این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.---, Issue ----, ----- -----

Foresight Analysis of Water Issues Using Scenario Planning in Human Settlements of the Nimbeluk Plain, with a Focus on the Steel Industry

Fatemeh Khazaei[1], Mohammad Eskandari Sani[2*], Mofid Shatri[3]

1. *MSc. of Geography, Department of Geography, University of Birjand, Birjand, Iran*
2. Corresponding Author, *Associate Professor, Department of Geography, University of Birjand, Birjand, Iran*
Email: *meskandarisani@birjand.ac.ir* ***ORCID:*** *https://orcid.org/0000-0003-3824-4871*
3. *Associate Professor, Department of Geography, University of Birjand, Birjand, Iran*

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: ----------
Revised: ----------
Accepted: ----------
Published: ----------

Keywords:
Water Foresight Analysis, Scenario Planning, Nimbeluk Plain, Quality of Life, Steel Industry.

ABSTRACT

The water crisis in semi-arid regions like South Khorasan has been exacerbated by drought and aquifer depletion. The establishment of the Qaenat Steel Plant in the Nimbeluk Plain, with its high water consumption and environmental impacts, poses a threat to the future of water resources and human settlements in the region. This study aims to provide intelligent management solutions by conducting a foresight analysis of water issues, focusing on the impacts of the steel industry. The research is descriptive-analytical with an applied objective, and data were collected through library and field methods (interviews and questionnaires). The statistical population consisted of 11 regional and water planning experts selected through convenience sampling. Thirty-six variables affecting water resources were identified, and key drivers were determined using structural analysis in MicMac software. Subsequently, a questionnaire was used to assess the impact of these drivers in probable scenarios, and the data were analyzed using scenario planning and Scenario Wizard software. The results identified urban drinking water quality, water supply quality, migration tendencies, water access, and the use of Qaen's urban wastewater as key drivers. Scenario analysis indicated a dominance of undesirable scenarios (75%), highlighting the need for optimal water resource management and mitigation of industrial pressures. This study provides a framework for short-term, medium-term, and long-term policymaking by forecasting water consumption patterns in the Nimbeluk Plain to achieve sustainable development and effective water resource management.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

How to Cite: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. *Journal of Natural Environmental Hazards*, -- (--), ----.

© The Author/Authors

DOI: 0000000000000000000

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The water crisis in semi-arid regions like South Khorasan, Iran, poses a significant threat to sustainable development and human settlements, exacerbated by prolonged droughts, overexploitation of groundwater, and industrial activities. The Nimbeluk Plain, located in Qaenat County, faces acute water stress due to declining aquifer levels, land subsidence, and the water-intensive operations of the Qaenat Steel Plant. This study employs a scenario planning approach to conduct a foresight analysis of water issues in the human settlements of the Nimbeluk Plain, with a specific focus on the steel industry's impact. The research aims to identify key drivers influencing water resources and develop probable scenarios to inform short-, medium, and long-term policymaking for sustainable water management. Multiple factors, including climate change, population growth, and mismanagement of water resources, drive the water crisis in South Khorasan. In the Nimbeluk Plain, 99.5% of water consumption relies on groundwater, leading to severe aquifer depletion and the designation of 26 out of 35 plains in the province as restricted for extraction. The Qaenat Steel Plant, with a water consumption of approximately 1.2 liters per kilogram of steel and an initial production capacity requiring over 700,000 cubic meters of water annually, intensifies pressure on the region's limited water resources. This industrial activity, coupled with agriculture's dominance (consuming 93.5% of extracted water), threatens the sustainability of human settlements and increases risks such as land subsidence and migration. This study adopts a descriptive-analytical methodology with an applied objective. Data were collected through library research and field methods, including interviews and questionnaires. The statistical population comprised 11 experts in regional and water planning, selected via convenience sampling. Thirty-six variables affecting water consumption were identified and analyzed using structural analysis in the MicMac software to determine key drivers. Subsequently, a cross-impact matrix was developed, and data were processed using Scenario Wizard software to generate and evaluate probable scenarios. The Delphi method was employed to define five possible states (from desirable to critical) for each key driver, forming the basis for scenario development. The results of the structural analysis revealed a highly unstable water consumption system in the Nimbeluk Plain, characterized by complex interactions among natural, human, and industrial factors. Five key drivers were identified: urban drinking water quality, water supply quality, migration tendencies, water access, and the utilization of Qaen's urban wastewater. These drivers were pivotal in shaping the future of water resources in the region. The scenario analysis produced eight strong scenarios, with 75% indicating undesirable outcomes (intermediate-to-critical, semi-critical, and critical states). Table 1 summarizes the key drivers and their probable states, highlighting their influence on water management outcomes.

آماده انتشار (بدون شماره صفحه)

DATA AND METHODOLOGY

This descriptive-analytical study with an applied objective examines water issues in the Nimbeluk Plain, Qaenat County, South Khorasan, and Iran. Data were collected via library research and field methods, including interviews and questionnaires with 11 experts in regional and water planning, selected through convenience sampling. Thirty-six variables affecting water consumption were identified and analyzed using MicMac software to determine five key drivers: urban drinking water quality, water supply quality, migration tendencies, water access, and Qaen's urban wastewater utilization. Scenario planning was conducted using Scenario Wizard, with a 25×25 cross-impact matrix based on five probable states per driver, derived via the Delphi method with nine experts. This generated eight strong scenarios, 781 weak, and 117,151 inconsistent scenarios.

RESULTS AND DISCUSSION

This foresight study on water issues in the Nimbeluk Plain, South Khorasan, Iran, with a focus on the Qaenat Steel Plant, revealed a highly unstable water consumption system driven by intricate

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

environmental, social, and industrial interactions. Using MicMac software, 36 variables influencing water resources were analyzed, identifying five key drivers: urban drinking water quality, water supply quality, migration tendencies, water access, and utilization of Qaen's urban wastewater.

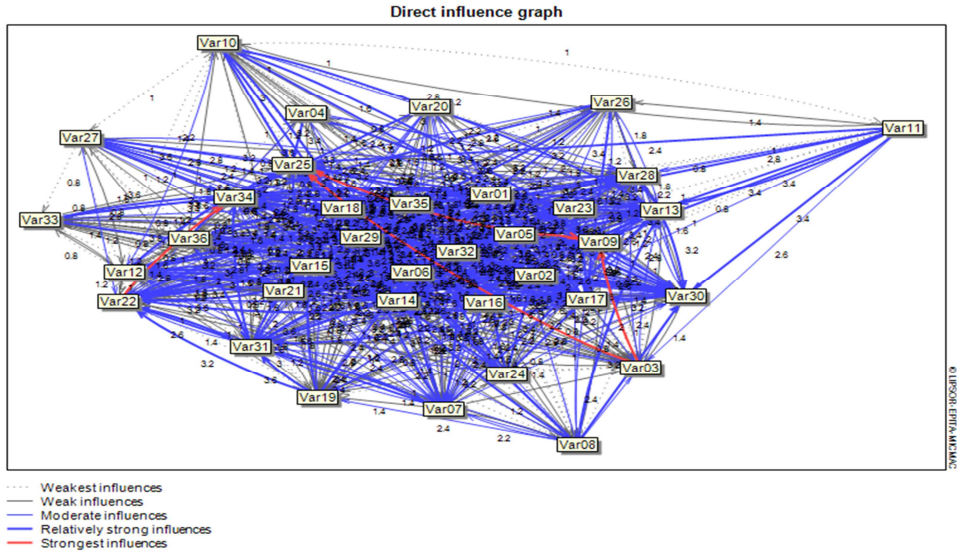


Figure 1: Distribution of Variables Based on Direct Impacts of Variables. Source: Authors, 2025

Scenario Wizard generated eight strong scenarios, with 75% projecting undesirable futures (intermediate-to-critical, semi-critical, and critical), underscoring the urgent need for strategic interventions to avert environmental, social, and economic crises.

(بدون شماره مجله)

Table 1. Summary of Scenario Analysis for Water Management in Nimbeluk Plain

Scenario	Overall State	Overall State	Influencing Factors	Influencing
Scenario 1	Desirable	Enhanced drinking water quality and resource access	Increased household water use, reduced salinity	Desirable
Scenario 2	Desirable	Slight improvement in drinking water quality, needs attention	Increased household water use, reduced salinity	Desirable
Scenario 3& 5	Intermediate	Status quo persists, no notable change	Stable population and water quality	Desirable
Scenario 5	Intermediate-to-Critical	Rising drinking water pollution, quality at risk	Stable water use and salinity	Desirable
Scenario 6	Critical	Declining water supply quality, increased migration	Stable population and water quality	Desirable
Scenario 7	Critical	Severe decline in water quality and access	Unchanged consumption and funding patterns	Desirable
Scenario 8	Critical	Severe pollution and water quality decline	Unchanged consumption and funding patterns	Desirable

The analysis highlights the Qaenat Steel Plant's significant pressure on water resources, consuming 1.2 liters per kilogram of steel and over 700,000 m³ annually, alongside agriculture's 93.5% share of water use. These factors, combined with groundwater overextraction, contribute to aquifer depletion

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

and land subsidence, threatening human settlements. Desirable scenarios (1 and 2) demonstrate potential for improved water quality, reliable supply, and reduced migration through wastewater reuse and water-efficient technologies. However, critical scenarios (6–8) warn of severe pollution, reduced access, and mass migration if current trends continue, aligning with Hassaniyan (2024) on environmental injustice and Shirzaei et al. (2021) on irreversible subsidence.

The MicMac analysis showed technology for water reduction as the most influential indirect driver (score: 541), followed by urban drinking water quality, groundwater quality, water treatment quality, and annual precipitation (each scoring 512). Agricultural water consumption was the most dependent variable (score: 562), emphasizing its vulnerability to system changes. The unstable system, with variables clustered near the scatterplot center, indicates strong interdependencies, complicating management efforts but highlighting the pivotal role of key drivers.

