌ها بر کل فرآیند آسیب‌پذیری (از ابتدا تا انتها) را تحلیل می‌نماید. این ویژگی موجب می‌شود که مدل (شکل ۶) نمایی جامع‌تر و واقع‌بینانه‌تر از نقاط ضعف حکمرانی آب و ناکارآمدی سیاست‌ها ارائه دهد و نقاط اصلی مداخله را شناسایی کند. این یافته‌ها در کنار مقادیر بالای R^2 برای سازه‌های اثر (۰/۷۰۴)، وضعیت (۰/۶۵۳) و فشار (۰/۵۸۹) نشان می‌دهد که مدل توان تبیین بالایی دارد و روند علی موجود به‌خوبی سازوکارهای آسیب‌پذیری را تشریح می‌کند، در حالی که مقادیر بار عاملی متغیرها در مدل (شکل ۶) نسبت به مدل (شکل ۵) تغییر چندانی نکرده‌اند و این ثبات بارهای عاملی نشان‌دهنده بالایی و روایی مناسب اندازه‌گیری سازه‌ها است. نکته حائز اهمیت در مدل (شکل ۶) آن است که اگرچه نیروهای محرکه در زنجیره علی نقطه شروع محسوب می‌شوند و ضریب مسیر بالایی در تأثیرگذاری بر فشار دارند، اما در اولویت نتیجه‌گیری‌های تحلیلی مدل به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه قرار نمی‌گیرند. دلیل آن، تمرکز مدل (شکل ۶) بر بررسی نقش پاسخ‌ها به‌عنوان سازه مداخله‌گر است و همچنین مقادیر بالاتر R^2 برای وضعیت و اثرات نشان‌دهنده آن است که این دو سازه در تبیین نهایی آسیب‌پذیری سهم بیشتری دارند. به بیان دیگر، مدل (شکل ۶) علاوه بر بررسی روابط علی اولیه، به بررسی جامع‌تری از ناکارآمدی پاسخ‌ها در مدیریت کل فرآیند آسیب‌پذیری می‌پردازد. که با نتایج Zhang et al. (2024) در ارزیابی سکونتگاه‌های انسانی روستایی که به رابطه منفی بین نیرو محرکه - پاسخ و وضعیت - پاسخ و همچنین نتایج Sun et al. (2018) در ارزیابی فقر آبی در مناطق روستایی چین که به تأثیر منفی بین اثرات - پاسخ و فشار - پاسخ دست یافتند، مطابقت دارد.

مرحله ششم: بر مبنای روابط استخراج‌شده از مدل‌های S و P تحلیل مسیر، مشخص شد که مؤلفه «پاسخ» نه تنها از نظر آماری ضعیف‌ترین رابطه را با سایر متغیرها دارد، بلکه در عمل نیز فاقد کارایی کافی برای کاهش پیامدهای ناشی از فشارها و اثرات است. اگر چه شاخص‌های «توسعه فناوری‌های جدید» (با بار عاملی ۰/۹۷۱) و «وضع مقررات جدید برای برداشت منابع آب» (با بار عاملی

(۰/۷۹۷) در سطح مطلوبی قرار دارند، اما ضرایب مسیر منفی بین پاسخ و سایر مؤلفه‌ها (پاسخ → نیروهای محرکه: ۰/۶۱۰-، پاسخ → فشار: ۰/۳۳۳-، پاسخ → وضعیت: ۰/۲۶۶-، پاسخ → اثرات: ۰/۳۷۳-) نشان می‌دهد که پاسخ‌ها اثربخشی لازم را در مهار چرخه نیروی محرکه → فشار → وضعیت → اثرات نداشته‌اند، بلکه با تأثیرات منفی خود موجب کاهش اثربخشی کلی سیستم حکمرانی آب و تشدید آسیب‌پذیری در برخی موارد شده‌اند. این یافته‌ها که در شکل (۶) قابل مشاهده است، وجه تمایز اصلی این شکل نسبت به شکل (۵) است.

