



Research Paper

**Structural Analysis of Influential and Responsive Drivers in the Sistan Social–Ecological System: Root Cause Analysis of the Crisis and Natural Resource Monitoring**

Fazeleh Rakhshani<sup>1</sup>, Malihe Erfani<sup>1\*</sup>, Fatemeh Einollahipeer<sup>1</sup>, Narjes Okati<sup>1</sup>

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: 2/06/2026  
Revised: 22/06/2026  
Accepted: 1/07/2026

**ABSTRACT**

*This research was conducted with the aim of identifying the key drivers affecting the sustainability of Sistan's ecological resources, including soil, water, and vegetation. 67 drivers with Delphi method and systems thinking were identified and then analyzed using MICMAC to determine their impact and influence within the framework of direct, indirect, probable direct, and probable indirect relationships. The results showed that the drivers of self-interest, discouragement or indifference of managers and decision-makers, corruption and managerial inefficiency, and the lack of commitment of parliamentarians and local councils to the Sistan conservation and development vision programs have the greatest influence and the lowest dependency, and were therefore identified as the key drivers. Moreover, drivers such as reduced biodiversity and ecosystem services, aesthetic decline in natural and artificial landscapes, environmental and human health, failure to implement vegetation restoration plans, degradation of afforestation projects and off-road traffic inside the Hamoon Wetland, tourism and the local economy, lack of participation of people and non-governmental organizations in implementing desertification-control programs, public distrust of officials, migration, and increased poverty were identified as response drivers with the highest dependency and lowest influence. The examination of driver displacement showed that the system has structural stability based on the influence and dependence relationships between the variables. The findings indicate that key drivers are concentrated in managerial, political, and governance domains, while response drivers lie within economic, social, cultural, and ecological dimensions. Accordingly, it can be inferred that improving response drivers depends on enhancing conditions of managerial, political, and governance spheres..*

**Keywords:**

*Futures studies, Matrix of Cross Impact Multiplication Applied to a Classification (MICMAC), Key drivers, Sustainability*

\*Corresponding Author: [maliheerfani@uoz.ac.ir](mailto:maliheerfani@uoz.ac.ir)



Copyright© 2026, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution- NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

A

**Extended Abstract****Introduction**

Addressing the widespread environmental challenges of today, such as declining biodiversity and poor management of water and natural resources, requires managing human communities and natural ecosystems as integrated social-ecological systems. Understanding these systems depends on systems thinking, which looks at the connections and dynamics among different parts of the system and underpins effective forecasting studies. Futures studies is an interdisciplinary and systematic field focused on identifying possible, probable, and desirable futures, with the first step being to identify the drivers that influence the system's state. Given the critical condition of ecological resources in Sistan, this research was conducted to identify the key factors affecting the sustainability of soil, water, and vegetation resources in the Sistan region.

**Methodology**

To achieve the goals of the study, 67 drivers were identified through systems thinking and Delphi methods across three main categories: ecological, socio-economic and cultural, and managerial, political, and governance-related. Subsequently, a cross-impact matrix was constructed and completed by experts. The matrix values ranged from 0 to 3, representing no influence to a strong influence of the row driver on the column driver, while the value 4 represented probable impacts. Using MICMAC software, the influence and dependency of the drivers were analyzed under four modes: direct, indirect, probable direct, and probable indirect. Furthermore, the displacement of drivers across different modes was examined. The stability of the system was evaluated by analyzing the distribution of drivers across the axes of influence and dependency.

**Results and Discussion**

The results showed that out of 4,489 possible relationships among drivers, the matrix fill-rate was 19.7%, which falls within the acceptable range. The drivers of self-interest, discouragement or indifference of managers and decision-makers, corruption and managerial inefficiency, and the lack of commitment of parliamentarians and local councils to Sistan's conservation and development vision programs exhibited the highest influence and lowest dependency; therefore, they were identified as key drivers.

Additionally, drivers such as reduced biodiversity and ecosystem services, aesthetic decline in natural and artificial landscapes, environmental and human health, failure to implement vegetation restoration plans, degradation of afforestation projects and off-road traffic inside the Hamoon Wetland, tourism and the local economy, lack of participation and discouragement of people and non-governmental organizations in implementing desertification-control and dust-mitigation programs, public distrust of officials, migration and population structure changes, and increased poverty and inequality were identified as response drivers with the highest dependency and lowest influence.

The strongest relationships in the indirect mode were the effects of the drivers of profiteering and discouragement or indifference of managers and decision-makers on the drivers of tourism and the local economy, while these connections were even stronger in the direct mode. The findings also showed that the driver of lack of attention to the role of international organizations and the exchange of experiences in the field of sustainable management of soil, water, and vegetation experienced the greatest increase in influence in the combined transition from direct to probable direct and from direct to probable indirect. In contrast, the driver of filtering many virtual spaces experienced the greatest decrease in influence in the transition from indirect to probable direct.

---

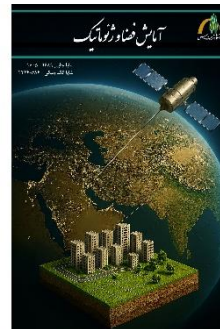
In terms of dependency, the driver of the arrival of non-Iranian immigrants and the spread of insecurity recorded the greatest increase in the transition from direct to probable direct, while the driver of weakness in establishing a link between the university, executive organizations, and management officials recorded the greatest decrease in the transition from indirect to probable direct. Despite these changes, however, the system remained stable, and the key drivers and response drivers showed minimal variation. Similar to the findings of many other studies, the present research indicated that managerial–governance drivers are typically the most stable and decisive drivers shaping long-term trajectories. Socioeconomic drivers behave more reactively and are sensitive to governance changes, while ecological drivers are highly dependent on managerial and socioeconomic conditions.

### **Conclusion**

The results of this research indicate that the key drivers are concentrated within the managerial, political, and governance domains, whereas the response drivers lie within the economic, social, cultural, and ecological dimensions. Accordingly, it can be inferred that improving the response drivers depends on enhancing conditions within managerial, political, and governance domains. Unless the key drivers in these domains, including the self-interest, discouragement, and indifference of managers and decision-makers, the persistent corruption and managerial inefficiency within administrative systems, and the insufficient commitment of parliamentarians and local councils to Sistan’s long-term conservation and development vision, are properly acknowledged, and systematically addressed, the ecological resources of Sistan will not recover or show meaningful improvement.

Moreover, the stability of the system indicates that planning for its improvement remains feasible. It is therefore recommended that the key response drivers be monitored quantitatively and precisely to assess the influence of key drivers over time. Conducting subsequent stages of futures studies using the La Prospective (LIPSOR) school and developing scenarios is also recommended for guiding managerial actions

---



## تحلیل ساختاری پیشران‌های اثرگذار و اثرپذیر در سیستم اجتماعی-بوم‌شناختی

### سیستان: ریشه‌یابی بحران و پایش وضعیت منابع طبیعی

فاضله رخشانی<sup>۱</sup>، ملیحه عرفانی<sup>۱\*</sup>، فاطمه عین الهی پیر<sup>۱</sup>، نرجس اکاتی<sup>۱</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲  
آخرین ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰

این پژوهش با هدف شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت منابع بوم‌شناختی خاک، آب و پوشش گیاهی سیستان انجام شد. برای دستیابی به این هدف، ۶۷ پیشران با روش دلفی و بهره‌گیری از تفکر سیستمی شناسایی و سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار میک‌مک مورد تحلیل قرار گرفتند تا میزان اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها در چارچوب روابط مستقیم، غیرمستقیم، احتمالی مستقیم و احتمالی غیرمستقیم مشخص شود. نتایج نشان داد پیشران‌های منفعت‌طلبی، دلسردی یا بی‌علاقگی مدیران و تصمیم‌گیران، فساد و ناکارآمدی مدیریتی، عدم تعهد نمایندگان مجلس، شوراها به برنامه‌های چشم‌انداز حفاظت و توسعه سیستان دارای بیشترین قدرت اثرگذاری و کمترین تاثیرپذیری هستند که به عنوان پیشران‌های کلیدی معرفی شدند. همچنین پیشران‌هایی نظیر کاهش تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی، کاهش زیبایی‌شناختی در مناظر طبیعی و مصنوعی، بهداشت محیط و سلامت انسان، عدم موفقیت در اجرای طرح‌های احیای پوشش گیاهی، تخریب جنگلکاری‌ها و تردد از مسیرهای خارج از جاده داخل تالاب هامون، گردشگری و اقتصاد محلی، عدم مشارکت مردم و سازمان‌های غیردولتی در اجرای برنامه‌های بیابان‌زدایی و مقابله با ریزگردها، بی‌اعتمادی مردم به مسئولین، مهاجرت و افزایش فقر به عنوان پیشران‌های پاسخ که دارای بالاترین تاثیرپذیری و کمترین تاثیرگذاری‌اند، شناسایی شدند. بررسی جابه‌جایی پیشران‌ها نیز نشان داد سیستم بر اساس روابط تاثیرگذاری و تاثیرپذیری متغیرها همچنان دارای پایداری ساختاری است. بر اساس نتایج به‌دست آمده پیشران‌های کلیدی در حوزه مدیریتی، سیاسی و حاکمیتی متمرکز هستند و پیشران‌های پاسخ در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و بوم‌شناختی قرار دارند. بنابراین می‌توان دریافت که بهبود پیشران‌های پاسخ منوط به ارتقاء وضعیت حوزه‌های مدیریتی، سیاسی و حاکمیتی است.

### واژگان کلیدی:

آینده‌پژوهی، ضرب ماتریس اثرات متقابل جهت طبقه‌بندی (میک‌مک)، پیشران‌های کلیدی، پایداری



## ۱. مقدمه

بحران جهانی محیط‌زیست تا حد زیادی ناشی از برداشت تحریف‌شده کشورهای صنعتی - به‌ویژه در غرب - از طبیعت و نسبت انسان با جهان طبیعی است، برداشتی که دست‌کم از زمان انقلاب صنعتی، طبیعت را ماشینی بی‌جان و قابل سلطه دانسته و زمینه بهره‌برداری ابزاری از آن را فراهم کرده است (McGregor, 2018: 113). پیامد این نگرش، آسیب گسترده به نظام‌های محیط‌زیستی و شکل‌گیری چالش‌های متعدد بوم‌شناختی بوده است. در مواجهه با مشکلاتی همچون کاهش تنوع زیستی و سوءمدیریت منابع آب، منابع طبیعی و جوامع انسانی باید در قالب سیستم‌های یکپارچه اجتماعی - بوم‌شناختی مدیریت شوند. این رویکرد می‌تواند به تخصیص بهینه منابع و توسعه سیاست‌های مؤثر کمک می‌کند (Delgado-Serrano et al., 2016: 1; Bengston, 2019: 1099). سیستم‌های پیچیده اجتماعی-بوم‌شناختی را می‌توان از طریق تفکر سیستمی بهتر درک کرد، زیرا این رویکرد ارتباطات درونی و پویایی بخش‌های مختلف سیستم را آشکار می‌سازد (McCool & Kline, 2020: 161; Kotir, 2017) و امکان مدل‌سازی دقیق‌تر تعاملات و تقویت مدیریت منابع طبیعی را فراهم می‌کند (Nyam et al., 2020: 9871). چنین درک یکپارچه و پویایی از سیستم‌های اجتماعی-بوم‌شناختی، بنیانی حیاتی برای آینده‌پژوهی اثربخش است. حوزه‌ای که فراتر از پیش‌بینی آینده، بر شناسایی روندها، عدم قطعیت‌ها و اهرم‌های تغییر برای شکل‌دهی آینده مطلوب تمرکز دارد (Barbrook-Johnson & Penn, 2022; Sanhueza-Aros et al., 2025: 1).