These findings align with Joadi et al. (2023), who stress aquifer vulnerability forecasting, and Beheshti et al. (2021), who advocate scenario-based water management. The study's emphasis on technology echoes Qin et al. (2019), noting innovation's role in mitigating water crises. However, the steel plant's expansion without sustainable water sourcing risks exacerbating ecological damage, necessitating immediate policy shifts toward integrated management, including industrial water recycling, agricultural reform, and enhanced wastewater infrastructure.

CONCLUSION

This study provides a strategic framework to address the water crisis in the Nimbeluk Plain, South Khorasan, Iran, focusing on the Qaenat Steel Plant's impact. Five key drivers-urban drinking water quality, water supply reliability, migration tendencies, water access, and Qaen's wastewater utilization-shape the region's water future. Scenario analysis revealed 75% undesirable outcomes (intermediate-to-critical, semi-critical, and critical), signaling risks of environmental, social, and economic crises. The steel plant's high water use (1.2 liters/kg, >700,000 m^3/year) and agriculture's 93.5% consumption exacerbate groundwater depletion and subsidence. To achieve desirable scenarios, policymakers must: (1) implement water recycling in the steel plant, (2) invest in wastewater treatment, (3) promote low-water crops and efficient irrigation, (4) monitor aquifers, and (5) raise public awareness. This model applies to other semi-arid regions, but the small sample size (11 experts) and limited data suggest broader studies are needed. Without action, pollution, reduced access, and migration will intensify, threatening sustainability.

آماده انتشار (بدون نسخه و صفحه)

ETHICAL CONSIDERATIONS

Conflict of Interest Statement: The authors declare no conflict of interest.

Ethical Statement: This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the experts who contributed their insights through interviews and questionnaires, and the South Khorasan Regional Water Authority for providing data.

REFERENCES

References [in Persian]

Ebadi, A. G., Toughani, M., Najafi, A., & Babaee, M. (2020). A brief overview of current environmental issues in Iran. *Central Asian Journal of Environmental Science and Technology Innovation*, 1(1), 1–11. [In Persian]

Darand, M. (2015). Synoptic analysis of heavy precipitation in Kurdistan province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 15(37), 47–70. [In Persian]

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Mahmoudi, P., Fattahi, E., Heydari, M., Rigi, A., Ansari, A., Ghaemi, A., & Rezaei, J. (2025). Analysis of precipitation extremes trends in the Persian Gulf and Oman Sea Basin in Southern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(44), 63–88. doi: 10.22111/jneh.2025.48651.2043. [In Persian]

References [in English]

Mahmoudi, P., Fattahi, E., Heydari, M., Rigi, A., Ansari, A., Ghaemi, A., & Rezaei, J. (2025). Analysis of precipitation extremes trends in the Persian Gulf and Oman Sea Basin in Southern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(44), 63–88. doi: 10.22111/jneh.2025.48651.2043.

Pryor, S., Howe, J., & Kunkel, K. (2009). How spatially coherent and statistically robust are temporal changes in extreme precipitation in the contiguous USA? *International Journal of Climatology*, 29(1), 31–45.

Wu, H., & Lau, W. (2016). Detecting climate signals in precipitation extremes from TRMM (1998–2013), increasing contrast between wet and dry extremes during the “global warming hiatus”. *Geophysical Research Letters*, 43(3), 1–9.

آماده انتشار(بدون شماره مجله)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ----، شماره ----- ، -------- -----

آینده نگاری مسأله آب با روش سناریوپردازی در سکونتگاه های انسانی دشت نیمبلوک با تمرکز بر کارخانه فولاد

فاطمه خزایی۱، محمد اسکندری ثانی[۲]*، مفید شاطری[۳]

۱. کارشناس ارشد جغرافیا و مخاطرات محیطی دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه بیرجند **(نویسنده مسئول)**

ORCID: *https://orcid.org/0000-0003-3824-4871* **ایمیل:** meskandarisani@birjand.ac.ir

۳. دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه بیرجند

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: --/--/--

تاریخ ویرایش: --/--/--

تاریخ پذیرش : --/--/--

تاریخ انتشار : --/--/--

واژه‌های کلیدی:
آینده نگاری آب، سناریو نگاری، دشت نیمبلوک، کیفیت زندگی، کارخانه فولاد.

چکیده

بحران آب در مناطق نیمه‌خشک مانند خراسان جنوبی، با خشکسالی و افت آبخوان‌ها تشدید شده است. احداث کارخانه فولاد قائنات در دشت نیمبلوک، با مصرف بالای آب و پیامدهای زیست‌محیطی، آینده منابع آبی و سکونتگاه‌های انسانی منطقه را تهدید می‌کند. این پژوهش با هدف ارائه راهکارهای مدیریتی هوشمند، به آینده‌نگاری مسئله آب با تمرکز بر تأثیرات کارخانه فولاد می‌پردازد. مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی با هدف کاربردی است و داده‌ها از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی (مصاحبه و پرسشنامه) گردآوری شدند. جامعه آماری شامل ۱۱ متخصص برنامه‌ریزی منطقه‌ای و آب بود که با نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. ۳۶ متغیر مؤثر بر منابع آب شناسایی و با تحلیل ساختاری در نرم‌افزار MicMac، پیشران‌های کلیدی تعیین شدند. سپس، با پرسشنامه‌ای برای بررسی تأثیر پیشران‌ها در سناریوهای محتمل، داده‌ها با روش سناریوپردازی و نرم‌افزار Scenario Wizard تحلیل گردیدند. نتایج نشان داد که کیفیت آب شرب شهری، کیفیت آبرسانی، تمایل به مهاجرت، دسترسی به آب، و استفاده از فاضلاب شهری قاین، پیشران‌های کلیدی هستند. تحلیل سناریوها حاکی از غلبه سناریوهای نامطلوب (۷۵ درصد) است که ضرورت مدیریت بهینه منابع آب و کاهش تنش‌های صنعتی را نشان می‌دهد. این پژوهش با پیش‌بینی ساختار مصرف آب در دشت نیمبلوک، چارچوبی برای سیاست‌گذاری کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت ارائه می‌دهد تا توسعه پایدار و مدیریت منابع آب محقق شود.

آماده انتشار (بدون شماره صفحه)

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۰). عنوان مقاله. *مخاطرات محیط طبیعی*، -- (--)، ----

© نویسنده/ نویسندگان

DOI: 00000000000000000000000000000

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مقدمه

بحران آب، چالشی فزاینده و چندوجهی در عصر حاضر است که بقا و توسعه پایدار جوامع انسانی را به طور جدی تهدید می‌کند. تغییرات اقلیمی، رشد بی‌رویه جمعیت، مصرف بی‌رویه و آلودگی منابع آبی، به ویژه آب‌های زیرزمینی، از جمله عوامل اصلی تشدیدکننده این بحران در سراسر جهان به شمار می‌روند (لیو و همکاران[1] ، ۲۰۱۷؛ مکونن و هوکسترا[2] ، ۲۰۱۶). ایران، به عنوان کشوری نیمه‌خشک، به شدت تحت تأثیر این چالش قرار گرفته و سوءمدیریت منابع آبی می‌تواند منجر به بی‌آبی و خشکی مناطق وسیعی از کشور شود. آب شیرین و قابل شرب، منبعی حیاتی است که جوامع به طور فزاینده‌ای به آن وابسته هستند (وورواسمارتی و همکاران[3] ، ۲۰۱۰). علاوه بر این، آلودگی آب در ایران نیز، مشابه بسیاری از کشورهای در حال توسعه، به دلیل پیشرفت تکنولوژی و فعالیت‌های انسانی رو به افزایش است و نیازمند توجه جدی‌تری است (حسنیان[4] ، ۲۰۲۴؛ گران کاسترو[5] ، ۲۰۲۳). در این شرایط ناپایدار، آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری، به ویژه با رویکرد سناریوپردازی راهبردی، ابزاری حیاتی برای برنامه‌ریزان توسعه منطقه‌ای محسوب می‌شوند. این روش‌ها با ارائه درکی سیستماتیک از روندها و نیروهای مؤثر بر آینده، به شناسایی و طراحی مسیرهایی برای دستیابی به آینده مطلوب کمک می‌کنند. سناریوپردازی با ترسیم طیفی از آینده‌های محتمل (از آرمان‌شهری تا ویران‌شهری)، سیاست‌گذاران را در اتخاذ تصمیمات آگاهانه در حوزه مدیریت منابع حیاتی، همچون آب، یاری می‌رساند. این رویکرد برای برنامه‌ریزی و مدیریت بلندمدت آب ضروری است (بهشتی و همکاران[6] ، ۲۰۲۱؛ زالی، ۱۳۹۸؛ زالی، ۱۳۹۰). استان خراسان جنوبی نمونه‌ای بارز از مناطق بحرانی آب در ایران است. ۹۹/۵ درصد از مصارف آب این استان از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. برداشت بی‌رویه و خشکسالی‌های مداوم، منجر به افت شدید سطح آب و کسری مخزن در اکثر دشت‌های استان شده، به گونه‌ای که ۲۶ دشت از ۳۵ دشت استان اکنون ممنوعه برداشت هستند. پدیده فرونشست زمین نیز به عنوان یک تهدید جدی، نتیجه مستقیم این وضعیت است که سالانه ۱/۴۴ میلیارد مترمکعب اضافه برداشت آب را نشان می‌دهد (گزارش سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۴۰۰). فرونشست ماندگار دشت‌ها که عمدتاً در اثر برداشت بیش از حد مجاز آب‌های زیرزمینی و فشرده شدن لایه‌های رسی میان آبخوان صورت می‌گیرد، غیرقابل بازگشت است و بالا آمدن مجدد سطح ایستایی به تراز اولیه خود را امکان‌پذیر نمی‌سازد (گالووی و همکاران[7] ، ۲۰۱۱؛ شیرزاعی و همکاران[8] ، ۲۰۲۱). دشت قاین و نیمبلوک به عنوان یکی از بحرانی‌ترین دشت‌های خراسان جنوبی شناخته شده است (مطالعات طرح آمایش سرزمینی خراسان جنوبی، ۱۴۰۰). در این منطقه، احداث و توسعه کارخانه فولاد قائنات در دشت نیمبلوک، با وجود مزایای اشتغال‌زایی، تنش‌های آبی جدی را به وجود آورده است. با توجه به اینکه تولید هر کیلوگرم آهن به حدود ۱/۲ لیتر آب نیاز دارد و ظرفیت تولیدی این کارخانه در گام نخست به بیش از ۷۰۰ هزار مترمکعب می‌رسد که با افتتاح فاز بعدی به مراتب بیشتر خواهد بود، این صنعت فشار مضاعفی بر منابع آبی محدود منطقه وارد می‌کند. ایران در سال ۲۰۲۰ میلادی، با

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

[1] - Liu et al
[2] - Mekonnen & Hoekstra
[3] - Vörösmarty et al
[4] - Hassaniyan
[5] - Gran Castro
[6] - Beheshti et al
[7] - Galloway et al
[8] - Shirzaei et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

تولید نزدیک به ۳۰ میلیون تن فولاد، در جایگاه دهمین تولیدکننده بزرگ فولاد در جهان قرار داشته است (انجمن جهانی فولاد[1] ، ۲۰۲۲).

