Rural Development Strategies
Homepage: https://rdsj.torbath.ac.ir
Vol. 13, No. 1, 2026, p. 149-162

Assessment of Adaptation Strategies of Rural Communities against Dust Storms in Sistan: A Hybrid MCDM Approach

Mohammad Reza Sasouli[1*]

1- Department of Economics, Faculty of Environmental Sciences, Planning, and Sustainable Development, University of Saravan, Iran

A R T I C L E INFO
Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 6 January 2026
Revised: 2 May 2026
Accepted: 9 October 2026
Available Online: 14 October 2026

Keywords
Dust Storms
Rural Adaptation
Sistan
Alternative Livelihood
Resilience
Fuzzy AHP-TOPSIS.

A B S T R A C T
Climate change and hydropolitical tensions have transformed the Sistan region in southeastern Iran into a critical hotspot of dust storms, severely threatening the habitability of border rural communities. Addressing the "stay or leave" dilemma, this study evaluates and ranks adaptation strategies using a hybrid Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach. Data were obtained from a panel of 15 academic and executive experts in 2025. First, the weights of 4 criteria and 11 sub-criteria were determined using Fuzzy AHP, followed by the prioritization of 6 strategies using Fuzzy TOPSIS. The findings revealed that "Respiratory Health" (weight: 0.161) and "Dependence on Government Support" (weight: 0.140) carried the highest importance. The final ranking indicates a fundamental paradigm shift; "Non-farm Livelihood" ranked first (CCi=0.627), followed by "Circular Migration" (CCi=0.551), whereas "Climate-Smart Agriculture" ranked last (CCi=0.187) due to severe water scarcity. The study concludes that persistence in agrarian models in Sistan represents "maladaptation." As a practical implication, rather than investing in lost agricultural infrastructure, policymakers should establish tax-free micro-border markets for villagers, develop women's handicraft cooperatives, and reallocate state funds toward service-sector employment to secure border demographics.

Cite this Article:
Sasouli, M. R. (2026). Assessment of Adaptation Strategies of Rural Communities against Dust Storms in Sistan: A Hybrid MCDM Approach. *Rural Development Strategies, 13*(1): 149-162. https://doi.org/10.22048/rdsj.2026.571024.2266

Corresponding author email: sasouli.ageco@gmail.com

Print ISSN: 2383-2657 Online ISSN: 2383-1995
https://doi.org/10.22048/rdsj.2026.571024.2266

© 2026, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی
جلد۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵ ص. ۱۶۲-۱۴۹
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

ارزیابی استراتژی‌های سازگاری جوامع روستایی سیستان در برابر طوفان‌های گرد و غبار با رویکرد ترکیبی

محمدرضا ساسولی[1*]

۱- گروه اقتصاد، دانشکده علوم محیطی، برنامه ریزی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، ایران

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۶ دی ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۷ مهر ۱۴۰۵

کلمات کلیدی:

طوفان‌های گرد و غبار
سازگاری روستایی
سیستان، معیشت جایگزین
تاب‌آوری
Fuzzy AHP-TOPSIS.

چکیده

تغییرات اقلیمی و تنش‌های هیدروپلیتیکی، منطقه سیستان در جنوب شرقی ایران را به یکی از کانون‌های بحرانی طوفان‌های گرد و غبار تبدیل کرده است که سکونت‌پذیری جوامع روستایی را به شدت تهدید می‌کند. این پژوهش با هدف پاسخ به دوگانه «ماندن یا رفتن»، به ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های سازگاری در برابر این مخاطره محیطی می‌پردازد. روش‌شناسی تحقیق مبتنی بر یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی (Hybrid MCDM) است. داده‌های پژوهش از طریق یک پنل تخصصی متشکل از ۱۵ نفر از خبرگان دانشگاهی و اجرایی در سال ۱۴۰۴ گردآوری شد. ابتدا با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، وزن ۴ معیار و ۱۱ زیرمعیار تعیین گردید و سپس ۶ استراتژی سازگاری با روش تاپسیس فازی اولویت‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد که زیرمعیارهای «کاهش بیماری‌های تنفسی» (با وزن نهایی ۰/۱۶۱) و «وابستگی به حمایت‌های دولتی» (با وزن نهایی ۰/۱۴۰) بیش‌ترین اهمیت را در تصمیم‌گیری دارند. نتایج رتبه‌بندی نهایی حاکی از یک تغییر پارادایم بنیادی در منطقه است؛ استراتژی «معیشت جایگزین غیرکشاورزی» در رتبه نخست (CCi=۰/۶۲۷) و پس از آن «مهاجرت دوره‌ای» (CCi=۰/۵۵۱) قرار گرفت، در حالی که «کشاورزی هوشمند» ((CCi=۰/۱۸۷) به دلیل محدودیت شدید منابع آبی، در رتبه آخر جای گرفت. این مطالعه نتیجه می‌گیرد که اصرار بر الگوهای کشاورزی‌محور در سیستان نوعی «سازگاری نامناسب» است. به عنوان یک پیشنهاد کاربردی و عملیاتی، سیاست‌گذاران باید به جای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های کشاورزی از دست‌رفته، اقدام به راه‌اندازی بازارچه‌های مرزی خردِ معاف از مالیات برای روستاییان، توسعه تعاونی‌های صنایع دستی زنان، و تخصیص هدفمند اعتبارات دولتی به مشاغل خدماتی نمایند تا امنیت جمعیتی در نوار مرزی حفظ گردد.

نحوه ارجاع دهی به مقاله: ساسولی، م. ر. (۱۴۰۵). ارزیابی استراتژی‌های سازگاری جوامع روستایی سیستان در برابر طوفان‌های گرد و غبار با رویکرد ترکیبی. راهبردهای توسعه روستایی، ۱۳(۱)، ۱۶۲-۱۴۹. https://doi.org/10.22048/rdsj.2026.571024.2266

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم و بیابان‌زایی به عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین مخاطرات محیط‌زیستی قرن بیست و یکم، امنیت انسانی و پایداری سکونتگاه‌های روستایی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تهدید می‌کند (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم[1]، ۲۰۲۳).

نویسندهٔ مسئول: sasouli.ageco@gmail.com

شاپا چاپی: ۲۳۸۳-۲۶۵۷ شاپا الکترونیکی: ۱۹۹۵-۲۳۸۳
https://doi.org/10.22048/rdsj.2026.571024.2266

حقوق مولفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه تربت حیدریه داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://creativecommons.org/licenses/by/4.0 دیدن فرمائید.