آینده‌پژوهی دانشی میان‌رشته‌ای و نظام‌مند است که با مطالعه الگوها، منابع و عوامل مؤثر بر تغییر، به تبیین و تجسم آینده‌های ممکن، محتمل و مطلوب می‌پردازد و گذار وضعیت حال به آینده را در چارچوبی علمی و تحلیلی بررسی می‌کند. این حوزه با تأکید بر مواجهه آگاهانه با عدم قطعیت‌ها، به‌جای فرض یک آینده قطعی، طیفی از آینده‌های بدیل را شناسایی می‌کند و از این طریق زمینه برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر و تصمیم‌سازی هوشمندانه را فراهم می‌سازد (Bamooeifard, 2020).

با گسترش چالش‌های محیط‌زیستی در کشور و جهان، پژوهشگران به ضرورت تحلیل پیچیدگی سیستم‌های اجتماعی - بوم‌شناختی پی برده‌اند. در همین راستا، روش‌های ساختاری مانند میک مک در مکتب لاپروسپکتیو به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و رتبه‌بندی پیشران‌های کلیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، چرا که این روش قادر است نقش عوامل مختلف را در جهت‌دهی به آینده منابع طبیعی مشخص سازد. تغییرات اقلیمی، کاهش منابع آب و تخریب گسترده پوشش گیاهی و خاک، چالش‌های جدی در مدیریت منابع بوم‌شناختی سیستان به وجود آورده است. همچنین، عدم تعهد دولت افغانستان به تأمین حق‌آبه ایران و روش‌های نادرست آبیاری، وضعیت را وخیم‌تر کرده است. حل این مسائل از طریق ریشه‌یابی پیشران‌های کلیدی در مرحله نخست و اصلاح عملی این عوامل در گام بعد امکان‌پذیر است. از این رو در پژوهش حاضر آینده‌پژوهی برخی منابع بوم‌شناختی در منطقه سیستان با اهداف شناسایی پیشران‌های کلیدی اثرگذار بر وضعیت منابع بوم‌شناختی و پیشران‌های پاسخ جهت‌پایش وضعیت منابع بوم‌شناختی مورد توجه قرار گرفت.

## ۲. مبانی نظری پژوهش

آینده‌پژوهی نقشی کلیدی در سیاست‌گذاری عمومی و توسعه راهبردهای پایدار دارد (Rouindej et al., 2019). در میان مکاتب سه‌گانه آینده‌پژوهی (منطق شهودی، روندهای احتمالی اصلاح‌شده و لاپروسیکتیو)، مکتب لاپروسیکتیو به دلیل تأکید بر آینده‌سازی فعال و ابزارهای ساختاریافته، برای پژوهش حاضر مناسب‌ترین چارچوب را فراهم کرد (Amer et al., 2013; Godet, 2006). در حالی که مکتب منطق شهودی عمدتاً بر قضاوت خبرگان و سناریوسازی کیفی متکی است (Wright et al., 2013) و مکتب روندهای احتمالی اصلاح‌شده بر پیش‌بینی کمی و تحلیل روندها تمرکز دارد (UK Government Office for Science, 2024)، مکتب لاپروسیکتیو با ارائه ابزارهایی مانند ضرب ماتریس اثرات متقابل جهت طبقه‌بندی (میک‌مک/MICMAC-)، امکان تحلیل ساختاری روابط بین متغیرها و شناسایی پیشران‌های کلیدی را فراهم می‌سازد (Bradfield, 2025; Godet, 2006). روش میک‌مک از طریق ضرب ماتریس اثرات متقابل و محاسبه اثرات مستقیم و غیرمستقیم، امکان تفکیک پیشران‌ها را در محورهای اثرگذاری و اثرپذیری را می‌دهد که هسته اصلی تحلیل این پژوهش را تشکیل می‌دهد (Bradfield, 2025). رویکرد پیش‌آگاهی راهبردی که حاصل تلفیق سه مکتب یادشده است، امروزه امکان تصمیم‌سازی پویا در شرایط عدم قطعیت را فراهم می‌سازد (Kristóf & Nováky, 2023; Bradfield, 2025).

تفکر سیستمی بر شناسایی روابط میان اجزای یک سیستم و تعیین مرزهای آن پیش از هرگونه قضاوت اولیه در مورد حذف یا اولویت‌دهی تأکید دارد. این رویکرد که با مفاهیمی چون روابط متقابل، چشم‌اندازها و مرزها شناخته می‌شود، زمینه را برای تحلیل ساختاری بدون سوگیری فراهم می‌آورد (Reynolds, 2024). روش تحلیل ساختاری میک‌مک عیناً همین منطق را عملیاتی می‌کند: ابتدا تمام متغیرهای مرتبط با سیستم وارد ماتریس می‌شوند و سپس روابط مستقیم میان آنها بر اساس نظر خبرگان ثبت می‌گردد (Godet & Durance, 2011). بدین ترتیب، میک‌مک را می‌توان تجسمی عینی نگاه سیستمی در آینده‌پژوهی دانست.

از منظر مدیریتی، پیشران‌های کلیدی در این روش عمدتاً ماهیتی ساختاری، کیفی و غیرقابل اندازه‌گیری مستقیم دارند. از آنجا که رفتار آینده سیستم به شدت به این پیشران‌ها وابسته است، لازم است شاخص‌های کمی و عینی (پیشران‌های پاسخ) برای پایش و ارزیابی مستمر آنها تعریف شوند (Dinsa & Nurhusein, 2026). بنابراین، تنها در صورت شناسایی همه پیشران‌های سیستم با رویکرد سیستمی، می‌توان به پیشران‌های پاسخ کمی و قابل اندازه‌گیری دست یافت. با وجود کاربرد گسترده روش میک‌مک، الگوی نظری مشخصی برای تلفیق این روش با مبانی تفکر سیستمی در تحلیل سیستم‌های محیط‌زیستی با شرایط بحرانی منابع طبیعی تدوین نشده است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند این شکاف نظری را با ارائه چارچوبی ترکیبی پر کرده و پیشران‌های کلیدی مؤثر بر آینده سیستم را شناسایی نماید.

## آمایش فضا و ژئوماتیک

## ۳. پیشینه پژوهش

استفاده از روش‌های آینده‌پژوهی برای تحلیل پایداری منابع طبیعی، در دهه‌های اخیر به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. در این حوزه، روش میک‌مک یکی از انواع ابزارهای اصلی برای شناسایی و رتبه‌بندی پیشران‌های کلیدی محسوب می‌شود (Omara et al., 2020).

در ایران، بسیاری از پژوهش‌ها به کاربرد میک‌مک در مدیریت منابع بوم‌شناختی آب، خاک و پوشش گیاهی پرداخته‌اند. در حوزه منابع آب، پژوهش‌های مختلفی توسط بهشتی و همکاران (۱۳۹۹)، علیایی و همکاران (۱۴۰۳) و عامری گلستان و همکاران (۱۴۰۴) و محمدی شیرکلایی و ابراهیمی (۱۴۰۴) انجام شده است. در این مطالعات تعداد پیشران‌های مورد بررسی ۱۳ تا ۳۶ مورد بوده است. سیستم‌های مورد مطالعه آنها ناپایدار بوده و عوامل مختلفی نهادی-مدیریتی و سیاسی را از مهم‌ترین عوامل موثر بر مدیریت آب معرفی کرده‌اند. در حوزه خاک نیز مطالعات مختلفی انجام شده است. عبدالشاه‌نژاد و همکاران (۱۴۰۱) با تمرکز بر تاب‌آوری کشاورزان تحت تأثیر گرد و غبار، نقش پیشران‌های اقتصادی، اجتماعی و طبیعی-فیزیکی را برجسته ساختند. وضعیت کلی محیط زیست نیز در برخی از مطالعات آینده‌پژوهی بررسی شده است. به عنوان نمونه جهانی شکیب و همکاران (۱۴۰۱) وضعیت محیط‌زیست استان خراسان جنوبی را به روش‌های آینده‌پژوهی بررسی کردند و پس از بررسی ۵۵ پیشران اولیه از طریق روش میک‌مک، سناریوهایی را نیز بر اساس پیشران‌های کلیدی تدوین نمودند. مطالعات آینده‌پژوهی انجام شده در این زمینه در سیستم شامل معدودی از مطالعات است که در حوزه‌های مختلف منابع طبیعی و محیط زیست انجام شده است. عرفانی و میرچراغخانی (۱۳۹۸) از رویکرد آینده‌پژوهی میک‌مک جهت تعیین پیشران‌های توسعه گردشگری طبیعی و فرهنگی در سیستم استفاده کردند و مهم‌ترین عوامل توسعه‌نیافتگی صنعت گردشگری در سیستم را پس از بررسی ۵۵ پیشران در دسته عوامل سیاسی و نهادی به دست آوردند. همچنین آنها پیشران عدم سرمایه‌گذاری در منطقه نیز به‌عنوان پیشران وابسته شاخص جهت نشان‌دادن وضعیت گردشگری معرفی کردند. در مطالعه آینده‌پژوهی تنوع زیستی سیستم، تغییرات اقلیمی، توسعه سدهای افغانستان، کمبود آب و کاهش اراضی کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین پیشران‌ها شناسایی شدند (Erfani et al., 2021). همچنین، صابری (۱۴۰۰) در بررسی عوامل مؤثر بر تخریب مراتع سیستم نشان داد که از میان ۸۱ پیشران، ضعف شایسته‌سالاری، غلبه روابط بر ضوابط و ناکارآمدی مدیریتی از اثرگذارترین پیشران‌ها در تحلیل‌های مستقیم و غیرمستقیم هستند.