بحث

این مطالعه با استفاده هم‌زمان از چارچوب مفهومی DPSIR و روش مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM)، به تحلیل آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در حوضه آبریز کارون بزرگ پرداخته است. این رویکرد، امکان بررسی روابط علی میان مؤلفه‌های اصلی یعنی محرک‌ها، فشارها، وضعیت، اثرات و پاسخ‌ها را فراهم ساخته و نمایی منسجم از پویایی‌های پیچیده و درهم‌تنیده حکمرانی آب در سطح حوضه ارائه می‌دهد. ابتدا، با ترکیب چارچوب DPSIR و روش PLS-SEM که برای نخستین بار در این منطقه به کار گرفته شده است، سیستمی از شاخص‌های ارزیابی طراحی و روابط میان اجزای مدل کمی‌سازی شد. یافته‌های مدل حاکی از آن است که عوامل انسانی و اقلیمی (مانند رشد جمعیت، خشکسالی‌های مکرر، بهره‌برداری بی‌رویه) به‌عنوان محرک‌های اصلی، موجب افزایش فشارها و تغییرات شدید در وضعیت منابع آبی شده‌اند. این وضعیت، پیامدهایی همچون آلودگی، کاهش تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی، و مهاجرت اجباری را به دنبال داشته است. در این میان، پاسخ‌های نهادی نتوانسته‌اند کارکرد مؤثری در کنترل یا تعدیل این روندها ایفا کنند؛ بلکه در برخی مسیرها، تأثیر منفی و بازدارنده‌ای نیز بر سایر مؤلفه‌ها داشته‌اند.

در تحقیقات قبلی، یکی از رویکردهای رایج برای کمی‌سازی آسیب‌پذیری، استفاده از شاخص‌هاست که "جوهره آسیب‌پذیری" را به تصویر می‌کشند. پژوهشگران از روش‌های مختلفی مانند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره $ELER III$ برای بررسی آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در حوضه آبریز بختگان (نصیرنیا و زیبایی، ۱۳۹۵) و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری کارست در حوضه آبریز اخلمد (حری و همکاران، ۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری حوضه‌های رودخانه‌ای (RIV) در حوضه رودخانه جراحی (رستم اصل، ۱۳۹۹)، تحلیل محتوای برای بررسی جامعیت شاخص‌های موجود (Gordon et al, 2024)، مدل حساسیت-تاب‌آوری-فشار ($R-P$) برای ایجاد یک سیستم شاخص ارزیابی کامل از آسیب‌پذیری زیست‌محیطی با استفاده از داده‌های هواشناسی، سنجش از دور و امارتی ($Xu et al$, 2024)، استفاده از معیارهای قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری (RIV) برای ارزیابی تأثیرات تخصیص منابع آب بر قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری سیستم پیوند آب-انرژی-غذا-جامعه ($Zhang et al, 2024$)، استفاده از تحلیل جامع فضایی-زمانی آسیب‌پذیری منابع آب ($Chen et al, 2017$)، ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب نسبت به تغییرات احتمالی در جریان رودخانه با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ($Bogomeo et al, 2015$) پرداخته‌اند. با وجود اینکه مطالعات قبلی خلاصه‌ی جامعی از آسیب‌پذیری منابع آب ارائه داده‌اند، اما مکانیزم‌های داخلی و تعاملات محیط انسانی را نادیده گرفته‌اند. هر چند مطالعات پیشین مانند ($Sun et al, 2018$)، ($Zhao et al, 2021$)، ($Kistiadi et al, 2022$) و ($Zhang et al, 2024$) با استفاده از چارچوب DPSIR و روش PLS-SEM به بررسی مسائل زیست‌محیطی در مقیاس ملی و شهری (نظیر فقر آبی، تاب‌آوری اکولوژیکی و پایداری سکونتگاه‌ها) پرداخته‌اند و روابط علی میان محرک‌ها، فشارها، وضعیت، تأثیرات و پاسخ‌ها را تحلیل کرده‌اند. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از همین چارچوب مفهومی و روش‌شناسی، اما در مقیاس حوضه‌ای و با تمرکز ویژه بر حکمرانی آب در حوضه کارون بزرگ، نقش ناکارآمدی پاسخ‌های نهادی در مواجهه با مخاطرات محیطی را برجسته کرده است. این مطالعه نشان می‌دهد که بدون اصلاح ساختار پاسخ‌ها و سیاست‌گذاری‌های