گزارش‌های جهانی اخیر هشدار می‌دهند که خشکسالی‌های فراتر از حد انتظار، امنیت زیستی جوامع روستایی را به شدت در معرض خطر قرار داده‌اند (کنوانسیون سازمان ملل متحد برای مقابله با بیابان‌زایی[2]، ۲۰۲۳الف). در میان مخاطرات ناشی از تغییر اقلیم، طوفان‌های گرد و غبار به دلیل پیامدهای گسترده بر سلامت عمومی، کشاورزی و زیرساخت‌های اقتصادی، توجه فزاینده‌ای را در مجامع علمی بین‌المللی به خود جلب کرده‌اند (میدلتون[3] و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد خاورمیانه و شمال آفریقا از کانون‌های اصلی این پدیده محسوب می‌شوند که در آن، خشک شدن تالاب‌ها و تغییر کاربری اراضی، شدت و تواتر وقوع طوفان‌ها را به طرز نگران‌کننده‌ای افزایش داده است (گودی[4]، ۲۰۱۴).

در ایران، منطقه سیستان و حوضه آبریز هامون به عنوان یکی از بحرانی‌ترین کانون‌های گرد و غبار شناخته می‌شود. خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون – که ناشی از ترکیبی از تغییرات اقلیمی، مدیریت نامناسب منابع آب و احداث سدها در بالادست (کشور افغانستان) است – بستر این دریاچه را به منبعی عظیم برای برداشت ذرات ریز تبدیل کرده است (راشکی[5] و همکاران، ۲۰۱۳). این وضعیت با وزش بادهای معروف ۱۲۰ روزه که سرعت آن‌ها گاهی به بیش از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد، تشدید شده و غلظت ذرات معلق (PM10) را در شهر زابل و روستاهای اطراف به چندین برابر حد مجاز استانداردهای جهانی می‌رساند (میری[6] و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات جدید نشان می‌دهد که الگوهای وزش باد و غلظت گرد و غبار در این منطقه، در حال تغییر به سمت شرایط حدی و غیرقابل‌بازگشت هستند. پیامدهای این پدیده فراتر از مسائل اکولوژیک رفته و به یک بحران اجتماعی–اقتصادی تبدیل شده است؛ به‌طوری‌که معیشت مبتنی بر کشاورزی و صیادی نابود شده و جوامع محلی را بر سر دوراهی دشوار «ماندن و سازگاری» یا «مهاجرت و رهاسازی» قرار داده است.

ادبیات نظری تاب‌آوری و سازگاری تأکید دارد که جوامع در مواجهه با مخاطرات محیطی، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. ایجر[7] (۲۰۰۶) بیان می‌کند که سازگاری فرآیندی است که در آن سیستم‌های انسانی برای تعدیل آسیب‌ها یا بهره‌برداری از فرصت‌ها تغییر می‌کنند. در منطقه سیستان، خانوارها ممکن است استراتژی‌های متنوعی را برای سازگاری با طوفان های گرد غبار اتخاذ کنند؛ از اقدامات فیزیکی مانند تغییر در معماری مسکن و استفاده از تجهیزات حفاظتی گرفته تا استراتژی‌های معیشتی نظیر تنوع‌بخشی به درآمد یا تغییر شغل از کشاورزی به بخش‌های خدماتی و یا در نهایت، مهاجرت دائمی. با این حال، مسئله اصلی این است که اثربخشی، امکان‌پذیری و پایداری این راهکارها یکسان نیست و انتخاب استراتژی بهینه همواره با عدم قطعیت و پیچیدگی همراه است.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه پایش فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار در سیستان (بهروز[8] و همکاران، ۲۰۱۷؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۳) و یا بررسی اثرات بهداشتی آن (میری و همکاران، ۲۰۱۰)، شکاف تحقیقاتی قابل‌توجهی در زمینه ارزیابی و اولویت‌بندی «استراتژی‌های رفتاری و مدیریتی» جوامع محلی وجود دارد. اکثر پژوهش‌های پیشین بر «اندازه‌گیری بحران» تمرکز داشته‌اند تا «مدیریت بحران توسط مردم». این پژوهش با درک این خلأ، به دنبال پاسخ به این پرسش کلیدی است که

1- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)
2- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)
3 - Middleton
4 - Goudie
5 - Rashki
6 - Miri
7 -Adger
8 - Behrooz

کدام‌یک از راهکارهای سازگاری (اعم از ماندگاری یا مبتنی بر جابجایی) از منظر معیارهای اقتصادی، اجتماعی و سلامت، کارآمدتر هستند؟

از آنجا که فرآیند تصمیم‌گیری در شرایط بحران متأثر از قضاوت‌های کیفی و ابهامات کلامی است، مدل‌های تصمیم‌گیری کلاسیک توانایی کافی برای تبیین این پیچیدگی را ندارند. از این رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (Fuzzy MCDM) و ترکیب تکنیک‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تاپسیس (TOPSIS) در محیط فازی، تلاش می‌کند تا با تکیه بر دانش بومی و نظرات خبرگان محلی، استراتژی‌های سازگاری را وزن‌دهی و اولویت‌بندی نماید. نوآوری این پژوهش در گذار از رویکرد صرفاً توصیفی به رویکرد تجویزی-تحلیلی است که می‌تواند راهنمای عملی برای سیاست‌گذاران جهت تخصیص بهینه منابع در راستای تاب‌آوری منطقه سیستان باشد.

مطالعه پدیده گرد و غبار و راهکارهای مقابله با آن، موضوعی بین‌رشته‌ای است که طیف وسیعی از پژوهش‌های علوم محیطی تا مطالعات اجتماعی-مدیریتی را به خود اختصاص داده است. بررسی ادبیات جهانی نشان می‌دهد که کانون توجه پژوهشگران در دهه‌های اخیر، عمدتاً بر شناخت ماهیت فیزیکی این پدیده و برآورد خسارات کلان آن متمرکز بوده است. میدلتون و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی‌های جامع خود در مقیاس جهانی، طوفان‌های گرد و غبار را تهدیدی فرامرزی معرفی کرده‌اند که سالانه زیان‌های هنگفتی به اقتصاد مناطق خشک، به‌ویژه خاورمیانه و شمال آفریقا وارد می‌کند. این روند در سال‌های اخیر به شدت تشدید شده است؛ چنانکه جدیدترین گزارش‌های سازمان جهانی هواشناسی[1] (۲۰۲۴) نشان می‌دهد با تشدید گرمایش جهانی، فراوانی و شدت این طوفان‌ها در خاورمیانه وارد فاز بحرانی‌تری شده است. همسو با این دیدگاه جهانی، گودی (۲۰۱۴) بر پیامدهای بهداشتی تمرکز داشته و همبستگی معناداری میان افزایش ذرات معلق و شیوع بیماری‌های تنفسی و قلبی در جوامع در معرض خطر یافته است. این مطالعات پایه، اگرچه ابعاد فاجعه را ترسیم می‌کنند، اما کم‌تر به پویایی رفتارهای ساکنان محلی و پاسخ‌های انسانی در مناطق خاص پرداخته‌اند.