در سطح بین‌المللی، مطالعات مشابه نیز بر کاربرد میک‌مک و تحلیل ساختاری در مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست تأکید دارند که به برخی از آنها در ادامه اشاره شده است. Ariyani و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص مدیریت آب در مساله سیلاب اندونزی ۱۱ پیشران را شناسایی و روابط مستقیم و غیرمستقیم آنها را بررسی کردند. آنها بازندگی و فاصله از رودخانه را به عنوان پیشران‌های مستقل اثرگذار و پوشش زمین، شیب، تراکم جمعیت و زباله‌های رودخانه‌ای را به عنوان وابسته‌ترین پیشران‌ها شناسایی کردند. همچنین در مطالعه آنها مؤسسات در مقایسه با سایر متغیرها، جابجایی بزرگتری را در حالت‌های مختلف اثرات مستقیم و غیرمستقیم تجربه می‌کنند. علاوه بر این، مطالعاتی مانند Singh و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که در حوزه کشاورزی و منابع غذایی، شفافیت، زیرساخت‌ها، آگاهی اجتماعی و سیاست‌های حمایتی به عنوان پیشران‌های کلیدی تعیین‌کننده پایداری سیستم عمل می‌کنند. به طور کلی پیشران‌های

مدیریتی- سیاسی، نهادی و حکمرانی با بیشترین قدرت اثرگذاری به عنوان پیشران‌های کلیدی در مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست تا کنون مورد توجه بوده‌اند و پیشران‌های اجتماعی و اقتصادی اغلب به عنوان متغیرهای پاسخ یا تأثیرپذیر شناخته می‌شوند (Omara et al., 2020).

در راستای به کارگیری رویکرد تفکر سیستمی در شناسایی پیشران‌های کلیدی، مطالعه Dinsa و Nurhusein (۲۰۲۶) با هدف شناسایی نقاط اهرمی و حلقه‌های بازخورد مؤثر بر پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در اتیوپی، از روش میک‌مک بهره گرفت. آنها از نظر شش متخصص خبره جهت شنایی پیشران‌های سیستم و تعیین روابط علی میان آنها استفاده کردند. از میان بیش از ۶۰ پیشران اولیه، در نهایت شش نقطه اهرمی شامل سطح درآمد خانوار، دسترسی به آب مطمئن، اثربخشی حکمرانی، کمبود آب اقتصادی، در دسترس بودن و دسترسی به غذا، و پوشش آبیاری به عنوان پیشران‌های دووجهی طبقه‌بندی شده‌اند.

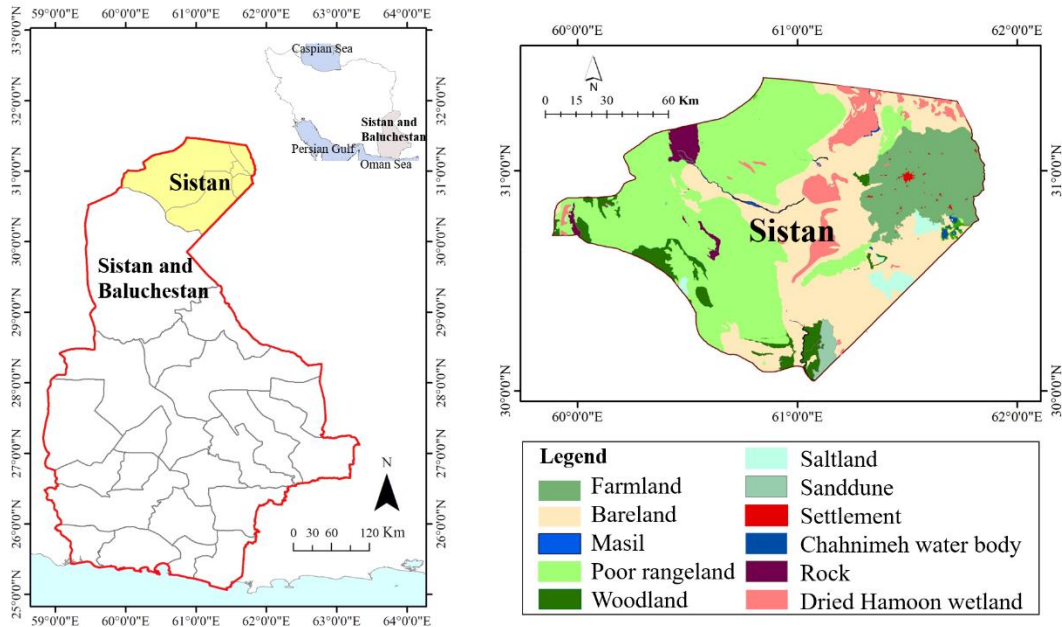
#### ۴. روش تحقیق

این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی، از نظر روش، توصیفی-تحلیلی و به لحاظ رویکرد پژوهش، استقرایی است. روش گردآوری اطلاعات مبتنی بر روش مطالعات اسنادی-پیمایشی مبتنی بر تکنیک دلفی جهت شناسایی انواع پیشران‌ها است که در ادامه با استفاده از روش میک‌مک مورد تحلیل قرار گرفتند. در روش دلفی و میک‌مک براساس نمونه‌گیری هدفمند از نظرات پنل خبرگان شامل به ترتیب ۵ و ۱۵ نفر استفاده شد. در روش دلفی برخلاف پژوهش‌های کمی متعارف، مفهومی به نام جامعه آماری به معنای واقعی مطرح نیست و هدف پژوهش، تعمیم آماری نتایج به یک جمعیت بزرگ‌تر نمی‌باشد، بلکه استخراج و تجمیع قضاوت‌های تخصصی خبرگان برای درک ساختار سیستم و روابط علی میان متغیرهاست. بنابراین در این روش‌ها، خبرگان به روش تصادفی انتخاب نمی‌شوند (Wodnik et al., 2025).

منطقه مورد مطالعه، سیستان بوده که در جنوب شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان، بین طول‌های جغرافیایی  $55^{\circ} 59'$  تا  $61^{\circ} 50'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 5'$  تا  $31^{\circ} 29'$  شمالی با مساحتی حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). منطقه سیستان از نظر توپوگرافی عمدتاً هموار و کم‌شیب و از نظر اقلیمی بیابانی، با میانگین بارندگی سالانه ۶۵ میلی‌متر و دمای متوسط ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه هیرمند، مهم‌ترین منبع آب سطحی منطقه، در سال‌های اخیر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و برداشت‌های بالادست با کاهش آورد مواجه شده و خشکیدگی متناوب هامون را به دنبال داشته است (Bagherzadeh et al., 2023). این شرایط موجب تشدید بحران آب، افت منابع زیرزمینی و تضعیف معیشت‌های وابسته به کشاورزی شده است. همچنین، خشکسالی‌های پی‌درپی با ایجاد چرخه بازخوردی معیوب میان کمبود آب، کاهش پوشش گیاهی و افت کیفیت خاک، فرسایش سرزمین و کاهش ظرفیت احیای اکوسیستم را تشدید کرده‌اند (شریفی کیا، ۱۳۹۹؛ Mosleh Ghahfarokhi & Bagheri Bodaghabadi, 2023). با توجه به حساسیت

### آمایش فضا و ژئوماتیک

بوم‌شناختی منطقه، سیستان به‌عنوان محدوده مطالعه انتخاب و پژوهش حاضر در چهار گام مبتنی بر روش MICMAC اجرا شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان

Figure 1: Location of the study area in Iran and Sistan and Baluchestan Province

### گام اول: شناسایی پیشران‌ها با روش دلفی و بهره‌گیری از تفکر سیستمی

شناسایی پیشران‌ها به‌عنوان مبنای تحلیل آینده‌پژوهی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تعریف نادرست متغیرها می‌تواند نتایج را مخدوش کند (Singh & Kant, 2008). در این پژوهش، ابتدا با مرور منابع علمی و استفاده از طوفان فکری، فهرست اولیه‌ای از پیشران‌های مرتبط با ابعاد بوم‌شناختی، اقتصادی-اجتماعی، فرهنگی و سیاسی منطقه سیستان تهیه شد. سپس این فهرست با بهره‌گیری از روش دلفی و نظرات متخصصان آشنا به منطقه اصلاح و نهایی گردید. با رویکرد تفکر سیستمی، تمامی عوامل مؤثر بدون پیش‌داوری در نظر گرفته شدند و تعداد پیشران‌ها مطابق توصیه گوده و همکاران، به کمتر از ۸۰ مورد محدود شد (Godet et al., 2007; Godet & Durance, 2000). خروجی این مرحله، فهرست نهایی پیشران‌ها برای تحلیل‌های بعدی بود.

### گام دوم: کمی‌سازی روابط پیشران‌ها در ماتریس اثرات مستقیم

در این مرحله، هدف اصلی تعیین میزان اثرگذاری هر پیشران بر سایر متغیرها و بالعکس است. این روابط با بهره‌گیری از نظرات پانل تخصصی و با استفاده از مقیاس عددی چهارتایی از ۰ تا ۳ در ماتریس اثرات مستقیم پیشران‌ها تعیین می‌شود. عدد ۰ نشان‌دهنده نبود رابطه، عدد ۱ بیانگر رابطه ضعیف، عدد ۲ نشان‌دهنده رابطه متوسط و عدد ۳ بیانگر رابطه قوی میان دو متغیر است. همچنین در مواردی که رابطه مستقیمی در حال حاضر وجود نداشته باشد، اما احتمال اثرگذاری بالقوه در آینده وجود داشته باشد، حرف P به آن سلول اختصاص می‌یابد (Godet & Durance, 2011; Santana).

## آمایش فضا و ژئوماتیک

(Pérez, 2019). در این مرحله، نرخ پرشدگی ماتریس اثرات نیز مورد توجه قرار گرفت. نرخ پرشدگی بر اساس نسبت ارزش‌های غیرصفر به صفر در ماتریس اثرات تعیین می‌شود. نرخ پایین پرشدگی ماتریس به حفظ پایداری مدل و جلوگیری از اغراق در روابط میان متغیرها کمک می‌کند. مقدار نرخ پرشدگی ۲۰ درصد برای ۷۰ پیشران نیز در منابع اصلی روش توصیه شده است (Godet & Durance, 2000: 63; Godet et al., 2007: 64). همچنین در برخی منابع دیگر به عنوان قاعده سرانگشتی حداکثر مقدار ۳۰ درصد جهت حفظ پایداری سیستم و مناسب معرفی شده است (Chine et al., 2017: 123).

لازم به ذکر است که داده‌های ورودی در روش میک‌مک بر پایه قضاوت خبرگان شکل می‌گیرد. این روش به دنبال تعمیم‌پذیری آماری یافته‌ها و محاسبه پارامترهای ثابت آماری نیست، بنابراین مفاهیمی نظیر پایایی و روایی در معنای متعارف علم آمار در این رویکرد قابل طرح و کاربرد نمی‌باشند و تمرکز بر کفایت تحلیلی و دانش تخصصی خبرگان معطوف است (Chen, 2023).

