

Research Paper

Ontological framework for optimal and sustainable allocation of water resources

Mahdie Sadeghian¹, Saba Sareminia^{2*}

1-PHD Student, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, 84156-83111, Iran

2-Assistant Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Received: 2025.02.16

Revised: 2025.04.04

Accepted: 2025.10.12

Use your device to scan and
read the article online



DOI:

[10.71632/wej.2025.1199682](https://doi.org/10.71632/wej.2025.1199682)

Keywords:

Water management, Water resource allocation, Ontology, Knowledge graph

Abstract

Introduction: Water, as one of the fundamental and vital natural resources, plays an indispensable role in sustainable development and in meeting human, agricultural, and industrial needs. However, population growth, rapid urbanization, climate change, and the unequal distribution of water resources worldwide have created major challenges in managing and optimally allocating these resources.

Methods: In this study, a comprehensive ontology was developed with the aim of intelligent modeling and addressing key questions related to the identification and assessment of water resources, resource allocation and analysis, modeling and forecasting, and the use of technology and alternative water sources. The proposed ontology not only covers the technical aspects of water supply and demand but also enables structural analysis and provides answers to questions concerning allocation models, influencing factors, and optimization methods.

Findings: The developed ontology considers various types of water demand, water resources, quality of each source, factors influencing resource changes, allocation models and methods, sustainability indicators, and essential constraints and solution techniques. The results revealed that pollution strongly affects water quality, thereby altering the usability of water sources and influencing allocation decisions. Moreover, the quantitative evaluation of the ontology based on three common metrics—Relation Richness (RR=0.24), Attribute Richness (AR=0.38), and Inheritance Richness (IR=1.20)—indicates acceptable diversity in relations, moderate attribute coverage, and a balanced hierarchical structure. A review of previous studies further revealed that most focused on surface water allocation aimed at reducing shortage costs and often relied on linear models, while less attention was given to pollution and groundwater resources.

Conclusion: Queries applied to the ontology demonstrated that existing quantitative studies have addressed complex issues such as climate change, hydrogeology, and multi-objective modeling. Although simple models provide preliminary insights, incorporating more realistic factors such as pollution and environmental characteristics leads to more accurate and practical results.

Citation: Sareminia S, Sadeghian M. Ontological framework for optimal and sustainable allocation of water resources. Water Resources Engineering Journal. 2025; 18 (66): 1- 20.

***Corresponding author:** Saba Sareminia

Address: Dept. of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Tell: 03133911489, 09133191250

Email: s.sareminia@iut.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water is an essential and irreplaceable natural resource that underpins sustainable development by supporting environmental balance, economic growth, and human well-being. However, accelerating population growth, rapid urbanization, industrial expansion, and climate change have significantly increased stress on global water resources. Over the past century, global water consumption has grown more than sixfold, with an annual growth rate of nearly 1%. Unequal geographic distribution, extreme hydrological variability, declining groundwater reserves, and widespread pollution have further aggravated scarcity. These conditions highlight the urgent need for robust approaches to manage and allocate limited water resources effectively. Traditional linear models and sectoral planning approaches often fail to capture the complexity of real-world water systems. Thus, advanced tools such as simulation models, decision-support systems, big data analytics, and ontology-based frameworks are increasingly critical. Ontologies, in particular, provide a structured framework to represent concepts, relationships, and constraints in water resource management. By formalizing knowledge, they enable automated reasoning, integration of heterogeneous data, and identification of research gaps. This study develops a comprehensive ontology for water resource management and allocation, aiming to provide both a machine-readable structure and a decision-support tool for policymakers, researchers, and practitioners.

Materials and Methods

A comprehensive search was conducted across major scientific databases using keywords related to water allocation, optimization, and ontology. From over 600,000 initial results, filtering by relevance, publication quality, and domain narrowed the dataset to 23 core studies. These were analyzed to extract key elements of water resource management, including demand categories, supply sources, quality factors, allocation constraints, objective functions, and solution methods. Based on these insights, the ontology was developed using OWL standards, encompassing hierarchical classes, object properties, and data properties. The design process followed iterative refinement to ensure logical consistency, structural clarity, and practical applicability. Evaluation was carried out using both qualitative assessment of coverage and quantitative ontology metrics, including Relationship Richness (RR), Attribute Richness (AR), and Inheritance Richness (IR).