توزیع مصرف آب در خراسان جنوبی نشان می‌دهد که بیشترین میزان آب مصرفی استان در بخش کشاورزی است. بر اساس آمارهای سازمان آب منطقه‌ای استان، ۹۳/۵ درصد آب استحصال شده در بخش کشاورزی، ۵/۰۲ درصد به مصارف خانگی و ۱/۴۸ درصد به بخش صنعت می‌رسد. با توجه به بحران آب و تأثیرات آن بر سکونتگاه‌های انسانی، هدف این پژوهش، آینده‌نگاری و سناریوپردازی مسئله آب در سکونتگاه‌های انسانی دشت نیمبلوک با تمرکز بر اثرات کارخانه فولاد است. این مطالعه به دنبال شناخت پیشران‌های کلیدی تأثیرگذار بر منابع آب منطقه و ارائه سناریوهای محتمل برای کمک به سیاست‌گذاری‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در سطوح محلی و ملی است. ضرورت این پژوهش از وخامت روزافزون وضعیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، به‌ویژه در استان خراسان جنوبی، ناشی می‌شود. این استان بیش از دو دهه است که با پدیده خشکسالی و تنش‌های شدید آبی دست و پنجه نرم می‌کند که پیامد آن افت شدید سطح آبخوان‌ها و تهدیدات جدی برای توسعه پایدار است. در چنین شرایطی، هرگونه برنامه توسعه‌ای، اعم از صنعتی یا کشاورزی، نیازمند ارزیابی دقیق و آینده‌نگرانه منابع آب و انرژی است.

پژوهش‌های متعددی در زمینه بحران آب و آینده‌نگاری مدیریت منابع آب در ایران و سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت گرفته است از جمله؛ یراقی فرد و شکوهی(۱۴۰۴) در تحقیقی تحت عنوان آینده پژوهی تاب آوری منابع آب با رویکرد برنامه ریزی سناریو مبنا (مطالعهٔ موردی: حوزه آبخیز زاینده رود) به این نتیجه رسیده اند که نرخ رشد جمعیت، میزان مشارکت بخش خصوصی در سرمایه گذاری برای مدیریت آب، آموزش های مربوط به تغییر الگوی کشت، مناسب بودن کیفیت خدمات سازمان آب و فاضلاب، تأثیرگذاری میزان نزولات جوی به عنوان پیشرانهای کلیدی مؤثر بر تاب آوری شناخته می شوند. کاویانی راد و همکاران(۱۴۰۳) با عنوان مقاله ای تحت عنوان اثرات بحران آب بر تدوین سناریوهایِ هیدروپلیتیک محورِ فراروی حوضه آبریز زاینده رود به این نتیجه رسیده اند که راهکار مدیریت بهینه منابع آب در سطح ملی و متناسب با آن در سطح حوضه آبریز زاینده رود، مناسبترین راهکار برای جلوگیری از رخداد وضعیت بحرانی حوضه آبریز زاینده رود شناخته شد. جوادی و همکاران۲ (۲۰۲۳). تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با در نظر گرفتن تغییرات آتی کاربری اراضی و متغیرهای دینامیک آبخوان، برای مدیریت کیفیت و پایش مؤثر منابع آب ضروری است. نتایج حاکی از افزایش قابل توجه مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا در آینده (۱۴٪ در ۲۰۴۰ و ۵۰٪ در ۲۰۵۰ نسبت به ۲۰۲۰) است. این یافته‌ها اهمیت استفاده از نقشه‌های آسیب‌پذیری آینده‌نگر را در بهبود عملکرد مدیریت و پایش آبخوان‌ها برجسته می‌کند. طاهری دمنه و همکاران در سال ۱۴۰۱ در مقاله ای با عنوان آینده نگاری مسئله ی آب در شهر اصفهان به این نتیجه رسیده اند که مهم ترین عوامل تعیین کننده وضعیت آینده آب در شهر اصفهان نه عوامل محیطی، بلکه عوامل مربوط به تصمیمات انسانی هستند. سپهرآرا و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله پیش‌بینی کوتاه‌مدت و درازمدت تغییر اقلیم بر آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی با روش توصیفی - تحلیلی بـر پایـه گردآوری اطلاعات و مطالعات میدانی و استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، در مطالعه‌ای به‌پیش بینی کوتاه‌مدت و درازمدت تغییر اقلیم بر آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برای ساله‌ای آینده در جهت حفظ منابع آب زیرزمینی لازم است اقدامات پایشی ویژه‌ای در مناطق شمالی و شمال شرقی و شرقی آبخوان در نظر گرفته شود. رحیم حسینی و

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

[1] - World Steel Association
[2] - Javadi et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

همکاران (۲۰۲۱). در مقاله‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی سناریومحور، به ارائه مدل آینده‌پژوهانه مدیریت پایدار منابع آب پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برخلاف روش‌های برنامه‌ریزی سنتی، آینده صرفاً ادامه روندهای گذشته نیست؛ بلکه نیروهای عمده محیطی وضعیت آینده یک سیستم را شکل می‌دهند. بهشتی و همکاران (۲۰۲۱)، در مقاله ای با عنوان سناریوهای مدیریت منابع آب بر مبنای رویکرد آینده‌پژوهی: مطالعه‌ی موردی شهرستان تبریز، به بررسی عوامل مؤثر بر منابع آب در ابعاد منابع و مصرف پرداخته و آینده‌های جایگزین را در این زمینه تعریف کرده‌اند. هدف این مطالعه، ارزیابی سیستماتیک عوامل تأثیرگذار و تعریف سناریوهای مختلف برای مدیریت منابع آب بوده است. فرج زاده و همکاران[1](۲۰۰۷). به تحلیل بحران آب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در دشت نیشابور ایران پرداخته اند. این پژوهش نشان می‌دهد که کیفیت کشت و زرع برای اهداف کشاورزی، مهم‌ترین عامل مؤثر بر بحران آب در دشت نیشابور است و برای کاهش شدت این بحران، اتخاذ راهبردهای جدید از جمله بهبود کاربری اراضی و کشت گونه‌های با نیاز آبی کمتر ضروری است. این یافته‌ها بر اهمیت نقش GIS در شناسایی مناطق درگیر بحران و تدوین سیاست‌های مدیریتی مناسب تأکید دارد.

کین و همکاران[2] (۲۰۱۹). پروژه‌ی انتقال آب از جنوب به شمال در منطقه‌ی دشت شمال چین بررسی شد و ۱سناریو در راستای مدیریت منابع آب شناسایی گردید، که در همه‌ی آنها تأثیر تغییرات آب و هوایی لحاظ شده است. طبق یافته‌ها این طرح انتقال، تنها میتواند بحران آب را کاهش داده و به تنهایی قادر به حل مشکل کمبود آب نیست. از این رو، در کنار آن ترکیبی از استراتژی‌های کاهش مصرف آب و استفاده از فناوری‌های نو و بازسازی بخش صنعت به جهت صرفه‌جویی در آب، مورد نیاز است. مک و همکاران[3] (۲۰۱۹). تحولات احتمالی وضعیت آیندهی آب‌های سطحی اروپا ارزیابی و دو سناریوی اقلیمی و سه خط داستانی تعریف شده است که کاربری زمین، مدیریت و تحولات جمعیتی را توصیف می‌کنند. نتایج تأکید بر لزوم اجرای اقدامات هدفمند برای کاهش أثرات انسانی دارد. از دیگر افرادی که در این زمینه پژوهش‌هایی انجام داده‌اند می توان به (وادا و همکاران، ۲۰۱۶؛ مانزانو و همکاران، ۲۰۱۹؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۸؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۱۹) نیز اشاره کرد.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

این مطالعات، ضرورت آینده‌نگاری و سناریوپردازی در مدیریت منابع آب را تأیید می‌کنند و راهکارهای متعددی را برای مقابله با بحران آب ارائه می‌دهند که می‌تواند مبنایی برای پژوهش حاضر در دشت نیمبلوک باشد.