مرتبط، آسیب‌پذیری نظام آب نه تنها کاهش نمی‌یابد، بلکه می‌تواند تشدید شود. برخلاف مطالعاتی که عمدتاً بر شاخص‌های محیطی یا داده‌های آماری تکیه داشته‌اند، مانند (Bogomoed et al, 2015)، (Gordon et al, 2024) و (Xu et al, 2024) نوآوری این مطالعه در تلفیق داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌های تخصصی و کدگذاری مفهومی با داده‌های کمی مدل‌سازی ساختاری است. این رویکرد امکان تحلیل ابعاد تجربی و نهادی مسئله را در قالب یک سیستم پیچیده حکمرانی آب فراهم کرده و بر پایه روابط علی شناسایی شده، پیشنهادهایی برای بازنگری در سیاست‌های موجود ارائه می‌دهد.

با وجود اهمیت تدوین قوانین و اجرای آن‌ها در حکمرانی آب (Ostrom, 2009; Pahl-Wostl, 2017)، تمرکز این مطالعه بر شناسایی روابط علی میان مؤلفه‌های چارچوب DPSIR با استفاده از تحلیل تجربی PLS-SEM بوده است. در این چارچوب، «توسعه فناوری‌های جدید» و «وضع مقررات جدید در برداشت منابع آب» به عنوان مصادیق پاسخ نهادی تحلیل شده و نتایج نشان داده‌اند که این دو متغیر تنها پاسخ‌های دارای اثرات معنادار در مدل هستند. با این حال، باید توجه داشت که این پاسخ‌ها خود نتیجه فرآیندهای سیاسی و نهادی پیچیده‌تری اند و تفسیر کامل آن‌ها مستلزم تحلیل نهادی عمیق‌تری است که از چارچوب این مطالعه خارج بوده است. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به نبود شاخص‌های دقیق وضعیت فعلی حوضه به دلیل محدودیت داده‌ها و بازه زمانی کوتاه اشاره کرد که بررسی روندهای بلندمدت را دشوار ساخته است. بنابراین، مطالعات آینده می‌توانند با گسترش بازه زمانی، گنجاندن شاخص‌های جدید مانند پاسخگویی و بهره‌گیری از چارچوب‌های تحلیل نهادی مانند IAD برای بررسی عمیق‌تر سازوکارهای تولید و اجرای مقررات استفاده شود. در نهایت، برای کاهش آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب، بازآرایی سازوکارهای پاسخ نهادی ضروری است. از جمله این اقدامات می‌توان به برنامه‌ریزی فضایی جهت کاهش فشارهای جمعیتی، نوسازی زیرساخت‌های آبی، حمایت اقتصادی از کشاورزی پایدار و تقویت هماهنگی نهادی همراه با تضمین اجرای قوانین اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری نظام حکمرانی آب در حوضه آبریز کارون بزرگ، با بهره‌گیری از چارچوب تلفیقی DPSIR انجام شد. تحلیل مدل در شکل (۵) نشان داد که ساختار روابط به صورت یک‌طرفه و خطی از نیروی محرکه به سمت پاسخ طراحی شده بود؛ به این صورت که فلش‌ها از نیروی محرکه به فشار، سپس وضعیت، اثر و در نهایت پاسخ حرکت می‌کردند. در مقابل، در مدل کامل‌تر شکل (۶)، علاوه بر این مسیر خطی، روابط بازگشتی و متقابل از پاسخ به سایر مؤلفه‌ها نیز وارد مدل شد و این مسئله، چرخه‌ای بسته و علی میان مؤلفه‌ها ایجاد کرد. نتایج مدل (۶) نشان داد که در این ساختار چرخه‌ای، مؤلفه پاسخ دارای تأثیر منفی معنادار بر نیروی محرکه (۰/۶۱۰-)، فشار (۰/۳۳۳-)، وضعیت (۰/۲۶۶-) و اثر (۰/۳۷۳-) است. این یافته بیانگر آن است که پاسخ‌های نهادی نه تنها نقش مؤثر در کنترل زنجیره آسیب‌پذیری ایفا نمی‌کنند، بلکه با تأثیرات منفی خود موجب تضعیف عملکرد سایر مؤلفه‌ها و تشدید آسیب‌پذیری شده‌اند. همچنین مقایسه بین دو مدل نشان داد که اگرچه در شکل (۵) مؤلفه اثر با بالاترین ضریب مسیر (۰/۸۲۸) نقش اصلی در افزایش آسیب‌پذیری داشت، اما در شکل (۶) با وارد شدن روابط پاسخ، نقش آغازگر و محرک اصلی به مؤلفه نیروی محرکه با ضریب مسیر (۰/۸۷۲) تعلق گرفت. این جابه‌جایی اهمیت، نشان‌دهنده آن است که در شرایط ضعف پاسخ‌های نهادی، تأثیر عوامل انسانی و اقلیمی به عنوان نیروی محرکه برجسته‌تر و تعیین‌کننده‌تر می‌شود و چرخه آسیب‌پذیری شکل پایداری به خود می‌گیرد. مقادیر R^2 برای مؤلفه‌ها به ترتیب: اثر (۰/۷۰۴)، وضعیت (۰/۶۵۳)، فشار (۰/۵۸۹) و نیروی محرکه (۰/۳۷۲) نشان‌دهنده قدرت توضیحی بسیار بالا تا متوسط مدل است. همچنین مسیرهای غیرمستقیم کلیدی مانند $Direct \rightarrow Pressure \rightarrow Status$ دارای ضریب (۰/۷۰۶)،