Findings

The developed ontology integrates 77 classes, 30 data properties, 30 object properties, and 336 individuals, resulting in 1,967 axioms and 11 equivalent classes. It systematically represents water demand (domestic,

agricultural, industrial, and ecological) and supply types (surface, groundwater, and unconventional), as well as water quality. Pollution was identified as a decisive factor influencing usability and allocation outcomes. Literature analysis showed that most studies focus on surface water allocation with linear models, often neglecting groundwater, pollution, and hydrogeological features. Quantitative metrics confirmed a balanced structure and coverage, as indicated by Relationship Richness (RR = 0.24), Attribute Richness (AR = 0.38), and Inheritance Richness (IR = 1.20).

Discussion

Ontology-based analysis revealed that decision variables in prior studies were mainly limited to allocation volumes, while sustainability indicators and environmental factors were underrepresented. The proposed ontology fills this gap by capturing broader interactions, supporting queries across pollution, allocation constraints, and optimization goals. It highlights the need to integrate hydrogeological characteristics and unconventional water sources, alongside AI-driven forecasting and multi-objective optimization, to enhance allocation realism and sustainability.

Conclusion

The study shows that water allocation research remains fragmented, with excessive reliance on simplified linear models. The ontology offers a structured, machine-readable knowledge base that improves transparency and decision-making. Its evaluation metrics confirm both richness and extensibility. Future research should move toward nonlinear and multi-objective models, leverage AI for prediction, and promote collaboration to achieve sustainable and equitable water management.

Ethical Considerations Compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design, Methodology, and Conceptualization: Mahdie Sadeghian.
Methodology, Supervision, and Final Writing: Saba Sareminia.

مقاله پژوهشی

چارچوب هستان‌شناسی برای تخصیص بهینه و پایدار منابع آب

مهديه صادقیان^۱، صبا صارمی نیا^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا رشته مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

مقدمه: آب به‌عنوان یکی از منابع طبیعی اساسی و حیاتی، نقشی غیرقابل چشم‌پوشی در توسعه پایدار و تأمین نیازهای انسانی، کشاورزی و صنعتی دارد. با این حال، رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی، تغییرات اقلیمی و توزیع نابرابر منابع آبی در جهان، چالش‌های بزرگی را در زمینه مدیریت و تخصیص بهینه این منابع به وجود آورده است.

روش: در این پژوهش، یک آنتولوژی جامع با هدف مدل‌سازی هوشمند و پاسخ به سوالات کلیدی در زمینه شناسایی و ارزیابی منابع آبی، تحلیل و تخصیص منابع، مدل‌سازی و پیش‌بینی و فناوری و جایگزینی آب توسعه داده شد. این آنتولوژی علاوه بر پوشش‌دهی جنبه‌های فنی مرتبط با عرضه و تقاضای آب، امکان تحلیل ساختاری و پاسخ به سوالات مرتبط با جنبه‌های مطرح‌شده در زمینه تخصیص منابع، شناسایی عوامل تأثیرگذار و ارزیابی مدل‌های بهینه‌سازی را فراهم می‌آورد.

یافته‌ها: آنتولوژی توسعه داده‌شده در این پژوهش، انواع تقاضای آب، انواع منابع آب، کیفیت هر منبع، عوامل مؤثر در تغییرات منابع آبی، مدل‌ها و روش‌های تخصیص منابع آب و شاخص‌های پایداری آب، انواع محدودیت‌های مورد نیاز و روش حل را مورد بررسی قرار داده است. نتایج آنتولوژی نشان داد که آلودگی به‌شدت کیفیت آب را تحت تأثیر قرار داده و استفاده از آن منبع متفاوت خواهد شد و در نتیجه تخصیص آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین، تحلیل کمی آنتولوژی براساس سه شاخص غنای روابط ($RR=0.24$)، غنای ویژگی‌ها ($AR=0.38$) و غنای وراثت ($IR=1.20$) نشان داد که آنتولوژی از تنوع قابل قبول در روابط، غنای متوسط ویژگی‌ها و ساختار سلسله‌مراتبی متوازن برخوردار است. در ادامه، پژوهش‌های پیشین تحلیل شده و شکاف تحقیقاتی استخراج گردید. پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر تخصیص منابع آب‌های سطحی با هدف کاهش هزینه‌های کمبود تمرکز داشته و مدل‌های ارائه‌شده اغلب به‌صورت خطی طراحی شده‌اند. همچنین، محدودیت‌های مرتبط با آلودگی و منابع آب زیرزمینی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری: با استفاده از کوئری‌های طراحی‌شده مشخص شد که پژوهش‌های کمی به مسائل پیچیده‌ای مانند تغییرات اقلیمی، هیدروژئولوژی و مدل‌های چندهدفه پرداخته‌اند. اگرچه مدل‌های ساده پاسخگو هستند، اما در نظر گرفتن عوامل واقعی‌تری همچون آلودگی و ویژگی‌های محیطی، نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.71632/wej.2025.1199682](https://doi.org/10.71632/wej.2025.1199682)