با دقیق‌تر شدن مقیاس مطالعات بر روی ایران و منطقه بحرانی سیستان، پژوهش‌ها رنگ و بوی بومی‌تری به خود می‌گیرند. راشکی و همکاران (۲۰۱۳) با تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و میدانی، خشک شدن بستر دریاچه هامون را به عنوان محرک اصلی افزایش تواتر و شدت طوفان‌های سیستان شناسایی کردند. یافته‌های آنان که بر منشأیابی کانون‌ها تأکید دارد، توسط مطالعات میری و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۲۱) تکمیل شده است؛ علاوه بر این، در پژوهش‌های جدیدتر، میری و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی دوره‌های خشکسالی مستمر اخیر، مستند کرده‌اند که خشکیدگی کامل هامون نه تنها سلامت فیزیکی، بلکه ساختار اقتصاد محلی را دچار فروپاشی کرده است. وجه اشتراک این گروه از مطالعات، نگاه آسیب‌شناسانه به مسئله است، به این معنی که "گرد و غبار" به عنوان متغیر مستقل و "انسان" به عنوان قربانی و متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. بزی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه بررسی اثرات گرد و غبار بر معیشت روستاییان شهرستان نیمروز به این نتیجه رسیدند که متغیرهای اقتصادی، بهداشتی و زیست محیطی گرد و غبار بیش‌ترین تأثیر را بر معیشت روستاییان نیمروز داشته است. و متغیر اقتصادی شامل هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی، کاهش درآمد روستاییان، کاهش قیمت اراضی بیش‌ترین میزان تأثیر را بر معیشت روستاییان داشته است.

در مقابل رویکرد صرفاً محیطی، جریان دیگری از پژوهش‌ها با تکیه بر نظریه‌های "سازگاری" و "تاب‌آوری"، به بررسی کنشگری جوامع روستایی پرداخته‌اند. اسمیت و وندل (۲۰۰۶)

1 World Meteorological Organization (WMO)

استدلال می‌کنند که جوامع محلی در برابر تغییرات اقلیمی منفعل نیستند و همواره مجموعه‌ای از استراتژی‌های معیشتی را برای بقا به کار می‌گیرند. این دیدگاه در مطالعه ژو[1] و همکاران (۲۰۱۰) در چین تأیید شد. این رویکرد رفتاری در پژوهش‌های جدید منطقه‌ای نظیر زبیدی[2] و همکاران (۲۰۲۳) نیز به اثبات رسیده است؛ آن‌ها نشان دادند که جوامع روستایی ایران در مواجهه با تنش‌های اقلیمی مجموعه‌ای پیچیده از راهبردهای انطباقی را اتخاذ می‌کنند. شریفی‌کیا (۲۰۱۳) مهاجرت را به عنوان آخرین حلقه از زنجیره سازگاری در روستاهای حاشیه هامون تحلیل کرده است. با این حال، آنچه در این مطالعات کم‌تر مورد توجه قرار گرفته، ارزیابی تطبیقی این راهکارهاست؛ اینکه کدام استراتژی در بلندمدت کارآمدتر است؟

پیچیدگی انتخاب میان استراتژی‌های متنوع (از تغییر شغل تا مهاجرت) که هر کدام دارای پیامدهای متناقض اقتصادی و اجتماعی هستند، ضرورت استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری پیشرفته را ایجاب می‌کند. اوپریکوویچ و تسنگ[3] (۲۰۰۴) نشان دادند که در مسائل چندوجهی، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) ابزار قدرتمندی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها هستند. به‌ویژه در مدیریت مخاطرات طبیعی که داده‌ها اغلب کیفی و نظرات خبرگان دارای ابهام کلامی است، منطق فازی کارایی بالایی دارد، چنانکه ویواس و مارتینز[4] (۲۰۱۹) از آن بهره برده‌اند. کارآمدی بالای روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در تاب‌آوری و مدیریت بحران‌های محیط‌زیستی در مطالعات اخیر نظیر یزدانی[5] و همکاران (۲۰۲۳) نیز بار دیگر تأیید شده است. اجتماعی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه فضایی سکونتگاه های روستایی شهرستان فیروزآباد در ارتباط به عوامل طبیعی از روش تاپسیس فازی بهره برده‌اند. ریاحی و همکاران (۱۳۹۹) نیز با استفاده ار روش تاپسیس فازی به تحلیل اثرات صندوق کارآفرینی امید در توسعه اقتصادی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان خوی پرداخته‌اند. با این وجود، استفاده از رویکرد ترکیبی فازی برای تحلیل رفتارهای سازگاری انسان در مناطق بحرانی گرد و غبار، حوزه‌ای است که همچنان بکر باقی مانده است.

بر این اساس، مرور ادبیات پژوهش آشکار می‌سازد که اگرچه مطالعات ارزشمندی در زمینه‌های جداگانه "پایش گرد و غبار" و "بررسی‌های اجتماعی" انجام شده است، اما فقدان یک چارچوب یکپارچه که بتواند استراتژی‌های سازگاری مردم را با رویکردی کمی و بر اساس معیارهای چندگانه (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی) اولویت‌بندی کند، کاملاً مشهود است. همان‌طور که گزارش‌های اخیر کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل (۲۰۲۳ ب) نیز تأکید دارد، گذار از رویکردهای توصیفی به سمت ارزیابی و ارائه راهکارهای عملیاتی برای بقای جوامع درگیر، مهم‌ترین نیاز فعلی است. اکثر پژوهش‌های پیشین به توصیف وضعیت موجود بسنده کرده‌اند و کم‌تر پژوهشی رویکرد "تجویزی" برای انتخاب بهترین استراتژی بقا در سیستان داشته است. پژوهش حاضر با تلفیق دیدگاه‌های جامعه‌شناختی و مدل‌سازی ریاضی (Fuzzy MCDM)، درصدد پر کردن این شکاف علمی است تا پاسخی روشن برای دوراهی "ماندن یا رفتن" ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

با توجه به تعدد معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری روستاییان برای مقابله با ریزگردها و وجود ابهام در قضاوت‌های انسانی، این پژوهش از یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (Fuzzy MCDM) بهره می‌برد. منطق استفاده از این رویکرد دو مرحله‌ای آن است که تکنیک AHP فازی به دلیل ساختار سلسله‌مراتبی، کارایی بالایی در