مسیر $Dive \rightarrow Pressure \rightarrow Status \rightarrow Impact$ با ضریب (۰/۵۵۰)، و مسیر $Pressure \rightarrow Status \rightarrow Impact$ با ضریب (۰/۶۳۰) معنادار و دارای اثرات قابل توجه بودند. این الگو در مجموع بیانگر آن است که در نبود پاسخ‌های نهادی مؤثر، چرخه نیروی محرکه فشار → وضعیت → اثر به صورت یک زنجیره تقویت‌شونده عمل می‌کند و پاسخ‌ها قادر به تعدیل آن نیستند. همچنین ارزیابی روایی تشخیصی با استفاده از معیار فورنل-لارکر نشان داد که تنها سازه‌های نیرو محرکه (۰/۸۷۱) و پاسخ (۰/۸۸۸) دارای روایی کامل هستند، در حالی که وضعیت (۰/۷۵۵)، اثر (۰/۷۲۷) و فشار (۰/۷۵۱) هم‌پوشانی‌هایی دارند. این موضوع ضرورت انجام مطالعات کیفی مکمل برای شفاف‌سازی مرزهای مفهومی را نشان می‌دهد.

منابع

- ارشدی، محمد؛ باقری، علی. (۱۳۹۲). تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم‌ها. فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ۹ (۳)، ۱-۱۳.
- اسلامی، روح‌اله؛ رحیمی، احمد. (۱۳۹۸). سیاست‌گذاری و بحران آب در ایران. سیاست‌های راهبردی و کلان، ۷ (۲۷)، ۴۳۵-۴۱۰.
- افشین، یدالله. (۱۳۹۳). رودهای ایران ج. ۱. وزارت نیرو، مهندسین مشاور جاماب، صص. ۲۵۷-۲۵۵.
- بانج شفیعی، شهرام؛ سید اخلاقی، سید جعفر؛ سید اخلاقی، سیدعباس؛ قاسمی آریان، یاسر. (۱۳۹۹). ارزیابی مدیریت بلندمدت آب در فعالیت‌های کشاورزی (مطالعه موردی: استان خوزستان). طبیعت ایران، ۵ (۲)، ۴۵-۵۱.
- حری، سمانه؛ سپهر، عادل؛ بهنیا، ابوالفضل. (۱۳۹۴). تهیه نقشه حساسیت‌پذیری کارست حوضه آبریز اخلمد با استفاده از مدل الکتر. III. در سی و چهارمین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم و زمین، ایران.
- رستم‌اصل، فردین؛ سعدالدین، امیر؛ اوتق، مجید؛ آرمین، محسن. (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های رودخانه‌ای در حوضه رودخانه جراحی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷ (۲)، ۴۷-۶۸.
- سازمان آب و برق خوزستان. (۱۳۷۹). ارزیابی آلاینده‌ها در رودخانه کارون. بخش ارزیابی کیفیت آب.
- سازمان آب و برق خوزستان. (۱۳۸۰). شور شدن آب آبادان. دفتر بهره‌برداری از منابع آب.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۳۸۳). دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور (ص. ۵). تهران: شرکت مدیریت منابع آب ایران. بازایی‌شده در ۱۰ مرداد ۱۳۹۶.
- شرکت مهندسین مشاور جاماب. (۱۳۸۴). مطالعات برنامه جامع سازگاری با منابع آب در حوضه آبریز کارون بزرگ. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران. بازایی از <https://jamab.ir>
- نصرنیا، فاطمه؛ زیبایی، منصور؛ بخشوده، محمد. (۱۳۹۷). آسیب‌پذیری کشاورزان حوضه آبریز بختگان قبل و پس از وقوع خشکسالی: رهیافت اقتصاد کشاورزی (اقتصاد و کشاورزی)، ۱۲ (۳)، ۴۷-۷.

REFERENCES

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.