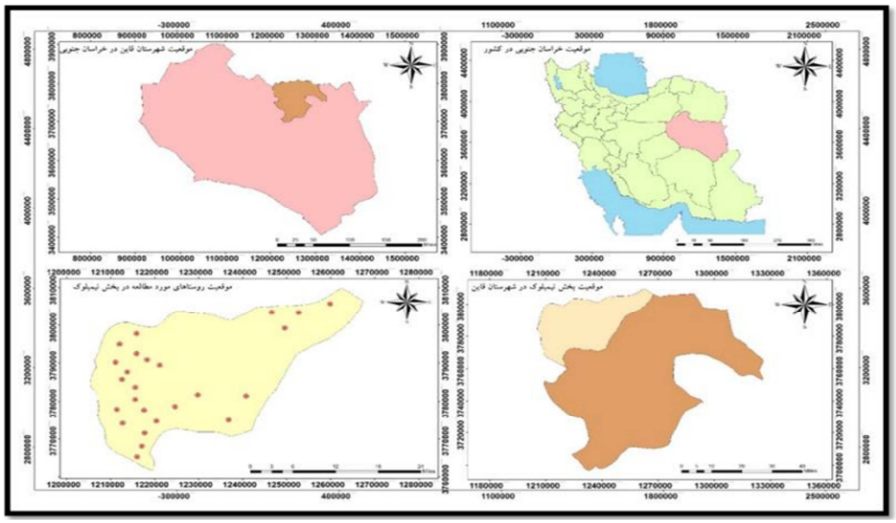
داده‌ها و روش‌ها

شهرستان قائنات از جمله شهرستان های خراسان جنوبی بوده که در حد فاصل ۳۳ تا ۳۴ درجه عرض شمالی و ۳۸ تا ۶۰ درجه طول شرقی واقع شده، شمال آن شهرستانهای خواف و گناباد، غرب با فردوس و جنوب شهرستان بیرجند و از شرق ۱۶۹ کیلومتر با افغانستان مرز مشترک دارد. (جغرافیای استان، ۱۳۹۶). موقعیت ریاضی نیمبلوک عرض۳۴/۱۲، ۳۳/۱۵درجه و طول ۶۰/۵۶، ۵۸/۳۸ درجه است. این شهرستان از شرق به کشور افغانستان، از شمال به استان خراسان رضوی، از غرب به شهرستان سرایان و از جنوب به شهرستانهای درمیان و بیرجند محدود شده است. موقعیت جغرافیایی دشت قاین که در این شهرستان واقع شده است. دشت قاین واقع در خراسان جنوبی ما بین طول

[1] - Farajzadeh et al
[2] - Qin et al
[3] - Mack et al

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

های ۵۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۹ درجه و ۲۴ دقیقه ی شرقی و عرضه ای ۳۳ درجه و ۳۲ تا ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه ی شمالی واقع است(جغرافیای استان خراسان جنوبی، ۱۳۹۶).



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی و طبیعی دشت قاین. *منبع: نگارنده ۱۴۰۳*

تحقیق حاضر با روش توصیفی - تحلیلی با هدف کاربردی است. بدین منظور در این تحقیق ابتدا بر اساس موضوع اصلی پژوهش (آینده نگاری آب درخراسان جنوبی) به مرور مولفه‌ها و نظریات مرتبط با مطالعات آب پرداخته شده است. درمرحله بعد به منظور یافتن مهم ترین پیشران های کلیدی تاثیرگذار در منابع آب پرسشنامه ای به صورت متقاطع که حاوی عوامل موثر در تغییرات منابع آب هستند، در اختیار جامعه آماری تحقیق شامل (۱۱ نفر از اساتید ومتخصصین آب و رشته های جغرافیای سیاسی، جغرافیای طبیعی، علوم اجتماعی و علوم سیاسی) قرار گرفته است. این تعداد بر اساس نمونه گیری در دسترس در سطح منطقه است که خود جز محدودیت های تحقیق حاضر است اما از انجایی که همه آنها بومی و کاملا مسلط به مسایل منطقه اند، خیلی زود اشباع نظری حاصل شد. سپس به منظور تحلیل یافته های پرسشنامه ای نرم افزار میک مک، استفاده می شود. روش ساختاری در این نرم‌افزار به این صورت است که روابط بین متغیرها به ویژه در سیستم های گسترده با ابعاد متعدد را تحلیل می شود(اسکندری ثانی و محمد آبادی، ۱۴۰۲). به کارگیری داده های کیفی در کنار داده های کمی این روش را به یکی از پرکاربردترین روش های آینده نگاری تبدیل نموده است(کیانی و همکاران، ۱۴۰۴)؛ در نهایت به منظور بررسی آینده تحولات منابع آبی و تاثیر آن به دشت نیمبلوک از نرم افزار سناریو ویزارد استفاده شده است.

آماده انتشار (پذیرش تیتر و مجله)

یافته‌های تحقیق

این پژوهش با هدف تحلیل جامع عوامل موثر بر مصرف آب در دشت نیمبلوک و بررسی سناریوهای محتمل آینده با استفاده از روش‌های تحلیل ساختاری (میک مک[1]) و تحلیل سناریو (سناریو ویزارد[2]) انجام شده است. در این راستا، ۳۶ متغیر مرتبط با مصرف آب در منطقه شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱: متغیرهای موثر مصرف آب

[1] - MICMAC
[2] - Scenario Wizard

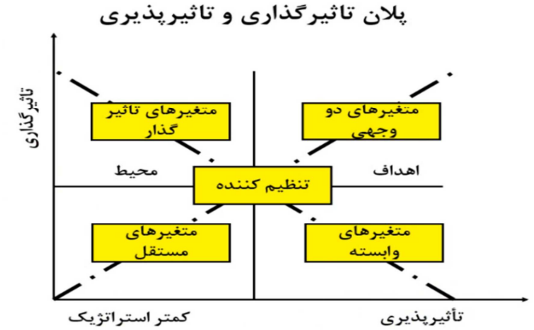
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نام متغیر	نام اختصاری	نام متغیر	نام اختصاری	نام متغیر	نام اختصاری
دسترسی به آب	Var01	میزان اسایش ورفاه شهروندان	Var13	کیفیت مصرفی آب صنعتی	Var25
کیفیت آبرسانی در شهر	Var02	دلبستگی به شهر	Var14	انتقال آب از دریای عمان	Var26
آلودگی هوا	Var03	کیفیت آب های زیر زمینی	Var15	انتقال آب بین حوزه ای	Var27
الودگی صوتی	Var04	کیفیت تصفیه آب	Var16	میزان مصرف آب خانگی	Var28
آلودگی آب	Var05	میزان بارش سالیانه	Var17	میزان آب مصرف صنعتی	Var29
کیفیت آب شرب شهری	Var06	منابع آبی	Var18	برنامه آتی برای انتقال آب از لب دریا	Var30
کیفیت جمع آوری فاضلاب در شهر	Var07	میزان برداشت سالیانه از منابع آبی زیرزمینی	Var19	میزان بهره وری از تصفیه فاضلاب آب شهری	Var31
کیفیت جمع آوری زباله	Var08	میزان روان آب ها	Var20	استفاده از فاضلاب شهری قاین وانتقال آن	Var32
تمایل به مهاجرت ازشهر	Var09	مقدار تصفیه سالیانه آب	Var21	صادرات آب مجازی	Var33
کیفیت برق رسانی	Var10	میزان مصرفی آب کشاورزی	Var22	واردات آب مجازی	Var34
دسترسی به گاز طبیعی	Var11	میزان صادرات آب	Var23	وضعیت منابع فعلی آب	Var35
میزان احساس امنیت شهروندان	Var12	میزان واردات آب	Var24	آینده تکنولوژی هایی که کاهش شدید مصرف آب را در پی دارد.	Var36

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

ارزیابی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها بر اساس روابط مستقیم آن‌ها

صفحه پراکندگی متغیرها در تحلیل میک مک، پایداری سیستم را مشخص می‌کند. در سیستم‌های پایدار، پراکنش متغیرها به شکل اِل انگلیسی است و سه دسته متغیر تاثیرگذار (عوامل کلیدی)، مستقل و خروجی با نقش‌های واضح قابل تشخیص هستند. در مقابل، سیستم‌های ناپایدار پراکنش حول محور قطری دارند و بیشتر متغیرها وضعیت تاثیرگذاری و تاثیرپذیری بینابینی نشان می‌دهند که شناسایی عوامل کلیدی را دشوار می‌سازد. در این نوع سیستم، متغیرها به دسته‌های تاثیرگذار، دوجوهی (شامل متغیرهای ریسک و هدف که پیشران تغییر هستند)، تاثیرپذیر (وابسته و خروجی)، مستقل (با ارتباط کم) و تنظیمی تقسیم می‌شوند.



شکل ۳: متغیرهای تاثیر گذار و تاثیر پذیر. *منبع: زارعی وهمکاران،۱۳۹۷*

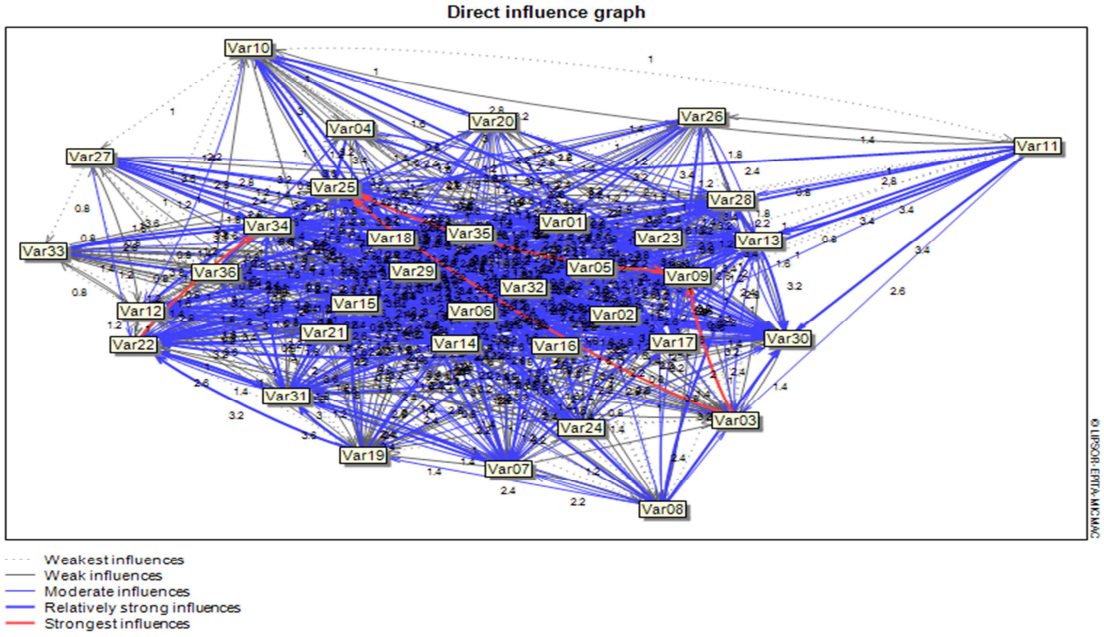
بررسی وضعیت مصرف آب در نیمبلوک نشان می‌دهد که سیستم ناپایدار است و متغیرها دارای تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم هستند. بر اساس تحلیل تاثیر مستقیم، تاثیرگذارترین عوامل با امتیاز بالا عبارتند از منابع آبی، میزان احساس امنیت شهروندان، انتقال آب بین حوزه‌ای و دسترسی به گاز طبیعی. در مقابل، تاثیرپذیرترین عوامل مستقیم