### گام سوم: اجرای میک‌مک

در این گام اثرات مستقیم، غیر مستقیم، مستقیم احتمالی و غیر مستقیم احتمالی بین پیشران‌ها بررسی می‌شود. در روش اثرات مستقیم، تأثیر یک متغیر  $K$  بر سایر متغیرها از طریق مجموع مقادیر سطر  $K$  در ماتریس  $N \times N$  محاسبه می‌شود، در حالی که تأثیرپذیری همان متغیر از طریق مجموع مقادیر ستون  $K$  به دست می‌آید. این روش تنها روابط آشکار و مستقیم بین متغیرها را در نظر می‌گیرد و تصویر اولیه‌ای از ساختار قدرت و وابستگی سیستم ارائه می‌دهد. این مدل با استفاده از الگوریتم چرخش ماتریس، اثرات غیرمستقیم و پنهان را نیز محاسبه می‌کند. برای بررسی اثرات غیرمستقیم، ماتریس اثرات مستقیم چندین مرتبه در خودش ضرب می‌شود تا روابط زنجیره‌ای و غیرمستقیم میان متغیرها نیز لحاظ گردد. پس از هر بار ضرب، مجموع سطرها و ستون‌ها مجدداً محاسبه و مقادیر جدید اثرگذاری و اثرپذیری استخراج می‌شوند. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که تغییرات رتبه پیشران‌ها میان دو مرحله متوالی متوقف شود و نتایج به پایداری برسد (Godet, 2006).

افزون بر این، در تحلیل پیشرفته میک‌مک، از دو نوع اثر احتمالی مستقیم و احتمالی غیرمستقیم نیز استفاده می‌شود. در روش اثرات احتمالی مستقیم، به جای فرض قطعیت روابط میان متغیرها، میزان احتمال وقوع هر رابطه در آینده نیز در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، ماتریس روابط مستقیم بر اساس وزن‌های احتمالی تعدیل می‌گردد تا عدم قطعیت‌های ذاتی سیستم نیز منعکس شود. این رویکرد کمک می‌کند تا مدل، واقع‌بینانه‌تر و سازگارتر با شرایط پیچیده و ناپایدار محیطی باشد (Godet & Durance, 2011). در مقابل، تحلیل اثرات احتمالی غیرمستقیم ترکیبی از دو مفهوم پیشین است؛ یعنی اثرات غیرمستقیم (زنجیره‌ای) میان متغیرها با لحاظ کردن احتمال وقوع هر رابطه محاسبه می‌شود. این بخش از تحلیل، پویایی‌های پنهان سیستم و تعاملات ضعیف اما بالقوه مؤثر را آشکار می‌سازد و به شناسایی پیشران‌هایی کمک می‌کند که

## آمایش فضا و ژئوماتیک

اگرچه در وضعیت فعلی اثرگذاری محدودی دارند، اما در آینده می‌توانند نقشی کلیدی در تغییر ساختار سیستم ایفا کنند. در این مرحله، قدرت اثرگذاری<sup>۱</sup> و قدرت اثرپذیری<sup>۲</sup> برای هر پیشران از مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس اثرات مستقیم، غیرمستقیم و احتمالی مستقیم و غیر مستقیم محاسبه می‌شود. بر اساس قدرت اثرگذاری و اثرپذیری جایگاه متغیرها در فضای دو بعدی اثرگذاری/اثرپذیری نقشه‌سازی می‌شود و بر مبنای آن نوع پیشران‌ها نیز تعیین می‌شود. همچنین ردیابی میزان جابه‌جایی پیشران‌ها در تبدیل از هر یک حالت‌های مستقیم، غیر مستقیم، مستقیم احتمالی و غیر مستقیم احتمالی به هر یک از حالت‌ها دیگر نیز امکان‌پذیر است.

در روش میک‌مک، جایگاه پیشران‌ها در نقشه اثرگذاری-اثرپذیری بررسی می‌شود. محور افقی میزان وابستگی و محور عمودی قدرت نفوذ را نشان می‌دهد و بر این اساس متغیرها در چهار ربع قرار می‌گیرند. ربع اول (بالا-راست) شامل پیشران‌های دووجهی است که هم اثرگذار و هم اثرپذیرند و به دلیل پویایی بالا، مدیریت دشواری دارند. ربع دوم (بالا-چپ) پیشران‌های کلیدی با اثرگذاری بالا و اثرپذیری پایین را دربر می‌گیرد که محرک اصلی تغییرات سیستم هستند. ربع سوم (پایین-چپ) شامل پیشران‌های مستقل با تعامل اندک و اهمیت راهبردی پایین‌تر است. ربع چهارم (پایین-راست) نیز پیشران‌های وابسته را شامل می‌شود که اثرپذیری بالا و نقش خروجی دارند و وضعیتشان تابع تغییرات سایر ربع‌هاست (Godet & Durance, 2011).

نقشه پراکنش پیشران‌ها در این مطالعه بر اساس خروجی نرم‌افزار میک‌مک در چهار حالت مختلف شامل اثرات مستقیم، غیرمستقیم، احتمالی مستقیم و احتمالی غیرمستقیم مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این مرحله فرایند چرخش داده‌ها به منظور محاسبه اثرات غیرمستقیم و دستیابی به پایداری نتایج نیز انجام شد. در این فرایند، نرم‌افزار به صورت مرحله‌ای ماتریس اثرات مستقیم را در خود ضرب می‌کند تا زمانی که مقدار شاخص‌های تأثیرگذاری و تأثیرپذیری به وضعیت پایدار برسد و تغییر محسوسی در تکرارهای بعدی مشاهده نشود.

#### گام چهارم: تعیین پایداری سیستم

پایداری سیستم به لحاظ ساختاری و از طریق الگوی پراکنش پیشران‌ها در نقشه اثرگذاری-اثرپذیری ارزیابی شد. در تحلیل میک‌مک، پراکنش L شکل بیانگر پایداری نسبی و پراکنش قطری نشان‌دهنده وابستگی متقابل شدید متغیرها و در نتیجه ناپایداری سیستم است (Glenn & Gordon, 2009; Delgado-Serrano et al., 2016). در سیستم‌های پایدار، امکان تداوم فرایند آینده‌پژوهی و تدوین سناریوها با اتکاپذیری بیشتری فراهم می‌شود. در مقابل، ناپایداری معمولاً ناشی از حضور متغیرهای دووجهی با اثرگذاری و اثرپذیری هم‌زمان بالا است.

#### ۵. یافته‌های تحقیق

به منظور شناسایی عوامل کلیدی اثرگذار بر وضعیت منابع بوم‌شناختی سیستم، مجموعه پیشران‌های تشکیل‌دهنده سیستم در سه حوزه بوم‌شناختی، اقتصادی-اجتماعی-فرهنگی و مدیریتی-سیاسی-حاکمیتی استخراج شد که در جدول ۱ با رنگ‌های مختلف مشخص شده‌اند

1. Driver Power
2. Dependence Power

جدول ۱: شناسایی پیشران‌های اصلی در جهت شناسایی منابع بوم‌شناختی سیستان (ابعاد بوم‌شناختی، اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی، و سیاسی و حاکمیتی به ترتیب با رنگ‌های نارنجی، آبی و سبز مشخص شده‌اند)

**Table 1: Identification of the main drivers for recognizing the ecological resources of Sistan (ecological, socio-economic and cultural, and political and governance dimensions are marked with orange, blue, and green colors, respectively)**

کد	پیشران	کد	پیشران
V1	تغییرات اقلیمی و خشکسالی های پی‌درپی	V35	تخلف برخی از مسئولین
v2	افت کیفیت آب چاه‌ها و چاهک‌ها	V36	بروکراسی اداری و حاکم بودن روابط برضوابط
v3	تشدید فرسایش بادی خاک و طوفان‌های گرد و غبار	V37	کمیبود انرژی
v4	غیرقابل اعتماد بودن بارندگی	V38	عدم تخصیص بودجه نگهداری و پایش و در نتیجه عدم اجرای اصولی پروژه های منابع طبیعی
v5	فقر پوشش گیاهی و تنوع آن	V39	هدر رفت منابع مالی با پروژه های آبرسانی و احیا منابع طبیعی ناموفق
v6	کاهش تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی	V40	لایبگری در طرح های مطالعاتی و اجرایی
v7	کاهش زیبایی شناختی در مناظر طبیعی و مصنوعی	V41	ضعف شدید در امکان سنجی تا اجرای پروژه های انرژی های نو و تجدیدپذیر
v8	خشک شدن تالاب هامون	V42	ضعف در مدیریت دانش و اطلاعات
v9	افزایش تعداد چاه‌ها، چاهک‌ها و عمق آنها	V43	عدم تناسب وظایف و اختیارات خصوصاً برای محیط بانان و قرق بانان
v10	افزایش تقاضای آب	V44	فیلتر شدن بسیاری از فضاهای مجازی
v11	قاچاق کالا و تردد از مسیرهای خارج از جاده داخل تالاب هامون	V45	سیاست های تشویقی ناموفق در درختکاری
v12	شدت بالای دامگذاری	V46	ضعف نظام آموزشی در ترویج فرهنگ حفاظت از محیط‌زیست
v13	تخریب جنگلکاری‌ها	V47	ضعف در ایجاد پیوند بین دانشگاه، سازمان‌های اجرایی و مسئولین مدیریتی
v14	عدم موفقیت اجرای طرح های احیای پوشش گیاهی	V48	عدم وجود ویا ناکارآمدی برنامه پایش برای معادن و صنایع و عدم وجود برآورد خسارات درسندهای بالادستی
v15	وابستگی معیشت به کشاورزی سنتی	V49	ضعف در دیپلماسی آب با کشورهای همسایه
v16	افزایش فقر و نابرابری	V50	عدم توجه به نقش سازمان‌های بین المللی و تبادل تجربیات در زمینه مدیریت پایدار خاک، آب، پوشش گیاهی
v17	مهاجرت و تغییر ساختار جمعیتی	V51	عدم اجرای سیاست های حفاظت از منابع طبیعی در اثر تداخل