1 - Zhou
2 - Zobeidi
3 - Opricovic & Tzeng
4 - Vivas & Martinez
5 - Yazdani

وزن‌دهی معیارها و شکستن مسئله به اجـزای کـوچکتر دارد، در حالی که تکنیک TOPSIS فازی به دلیل الگوریتم‌های ریاضـی مبتنی بر فاصله، توانایی بالاتری در رتبه‌بندی گزینه‌های رقیب و جلـوگیری از «تغییـر رتبـه» از خـود نشـان می‌دهـد (طرفـی[1] و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش بـرای تبـدیل قضـاوت هـای کیفی خبرگان به داده های کمی، از اعداد فازی مثلثـی (TFNs) استفاده شده است. یک عدد فـازی مثلثـی $\tilde{A}$ بـا تـابع عضـویت $u_{\tilde{A}}(x)$ بـه صـورت سـه تـایی (l,m,u) تعریـف مـی شـود (رابطه۱).

$$u_{\tilde{A}}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-l}{m-l'} & l\le x\le m\\ \dfrac{u-x}{u-m'} & m\le x\le u\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱)$$

بـرای محاسـبه وزن معیارهـا از روش "آنـالیز توسـعه‌یافته چانگ" استفاده شد. اگر $O_g^1,O_g^2,...,O_g^m$ مجموعه اهـداف و $G_1,G_2,...,G_n$ مجموعه اهـداف فـازی باشـند، مقـدار فـازی ترکیبی (S_i) برای معیار iام مطابق رابطه (۲) محاسبه مـی شـود (چانگ، ۱۹۹۶):

$$S_i=\sum_{j=1}^{m}M_{g_i}^{j}\otimes\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{g_i}^{j}\right]^{-1} \qquad (۲)$$

پـس از محاسـبه وزن معیارهـا، گـام نهـایی اولویت‌بنـدی اسـتراتژی‌های سـازگاری اسـت. بـرای ایـن منظـور از تکنیـک تاپسیس فازی که نخستین بار توسط چن[2] (۲۰۰۰) توسعه یافت، استفاده شده است. انتخاب این روش در برابر سایر تکنیک‌هـای رتبه‌بندی (مانند VIKOR یا ELECTRE) بـه دلیـل کـارایی اثبات‌شـده آن در مـدیریت عـدم قطعیت‌هـای موجـود در تصمیم‌گیری‌های محیطزیستی و قابلیت تفسـیر هندسـی نتـایج است (اوپریکوویچ و تسنگ، ۲۰۰۴). مراحل اجرایی این تکنیـک در پژوهش حاضر به شرح زیر پیاده‌سازی شده است:

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم فازی ($\tilde{D}$)

نخستین گام، تجمیع نظرات خبرگان است. با توجه به اینکـه قضاوت‌های فردی خبرگان ممکن است دارای سوگیری باشد، از عملگر میانگین‌گیری فازی بـرای دسـتیابی بـه اجمـاع اسـتفاده می‌شود. اگر $\tilde{x}_{ij}^{k}=(a_{ij}^{k},b_{ij}^{k},c_{ij}^{k})$ نشان‌دهنده ارزیابی خبرهk ام برای گزینه i در شاخص j باشد، ماتریس تجمیعی مطـابق رابطـه (۳) محاسبه می‌گردد (چن و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\tilde{x}_{ij}=\frac{1}{k}\left(\tilde{x}_{ij}^{1}\oplus\tilde{x}_{ij}^{2}\oplus...\oplus\tilde{x}_{ij}^{k}\right) \qquad (۳)$$

گام ۲: نرمال سازی ماتریس تصمیم ($\tilde{R}$)

از آنجـا کـه معیارهـای پـژوهش دارای واحـدهای سـنجش متفاوت هستند (برای مثـال، "هزینـه ریـالی" در برابـر "کیفیـت زندگی")، یکسان‌سازی مقیاس‌ها ضروری است. در این پـژوهش از روش "نرمال‌سازی خطی "استفاده شده اسـت، زیـرا بـرخلاف برخی روش‌های نرمال سازی، این روش خاصیت فازی داده‌ها را حفظ می‌کند و موجب کاهش دقـت مـدل نمی‌شـود. رابطـه (۴) نحوه محاسبه را برای معیارهای سودآور (u^*) و هزینه بـر (l_j^-) را نشان می‌دهند:

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{l_{ij}}{u_j^*},\frac{m_{ij}}{u_j^*},\frac{u_{ij}}{u_j^*}\right),\quad u_j^*=\max u_{ij} \qquad (۴)$$

$$\tilde{r}_{ij}=\left(\frac{l_j^-}{u_{ij}^*},\frac{l_j^-}{m_{ij}},\frac{l_j^-}{l_{ij}}\right),\quad l_j^-=\min l_{ij}$$

1 - Torfi
2- Chen

گام سوم: تشکیل ماتریس موزون فازی ($\tilde{V}$)

در این مرحله، وزن‌های اهمیت معیارها (w_j) که پیش‌تر از خروجی مدل Fuzzy AHP به دست آمده‌اند، در ماتریس نرمال‌شده اعمال می‌شوند. این رویکرد ترکیبی باعث می‌شود خطای وزن‌دهی مستقیم در تاپسیس حذف گردد (طرفی و همکاران، ۲۰۱۰)

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes w_j \qquad (۵)$$

که در آن w_j وزن اهمیت معیارهاست که دقیقا از خروجی مرحله Fuzzy AHP دریافت شده است. در تکنیک AHP، پس از محاسبه اوزان، دو نوع وزن به دست می‌آید: وزن محلی (Local weight) که نشان‌دهنده اهمیت زیرمعیار نسبت به معیار اصلی خود است، و وزن جهانی یا نهایی (Global weight) که از حاصل‌ضرب وزن محلی در وزن معیار اصلی به دست می‌آید و نشان‌دهنده اهمیت و رتبه نهایی آن زیرمعیار در کل مدل پژوهش است

گام ۴: تعیین ایده آل های فازی و محاسبه فواصل

بر اساس منطق تاپسیس، گزینه برتر گزینه‌ای است که کم‌ترین فاصله هندسی را از "راه‌حل ایده‌آل مثبت فازی" (A^*) و بیش‌ترین فاصله را از "راه‌حل ایده‌آل منفی فازی" (A^-) داشته باشد. در این پژوهش، ایده‌آل‌ها به صورت مطلق (۱،۱،۱) و (۰،۰،۰) تعریف شده‌اند (چن، ۲۰۰۰). برای محاسبه فاصله بین دو عدد فازی، از روش فاصله اقلیدسی توسعه‌یافته استفاده شده است که دقیق‌ترین معیار سنجش فاصله در محیط فازی محسوب می‌شود.

$$A^* = \left(\tilde{v}_1^*, ..., \tilde{v}_n^*\right), \quad where \quad \tilde{v}_j^* = (1,1,1) \qquad (۶)$$
$$A^- = \left(\tilde{v}_1^-, ..., \tilde{v}_n^-\right), \quad where \quad \tilde{v}_j^- = (0,0,0)$$

گام۵: محاسبه فواصل

در این مرحله، فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌ها با استفاده از فرمول فاصله اقلیدسی برای دو عدد فازی $\tilde{m} = (l_1, m_1, u_1)$ و $\tilde{n} = (l_2, m_2, u_2)$ توسط رابطه (۷) بدست خواهد آمد.