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

با امتیاز بالا شامل کیفیت آب شرب شهری، منابع آبی و برنامه آتی انتقال آب از لب دریا می‌باشند. این وضعیت ناپایدار نشان‌دهنده تعاملات پیچیده بین عوامل مختلف موثر بر مصرف آب در منطقه است.

متغیرهای دوجوهی (بسیار تاثیرگذار و تاثیرپذیر) شامل میزان آب مصرف صنعتی، آلودگی آب، کیفیت آب شرب و زیرزمینی، مصرف آب کشاورزی، واردات و صادرات آب (حقیقی و مجازی)، انتقال آب (دریای عمان و بین حوزه‌ای)، کیفیت آبرسانی و تصفیه (آب و فاضلاب)، تکنولوژی کاهش مصرف، وضعیت فعلی منابع، دسترسی و مصرف آب (صنعتی و خانگی)، برداشت از آب‌های زیرزمینی و برنامه‌های آتی انتقال آب هستند (شمال شرقی نمودار). متغیرهای وابسته (تاثیرپذیری بالا) نظیر احساس امنیت، کیفیت مصرف صنعتی، دلبستگی و تمایل به مهاجرت و آسایش در جنوب شرقی قرار دارند. متغیرهای تاثیرگذار (تاثیرگذاری بالا) شامل میزان بارش و روان آب‌ها و کیفیت جمع‌آوری فاضلاب در شمال غربی هستند. متغیرهای مستقل (تاثیر کم) مانند آلودگی هوا و صوتی، کیفیت جمع‌آوری زباله و برق‌رسانی و دسترسی به گاز در جنوب نمودار واقع شده‌اند.

شکل ۴ پوشش ۱۰۰درصدی مستقیم روابط قابل مشاهده است که تمامی روابط باشدت خیلی قوی، نسبتا قوی، متوسط ضعیف و خیلی ضعیف را نشان می دهد.



شکل ۴: پراکندگی متغیرها براساس تاثیرات مستقیم متغیرها بر اساس خروجی میک مک. *منبع: نگارنده ۱۴۰۳*

ارزیابی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری غیرمستقیم متغیرها

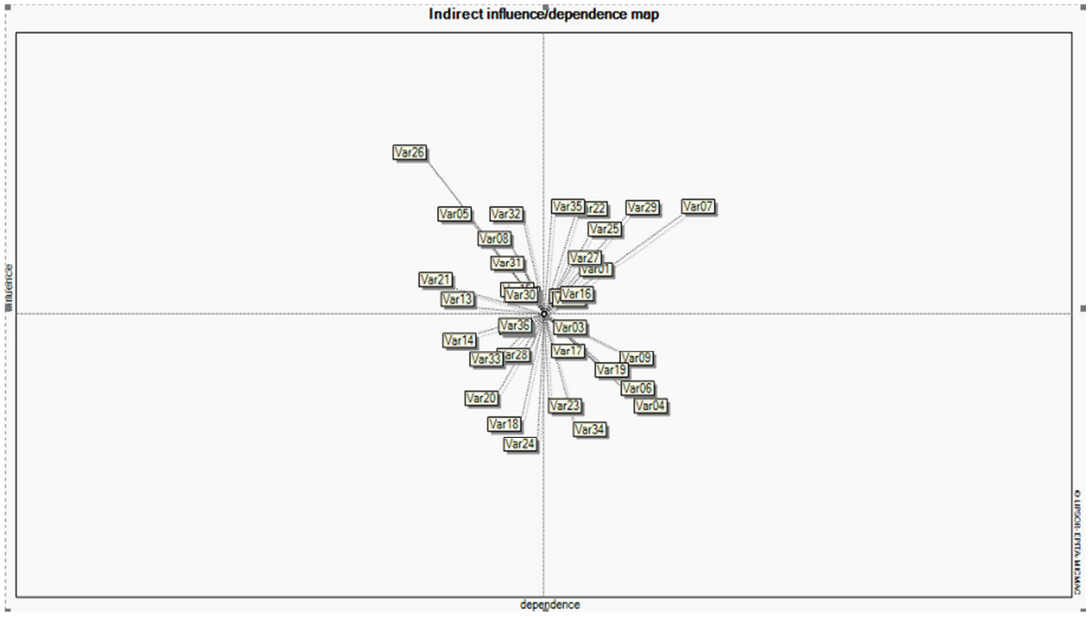
تحلیل تاثیرات غیرمستقیم متغیرها نشان داد که "آینده تکنولوژی‌هایی که کاهش شدید مصرف آب را در پی دارد" با امتیاز ۵۴۱، تاثیرگذارترین عامل غیرمستقیم بر سیستم مصرف آب در نیمبلوک است. این امر بیانگر اهمیت بالقوه نوآوری‌های فناورانه در مدیریت آتی منابع آب منطقه دارد. در رتبه‌های بعدی تاثیرگذاری غیرمستقیم، متغیرهای "کیفیت آب شرب شهری" امتیاز ۵۱۲، "کیفیت آب‌های زیرزمینی" امتیاز ۵۱۲، "کیفیت تصفیه آب" امتیاز ۵۱۲ و

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

"میزان بارش سالیانه" امتیاز ۵۱۲ قرار دارند که نشان‌دهنده نقش محوری کیفیت منابع آب و شرایط اقلیمی در پویایی‌های بلندمدت مصرف آب هستند.

از سوی دیگر، "میزان مصرفی آب کشاورزی" با امتیاز ۵۶۲، به عنوان تاثیرپذیرترین عامل غیرمستقیم شناسایی شد. این موضوع بر حساسیت بخش کشاورزی به تغییرات در سایر متغیرهای سیستم و اهمیت مدیریت مصرف آب در این بخش تاکید می‌کند. "وضعیت منابع فعلی آب" با امتیاز ۵۴۱ و "مقدار تصفیه سالیانه آب" با امتیاز ۵۲۱ نیز در زمره تاثیرپذیرترین عوامل غیرمستقیم قرار دارند که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری وضعیت موجود منابع آب و اهمیت ظرفیت تصفیه در مواجهه با تغییرات آتی است.

با توجه به شکل ۵، نزدیکی متغیرهایی نظیر "کیفیت تصفیه آب"،"کیفیت آبرسانی در شهر"،"آلودگی هوا"،"برنامه آتی برای انتقال آب از لب دریا" و "آینده تکنولوژی‌هایی که کاهش شدید مصرف آب را در پی دارد" به مرکز صفحه پراکندگی، نقش محوری آن‌ها به عنوان متغیرهای کلیدی و تنظیم‌کننده در سیستم را برجسته می‌سازد. قرارگیری تمامی متغیرها نزدیک به مرکز نیز موید ناپایداری سیستم و وجود تعاملات قوی بین متغیرها است.



شکل ۵: پراکنگی متغیرها براساس تاثیرات غیرمستقیم متغیرها. *منبع: نگارنده ۱۴۰۳*

جدول ۲ رتبه‌بندی تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر را نشان می‌دهد و سهم هر متغیر از کل سیستم را در مقیاس ده هزار ارائه می‌کند. این جدول به شناسایی متغیرهای با بیشترین نقش در پویایی‌های کلی سیستم کمک می‌کند.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