## آمایش فضا و ژئوماتیک

کد	پیشران	کد	پیشران
	وظایف و عدم هماهنگی بین دستگاه های دولتی		
v18	ساخت وسازه‌های غیرمجاز در اراضی ملی و حریم رودخانه ها	V52	فقدان سازوکارهای موثر برای مشارکت مردم و سازمان‌های غیردولتی در تصمیم گیری
V19	بهداشت محیط و سلامت انسان	V53	عدم تعهد نمایندگان مجلس، شوراهای برنامه های چشم‌انداز حفاظت و توسعه سیستان
V20	گردشگری و اقتصاد محلی	V54	عدم وجود دستگاه واحد جهت مدیریت منابع طبیعی
V21	عدم نظارت کافی بر فعالیت های کشاورزی و دامداری	V55	ضعف در قابلیت اجرای قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از خاک، آب، پوشش گیاهی
V22	عدم مشارکت مؤثر مردم و سمن‌ها در طرح‌های مقابله با ریزگردها	V56	عدم توجه به برنامه ریزی فضایی و آمایش سرزمین و ملاحظات آبی در طرح های توسعه
V23	کم رنگ شدن نقش رهبران و بزرگان در ترویج حفاظت از منابع طبیعی	V57	کمبود برنامه های احیا و توسعه پوشش گیاهی
V24	مهاجرت غیرقانونی مهاجران غیر ایرانی به منطقه	V58	کمبود همکاری بین دستگاه‌های مسئول در حفاظت از محیط‌زیست
V25	بی اعتمادی مردم به مسئولین	V59	حمایت ناکافی از تحقیقات علمی و کاربردی در زمینه احیای پوشش گیاهی بومی و مدیریت مراتع و مقابله با بیابان زایی
V26	تخریب آثار باستانی در اثر عوامل طبیعی و غفلت مسئولین	V60	ورود مهاجران غیرایرانی و گسترش ناامنی
V27	قطع ورودی آب رودخانه هیرمند و خشکسالی هیدرولوژیک	V61	عدم تصویب بودجه کافی و عدم تخصیص به موقع بودجه
V28	اثرات تحریم های اقتصادی بر قیمت و دسترسی به نهاده های کشاورزی و دامی	V62	عدم وجود مدیریت بحران کارآمد
V29	سیاست های نادرست جهت دسترسی به بازارهای خارج از سیستان برای محصولات کشاورزی	V63	عدم استفاده از نیروی بومی متخصص در دستگاه های تصمیم گیر و اجرایی به دلیل آشنایی با بافت طبیعی و فرهنگی منطقه
V30	امنیت پایین منطقه	V64	حوزه اختیارات بسیار محدود مدیران لایق دلسوز و عدم امکان به اجرا درآمدن تصمیم های منطقی در زمان درست
V31	عدم توسعه مسیرهای ارتباطی با سایر شهرها	V65	عدم سرمایه گذاری جهت ایجاد فرصت های شغلی
V32	تخریب هویت بصری و فرهنگی سکونتگاه ها	V66	عدم شفافیت در هزینه کرد بودجه های تخصیص داده شده
V33	فساد و ناکارآمدی مدیریتی	V67	منفعت طلبی، دلسردی یا بی علاقه‌گی مدیران و تصمیم‌گیران
V34	تخصیص حقوق پایین به کارمندان دولت نسبت به تورم		

نرخ پرشدگی ماتریس اثرات مستقیم در روش میک‌مک برابر با  $19/71$  درصد محاسبه شد. پس از ورود داده‌های خبرگان به نرم‌افزار میک‌مک، با انجام چرخش‌های متوالی، اثرات غیرمستقیم متغیرها محاسبه و پایداری ساختاری نتایج بررسی شد. در این فرایند، ماتریس اثرات مستقیم به‌طور تکراری پردازش شد تا شاخص‌های اثرگذاری و اثرپذیری به وضعیت پایدار برسند. مطابق جدول ۲، پس از چهار چرخش، هر دو شاخص به پایداری ۱۰۰ درصدی دست یافتند. این امر نشان می‌دهد که ساختار اثرات مستقیم و غیرمستقیم سیستم به تعادل رسیده و تکرارهای بیشتر تغییری در رتبه‌بندی

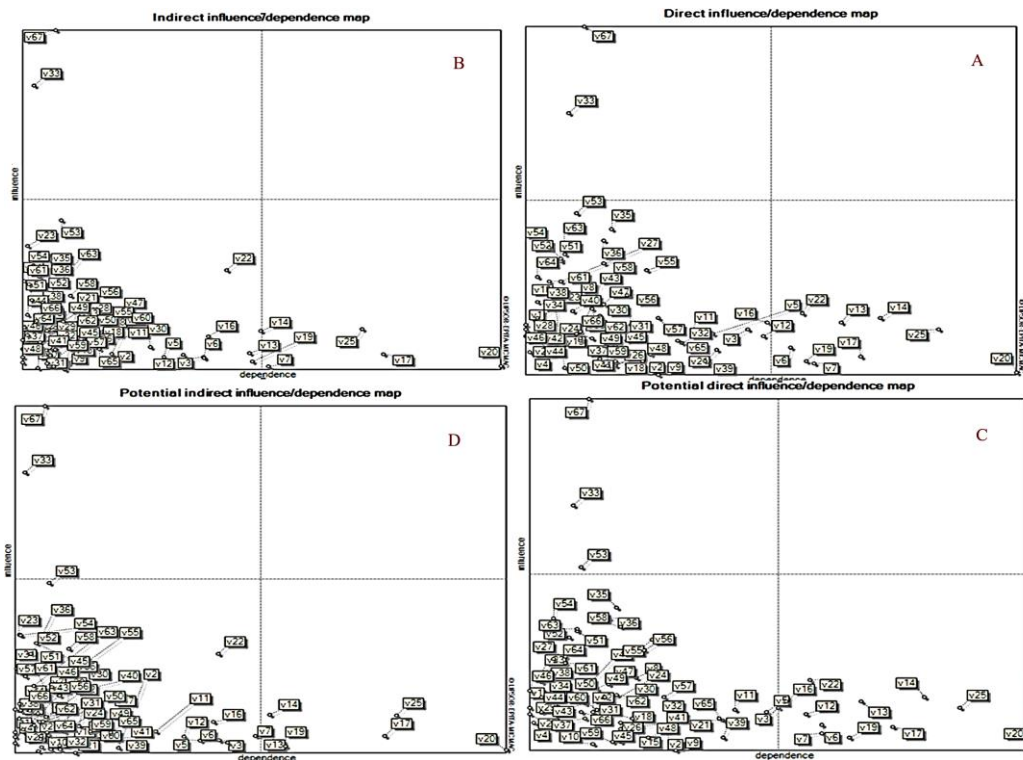
پیشران‌ها ایجاد نخواهد کرد.

جدول ۲: نتایج فرایند چرخش داده‌ها در نرم‌افزار میک‌مک و دستیابی به پایداری مدل

**Table 2:** Results of the data rotation process in the MICMAC software and achieving model stability

Iteration	Influence	Dependence
1	95 %	98 %
2	98 %	98 %
3	100 %	99 %
4	100 %	100 %

بر اساس اثرات مستقیم و غیرمستقیم و احتمالی مستقیم و احتمالی غیرمستقیم در دو محور اثرگذاری و اثرپذیری نقشه‌های پراکنش پیشران‌ها در شکل ۲ به دست آمد. در نقشه‌های این شکل، جایگاه پیشران‌ها در محور عمودی نماینده قدرت تاثیرگذاری و در محور افقی نشان دهنده قدرت تاثیرپذیری آنها است.



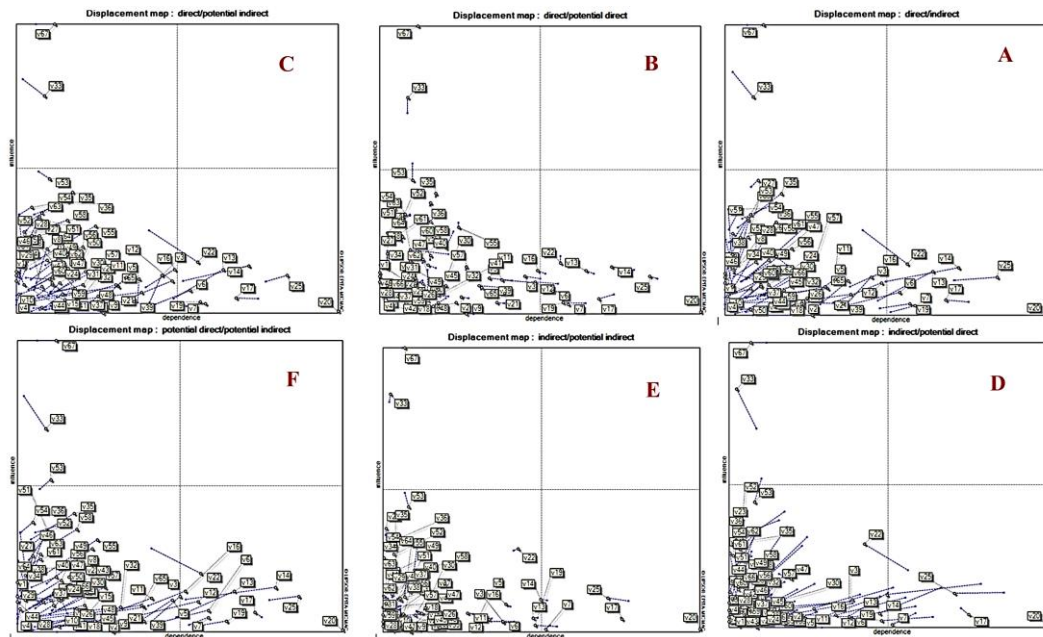
شکل ۲: نقشه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری پیشران‌ها در روش‌های مستقیم (الف)، غیرمستقیم (ب)، احتمالی مستقیم (ج) و احتمالی غیرمستقیم (د)

**Figure 2:** Map of drivers' influence and dependence in the direct method (a), indirect method (b), probabilistic direct method (c), and probabilistic indirect method (d)

## آمایش فضا و ژئوماتیک

بر اساس شکل ۲، متغیرهای V67 (منفعت‌طلبی، دلسردی یا بی‌علاقگی مدیران و تصمیم‌گیران)، V33 (فساد و ناکارآمدی مدیریتی) و V53 (عدم تعهد نمایندگان مجلس و شوراها به برنامه‌های چشم‌انداز حفاظت و توسعه سیستان) در زمره پیشران‌های اثرگذار در تحلیل‌های مستقیم، غیرمستقیم و احتمالی قرار دارند و در ربع دوم نقشه پراکنش واقع شده‌اند؛ این گروه نقش کنترل‌کننده رفتار سیستم را ایفا می‌کند. در مقابل، پیشران‌های وابسته و پاسخ در ربع چهارم قرار دارند و به‌عنوان شاخص وضعیت سیستم عمل می‌کنند؛ از جمله V6، V7، V19، V14، V13، V20، V22، V25، V17، V12 و V16 که بیانگر پیامدهای محیطی زیستی، اجتماعی و اقتصادی هستند. در میان آن‌ها، V20، V25، V17 و V14 وابسته‌ترین متغیرها محسوب می‌شوند. بخش عمده پیشران‌ها (۵۳ مورد) در ربع سوم قرار گرفته و دارای اثرگذاری و اثرپذیری پایین هستند. این ساختار نشان می‌دهد که سیستم عمدتاً تحت تأثیر محدود V67 و V33 قرار دارد و سایر متغیرها بیشتر نقش منفعل دارند. عدم شناسایی پیشران دوجبهی نیز بیانگر پیچیدگی نسبتاً پایین و روابط علی شفاف‌تر سیستم است. در مجموع، پراکنش پیشران‌ها نشان‌دهنده پایداری نسبی سیستم بوده و امکان پیش‌بینی و تصمیم‌گیری با اطمینان بیشتر را فراهم می‌کند.