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3}\left[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2\right]} \qquad (۷)$$

گام۶: محاسبه ضریب نزدیکی (CC_i)

در نهایت، شاخص شباهت یا ضریب نزدیکی برای هر استراتژی که در رابطه (۸) ارائه شده است محاسبه می‌شود. این شاخص بیانگر برایند فاصله از بهترین و بدترین شرایط ممکن است. استراتژی‌هایی با مقدار CC_i بالاتر، در اولویت پذیرش قرار می‌گیرند. در نهایت، رتبه هر استراتژی براساس ضریب نزدیکی تعیین می‌شود:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \qquad (۸)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، «کاربردی» و از نظر ماهیت و روش، «توصیفی-تحلیلی» است که با رویکرد پیمایشی انجام شده است. فرآیند اجرای پژوهش در سه فاز اصلی طراحی شده است: ۱) شناسایی و غربالگری شاخص‌ها و استراتژی‌ها، ۲) تعیین وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و ۳) اولویت‌بندی نهایی استراتژی‌های سازگاری با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی.

جامعه آماری در این پژوهش، گروه خبرگان است. با توجه به تخصصی بودن موضوع و نیاز به دانش عمیق نسبت به منطقه سیستان، از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد. پنل خبرگان شامل ۱۵ نفر از متخصصان دانشگاهی (در حوزه‌های اقلیم‌شناسی، توسعه روستایی و مدیریت بحران) و مدیران اجرایی محلی با حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت در منطقه

سیستان می‌باشد. ابزار گردآوری داده‌ها، دو نوع پرسشنامه مقایسات زوجی (برای AHP) و ماتریس تصمیم (برای TOPSIS) است که در سال ۱۴۰۴ جمع آوری شد. روایی پرسشنامه ها توسط اساتید دانشگاه و پایایی آن‌ها با محاسبه نرخ سازگاری که کم‌تر از ۰/۱ بود تأیید شد. بر اساس مرور ادبیات پیشین و مصاحبه‌های اولیه با خبرگان، مدل سلسله‌مراتبی پژوهش شامل ۴ معیار اصلی، ۱۱ زیرمعیار و ۶ گزینه استراتژیک به شرح زیر تدوین گردید.

معیارها:

الف- معیار اقتصادی (C1): هزینه اولیه اجرا (C1-1)، پایداری درآمد (C1-2)، وابستگی به حمایت دولتی (C1-3)

ب- معیار اجتماعی-فرهنگی (C2): حفظ ساختار خانواده و طایفه (C2-1)، سازگاری با دانش بومی (C2-2)، امنیت روانی و امید به زندگی (C2-3).

ج- معیار سلامت و محیط زیست (C3): اثربخشی در کاهش بیماری تنفسی (C3-1)، مصرف آب (C3-2)، اثر بر اکوسیستم منطقه (C3-3).

د- معیار نهادی و زیرساختی (C4): دسترسی به تکنولوژی و تجهیزات (C4-1)، تطابق با قوانین بالادستی(C4-2)

گزینه ها یا استراتژی ها:

الف- سازگای معماری و مسکن (A1): تمرکز صرف بر ایزوله کردن خانه، استفاده از بادگیرهای مدرن، درزگیری و فیلتراسیون هوا

ب- کشاورزی مقاوم و هوشمند (A2): ماندن در روستا اما تغییر کشت از گندم و جو به گیاهان دارویی و شورپسند یا کشت گلخانه ای

ج- معیشت جایگزین غیرکشاورزی (A3): حرکت به سمت صنایع دستی (حصیربافی، سفال)، قالی بافی یا گردشگری و مشاغل خدماتی در روستا

د- وابستگی به چتر حمایتی دولت (A4): ماندن در روستا و زندگی صرفا به کمک یارانه و کمک های کمیته امداد و سایر ارگان های دولتی

ه- مهاجرت دوره ای و چرخشی (A5): خانواده در روستا می ماند، مردان برای کارگری به شهرهای دیگر (یزد، مشهد وغیره) می روند و پول می فرستند.

ی- مهاجرت کامل و بازاسکان (A6): فروش دارایی ها و ترک همیشگی منطقه سیستان

در ابتدا ماتریس‌های مقایسه زوجی برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها تشکیل شد. جدول (۱) ماتریس تجمیعی فازی برای ۴ معیار اصلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، معیار "بهداشت و محیطزیست (C3) "با وزن نرمال شده ۰/۳۸۴ در رتبه اول اهمیت قرار دارد. این نتیجه بازتاب‌دهنده وضعیت بحرانی سلامت عمومی در سیستان به دلیل غلظت بالای ذرات معلق (PM10) و شیوع بیماری‌های تنفسی است. پس از آن، معیار "اقتصادی (C1)" با وزن ۰/۳۱۲ در رتبه دوم قرار گرفت که نشان می‌دهد بقای خانوارها در گرو تأمین معیشت در شرایط بحران است.

در سطح زیرمعیارها که در جدول ۲ نشان داده شده است، نتایج بسیار معناداری به دست آمد:

۱. زیرمعیار کاهش بیماری‌های تنفسی(C3-1): با وزن نهایی ۰/۱۶۱ مهم‌ترین دغدغه خبرگان است.
۲. زیرمعیار وابستگی به حمایت دولتی (C1-3): با وزن نهایی ۰/۱۴۰ در رتبه دوم کل قرار گرفت. این یافته دقیقاً مؤید واقعیت میدانی منطقه است که در نبود کشاورزی و صنعت، «چتر حمایتی دولت» و «یارانه‌های نقدی» به مهم‌ترین عامل ماندگاری مردم در مناطق روستایی

سیستان تبدیل شده است.

۳. زیرمعیار مصرف آب(C3-2): به دلیل بحران خشکی هامون، از وزن (اهمیت) بالایی برخوردار است؛ چرا که در رویکرد توسعه پایدار، مدیریت منابع محدود آب اولویت حیاتی دارد و هرگونه استراتژی با مصرف آب بالا (معیار هزینه)، مطلوبیت کم‌تری خواهد داشت.