جدول ۲: رتبه بندی تاثیرات مستقیم وغیر مستقیم متغیرها برهمدیگر

ردیف	تاثیر مستقیم				تاثیر غیر مستقیم			
	نام اختصار	تاثیر گذاری	نام اختصار	تاثیرپذیری	نام اختصار	تاثیر گذاری	نام اختصار	تاثیرپذیری
۱	Var36	۴۴۰	Var01	۴۵۶	Var32	۳۶۹	Var34	۵۰۱
۲	Var17	۴۸۷	Var13	۴۱۳	Var12	۴۶۵	Var02	۴۱۲
۳	Var18	۵۱۲	Var29	۵۰۹	Var22	۴۹۷	Var18	۴۶۵
۴	Var35	۴۱۳	Var17	۴۱۳	Var06	۵۱۲	Var16	۴۲۸
۵	Var05	۴۲۹	Var09	۴۶۴	Var31	۴۱۵	Var32	۴۰۰
۶	Var06	۴۱۳	Var25	۴۲۳	Var16	۵۱۲	Var12	۵۱۴
۷	Var21	۴۱۲	Var14	۴۵۶	Var18	۴۸۰	Var22	۵۶۲
۸	Var07	۴۱۳	Var30	۵۱۲	Var35	۴۱۷	Var06	۴۱۵
۹	Var15	۴۳۵	Var35	۴۷۹	Var05	۴۰۰	Var31	۴۱۵
۱۰	Var31	۴۷۵	Var34	۴۱۲	Var02	۴۱۲	Var08	۴۱۶
۱۱	Var30	۴۸۵	Var02	۴۵۶	Var13	۴۱۰	Var28	۴۸۱
۱۲	Var27	۴۹۹	Var18	۵۱۲	var25	۴۸۶	Var19	۴۱۳
۱۳	Var01	۴۴۵	Var16	۴۱۳	var27	۳۹۹	Var36	۴۷۶
۱۴	Var02	۴۴۵	Var32	۴۶۱	Var15	۵۱۲	Var17	۴۹۷
۱۵	Var26	۴۷۰	Var12	۴۹۹	Var21	۴۶۷	Var15	۴۱۷
۱۶	Var24	۴۲۷	Var28	۴۶۴	Var28	۳۸۴	Var35	۵۴۱
۱۷	Var32	۴۵۶	Var15	۴۱۳	Var20	۴۹۵	Var07	۴۱۵
۱۸	Var20	۴۱۲	Var31	۴۹۹	Var09	۴۱۳	Var11	۴۷۵
۱۹	Var08	۴۶۴	Var22	۴۹۳	Var04	۴۷۲	Var01	۴۱۳
۲۰	Var28	۴۵۶	Var05	۴۲۷	Var24	۴۸۶	Var13	۵۰۸
۲۱	Var19	۴۱۲	Var21	۴۱۲	Var03	۴۰۵	Var29	۴۱۶
۲۲	Var22	۴۶۴	Var06	۵۸۹	Var26	۴۷۰	Var14	۵۰۰
۲۳	Var29	۴۷۰	Var07	۴۷۹	Var10	۴۱۳	Var25	۴۸۶
۲۴	Var13	۴۱۳	Var23	۴۹۸	Var11	۴۹۸	Var23	۴۱۷
۲۵	Var16	۴۳۵	Var19	۴۱۲	Var08	۴۱۷	Var20	۴۵۶
۲۶	Var09	۴۶۴	Var03	۴۱۳	Var17	۵۱۲	Var27	۴۷۰
۲۷	Var34	۴۱۲	Var36	۴۷۸	Var01	۴۴۲	Var09	۴۲۶
۲۸	Var14	۴۳۲	Var33	۴۳۲	Var34	۴۶۷	Var04	۴۱۵
۲۹	Var10	۴۸۷	Var04	۴۴۲	Var14	۴۶۳	Var24	۴۸۶
۳۰	Var25	۴۴۲	Var20	۴۱۲	Var07	۴۸۴	Var03	۴۸۶
۳۱	Var03	۴۰۸	Var24	۴۱۶	Var23	۴۱۷	Var26	۴۸۶
۳۲	Var12	۴۹۹	Var08	۴۷۰	Var19	۴۵۱	Var10	۴۹۸
۳۳	Var11	۴۹۰	Var26	۴۷۰	Var30	۴۶۵	Var21	۵۲۱
۳۴	Var33	۴۱۳	Var10	۴۶۴	Var36	۵۴۱	Var05	۴۱۵
۳۵	Var23	۴۵۶	Var27	۴۷۶	Var33	۴۹۱	Var33	۴۶۰
۳۶	Var04	۴۷۰	Var11	۴۹۰	Var29	۴۴۴	Var30	۴۶۵

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

انتخاب پیشران‌های کلیدی

با تلفیق امتیازات تاثیر مستقیم و غیرمستقیم، جدول ۳ بدست آمده که با توجه به مجموع امتیازات، پنج پیشران کلیدی موثر بر آینده مصرف آب در نیمبلوک به ترتیب اهمیت شناسایی شدند.

جدول ۳: مجموع امتیازات تأثیرات غیرمستقیم متغیرها بر همدیگر

دیف	نام متغیر	مجموع امتیازات
	کیفیت آب شرب شهری	۳۷۴۵
	کیفیت آبرسانی در شهر	۳۴۵۱
	تمایل به مهاجرت از شهر	۳۲۰۵
	دسترسی به آب	۳۱۰۶
	استفاده از فاضلاب شهری قاین و انتقال آن	۳۱۰۴
	میزان آسایش و رفاه شهروندان	۳۰۰۵
	کیفیت جمع آوری فاضلاب در شهر	۳۰۰۲
	دلبستگی به شهر	۲۹۹۸
	آلودگی هوا	۲۹۸۷
۰	کیفیت برق رسانی	۲۹۶۳
۱	کیفیت تصفیه آب	۲۹۶۳
۲	میزان احساس امنیت شهروندان	۲۷۴۶
۳	آلودگی صوتی	۲۷۴۱
۴	کیفیت جمع آوری زباله	۲۶۴۱
۵	کیفیت آب های زیر زمینی	۲۶۴۱
۶	دسترسی به گاز طبیعی	۲۶۴۱
۷	صادرات آب مجازی	۲۶۴۱
۸	منابع آبی	۲۶۴۱
۹	میزان برداشت سالیانه از منابع آبی زیرزمینی	۲۶۴۱
۰	میزان روان آب ها	۲۵۰۴
۱	آلودگی آب	۲۴۹۹
۲	میزان مصرفی آب کشاورزی	۲۳۲۱
	برنامه آتی برای انتقال آب از لب دریا	۲۳۱۲

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

۳		
۴	میزان واردات آب	۲۲۲۵
۵	میزان بارش سالیانه	۲۲۲۵
۶	آینده تکنولوژی هایی که کاهش شدید مصرف آب را در پی دارد	۲۲۰۰
۷	انتقال آب بین حوزه ای	۲۱۹۹
۸	میزان مصرف آب خانگی	۲۱۹۹
۹	میزان آب مصرف صنعتی	۲۱۹۹
۰	میزان صادرات آب	۲۱۰۹
۱	میزان بهره وری از تصفیه فاضلاب آب شهری	۲۰۹۸
۲	مقدار تصفیه سالیانه آب	۲۰۷۸
۳	کیفیت مصرفی آب صنعتی	۲۰۵۲
۴	واردات آب مجازی	۲۰۲۵
۵	وضعیت منبع فعلی آب	۲۰۱۷
۶	انتقال آب از دریای عمان	۲۰۰۸

این پیشران‌های کلیدی به عنوان محورهای اصلی برای تدوین سناریوهای آینده مصرف آب در منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.

تدوین وضعیت‌های احتمالی پیشران‌های کلیدی

بر اساس نظرخواهی از کارشناسان به روش دلفی، برای هر یک از پنج پیشران کلیدی، پنج وضعیت محتمل (از مطلوب تا بحرانی) تعریف گردید. به عنوان مثال، برای پیشران "کیفیت آب شرب شهری"، وضعیت‌های احتمالی شامل افزایش چشمگیر کیفیت، افزایش نسبی کیفیت، تداوم وضعیت موجود (در آستانه بحران)، افزایش نسبی آلودگی و بروز آلودگی آب شرب شهری در منطقه در نظر گرفته شد. این وضعیت‌های احتمالی، مبنای تشکیل ماتریس اثرگذاری متقابل در نرم‌افزار سناریو ویزارد قرار گرفتند.

تشکیل ماتریس اثرگذاری متقابل و نتایج سناریو ویزارد:

در راستای مطالب بیان شده در بخش قبل به منظور تدوین استراتژی ها از نرم افزار سناریو ویزارد استفاده شده است و از آرا ۹ نفر از نخبگان به منظور تکمیل پرسشنامه متقاطع بهره گرفته شد. بدین منظور، پس از شناسایی پیشران های کلیدی و وضعیت های مختلف آن ها، به عنوان عناصر اصلی تشکیل دهنده سناریوهای پژوهش انتخاب شدند؛

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

به صورتی که ۵ پیشران اصلی در قالب ۲۵ حالت دارای عدم قطعیت، ماتریسی با ابعاد (۲۵*۲۵) را تشکیل داد. سپس پرسشنامه ای در چارچوب ماتریس اثرگذاری متقاطع طراحی شد و دراختیار متخصصان قرار گرفت و سؤال اصلی طرح شده در این زمینه این بود که "اگر هر یک از وضعیت ها ۲۵ گانه اتفاق بیفتد چه تأثیری بر وقوع یا عدم وقوع سایر وضعیت ها خواهد داشت؟ در نهایت با تحلیل ماتریس اثرگذاری متقابل (۲۵*۲۵) در نرم‌افزار سناریو ویزارد، ۸ سناریوی قوی، ۷۸۱ سناریوی ضعیف و ۱۱۷۱۵۱ سناریوی ناسازگار شناسایی شد.

تحلیل و ارزیابی سناریوهای قوی

از بین ۸ سناریوی قوی، ۲ سناریو دارای وضعیت مطلوب، ۳ سناریو دارای وضعیت بینابین و ۳ سناریو نمایشگر وضعیت‌های بحرانی مصرف آب بودند. بررسی تخته سناریو ها نشان داد که از مجموع ۴۰ وضعیت در ۸ سناریوی قوی، ۵ حالت مطلوب، ۵ حالت نیمه مطلوب، ۱۴ حالت بینابینی، ۹ حالت نیمه بحرانی و ۷ حالت بحرانی وجود دارد. این توزیع نشان می‌دهد که ۷۵٪ از حالت‌های سناریوهای قوی حاکی از بروز وضعیت‌های نامطلوب (بینابینی رو به بحران، نیمه بحرانی و بحرانی) در آینده مصرف آب در منطقه است.

تحلیل سناریو های منتخب (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) برای وضعیت هر یک از پیشران‌های کلیدی در هر سناریو به طور خلاصه در زیر بیان شده است:

* سناریوهای ۱ و ۲ وضعیت مطلوب را با تاکید بر بهبود کیفیت آب شرب و آبرسانی، کاهش تمایل به مهاجرت، افزایش دسترسی به آب و توسعه استفاده از فاضلاب شهری نشان می‌دهند.

* سناریوهای ۳ و ۴ وضعیت بینابینی (تداوم وضعیت موجود) را به تصویر می‌کشند که در آن هیچ تغییر مثبت یا منفی چشمگیری در پیشران‌های کلیدی رخ نمی‌دهد.