بررسی شش حالت مختلف جابه‌جایی نوع روابط (مستقیم به غیرمستقیم، مستقیم به احتمالی مستقیم، مستقیم به احتمالی غیرمستقیم، غیرمستقیم به احتمالی مستقیم، غیرمستقیم به احتمالی غیرمستقیم و احتمالی مستقیم به احتمالی غیرمستقیم) نشان داد که این تغییرات تأثیر معناداری بر پایداری کلی سیستم و جایگاه پیشران‌ها ندارد. تداوم الگوی L- شکل پراکنش در محورهای اثرگذاری و اثرپذیری بیانگر ثبات ساختار سیستم در شرایط مختلف است (شکل ۳). این نقشه‌های جابه‌جایی به‌منزله تحلیل حساسیت نیز قابل تفسیر بوده و میزان پایداری یا تغییرپذیری هر پیشران را در برابر تغییر نوع روابط نشان می‌دهد. در نمایش گرافیکی، هر متغیر به‌صورت یک نقطه و مسیر تغییر آن در حالت‌های مختلف با خطوط آبی مشخص شده است. در حالت روابط غیرمستقیم، V67 (منفعت‌طلبی، دلسردی یا بی‌علاقگی مدیران) و V33 (فساد و ناکارآمدی مدیریتی) افزایش اثرگذاری نشان داده‌اند، در حالی که V25 (بی‌اعتمادی مردم) و V20 (گردشگری و اقتصاد محلی) به سمت وابستگی بیشتر حرکت کرده‌اند.



شکل ۳: نقشه جابه‌جایی متغیرها در وضعیت اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم به غیرمستقیم (الف)، مستقیم به احتمالی مستقیم (ب)، مستقیم به احتمالی غیرمستقیم (ج)، غیرمستقیم به احتمالی مستقیم (د)، غیرمستقیم به احتمالی غیرمستقیم (ه) و احتمالی مستقیم به احتمالی غیرمستقیم (و)

**Figure 3:** Map of variable shifts in influence and dependence from direct to indirect (a), direct to probabilistic direct (b), direct to probabilistic indirect (c), indirect to probabilistic direct (d), indirect to probabilistic indirect (e), and probabilistic direct to probabilistic indirect (f)

## ۶. بحث

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تحلیل ساختاری میک به شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی مؤثر بر پایداری منابع طبیعی منطقه سیستان پرداخته است. مطالعه حاضر مشابه با بسیاری از مطالعات انجام شده در حوزه محیط‌زیست و منابع طبیعی، عمدتاً بر شناخت پیشران‌های چندبعدی تأکید داشته‌اند و به عبارتی پیشران‌هایی که ماهیت اجتماعی، اقتصادی، سیاسی-حاکمیتی و بوم‌شناختی را به‌طور هم‌زمان در برمی‌گیرند (عرفانی و میرچراغخانی، ۱۳۹۹؛ جهانی‌شکیب و عرفانی، ۱۴۰۱؛ صابری، ۱۴۰۰؛ شاکر اردکانی و همکاران، ۱۴۰۳؛ McGregor, 2018). تحلیل ساختاری میک‌مک به کار رفته در مطالعه حاضر نیز به‌عنوان ابزار اصلی شناسایی پیشران‌های کلیدی در مدیریت منابع طبیعی، رویکردی شناخته‌شده و پرکاربرد در مطالعات سیستم‌های پیچیده است، زیرا قادر است میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها را در سطوح مستقیم، غیرمستقیم و احتمالی مشخص کند (McCool & Kline, 2020; Sanhueza-Aros et al., 2025). در مطالعه حاضر نرخ پرشدگی ماتریس ۱۹/۷۱۵ به دست آمد. این نرخ در منابع اصلی روش تا ۲۰ درصد (Godet &

## آمایش فضا و ژئوماتیک

Chine) و در برخی منابع دیگر تا ۳۰ درصد قابل قبول است (Durance, 2000: 64; Godet et al., 2007: 63; et al., 2017: 123). بنابراین نرخ پرشدگی ماتریس میک‌مک در مطالعه حاضر در محدوده مجاز قرار دارد. در پژوهش‌های مختلف، دامنه ۱۵ تا ۲۵ درصد برای این شاخص گزارش شده است (عرفانی و میرچراغخانی، ۱۳۹۹؛ صابری، ۱۴۰۰؛ شاکراردکانی و همکاران، ۱۴۰۳). در مقابل، در برخی مطالعات دیگر رعایت این معیار مشاهده نشده است (محمدی شیرکلایی و ابراهیمی، ۱۴۰۳؛ علیایی و همکاران، ۱۴۰۳) که می‌تواند ناشی از عدم شناسایی جامع اجزای سیستم یا نادیده‌گرفتن روابط مستقیم در تکمیل ماتریس اثرات متقابل باشد.

بررسی پایداری مدل در چهار مرحله تکرار نشان داد که مدل در مرحله چهارم به پایداری ساختاری ۱۰۰٪ در هر دو شاخص تأثیرگذاری و تأثیرپذیری رسیده است. این سطح از پایداری در مقایسه با پژوهش مشابه خسروی و افشار (۱۴۰۲) که مدل آنها در سه مرحله به پایداری ۹۵٪ رسیده بود، از قابلیت اتکای بالاتری برخوردار است. در مطالعات مختلف نیز معمولاً با ۲ تا ۴ بار ضرب ماتریس، سیستم به پایداری رسیده است (عرفانی و میرچراغخانی، ۱۳۹۸؛ جهانی شکیب و همکاران، ۱۳۹۹).

تحلیل نقشه پراکندگی پیشران‌ها در چهار وضعیت مستقیم، غیرمستقیم، مستقیم احتمالی و غیر مستقیم احتمالی نشان داد که پیشران‌های V67 (منفعت طلبی و دلسردی مدیران)، V33 (فساد و ناکارآمدی مدیریتی) و V53 (عدم تعهد نمایندگان مجلس و شوراهای) در تمامی حالت‌ها به‌عنوان پیشران‌های کلیدی شناسایی شده‌اند که عمدتاً در حوزه مدیریتی-سیاسی و حکمرانی قرار دارند. این یافته با پژوهش جهانی شکیب و همکاران (۱۳۹۹)، عبدالشاه نژاد و همکاران (۱۴۰۱)، بهشتی و همکاران (۱۳۹۹)، صابری (۱۴۰۰) و سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (2022) همخوانی دارد. مطالعات بسیاری، ریشه بحران‌های محیط‌زیستی را در ساختارهای مدیریتی، سیاست‌گذاری و نگرش انسان به طبیعت دانسته (عرفانی و میرچراغخانی، ۱۳۹۹؛ جهانی شکیب و عرفانی، ۱۴۰۱؛ صابری، ۱۴۰۰) و برخی نیز تأکید می‌کنند که آسیب به منابع طبیعی، محصول ترکیب عوامل مدیریتی ناکارآمد، ضعف پاسخگویی نهادی، و بی‌توجهی به اصول توسعه پایدار است (Delgado-Serrano et al., 2016; McGregor, 2018; Bengston, 2019) که مشابه پیشران‌های کلیدی مطالعه حاضر است.

پیشران‌های وابسته به دست آمده در مطالعه حاضر در چهار وضعیت مستقیم، غیرمستقیم، مستقیم احتمالی و غیر مستقیم احتمالی را می‌توان به‌عنوان پیشران‌های پاسخ یا نتیجه در نظر گرفت که ردیابی و پایش وضعیت آنها، نشان دهنده روند تغییرات ایجاد شده ناشی از اثرات مثبت و یا منفی پیشران‌های کلیدی است. از بین این پیشران‌ها، تأثیرپذیرترین آنها که شامل V20، V25، V14 و V17 بوده در دسته اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی قرار دارند و برخی دیگر نیز که همچنان در ربع چهارم قرار دارند در گروه بوم‌شناختی قرار دارند که شامل پیشران‌های V3، V6، و V8 است. ادبیات آینده‌پژوهی هم‌زمان به این نکته پرداخته است که پیشران‌های پاسخ معمولاً در حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و بوم‌شناختی قرار دارند و بیش از آن‌که اثرگذار باشند، اثرپذیر هستند. این گروه شامل پیامدهایی مانند کاهش کیفیت اکوسیستم، افت تنوع زیستی، مهاجرت، کاهش مشارکت اجتماعی، فرسایش انسجام محلی، افزایش فقر یا تغییر ساختار جمعیتی است. عواملی که واکنش سیستم به تغییرات ناشی از پیشران‌های اصلی مدیریتی-سیاسی تلقی می‌شوند (Kotir, 2017;

(Nyam et al., 2020).

مشابه نتایج مطالعه حاضر در سایر آثار حوزه آینده‌پژوهی تأکید شده است که پیشران‌های کلیدی غالباً در حوزه مدیریت، سیاست‌گذاری، حکمرانی و نهادهای تصمیم‌ساز قرار دارند، در حالی که پیشران‌های پاسخ بیشتر به ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و بوم‌شناختی مربوط می‌شوند. در این میان پیشران‌های اجتماعی-اقتصادی نسبتاً ناپایدار و واکنشی‌تر عمل می‌کنند و به تغییرات حکمرانی حساس‌اند و پیشران‌های بوم‌شناختی شدیداً وابسته به وضعیت مدیریتی و اقتصادی-اجتماعی‌اند و نقش آن‌ها بیشتر در حوزه پیامد و نه علت اصلی قرار می‌گیرد (Rouindej et al., 2019; Omara et al., 2020). در مطالعه حاضر هیچ پیشران دوجوهی به دست نیامد. این پیشران‌های پیوندی عامل بی‌ثباتی سیستم هستند. به نظر می‌رسد دلیل اصلی عدم وجود چنین پیشران‌هایی، شناسایی دقیق پیشران‌ها در مرحله اول باشد چرا که با مقایسه با سایر مطالعات به خوبی می‌توان استدلال کرد که در این گونه مطالعات تعداد کمی پیشران تعریف شده است و نرخ پرشدگی پیشران‌ها نیز بالاتر از حد مجاز گزارش شده است (علیایی و همکاران، ۱۴۰۳؛ محمدی شیرکلایی و ابراهیمی، ۱۴۰۳؛ Ariyani et al., 2022).