ماتریس تصمیم فازی (میانگین نظرات خبرگان) در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۱- ماتریس مقایسات زوجی فازی معیارهای اصلی

معیار	اقتصادی (C1)	اجتماعی (C2)	بهداشتی(C3)	نهادی (C4)	وزن قطعی
اقتصادی (C1)	(۱.۱.۱)	(۲، ۱/۵، ۱)	(۱، ۰/۷، ۰/۵)	(۴، ۳، ۲)	۰/۳۱۲
اجتماعی (C2)	(۱، ۰/۶، ۰/۵)	(۱، ۱ ، ۱)	(۰/۷، ۰/۵، ۰/۴)	(۳، ۲، ۱)	۰/۱۸۵
بهداشتی (C3)	(۲، ۱/۴، ۱)	(۲/۵، ۲، ۱/۴)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۴، ۳)	۰/۳۸۹
نهادی (C4)	(۰/۵، ۰/۳، ۰/۲)	(۱، ۰/۵، ۰/۳)	(۰/۳، ۰/۲، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	۰/۱۱۹

ماخذ: یافته های تحقیق

جدول۲- وزن های نهایی (محلی و نهایی) معیارها و زیرمعیارها

معیار اصلی (وزن)	زیرمعیار	وزن محلی	وزن جهانی	رتبه
اقتصادی (۰/۳۱۲)	هزینه اجرا- C1-1	۰/۲۵۰	۰/۰۷۸	۶
	پایداری درآمد-C1-2	۰/۳۰۰	۰/۰۹۳	۴
	وابستگی به حمایت دولت- C1-3	۰/۴۵۰	۰/۱۴۰	۲
اجتماعی (۰/۱۸۵)	حفظ ساختار خانواده- C2-1	۰/۴۰۰	۰/۰۷۴	۷
	سازگاری با دانش بومی-C2-2	۰/۲۰۰	۰/۰۳۷	۱۱
	امنیت روانی-C2-3	۰/۴۰۰	۰/۰۷۴	۷
بهداشتی و زیست محیطی (۰/۳۸۴)	کاهش بیماری تنفسی-C3-1	۰/۴۲۰	۰/۱۶۱	۱
	مصرف آب-C3-2	۰/۳۵۰	۰/۱۳۴	۳
	اثر اکولوژیک-C3-3	/۲۳۰	۰/۰۸۸	۵
قوانین (۰/۱۱۹)	دسترسی تکنولوژی-C4-1	۰/۶۰۰	۰/۰۷۱	۹
	تطابق با قوانین-C4-2	۰/۴۰۰	۰/۰۴۷	۱۰

ماخذ: یافته های تحقیق

جدول ۳- ماتریس تصمیم فازی تجمیع شده

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C1-1	(۹، ۷، ۷)	(۹، ۷، ۵)	(۷، ۵، ۳)	(۳، ۱، ۰)	(۷، ۵، ۳)	(۱۰، ۹، ۷)
C1-2	(۵، ۳، ۱)	(۳، ۱، ۰)	(۱۰، ۹، ۷)	(۵، ۳، ۱)	(۹، ۷، ۵)	(۷، ۵، ۳)
C1-3	(۷، ۵، ۳)	(۱۰، ۹، ۷)	(۳، ۱، ۰)	(۱۰، ۹، ۷)	(۵، ۳، ۱)	(۳، ۱، ۰)
C2-1	(۹، ۷، ۵)	(۱۰، ۹، ۷)	(۹، ۷، ۵)	(۹، ۷، ۵)	(۵، ۳، ۱)	(۳، ۱، ۰)
C2-2	(۵، ۳، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۷، ۵، ۳)	(۷، ۵، ۳)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)
C2-3	(۹، ۷، ۵)	(۵، ۳، ۱)	(۹، ۷، ۵)	(۱۰، ۹، ۷)	(۵، ۳، ۱)	(۳، ۱، ۰)
C3-1	(۱۰، ۹، ۷)	(۱۰، ۹، ۷)	(۹، ۷، ۵)	(۷، ۵، ۳)	(۱۰، ۹، ۷)	(۱۰، ۹، ۷)
C3-2	(۳، ۱، ۰)	(۱۰، ۹، ۷)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)
C3-3	(۳، ۱، ۰)	(۱۰، ۹، ۷)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)	(۳، ۱، ۰)
C4-1	(۳، ۱، ۰)	(۵، ۳، ۱)	(۹، ۷، ۵)	(۳، ۱، ۰)	(۷، ۵، ۳)	(۹، ۷، ۵)
C4-2	(۷، ۵، ۳)	(۹، ۷، ۵)	(۷، ۵، ۳)	(۱۰، ۹، ۷)	(۵، ۳، ۱)	(۳، ۱، ۰)

ماخذ: یافته های تحقیق

در این محاسبات:

معیارهای مثبت (سودآور):C4-2,C4-1,C3-1,C2-3,C2-2,C2-1,C1-2 (هرچه عدد بزرگ‌تر، بهتر).

معیارهای منفی (هزینه‌بر): C3-3,C3-2,C1-3,C1-1 (هرچه عدد کوچک‌تر، بهتر).

اعداد فازی: VP(۳،۱،۰) ، P (۵،۳،۱)، M (۳ ،۵ ،۷)، (۷ ،۹ ،

۵) G، (۷ ،۹ ،۱۰)VG

پس از اعمال وزن‌های به دست آمده در ماتریس تصمیم تاپسیس، ۶ استراتژی سازگاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول (۵) مقادیر فاصله از ایده‌آل مثبت (d_i^*)، فاصله از ایده‌آل منفی (d_i^-) و ضریب نزدیکی (CC_i) را برای هر استراتژی نشان می‌دهد.

جدول ٤- ماتریس تصمیم فازی نرمال شده

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C1-1	(۰ ،۰/۱۴ ،۰/۲)	(۰ ،۰/۱۴ ،۰/۲)	(۰/۱۴ ،۰/۲ ،۰/۳۳)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۱۴ ،۰/۲ ،۰/۳۳)	(۰ ،۰/۱۱ ،۰/۱۴)
C1-2	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)
C1-3	(۰ ،۰/۲ ،۰/۳۳)	(۰ ،۰/۱۱ ،۰/۱۴)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰ ،۱۱/۰ ،۰/۱۴)	(۰ ،۰/۲ ،۰/۳۳)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)
C2-1	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)
C2-2	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)
C2-3	(۰/۵ ،۷/۰ ،۰/۹)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۱ ۰/۳ ،۰/۵)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)
C3-1	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)
C3-2	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰ ،۰/۱۱ ،۰/۱۴)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)
C3-3	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰ ،۰/۱۱ ،۰/۱۴)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)	(۰/۳۳ ،۱ ،۱)
C4-1	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)
C4-2	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹)	(۰/۳ ،۰/۵ ،۰/۷)	(۰/۷ ،۰/۹ ،۱)	(۰/۱ ،۰/۳ ،۰/۵)	(۰ ،۰/۱ ،۰/۳)