- Afshin, Y. (1994). *Rivers of Iran* (Vol. 1). Ministry of Energy, Mahab Ghods Consulting Engineers, pp. 255–257. (In Persian).
- Agramont, A., Nora, v. C., Ann, v. G., & Craps, M. (2022). Integrating spatial and social characteristics in the DPSIR framework for the sustainable management of river basins: case study of the Katari River Basin, Bolivia. *Water International*, 47(1), 8–29.
- Allen, W. (2022). Using a DPSIR framework to support natural resource management and policy. *Learning for Sustainability*.
- Arshadi, M., & Bagheri, A. (2013). Analysis of the Karun Basin water resources system from a sustainability perspective using a system dynamics approach. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 9(3), 1–13. (In Persian).
- Banedj Shafiei, Sh., Seid Akhlaghi, S. J., Seid Akhlaghi, S. A., & Ghasemi Arian, Y. (2020). Assessing long-term water management in agricultural activities (case study: Khuzestan Province). *Iran Nature*, 5(2), 45–51. (In Persian).
- Benson, D., Gain, A. K., & Rouillard, J. J. (2015). Water governance in a comparative perspective: from IWRM to a 'nexus' approach? *Water alternatives*, 8(1), 756–773.
- Borgomeo, E., Farmer, C. L., & Hall, J. W. (2015). Numerical rivers: A synthetic streamflow generator for water resources vulnerability assessments. *Water Resources Research*, 51(7), 5382–5405.
- Cai, J., Varis, O., & Yin, H. (2017). China's water resources vulnerability: A spatio-temporal analysis during 2003–2013. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2901–2910.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*, 295(2), 295–336.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. routledge.
- Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. R. (2014). *World water vision: making water everybody's business*. Routledge.
- Cutter, S. L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the national academy of sciences*, 105(7), 2301–2306.
- Davison, A. C., & Hinkley, D. V. (1997). *Bootstrap methods and their application*. Cambridge university press.
- Dijkstra, T. K. (2010). Latent variables and indices: Herman Wold's basic design and partial least squares. In V. Esposito, W. W. Chin, J. Henseler, & H. Wang (Eds.), *Handbook of partial least squares: Concepts, methods and applications (Springer handbooks of computational statistics series)* (Vol. 2, pp. 23–46). Springer.
- Dijkstra, T. K., & Henseler, J. (2015). Consistent partial least squares path modeling. *MIS quarterly*, 39(2), 297–316.
- Dolan, F., Lamontagne, J., Link, R., Hejazi, M., Reed, P., & Edmonds, J. (2021). Evaluating the economic impact of water scarcity in a changing world. *Nature communications*, 12(1), 1915.
- Eakin, H., & Luers, A. L. (2006). Assessing the vulnerability of social-environmental systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 31(1), 365–394.
- Eslami, R., & Rahimi, A. (2019). Water policy-making and crisis in Iran. *Strategic and Macro Policies*, 7(27), 410–435. (In Persian).
- Ficklin, D. L., Null, S. E., Abatzoglou, J. T., Novick, K. A & Myers, D. T. (2022). Hydrological intensification will increase the complexity of water resource management. *Earth's Future*, 10(3), e2021EF002487.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39–50.
- Galaz, V. (2007). Water governance, resilience and global environmental change—a reassessment of integrated water resources management (IWRM). *Water Science and Technology*, 56(4), 1–9.