* سناریو ۵ وضعیت بینابینی رو به بحران را نشان می‌دهد که در آن آلودگی آب شرب افزایش یافته و سایر پیشران‌ها در وضعیت موجود باقی می‌مانند.

* سناریوهای ۶، ۷ و ۸ وضعیت‌های بحرانی را با تاکید بر افزایش آلودگی آب شرب، کاهش کیفیت آبرسانی، افزایش تمایل به مهاجرت، کاهش دسترسی به آب و کاهش استفاده از فاضلاب شهری به تصویر می‌کشند.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

جدول ۴: نمایی کلی از ۸ سناریو قوی

سناریو	وضعیت کلی	تحلیل و ارزیابی	عوامل تاثیرگذار	نتیجه گیری
سناریو ۱	مطلوب	افزایش کیفیت آب شرب و دسترسی به منابع آبی	افزایش مصرف آب خانوار، کاهش شوری آب	نیاز به برنامه‌ریزی برای حفظ کیفیت آب و مدیریت منابع
سناریو ۲	مطلوب	بهبود نسبی کیفیت آب شرب، اما نیاز به توجه بیشتر	افزایش مصرف آب خانوار، کاهش شوری	توجه به مدیریت منابع و افزایش آگاهی خانوارها
سناریو ۳ و ۴	بینابین	تداوم وضعیت موجود، عدم تغییر محسوس	عدم تغییر در جمعیت و کیفیت آب	نیاز به اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از بحران
سناریو ۵	بینابین	آلودگی آب شرب در حال افزایش، کیفیت آب در خطر	عدم تغییر در مصرف آب و شوری	نیاز به برنامه‌ریزی فوری برای بهبود کیفیت آب
سناریو ۶	بحرانی	کاهش کیفیت آبرسانی و تمایل به مهاجرت	عدم تغییر در جمعیت و کیفیت آب	نیاز به اقدامات فوری برای جلوگیری از بحران
سناریو ۷	بحرانی	کاهش شدید کیفیت آب و دسترسی به منابع آبی	عدم تغییر در الگوهای مصرف و تأمین مالی	نیاز به تغییرات اساسی در مدیریت منابع آب
سناریو ۸	بحرانی	بروز آلودگی و کاهش شدید	عدم تغییر در الگوهای مصرف و	نیاز به اقدامات فوری و جامع برای

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

		کیفیت آب	تأمین مالی	مدیریت بحران

بر اساس نتایج استخراج شده از نرم افزار میک مک ۵ عامل کلیدی بر اساس تحلیل ها شناسایی شدند که به عنوان محورهای اصلی آینده تأثیرات موثر برمصرف آب هستند. این عوامل در صحنه پیشروی برنامه ریزی، در وضعیت های مختلفی قابل تصور هستند که این وضعیت های احتمالی در آینده مسائل مربوط مصرف آب در این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بر همین اساس تحلیل دقیق شرایط پیش رو و تعریف وضعیت های احتمالی مبنایی مهم برای تدوین سناریوها است. از این رو، به منظور تدوین وضعیت های احتمالی از طریق روش دلفی از کارشناسان متخصص نظرخواهی شده که در نهایت با جمع بندی آن ها ۲۵ وضعیت محتمل برای ۵ عامل تعریف گردید.

با توجه به مجموع تحلیل های انجام شده می توان گفت که خروجی های نرم افزار حاصل از تحقیق، در سطح بالایی با واقعیت های بیان شده در تأثیر مؤلفه های موثر در مصرف آب در نیمبلوک انطباق دارد؛ به نحوی که در چارچوب مطالعات استراتژیک و آینده نگرانه و با بهره گیری از رویکرد سناریو نگاری می توان ضمن سنجش وضعیت سیستم مؤلفه های جمعیتی در زمینه مصرف آب در شهرستان قاینات، الگوی پایداری یا ناپایداری آن را نیز از طریق چگونگی توزیع و پراکنش متغیرها در صفحه پراکندگی، در روش تحلیل اثرات متقاطع و ساختاری نرم افزار میک مک تحلیل نمود. بر این اساس می توان گفت سیستم مؤلفه های جمعیتی در زمینه مصرف آب در نیمبلوک از ناپایداری شدید برخوردار بوده است؛ بنابراین با بهره گیری از نرم افزار آینده نگاری، سناریو ویزارد ۸ سناریوی قوی با ۴۰ وضعیت مختلف تقسیم شده است، در مجموع ۴۰ وضعیت مختلف در تخته سناریوها قوی دیده می شود. از این ۴۰ وضعیت، ۷ وضعیت بحرانی، ۹ وضعیت نیمه بحرانی، ۱۴ وضعیت بینابین، ۵ وضعیت نیمه مطلوب و ۵ وضعیت مطلوب بوده است که غلبه بر وضعیت های نامطلوب بر مطلوب است.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

نتایج و بحث

یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار سیستم مصرف آب در دشت نیمبلوک است که تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، فعالیت‌های صنعتی نظیر کارخانه فولاد قائنات، و تغییرات اقلیمی قرار دارد. تحلیل ساختاری با استفاده از نرم‌افزار میک مک و شناسایی ۳۶ متغیر تأثیرگذار بر مصرف آب، پیچیدگی تعاملات میان عوامل طبیعی، انسانی، و صنعتی را در این منطقه آشکار کرد. پنج پیشران کلیدی شناسایی‌شده (کیفیت آب شرب شهری، کیفیت آبرسانی در شهر، تمایل به مهاجرت از شهر، دسترسی به آب، و استفاده از فاضلاب شهری قاین و انتقال آن) نقش محوری در شکل‌دهی آینده منابع آبی دشت نیمبلوک دارند. این پیشران‌ها نه‌تنها به مسائل زیست‌محیطی، بلکه به ابعاد اجتماعی و اقتصادی مانند مهاجرت و کیفیت زندگی در سکونتگاه‌های انسانی نیز اشاره دارند. تحلیل سناریوها با استفاده از نرم‌افزار سناریو ویزارد نشان داد که از میان ۸ سناریوی قوی، ۷۵ درصد وضعیت‌های پیش‌بینی‌شده (بینابینی رو به بحران، نیمه‌بحرانی و بحرانی) حاکی از آینده‌ای نامطلوب برای منابع آبی منطقه است. این امر به‌ویژه با توجه به فشار مضاعف کارخانه فولاد قائنات، که برای تولید هر کیلوگرم فولاد ۱٫۲ لیتر آب مصرف می‌کند و ظرفیت تولید آن در فاز نخست بیش از ۷۰۰ هزار مترمکعب است، نگران‌کننده است. این یافته‌ها با مطالعات پیشین مانند حسنیان (۲۰۲۴) و شیرزاعی و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد که به ترتیب بر بی‌عدالتی زیست‌محیطی در سیاست‌های آبی ایران و فرونشست غیرقابل بازگشت ناشی از

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

برداشت بیش از حد آب زیرزمینی تأکید کرده‌اند. سناریوهای مطلوب (سناریوهای ۱ و ۲) که بهبود کیفیت آب شرب، آبرسانی، و استفاده از فاضلاب شهری را نشان می‌دهند، تنها در صورت اتخاذ سیاست‌های جامع و آینده‌نگرانه قابل تحقق هستند. این سیاست‌ها شامل کاهش مصرف آب صنعتی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تصفیه و بازچرخانی آب، و اصلاح الگوهای مصرف در بخش کشاورزی (که ۹۳,۵ درصد آب منطقه را مصرف می‌کند) است. از سوی دیگر، سناریوهای بحرانی (۶، ۷، و ۸) نشان‌دهنده پیامدهای فاجعه‌بار ادامه روند کنونی، از جمله افزایش آلودگی آب، کاهش دسترسی به منابع آبی، و تشدید مهاجرت از منطقه هستند. این نتایج با پژوهش‌های جوادی و همکاران (۲۰۲۳) و بهشتی و همکاران (۲۰۲۱) هم‌راستاست که بر اهمیت پیش‌بینی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها و تدوین سناریوهای مدیریتی تأکید دارند. یکی از نکات برجسته این پژوهش، نقش فناوری‌های کاهش مصرف آب به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل غیرمستقیم است. این یافته با مطالعات کین و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که نشان داد فناوری‌های نوین و استراتژی‌های صرفه‌جویی در کنار انتقال آب می‌توانند بحران آب را کاهش دهند. با این حال، ناپایداری سیستم مصرف آب در دشت نیمبلوک، همان‌طور که از پراکندگی متغیرها در تحلیل میک مک مشخص شد، نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در سیاست‌های توسعه صنعتی و کشاورزی منطقه است. به‌ویژه، توسعه کارخانه فولاد بدون برنامه‌ریزی دقیق برای تأمین آب پایدار، می‌تواند به تشدید فرونشست زمین و تخریب اکوسیستم‌های محلی منجر شود.