ماخذ: یافته های تحقیق

جدول۵- رتبه بندی نهایی استراتژهای سازگاری در منطقه سیستان

رتبه	استراتژی	d_i^*	d_i^-	CC_i	تفسیر نتیجه
۱	معیشت جایگزین غیر کشاورزی (A3)	۲/۴۵	۴/۱۲	۰/۶۲۷	گزینه برتر
۲	مهاجرت دوره ای/ چرخشی (A5)	۲/۸۹	۳/۵۶	۰/۵۵۱	گزینه دوم
۳	وابستگی به چتر حمایتی دولت (A4)	۳/۱۰	۳/۱۵	۰/۵۰۴	گزینه سوم
۴	مهاجرت کامل (A6)	۳/۹۵	۲/۱۰	۰/۳۴۷	گزینه چهارم
۵	سازگاری معماری (A1)	۴/۲۰	۱/۸۵	۰/۳۰۵	گزینه پنجم
۶	کشاورزی مقاوم (A2)	۴/۸۵	۱/۱۲	۰/۱۸۷	ضعیف ترین گزینه

ماخذ: یافته های تحقیق

نتایج رتبه‌بندی تاپسیس حاوی پیام‌های بسیار مهمی است که با واقعیت‌های منطقه سیستان همخوانی کامل دارد:

برتری استراتژی معیشت جایگزین (A3): کسب رتبه اول توسط این استراتژی (CC_i=۰/۶۲۷) نشان می‌دهد که با توجه به محدودیت شدید منابع آب و شکست کشاورزی، تنها راه پایدار برای ماندن مردم، روی آوردن به مشاغل خدماتی، تجارت مرزی و صنایع خرد (مانند صنایع دستی، سوزن دوزی، گلیم بافی و غیره) است. این استراتژی هم با معیار «پایداری درآمد» همخوانی دارد و هم برخلاف کشاورزی، «مصرف آب» ندارد.

جایگاه مهاجرت دوره‌ای (A5) و یارانه‌ها (A4): قرارگیری

این دو گزینه در رتبه‌های دوم و سوم نشان‌دهنده «تاب‌آوری شکننده» در منطقه است. برتری معیشت‌های جایگزین و مهاجرت چرخشی نشان می‌دهد که مردم به صورت خودجوش به سمت سازگاری‌های "غیرمکان‌محور" حرکت کرده‌اند. یعنی درآمد را از جایی دیگر (مرز یا شهرهای دیگر) کسب می‌کنند تا بتوانند در خانه خود (سیستان) زندگی کنند. خبرگان تأیید کرده‌اند که درآمد حاصل از کارگری فصلی جوانان در سایر شهرها (A5) و کمک‌های دولتی (A4) ستون‌های اصلی اقتصاد خانوار هستند. اگرچه این روش‌ها ایده‌آل نیستند، اما در کوتاه‌مدت از مهاجرت کامل جلوگیری کرده‌اند.

رتبه آخر کشاورزی (A2): سقوط کشاورزی به رتبه آخر (CCi=۰/۱۸۷) پیام روشنی دارد: "دوران کشاورزی‌محوری در سیستان به پایان رسیده است". خشکی دریاچه هامون و تغییر اقلیم، کشاورزی را از یک "منبع درآمد" به یک "قمار اقتصادی" تبدیل کرده است که نه تنها سودآور نیست، بلکه هدررفت منابع آب را تشدید می‌کند.

ضعف معماری (A1): رتبه پایین سازگاری معماری (CC_i=۰/۳۰۵) نشان‌دهنده یک شکاف تکنولوژیک عمیق است. برخلاف مناطق کویری دیگر (مانند یزد)، در سیستان معماری بومی سازگار با طوفان‌های ۱۲۰ روزه مدرن وجود ندارد و خانه‌های فعلی توانایی محافظت از ساکنین در برابر ریزگردهای میکرونی را ندارند. هزینه بالای ساخت خانه‌های ایزوله نیز باعث شده تا این گزینه برای اکثر مردم غیرعملی باشد.

مهاجرت کامل (A6):اگرچه مهاجرت کامل گزینه‌ای است که افراد متمکن انتخاب می‌کنند، اما در مدل تصمیم‌گیری (که هدفش حفظ منطقه است)، امتیاز پایینی کسب کرده است زیرا منجر به تخلیه مرز و از دست رفتن سرمایه اجتماعی می‌شود. با این حال، فاصله کم امتیاز آن با گزینه‌های میانی نشان می‌دهد که اگر حمایت‌های دولتی (A4) قطع شود، این گزینه به سرعت به رتبه های بالاتر صعود خواهد کرد.

نتیجه‌گیری و بحث

این پژوهش با هدف ارزیابی استراتژی‌های سازگاری در برابر بحران گرد و غبار در منطقه سیستان انجام شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی ترکیبی نشان‌دهنده تغییر پارادایم بنیادی در الگوهای معیشتی و سکونتی منطقه است. برخلاف رویکردهای کلاسیک توسعه روستایی که بر تقویت کشاورزی و زیرساخت‌های فیزیکی تأکید دارند، یافته‌های این مطالعه نشان داد که در شرایط «فروپاشی هیدرولوژیک»، استراتژی‌های غیرمکان‌محور برتری مطلق دارند.

یافته کلیدی پژوهش، یعنی برتری استراتژی «معیشت جایگزین غیرکشاورزی» و سقوط «کشاورزی» به پایین‌ترین رتبه اولویت، با واقعیت‌های زیست‌محیطی سیستان همخوانی کامل دارد. این نتیجه با نظریه «سازگاری تحول‌آفرین» که توسط کیتس[1] و همکاران (۲۰۱۲) مطرح شده، هم‌سو است؛ جایی که تغییرات اقلیمی آنچنان شدید است که سیستم‌های سنتی (در اینجا کشاورزی) دیگر قابل احیا نیستند و جامعه ناچار به تغییر بنیادین در ساختار اقتصادی خود می‌شود. در سیستان، خشک شدن تالاب هامون عملاً کشاورزی را از یک دارایی مولد به یک بدهی اکولوژیک تبدیل کرده است. بنابراین، اصرار سیاست‌گذاران بر احیای کشاورزی سنتی در این منطقه، مصداق بارز «سازگاری نامناسب» است که نه تنها فقر را کاهش نمی‌دهد، بلکه منابع محدود آبی را نیز هدر می‌دهد.