- Gordon, B. L., Koebele, E. A., Rego, J. J., Harpold, A. A., & Ajami, N. K. (2024). Adaptable and comprehensive vulnerability assessments for water resources systems in a rapidly changing world. *Journal of Environmental Management*, 352, 119958.

- Guptha, G. C., Swain, S., Al-Ansari, N., Taloor, A. K., & Dayal, D. (2021). Evaluation of an urban drainage system and its resilience using remote sensing and GIS. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100601 .
- Guptha, G. C., Swain, S., Al-Ansari, N., Taloor, A. K., & Dayal, D. (2022). Assessing the role of SuDS in resilience enhancement of urban drainage system: A case study of Gurugram City, India. *Urban Climate*, 41, 101075 .
- Hair, J. J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook*. Springer Nature .
- Hair, J., Ringle, C., & Sarstedt, M. (۲۰۱۱) .PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19, 139–151.
- Hari, S., Sepehr, A., & Behniafar, A. (2015). Preparing the karst vulnerability map of the Akhlamad Basin using the ELECTRE III model. In *Proceedings of the 34th International Geological Congress*, Iran. (In Persian).
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature communications*, 12 . ۴۶۶۷ ,(۱)
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, 43, 115–135 .
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). *The Use of Partial Least Squares Path Modeling in International Marketing* (R. R. Sinkovics & P. N. Ghauri, Eds. Vol. 20). Emerald Group Publishing Limited.
- Hosseini-Zare, N., Gholami, A., Panahpour, E., & Jafarnejadi, A. (2014). Pollution load assessment in the soil and water resources: a case study in Karun river drainage basin, southwest of Iran. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 3(3 (s)), pp. 427–434 .
- Huang, Y., & Cai, M. (2009). *Methodologies Guidelines: Vulnerability Assessment of Freshwater Resources to Environmental Change*. UNEP .
- IPCC. (2022a). Chapter 4: Land degradation. In Ipcc (Ed.), *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Cambridge University Press.
- IPCC .(2022b). *Fact sheets /Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iran Water Resources Management Company. (2004). *Guidelines and regulations for classification and coding of river basins and study areas at the national level* (p. 5). Tehran: Iran Water Resources Management Company. Retrieved August 1, 2017. (In Persian).
- Kaushik, J., Kumar, V., Garg, A. K., Dubey, P., Tripathi, K. M., & Sonkar, S.K. (2021). Bio-mass derived functionalized graphene aerogel: A sustainable approach for the removal of multiple organic dyes and their mixtures. *New Journal of Chemistry*, 45(20), 9073–9083 .
- Khan, S. U., Cui, Y., Khan, A. A., Ali, M. A. S., Khan, A., Xia, X., Liu, G., & Zhao, M. (2021). Tracking sustainable development efficiency with human-environmental system relationship: An application of DPSIR and super efficiency SBM model. *Science of The Total Environment*, 783, 146959.
- Khuzestan Water and Power Authority. (2000). *Assessment of pollutants in the Karun River*. Water Quality Assessment Division. (In Persian).
- Khuzestan Water and Power Authority. (2001). *Salinization of Abadan water*. Water Resources Operation Office. (In Persian).
- Kitamori, K., Manders, T., Dellink, R., & Tabeau, A. (2012). *OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inactio*.
- Kristiadi, Y., Sari, R. F., Herdiansyah, H., Hasibuan, H. S., & Lim, T. H .(۲۰۲۲) .Developing DPSIR framework for managing climate change in urban areas: A case study in Jakarta, Indonesia. *Sustainability*, 14(23), 15773 .