از این رو، در شناسایی پیشران‌های سیستم لازم است تمامی عوامل مؤثر مدنظر قرار گیرند و برای هر پیشران، عوامل علی‌بالادستی نیز بررسی شوند. این رویکرد با افزایش جامعیت مدل و ارزیابی روابط مستقیم میان متغیرها، به شکل‌گیری پراکنش پایدارتر پیشران‌ها در فضای اثرگذاری-اثرپذیری منجر می‌شود. اهمیت این موضوع در آن است که تداوم مراحل آینده‌پژوهی، به‌ویژه سناریونویسی، مستلزم برخورداری سیستم از ساختاری پایدار است؛ در نتیجه، اتکاپذیری پیشران‌های کلیدی شناسایی شده برای تصمیم‌سازی و سیاست‌گذاری افزایش می‌یابد. همچنین، پیشران‌های پاسخ ماهیتی عینی‌تر و قابل‌اندازه‌گیری‌تر یافته و امکان پایش کمی وضعیت سیستم و آثار پیشران‌های کلیدی را فراهم می‌کنند.

یافته‌ها نشان داد که پیشران‌های کلیدی مدیریتی در تمامی حالات تحلیل، موقعیت خود را در ربع دوم حفظ کرده‌اند که دلالت بر نقش راهبردی و تأثیرگذار پایدار آن‌ها در سیستم دارد. همچنین تحلیل ساختار اثرگذاری و اثرپذیری نشان داد که پیشران منفعت‌طلبی، دلسردی یا بی‌علاقگی مدیران و تصمیم‌گیران بیشترین نفوذ غیرمستقیم را بر پیشران گردشگری و اقتصاد محلی دارد، در حالی که در حالت مستقیم شدت این وابستگی متفاوت است. همچنین مشخص شد که پیشران عدم توجه به نقش سازمان‌های بین‌المللی و تبادل تجربیات در زمینه مدیریت پایداری خاک، آب و پوشش گیاهی در گذار از حالت‌های مستقیم به احتمالی بیشترین افزایش اثرگذاری را تجربه کرده است. در مقابل، پیشران فیلترشدن بسیاری از فضاهای مجازی در حالت غیرمستقیم به احتمالی مستقیم بیشترین کاهش اثرگذاری را نشان داد. از منظر اثرپذیری نیز نتایج بیانگر آن بود که ورود مهاجران غیرایرانی و گسترش ناامنی در حالت مستقیم به احتمالی مستقیم بیشترین افزایش اثرپذیری و پیشران ضعف در ایجاد پیوند بین دانشگاه، سازمان‌های اجرایی و مسئولین مدیریتی در حالت غیرمستقیم به احتمالی مستقیم بیشترین کاهش اثرپذیری را ثبت کرده‌اند. با وجود این جابه‌جایی‌ها، ساختار کلی سیستم پایدار باقی مانده و هسته

### آمایش فضا و ژئوماتیک

پیشران‌های کلیدی عمدتاً در حوزه‌های مدیریتی، سیاسی و حاکمیتی متمرکز است، در حالی که پیشران‌های پاسخ در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و بوم‌شناختی قرار دارند. این امر نشان می‌دهد که هرگونه بهبود در وضعیت پیشران‌های پاسخ و ارتقای تاب‌آوری سیستم، در گرو اصلاح و تقویت سازوکارهای مدیریتی، سیاسی و حاکمیتی در سطح منطقه است.

#### ۷. نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش، پراکنش پیشران‌ها در تمامی حالات مستقیم، غیرمستقیم و احتمالی به‌صورت الگوی L شکل بوده و نشان‌دهنده پایداری ساختاری سیستم است. از این رو، نتایج برای مراحل بعدی آینده‌پژوهی از جمله تدوین سناریوها قابل استفاده است. در چنین ساختاری که پیشران‌ها عمدتاً در ربع‌های دوم، سوم و چهارم متمرکزند، تعداد محدود پیشران‌های کلیدی در ربع دوم امکان کنترل نسبی سیستم را فراهم می‌کند و فقدان پیشران‌های دوجوهی نیز از بروز رفتارهای غیرخطی جلوگیری می‌کند. این ویژگی‌ها موجب افزایش قابلیت پیش‌بینی، سهولت مدیریت و اتکاپذیری نتایج برای تصمیم‌گیری می‌شود. با این حال، چالش اصلی آن است که پیشران‌های کلیدی مرتبط با مسائل آب، خاک و پوشش گیاهی در سطح نهادی و کلان قرار دارند و اصلاح آنها نیازمند اراده فرابخشی است. بخشی از پیچیدگی نیز ناشی از نقش برخی تصمیم‌گیران در شکل‌گیری همین پیشران‌هاست. در نهایت، بهبود وضعیت منابع طبیعی سیستم منوط به اصلاح این عوامل کلیدی بوده و می‌توان میزان پیشرفت را از طریق پیشران‌های پاسخ و شاخص‌های قابل اندازه‌گیری ارزیابی کرد. پیشران‌های پاسخ شناسایی شده در این مطالعه شامل کاهش تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی، افت زیبایی‌شناختی مناظر، پیامدهای بهداشتی و سلامت انسان، ناکامی در احیای پوشش گیاهی، تخریب جنگل‌کاری‌ها و تردهای غیرمجاز در تالاب هامون، وضعیت گردشگری و اقتصاد محلی، کاهش مشارکت اجتماعی، بی‌اعتمادی به نهادهای حاکمیتی، مهاجرت و تغییر ساختار جمعیتی و افزایش فقر و نابرابری است. این متغیرها بازتاب‌دهنده پیامدهای ناشی از پیشران‌های کلیدی در ساختار سیستم هستند. به عبارت دیگر، اثرات عوامل کلیدی به‌صورت زنجیره‌ای در این متغیرها نمایان می‌شود. از آنجا که این پیشران‌ها ماهیتی قابل اندازه‌گیری دارند، می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های پایش عملکرد پیشران‌های مدیریتی و حکمرانی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج نشان داد بحران منابع طبیعی سیستم بیش از آنکه صرفاً بوم‌شناختی باشد، ریشه در سازوکارهای مدیریتی و حکمرانی دارد. بر این اساس، اصلاح پیشران‌های کلیدی از طریق کاهش فساد و منفعت‌طلبی، افزایش پاسخ‌گویی نهادی، ارتقای تعهد سیاسی، تقویت همکاری‌های علمی و بین‌المللی، توانمندسازی جامعه محلی، و یکپارچه‌سازی نظام مدیریت سرزمین ضروری است. برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود پیشران‌های کلیدی شناسایی شده در این پژوهش، با توجه به قابلیت تعمیم‌پذیری مفهومی آنها، به‌عنوان مبنایی برای انجام مراحل بعدی آینده‌پژوهی، از جمله تدوین سناریوها و طراحی راهبردهای مدیریتی، در سایر مناطق با شرایط اجتماعی-بوم‌شناختی مشابه مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرند. همچنین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده‌پژوهی، علاوه بر شناسایی پیشران‌های کلیدی، متغیرهای با بیشترین اثرپذیری نیز به‌عنوان پیشران‌های پاسخ شناسایی شوند تا امکان پایش پویایی‌های سیستم و ارزیابی اثربخشی مداخلات مدیریتی در طول زمان فراهم شود.

## قدردانی

مطالعه حاضر از پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج گردیده است. همچنین بخشی از مطالعه با حمایت دانشگاه زابل (IR-UOZ-GR-4956) انجام شده است.

## منابع

- بهشتی، محمد، بهبودی، داود، زالی، نادر و احمدزاده دلجوان، فهیمه (۱۳۹۹). سناریوهای مدیریت منابع آب بر مبنای رویکرد آینده‌پژوهی: مطالعه موردی شهرستان تبریز. *آینده پژوهی ایران*، ۵(۲)، ۲۰۳-۲۲۸. <https://doi.org/10.30479/jfs.2020.12446.1150>
- جهانی شکیب، فاطمه و عرفانی، ملیحه (۱۴۰۱). آینده‌نگاری وضعیت محیط‌زیست استان خراسان جنوبی با استفاده از مدل‌های SMIC و MORPHOL. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۲۶ (۳)، ۱-۲۲. <https://doi.org/10.2022/hmsp.26.3.1>
- شاکر اردکانی، فاطمه، اردکانی، طاهره، عرفانی، ملیحه و سیاحتی اردکانی، غلامرضا (۱۴۰۳). کاربرد رویکرد تلفیقی ISM-MICMAC در توسعه گردشگری پایدار (مورد مطالعه: شهرستان اردکان). *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۲۸(۴)، ۹۶-۱۲۲. [https://hmsp.modares.ac.ir/article\\_14781.html](https://hmsp.modares.ac.ir/article_14781.html)
- شریفی کیا، محمد (۱۳۸۹). پایش تغییر های تراز آبی در دریاچه هامون، مبتنی بر تحلیل سری زمانی تصاویر سنجش از دوری. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۱۴(۳): ۱۵۵-۱۷۶. [https://hmsp.modares.ac.ir/article\\_14219.html](https://hmsp.modares.ac.ir/article_14219.html)
- صابری، مرتضی (۱۴۰۰). ریشه یابی علل نابودی مراتع با رویکرد آینده‌پژوهی در منطقه سیستان. *مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۲۸)، ۱۷۱-۱۸۶. <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.34563.1672>
- عامری گلستان، متین، واعظی، رضا، الوانی، سید مهدی و باقری، علی (۱۴۰۴). مؤلفه‌های زمینه‌ای اثرگذار بر حکمرانی همکارانه آب در ایران: پیش‌درآمد طراحی نوآورانه سیاست‌ها در بخش آب. *مدیریت نوآوری*، ۱۴(۱)، ۱۱۵-۱۵۶. <https://doi.org/10.22034/imj.2025.527999.2917>
- عبدالشاه نژاد، مهسا، خسروی، حسن، نظری سامانی، علی اکبر و علم بیگی، امیر (۱۴۰۱). شناسایی متغیرهای مؤثر بر تاب‌آوری کشاورزان در برابر گردوغبار بر مبنای نظر خبرگان، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۹ (۱)، ۵۲-۳۶. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126003>
- عرفانی، ملیحه و میرچراغ‌خانی، یاسر (۱۳۹۸). تعیین پیشران‌های توسعه گردشگری طبیعی و فرهنگی در سیستان با روش تجزیه و تحلیل ساختاری. *نشریه محیط‌زیست طبیعی*، ۷۲(۱)، ۹۷-۱۱۱. <https://doi.org/10.22059/jne.2018.255673.1505>
- علیایی، پروین، سلیمانی، حسین و گندمکار، امیر (۱۴۰۳). خوانش پیشران‌های مؤثر بر وضعیت آینده حکمروایی مطلوب در مدیریت منابع آبی (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان شیراز). *فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی*