آماده انتشار (بدون شماره صفحه)

نتیجه‌گیری

این پژوهش با شناسایی پیشران‌های کلیدی و تدوین سناریوهای محتمل، چارچوبی واقع‌بینانه برای آینده‌نگاری بحران آب در دشت نیمبلوک ارائه داد. نتایج نشان داد که کیفیت آب شرب شهری، آبرسانی، دسترسی به آب، استفاده از فاضلاب شهری، و تمایل به مهاجرت، محورهای اصلی مدیریت منابع آب در این منطقه هستند. غلبه سناریوهای نامطلوب (۷۵ درصد) بر سناریوهای مطلوب، زنگ خطری برای سیاست‌گذاران است که ادامه روند کنونی می‌تواند به بحران‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، و اقتصادی منجر شود. فشار مضاعف کارخانه فولاد قائنات با مصرف ۱,۲ لیتر آب به ازای هر کیلوگرم فولاد و نیاز سالانه بیش از ۷۰۰ هزار مترمکعب در فاز نخست در کنار سلطه بخش کشاورزی سنتی، (۹۳,۵٪ مصرف آب)، این ناپایداری را تشدید و ابعاد بی‌عدالتی زیست‌محیطی را برجسته می‌سازد. این یافته‌ها، با تأکید بر نقش فناوری‌های کاهش مصرف به عنوان تأثیرگذارترین عامل غیرمستقیم، نوآوری مطالعه را در ادغام سناریوپردازی با تمرکز محلی بر صنعت فولاد در یک منطقه نیمه‌خشک نشان می‌دهد و چارچوبی کاربردی فراتر از مطالعات پیشین مانند بهشتی ۲۰۲۱ را ارائه می‌کند. برای دستیابی به سناریوهای مطلوب (۱ و ۲)، که بهبود کیفیت آب، کاهش مهاجرت و افزایش دسترسی را پیش‌بینی می‌کنند، سیاست‌گذاری یکپارچه و فوری ضروری است:

* **کوتاه‌مدت:** الزام کارخانه فولاد قائنات به پیاده‌سازی سیستم‌های بازچرخانی آب و کاهش مصرف به کمتر از ۰,۸ لیتر/کیلوگرم با استفاده از فناوری‌های موفق

* **میان‌مدت:** سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های تصفیه و انتقال فاضلاب شهری قاین برای تأمین حداقل ۵۰٪ نیازهای صنعتی از منابع بازیافتی، که می‌تواند تمایل به مهاجرت را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

* **بلندمدت:** اصلاح الگوی کشاورزی با جایگزینی حداقل ۴۰٪ محصولات پرآب‌بر با گونه‌های مقاوم به خشکی و گسترش آبیاری هوشمند، همراه با پایش مداوم آبخوان‌ها.

هرچند محدودیت‌هایی مانند نمونه کوچک کارشناسان (۱۱ نفر) و دسترسی محدود به داده‌های بلندمدت وجود داشت، تمرکز بر متخصصان محلی نتایج را کاربردی‌تر ساخت. تحقیقات آینده می‌تواند با گسترش نمونه (به بیش از ۵۰ کارشناس)، ادغام مدل‌های هیدرولوژیکی پیشرفته و بررسی اثرات فرامرزی (با توجه به هم‌مرزی با افغانستان)، این چارچوب را تقویت کند. این مدل نه تنها راهنمایی عملی برای سیاست‌گذاران محلی و ملی در دشت نیمبلوک فراهم می‌آورد، بلکه الگویی قابل تعمیم برای مدیریت یکپارچه آب و صنعت در مناطق نیمه‌خشک خاورمیانه است. بدون اقدام قاطع و هماهنگ، منطقه به سمت بحران‌های غیرقابل بازگشت پیش خواهد رفت؛ زمان گذار به مدیریت پایدار و سبز فرا رسیده است.

منابع

اسکندری ثانی، محمد، و محمدآبادی، جواد. (۱۴۰۲). کاوش عوامل مؤثر بر آینده کسب‌وکارهای سبز در بیرجند با رویکرد آینده‌نگاری. فصلنامه علمی مطالعات اجتماعی-فرهنگی خراسان، ۱۷(۳)، ۹-۴۶. doi: 10.22034/fakh.2023.397937.1612.

بهشتی، محمدباقر، بهبودی، داود، زالی، نادر، و احمدزاده دلجان، فهیمه. (۱۳۹۹). سناریوهای مدیریت منابع آب مبتنی بر رویکرد آینده‌پژوهی: مطالعه موردی شهرستان تبریز. دوفصلنامه مطالعات آینده‌پژوهی ایران، ۵(۲)، ۲۰۳-۲۲۸. doi: 10.30479/jfs.2020.12446.1150

رحیم حسینی، سیدمحمدرضا، و حسینی، سیدامیرحسین. (۱۴۰۰). ارائه مدل آینده‌نگارانه مدیریت پایدار آب صنعتی بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی سناریویی. مجله مدیریت آینده‌نگری، ۶۷، ۱۴۲.

رحمانی، محمد، داوری، کامران، ابوالحسنی، لیلا، صابت تیموری، محمد، و شفیعی، محمد. (۱۴۰۰). بررسی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار آب در مقیاس حوضه آبریز. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴(۱)، ۱۴۱-۱۵۴. doi: 10.22055/jise.2019.29535.1852.

زالی، نادر. (۱۳۹۱). آینده‌نگاری راهبردی و سیاست‌گذاری منطقه‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی سناریویی. مجله مطالعات راهبردی، ۴(۵۴)، ۳۳-۵۴.

زالی، نادر. (۱۳۹۸). آینده‌نگاری منطقه‌ای: بازتعریف آینده‌محور فرآیند برنامه‌ریزی منطقه‌ای. مجله مطالعات آینده‌پژوهی ایران، ۶(۱)، ۲۶۳-۲۸۸. doi: 10.30479/jfs.2019.9822.1033

سپهرآرا، علی، جوادی، سعید، و حسینی، سیدعلی‌اکبر. (۱۴۰۱). پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت تغییرات اقلیمی بر آسیب‌پذیری آبخوان زیرزمینی. هیدروژئولوژی، ۷(۲)، ۱۰۹.

شهرکی، جواد، سردار شهرکی، علی، و نوری، سعید. (۱۳۹۸). تخصیص بهینه منابع آب در مخازن چاه‌نیمه سیستان تحت سناریوهای مدیریت آب و خاک. مجله آب و خاک‌نگهداری، ۲۵(۶)، ۲۵-۴۶. doi: 10.22069/jwsc.2019.14606.2948.

طاهری دمنه، محمد، کاظمی، محمد، و صفری غریب‌وند، کاظم. (۱۴۰۱). آینده‌نگاری مسئله آب در اصفهان. مجله شهر پایدار، ۵(۴)، ۵۳-۶۴. doi: 10.22034/jsc.2021.236478.1265

فرجزاده اصل، مصطفی، و حسینی، امیرحسین. (۱۳۸۶). تحلیل بحران آب در دشت نیشابور. مجله مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۱(۱)، ۲۱۵-۲۳۸.

کیانی، وحید، اسکندری ثانی، محمد، و دوستدار، فاطمه. (۱۴۰۳). آینده‌پژوهی تغییرات ساختاری-فضایی جمعیت و نقش آن در کنترل مناطق مرزی شهرستان‌های مرزی شرقی ایران استان خراسان جنوبی. مجله مطالعات مرزی، ۱۲(۲)، ۷۹-۹۷. doi: 10.22034/bss.2025.1280074.1524

کیانی راد، مهدی، یوسفی شاطوری، محمد، و آفتابی، زهرا. (۱۴۰۳). بازتاب بحران آب بر سناریوهای هیدروپلیتیک حوضه آبریز زاینده‌رود. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸(۸۹)، ۳۰۳-۳۱۸. doi: 10.22034/gp.2023.57904.3174

آماده انتشار (بدون شماره و مجلد)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

یارقی‌فرد، محمد، و شکوهی‌بیدهندی، محمدسعید. (۱۴۰۴). پژوهش آینده‌نگارانه تاب‌آوری منابع آب با رویکرد برنامه‌ریزی سناریویی بر اساس مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۵(۳)، ۱-۱۹. doi: 10.22098/mmws.2024.15086.1460

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان جنوبی. (۱۴۰۰). گزارش مطالعات طرح آمایش سرزمین استان خراسان جنوبی. بیرجند: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان جنوبی.

شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی. (۱۴۰۰). گزارش وضعیت منابع آب زیرزمینی و برداشت‌های غیرمجاز. بیرجند: شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی

Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. Hydrogeology Journal, 19(8), 1459–1486. https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5

Gran Castro, J. A. (2023). Denaturalizing climate change: Environmental injustice and social vulnerability in contexts of socio-spatial segregation in Mexico. International Journal of Disaster Risk Reduction, 94, 103802. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103802

Hassaniyan, A. (2024). Iran’s water policy: Environmental injustice and peripheral marginalisation. Journal of Asian and African Studies, 59(3), 678–693. https://doi.org/10.1177/00219096241237329

Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., & Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. Earth's Future, 5(6), 545–559. https://doi.org/10.1002/2016EF000518

Mack, L., Andersen, H. E., Beklioğlu, M., Bucak, T., Couture, R.-M., Cremona, F., Ferreira, M. T., Hutchins, M. G., Mischke, U., Molina-Navarro, E., Rankinen, K., Venohr, M., & Birk, S. (2019). The future depends on what we do today – Projecting Europe's surface water quality into three different future scenarios. Science of The Total Environment, 668, 470-484. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.251

Manzano-Solís, L. R., Díaz-Delgado, C., Gómez-Albores, M. A., Mastachi-Loza, C. A., & Soares, D. (2019). Use of structural systems analysis for the integrated water resources management in the Nenetzingo river watershed, Mexico. Land Use Policy, 87, 104029. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104029

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people are facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), e1500323. https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.1500323

Mohammadpour, P., Mahmodian, Z., & Amini, M. (2021). Strategic foresight for sustainable water management: Scenario planning for uncertain futures. Water Resources Management, 35(12), 4103–4118. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02934-7

Qin, H., Zheng, C., He, X., & Refsgaard, J. (2019). Analysis of Water Management Scenarios Using Coupled Hydrological and System Dynamics Modeling. Water Resources Management, 33. https://doi.org/10.1007/s11269-019-02410-9

Shirzaei, M., Freymueller, J., Törnqvist, T. E., Galloway, D. L., Dura, T., & Minderhoud, P. S. J. (2021). Measuring, modelling, and projecting coastal land subsidence. Nature Reviews Earth & Environment, 2(1), 40–58. {in Persian} https://doi.org/10.1038/s43017-020-00115-x

Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467(7315), 555–561. https://doi.org/10.1038/nature09440

Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., & Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. Geosci. Model Dev., 9(1), 175-222. https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016

World Steel Association. (2022). World steel in figures 2022. https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2022.pdf.