- Krogh, S. A., Scaff, L., Sterle, G., Kirchner, J., Gordon, B., & Harpold, A. (2021). Diel streamflow cycles suggest more sensitive snowmelt-driven streamflow to climate change than land surface modeling. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2021, 1–41 .
- Lane, R. A., & Kay, A. L. (2021). Climate change impact on the magnitude and timing of hydrological extremes across Great Britain. *Frontiers in Water*, 3, 684982 .
- Lewison, R. L., Rudd, M. A., Al-Hayek, W., Baldwin, C., Beger, M., Lieske, S. N., Jones, C., Satumanatpan, S., Junchompoo, C., & Hines, E. (2016). How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems. *Environmental Science & Policy*, 56, 110–119.
- Luers, A. L. (2005). The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. *Global environmental change*, 15(3), 214–223 .
- Mahab Consulting Engineers. (2005). *Comprehensive water resources adaptation plan studies in the Karun River Basin*. Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company. Retrieved from <https://jamab.ir>. (In Persian).
- Maja, M. M., & Ayano, S. F. (2021). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 271–283 .
- Malekmohammadi, B., & Jahanishakib, F. (2017). Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. *Ecological Indicators*, 82, 293–303 .
- Maxim, L., Spangenberg, J. H., & O'Connor, M. (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, 69(1), 12–23.
- Nasarnia, F., Zibaei, M., & Bakhshoudeh, M. (2018). Vulnerability of farmers in the Bakhtegan Basin before and after drought occurrence: An agricultural economics approach. *Economics and Agriculture*, 12(3), 7–47. (In Persian).
- Nathwani, J., Lu, X., Wu, C., Fu, G., & Qin, X. (2019). Quantifying security and resilience of Chinese coastal urban ecosystems. *Science of The Total Environment*, 672, 51–60.
- Ness, B., Anderberg, S., & Olsson, L. (2010). Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework. *Geoforum*, 41(3), 479–488.
- Niemeijer, D., & de Groot, R. S. (2008). Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. *Environment, Development and Sustainability*, 10(1), 89–106.
- Ofogh, A. R. E., Dorche, E. E., Birk, S., & Bruder, A. (2023). Effect of seasonal variability on the development and application of a novel Multimetric Index based on benthic macroinvertebrate communities—A case study from streams in the Karun river basin (Iran). *Ecological Indicators*, 146, 109843 .
- Ostrom, E. (2009). *Understanding institutional diversity*. Princeton university press .
- Pahl-Wostl, C. (2017). An evolutionary perspective on water governance: From understanding to transformation. *Water Resources Management*, 31, 2917–2932 .
- Pakmehr, S., Yazdanpanah, M., & Baradaran, M. (2020). How collective efficacy makes a difference in responses to water shortage due to climate change in southwest Iran. *Land Use Policy*, 99, 104798.
- Partnership, G. W. (2004). *Catalyzing change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies*. Global Water Partnership Secretariat.
- Pegram, G., Li, Y., & Le Quesne, T. (2013). *River basin planning: Principles, procedures and approaches for strategic basin planning*. UNESCO .
- Qiu, J., Shen, Z., & Xie, H. (2023). Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. *Science of The Total Environment*, 858, 159854.
- Rogers, P., & Hall, A. W. (2003). *Effective water governance* (Vol. 7). Global water partnership Stockholm .
- Rostam-Asl, F., Saadeddin, A., Oungh, M., & Armin, M. (2020). Assessing the vulnerability of river systems in the Jarahi River Basin. *Water and Soil Conservation Research*, 27(2), 47–68. (In Persian).

- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158, 106936 .
- Sun, C., Wu, Y., Zou, W., Zhao, L., & Liu, W. (2018). A rural water poverty analysis in China using the DPSIR-PLS model. *Water resources management*, 32, 1933–1951 .
- Swain, S., Kumar Mishra, S., & Pandey, A. (2020). Assessment of meteorological droughts over Hoshangabad district, India. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 491(1), 012012.
- Swain, S., Sharma, I., Mishra, S. K., Pandey, A., Amrit, K., & Nikam, V. (2020). A Framework for Managing Irrigation Water Requirements under Climatic Uncertainties over Beed District, Maharashtra, India. In *World Environmental and Water Resources Congress 2020* (pp. 1–8).
- Taye, M. T., Willems, P., & Block, P. (2015). Implications of climate change on hydrological extremes in the Blue Nile basin :A review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 280–293.
- Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289(5477), 284–288 .
- Wold, H. (1975). Path models with latent variables: The NIPALS approach. In H. M. Blalock, A. Aganbegian, F. M. Borodkin, R. Boudon, & V. Capecchi (Eds.), *Quantitative Sociology: International Perspectives on Mathematical and Statistical Modeling* (pp. 307–357). Academic Press .
- Wold, H. (1980). Model construction and evaluation when theoretical knowledge is scarce: Theory and application of PLS. In J. Kmenta & J. B. Ramsey (Eds.), *Evaluation of Econometric Models* (pp. 47–74). Academic Press .
- Wold, H. (1982). Soft modeling: The basic design and some extensions. In K. G. Jöreskog & H. Wold (Eds.), *Systems under indirect observations: Part II* (pp. 1–54). North-Holland .
- Xia, C., & Zhai, G. (2023). Territorial spatial vulnerability assessment based on PSO-BP neural network: A case study in Shenzhen, China. *Ecological informatics*, 75, 102088 .
- Xiong, J., & Yang, Y. (2024). Climate Change and Hydrological Extremes. *Current Climate Change Reports*, 11(1), 1 .
- Xu ,C., Hu, X., Wang, X., Liu, Z., Tian, J., & Ren, Z. (2024). Spatiotemporal variations of eco-environmental vulnerability in Shiyang River Basin, China. *Ecological Indicators*, 158, 111327 .
- Zhang, H., Liu, J., & Guo, Q. (2024). Evaluation of rural human settlements in China based on the combined model of DPSIR and PLS-SEM. *Environmental Impact Assessment Review*, 108, 107617 .
- Zhao, C., Brissette, F., Chen, J., & Martel, J.-L. (2020). Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, 584, 124316.
- Zhao, R., Fang, C., Liu, H., & Liu, X. (2021). Evaluating urban ecosystem resilience using the DPSIR framework and the ENA model :A case study of 35 cities in China. *Sustainable Cities and Society*, 72, 102997 .
- Zhao, Y. e., Zhang, Q. -p., Zhang, H. -r., & Huang, S. (2024). Spatio-temporal patterns and driving factors of green development level in alpine meadow regions: A case study in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture. *Ecological Indicators*, 168, 112751 .