از سوی دیگر، جایگاه میانی استراتژی‌های «مهاجرت دوره‌ای» و «وابستگی به حمایت‌های دولتی» نشان‌دهنده ظهور نوعی «تاب‌آوری شکننده» در منطقه است. نتایج نشان می‌دهد که خانوارها برای اجتناب از مهاجرت کامل (که هزینه‌های اجتماعی و روانی بالایی دارد)، به ترکیبی از درآمدهای انتقالی (یارانه‌ها) و درآمد حاصل از نیروی کار مهاجر متکی شده‌اند. این

1 - Kates

یافته با مطالعات اِیجر (۲۰۱۶) مطابقت دارد که بیان می‌کند مهاجرت همیشه نشانه‌ی شکست سازگاری نیست، بلکه می‌تواند به عنوان یک استراتژی فعال برای تنوع‌بخشی به درآمد و حفظ خانوار در مبدأ عمل کند. با این حال، وابستگی شدید به یارانه‌های دولتی (رتبه دوم اهمیت در زیرمعیارها) هشداری جدی برای سیاست‌گذاران است؛ چرا که این نوع سازگاری، وابستگی مسیر ایجاد کرده و خلاقیت اقتصادی جامعه را سرکوب می‌کند.

همچنین، ناکارآمدی استراتژی «سازگاری معماری» در نتایج این پژوهش، شکاف عمیق تکنولوژیک در مناطق روستایی سیستان را برجسته می‌کند. در حالی که ادبیات جهانی بر خانه‌های هوشمند و سازگار با اقلیم تأکید دارد، واقعیت میدانی سیستان نشان می‌دهد که معماری بومی در برابر شدت و تواتر طوفان‌های مدرن خلع سلاح شده است. این امر تأیید می‌کند که راهکارهای کالبدی بدون پشتوانه اقتصادی، در مناطق فقیرنشین کارایی ندارند.

در مجموع، این مطالعه نتیجه می‌گیرد که ماندگاری پایدار در سیستان، نه از طریق "آب" بلکه از طریق "مرز" امکان‌پذیر است. پتانسیل‌های تجاری مرز ایران و افغانستان تنها مزیتی است که تحت تأثیر خشکسالی قرار نگرفته است. بنابراین، سیاست‌گذاری‌ها باید از تمرکز صرف بر مدیریت بحران آب، به سمت مدیریت «اقتصاد بدون آب» تغییر جهت دهند. به رسمیت شناختن تجارت مرزی و تسهیل مبادلات خرد، می‌تواند جایگزین پایداری برای کشاورزی از دست رفته باشد و امنیت سکونت‌گاه‌های مرزی را تضمین کند. پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که مداخله‌های آتی به جای سرمایه‌گذاری بر زیرساخت‌های کشاورزی، بر توانمندسازی انسانی جهت اشتغال در بخش خدمات و تجارت متمرکز شوند.

منابع

اجتماعی،ب. شکور، ع. شجاعی فرد، ع. (۱۴۰۱)، تحلیل فضایی سکونتگاه های روستایی در ارتباط با عوامل طبیعی (مطالعه موردی: شهرستان فیروزآباد). فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۹(۴)، ۴۹۱-۵۰۴. https://doi.org/10.22048/rdsj.2022.310954.1985

بزی، ف. س. م. حسینی، م. ع. ترکی هرچگانی، (۱۴۰۰)، بررسی اثرات گرد و غبار بر معیشت روستاییان (مطالعه موردی: شهرستان نیمروز)، فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۸(۳)، ۳۶۷-۳۷۹. https://doi.org/10.22048/rdsj.2021.273719.1918

ریاحی، و. ف. جوان، ا. شیخکانلوی میلان، (۱۳۹۹)، تحلیل اثرات صندوق کارآفرینی امید در توسعه اقتصادی سکونتگاه های روستایی(مطالعه موردی: شهرستان خوی)، فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۷(۳)،۲۶۷-۲۸۵. https://doi.org/10.22048/rdsj.2021.266215.1906

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global Environmental Change, 16(3), 268-281. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Adger, W. N. (2016). Place, well-being, and fairness in climate adaptation. Nature Climate Change, 6(1), 1-2. https://doi.org/10.1038/nclimate2813

Behrooz, R. D., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., & Krotkov, N. (2017). Analysis of the regional dust storms over the Sistan region, Iran, using satellite and meteorological data. Aeolian Research, 29, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.10.005

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2

Miri, A., Hasanlou, M., & Ahmadi, H. (2023). Environmental, socio-economic, and health impacts of dust storms in the Sistan region, Iran: A comprehensive review. Science of The Total Environment, 858, 159814. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159814

Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 156(2), 445-455. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., & Kahn, R. A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. Science of the Total Environment, 463, 552-564. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.002

Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 16(3), 282-292. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008

Torfi, F., Farahani, R. Z., & Rezapour, S. (2010). Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and Fuzzy TOPSIS to rank the alternatives. Computers & Industrial Engineering, 58(4), 913-916. https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.11.012

UNCCD (2023a). Global Drought Snapshot 2023. United Nations Convention to Combat Desertification. Bonn, Germany.

UNCCD. (2023b). Sand and Dust Storms: A Guide to Mitigation, Adaptation, Policy and Risk Management Measures. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.

Vivas, D., & Martinez, P. (2019). Fuzzy logic based approach for flood vulnerability assessment. Natural Hazards, 96, 123-140. https://doi.org/10.1007/s11069-018-3532-6

WMO. (2024). WMO Airborne Dust Bulletin. World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland.

Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114(1), 1-9. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1

Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International Journal of Production Economics, 102(2), 289-301. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.02.012

Goudie, A. S. (2014). Desert dust and human health disorders. Environment International, 63, 101-113. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011

IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Kates, R. W., Travis, W. R., & Wilbanks, T. J. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(19), 7156-7161. https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109

Middleton, N., & Kang, U. (2017). Sand and dust storms: Impact mitigation. Sustainability, 9(6), 1053. https://doi.org/10.3390/su9061053

Middleton, N. (2019). Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. Earth-Science Reviews, 192, 282-302. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.016

Miri, A., Ahmadi, H., Ghanbari, A., & Moghaddamnia, A. (2010). Dust storms impacts on air pollution and public health under hot and dry climate. International Journal of Energy and Environment, 1(1), 101-105.

Miri, A., Middleton, N., & Goudie, A. S. (2021). The climatology of dust storms in the Sistan region, Iran. International Journal of Climatology, 41(1), 58-74. https://doi.org/10.1002/joc.6608

Yazdani, M., Torkayesh, A. E., & Stević, Ž. (2023). A fuzzy multi-criteria decision-making framework for resilience and adaptation in disaster management. International Journal of Disaster Risk Reduction, 84, 103465. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103465

Zhou, H., Wang, J., Wan, J., & Jia, H. (2010). Resilience to natural hazards: A geographic perspective. Natural Hazards, 53(1), 21-41. https://doi.org/10.1007/s11069-009-9407-y

Zobeidi, T., Yazdanpanah, M., & Komendantova, N. (2023). Investigating farmers' intention to adopt adaptation strategies to climate change in Iran. Journal of Environmental Management, 325, 116492. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116492