## آمایش فضا و ژئوماتیک

شهری، آماده انتشار، <https://doi.org/10.30473/grup.2025.71840.2874>

- محمدی شیرکلایی، حسینعلی و ابراهیمی، سیدعباس (۱۴۰۴). شناسایی و اولویت بندی چالش های سیاستگذاری عمومی در بخش حکمرانی آب استان مازندران. حکمرانی و توسعه، ۵(۳): ۱۲۱-۱۴۳. <https://doi.org/10.22111/jipaa.2025.500500.1251>

#### - References

- Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A., & Alambeigi, A. (2022). Identification of variables affecting farmer's resilience to dust based on expert opinion. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(1), 36-52. <http://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003> [In Persian].
- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23-40. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- AmeriGolestan, M., Vaezi, R., Alvani, S. M., & Bagheri, A. (2025). Contextual Factors Influencing Collaborative Water Governance in Iran: A Prelude to Innovative Policy Design in the Water Sector. *Innovation Management Journal*, 14(1), 115-156. <http://doi.org/10.22034/imj.2025.527999.2917> [In Persian]
- Ariyani, D., Purwanto, M. Y. J., & Sunarti, E. (2022). Contributing factor influencing flood disaster using MICMAC (Ciliwung Watershed Case Study). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 12(2), 268-280. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.268-280>
- Bagherzadeh, S., Mianabadi, H., Sadeghizadeh Bafandeh, S., & Ghorbani, A. (2023). Normative assessment of enabling factors for adaptive water governance; evidence and lessons from the Hirmand River Basin, Iran. *Environmental Management*, 73(1), 144-161. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01896-9>
- Bamooeifard, A. (2020). Future studies in Iran development plans for wind power, a system dynamics modeling approach, *Renewable Energy*, No 162: pp1054-1064. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.013>
- Barbroom-Johnson, P., & Penn, A. S. (2022). *Systems Mapping: How to build and use causal models of systems* (p. 186). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-01919-7>
- Beheshti, M. B., Behboudi, D., Zali, N., & Ahmadzadeh Deljavan, F. (2021). Water Resources Management Scenarios Based on Futures Studies Approach: Case study of Tabriz County. *Journal of Iran Futures Studies*, 5(2), 203-228. <https://doi.org/10.30479/jfs.2020.12446.1150> [In Persian].
- Bengston, D. N. (2019). Futures research methods and applications in natural resources. *Society & natural resources*, 32(10): 1099-1113. <https://doi.org/10.1080/08941920.2018.1547852>
- Bradfield, R. (2025). Understanding the Future: An Introduction to Scenario Planning. *De Gruyter*. <https://doi.org/10.1515/9783111617442>
- Chen, J. K. (2023). Identifying critical success factors of total quality management via comprehensive assessment of soft and hard factors. *The TQM Journal*, 36(3), 679-701. <https://doi.org/10.1108/TQM-03-2020-0058>
- Chine, L., Djeddi, T., & Haidouchi, A. (2017). Foreign direct investment as an instrument to promote entrepreneurship in Algeria: structural analysis using MICMAC method. *Journal of Business and Management Sciences*, 5(4), 120-4. <https://doi.org/10.12691/jbms-5-4-2>
- Delgado-Serrano, M. del M., Vanwildemeersch, P., London, S., Ortiz-Guerrero, C. E., Escalante Semerena, R., & Rojas, M. (2016). Adapting prospective structural analysis to strengthen sustainable management and capacity building in community-based natural resource management contexts. *Ecology and Society*, 21(2). <https://www.jstor.org/stable/26270386>

- Dinsa, H. T., & Nurhusein, M. M. (2026). A systems thinking approach to operationalizing integrated water resources management in Ethiopia through leverage points and feedback loops. *Discover Sustainability*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s43621-026-03103-1>
- Erfani, M., Farashi, A., & Alizadeh, M. (2021). Simulating the state of jungle cat (*Felis chaus* Schreber, 1777) using cross-impact analysis in Sistan, Iran. *Model. Earth Syst. Environ.* 7, 783–793. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00980-x>
- Erfani, M., & Mircherghkhani, Y. (2019). Determining drivers of natural and cultural tourism development by Structural Analysis in Sistan. *Journal of Natural Environment*, 72(1), 97-111. <https://doi.org/10.22059/jne.2018.255673.1505> [In Persian].
- Glenn, J. C., & Gordon, T. J. (Eds.). (2009). *Futures research methodology* (Version 3.0). The Millennium Project. <https://www.millennium-project.org/publications/futures-research-methodology-version-3-0-2/>
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Centre national de l'entrepreneuriat (CNE). 120 P. [https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02185401v1/file/XX\\_CNE-LIPSOR\\_000955.pdf](https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02185401v1/file/XX_CNE-LIPSOR_000955.pdf)
- Godet, M. (2006). Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool. *Economica*. <https://archivo.cepal.org/pdfs/GuiaProspectiva/creatingfutures2006.pdf>
- Godet, M., & Durance, P. (2007). *Prospectiva estratégica: problemas y métodos* (Cuaderno No. 20, 2nd ed.). Lipsor / Prospektiker. <https://archivo.cepal.org/pdfs/GuiaProspectiva/Godet2007.pdf>
- Godet, M., & Durance, P. (2011). *Strategic Foresight: La Prospective, Use of Scenarios*. UNESCO. <http://www.lapropective.fr/dyn/traductions/2dunod-unesco-strategic-foresight-ext-veng.pdf>
- Jahanishakib, F., & Erfani, M. (2022). Forecasting the status of the environment using SMIC and MORPHOL models in south Khorasan province. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 26(3), 1-22. <https://doi.org/10.2022/hsmmsp.26.3.1> [In Persian].
- Kotir, J. H. (2017). *Systems thinking and modelling for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, West Africa*. The University of Queensland: School of Earth and Environmental Sciences. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:677401>
- Kristóf, T., & Nováky, E. (2023). The story of futures studies: An interdisciplinary field rooted in social sciences. *Social Sciences*, 12(3), 192. <https://doi.org/10.3390/socsci12030192>
- McCool, S. F., & Kline, J. D. (2020). A systems thinking approach for thinking and reflecting on sustainable recreation on public lands in an era of complexity, uncertainty, and change. *Igniting research for outdoor recreation: linking science, policy, and action*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-987. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 161-171. <https://research.fs.usda.gov/treearch/60063>
- McGregor, J. (2018). *Toward a Philosophical Understanding of TEK and Ecofeminism*. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. <https://doi.org/10.1017/9781108552998.008>
- Mohammadi Shirkolayi, H A. & Ebrahimi, S.A. (2025). Identification and prioritization of

- public policy challenges in the water governance sector of Mazandaran province. *Governance and Development Journal*, 5(3), 121-143. <https://doi.org/10.22111/jipaa.2025.500500.1251> [In Persian].
- Mosleh Ghahfarokhi, Z., & Bagheri Bodaghabadi, M. (2023). Detection of vegetation changes in agricultural lands of Sistan plain, using remote sensing technique. *Desert*, 28(1), 49-63. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2023.93538>
  - Nyam, Y. S., Kotir, J. H., Jordaan, A. J., Ogundeji, A. A., Adetoro, A. A., and Orimoloye, I. R. 2020. Towards understanding and sustaining natural resource systems through the systems perspective: A systematic evaluation. *Sustainability*, 12(23): 9871. <https://doi.org/10.3390/su12239871>
  - Olyaei, P., Soleymani, H. & gandomkar, A. (2025). Study of Drivers Affecting the Future State of Optimal Governance in Water Resources Management (Case Study: Central Part of Shiraz City). *Journal of Urban Ecology Researches*, <https://doi.org/10.30473/grup.2025.71840.2874> [In Persian].
  - Omara, A., Weerakkody, V., & Daowd, A. (2020). Studying Transformational Government: A review of the existing methodological approaches and future outlook. *Government Information Quarterly*, 37(2), 101458. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101458>
  - Reynolds, M. (2024). Systems thinking principles for making change. *Systems*, 12(10), 437. <https://doi.org/10.3390/systems12100437>
  - Rouindej, K., Samadani, E., & Fraser, R. A. (2019). CAES by design: A user-centered approach to designing Compressed Air Energy Storage (CAES) systems for future electrical grid: A case study for Ontario. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 58-72. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.05.008>
  - Saberi, M. (2021). The Root Causes of the Rangeland Destruction Using Future Research Approach in Sistan Region. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(28), 171-186. <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.34563.1672> [In Persian].
  - Shaker Ardakani, F., Ardakani, T., Erfani, M. & Siyahati Ardakan, G. (2024). Applying integrated ISM-MICMAC approach in the development of sustainable tourism (case study: Ardakan city). *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 28(4), 96-122. [https://hsmmp.modares.ac.ir/article\\_14781.html?lang=en](https://hsmmp.modares.ac.ir/article_14781.html?lang=en) [In Persian].
  - Sanhueza-Aros, J., Peña-Cortés, F., Ariza-Álvarez, A., & Soria-Lara, J. A. (2025). Combining system thinking and scenario building to visualize strategic futures for agricultural systems: The case of La Araucanía, Chile. *Agricultural Systems*, 225, 104290. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2025.104290>
  - Santana Pérez, E. (2019). A prospective approach to training and managerial quality. *Cofin Habana*, 13(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2073-60612019000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612019000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
  - Sharifikia, M. (2010). Monitoring changes in the water level of Lake Hamun based on time-series analysis of remote sensing imagery. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 14(3), 155-176. [https://hsmmp.modares.ac.ir/article\\_14219.html?lang=en](https://hsmmp.modares.ac.ir/article_14219.html?lang=en)
  - Singh, K., Abraham, R., Yadav, J., Agrawal, A. K., Kolar, P., Misra, M., and Yadav, A. (2023) Analysis of barriers for sustainable agro-food supply chain: an interpretive structural modeling and MICMAC approach. *Environment, Development and Sustainability*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03680-5>
  - Singh, M. D., & Kant, R. (2008). Knowledge management barriers: An interpretive structural modeling approach. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 3(2), 141-150. <https://doi.org/10.1080/17509653.2008.10671042>
  - UK Government Office for Science. (2024). The Futures Toolkit for policy-makers and analysts.

<https://www.gov.uk/government/publications/futures-toolkit-for-policy-makers-and-analysts/the-futures-toolkit-html>

- Wodnik, B. K., Namyalo, P. K., Michaelides, O., Essue, B. M., Kane, S., & Di Ruggiero, E. (2025). Implementation science research priorities for Universal Health Coverage: methodological lessons from the design and implementation of a multicountry modified Delphi study. *Health Policy and Planning*, 40(3), 422-427. <https://doi.org/10.1093/heapol/czae119>
- Wright, G., Bradfield, R., & Cairns, G. (2013). Does the intuitive logics method -and its recent enhancements -produce “effective” scenarios? *Technological Forecasting and Social Change*, 80(4), 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.003>