واژه‌های کلیدی:

مدیریت آب، تخصیص منابع آب، آنتولوژی، گراف دانش، مدل‌سازی مفهومی.

* نویسنده مسئول: صبا صارمی نیا

نشانی: دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، اصفهان ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

تلفن: ۰۹۱۳۳۱۹۱۲۵۰، ۰۳۱۳۳۹۱۱۴۸۹

پست الکترونیکی: s.sareminia@iut.ac.ir

آب یک منبع طبیعی حیاتی در جهان است و عنصری ضروری و غیرقابل جایگزین برای توسعه پایدار به شمار می‌رود (۱). این منبع ارزشمند نه تنها برای بقای موجودات زنده ضروری است، بلکه نقش مهمی در اقتصاد، محیط‌زیست و رفاه اجتماعی ایفا می‌کند. با این حال، افزایش جمعیت، صنعتی شدن سریع، شهرنشینی گسترده و تغییرات اقلیمی باعث شده تا دسترسی به منابع آبی به تدریج در بسیاری از نقاط جهان محدود شود (۲). رشد بی‌رویه جمعیت و توسعه اقتصادی، مصرف آب را در طول صد سال گذشته تا شش برابر افزایش داده و پیش‌بینی می‌شود این میزان هر ساله حدود ۱ درصد بیشتر شود (۳). همه اینها منجر به کمبود جدی آب شده است و به نظر می‌رسد وضعیت در دهه‌های اخیر بدتر شده است (۴). بحران آب با توزیع نابرابر آن در زمان و مکان عمیق‌تر می‌شود (۵). علاوه بر این، تغییرات اقلیمی و نوسانات بارندگی، کیفیت و کمیت منابع آب را تهدید می‌کند. تغییر الگوهای بارش، وقوع خشکسالی‌های شدید و کاهش ذخایر آب زیرزمینی از جمله پیامدهای این تغییرات هستند که مدیریت منابع آبی را با چالش‌های جدیدی مواجه کرده‌اند (۶).

در چنین شرایطی، مدیریت منابع آب به طور موثر از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود (۴). مدیریت منابع آب نه تنها شامل تأمین آب برای مصارف مختلف انسانی، صنعتی و کشاورزی است، بلکه توزیع عادلانه، حفاظت از منابع آبی و بازیابی آب‌های آلوده را نیز شامل می‌شود. با توجه به پیچیدگی‌های فزاینده در این حوزه، نیاز به ابزارهای نوین برای تجزیه و تحلیل و مدیریت منابع آب احساس می‌شود (۷). از جمله این ابزارها می‌توان به استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک‌های مبتنی بر داده‌های بزرگ اشاره کرد (۸، ۹، ۱۰).

بنابراین مطالعه این حوزه نه تنها برای مدیریت پایدار منابع آب، بلکه برای اطمینان از عدالت اجتماعی، کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و دستیابی به امنیت آبی بسیار مهم و ضروری است. یکی از ابزارهایی که برای بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه و شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی استفاده می‌شود، نقشه دانش و آنتولوژی است (۱۱). توسعه نمودارهای دانش در مورد منابع آب به عنوان ابزاری برای مطالعه توسعه پایدار یک منطقه در حال حاضر یک کار ضروری است، زیرا واکامت روزافزون وضعیت بدنه های آبی بر اکولوژی، اقتصاد و سلامت جمعیت منطقه تأثیر می‌گذارد (۱۲). اصطلاح «آنتولوژی» در سال ۱۶۱۳ به‌طور مستقل توسط دو فیلسوف رودولف گوکل^۱ و جکاب لورهارد^۲ ابداع شد و به معنای مطالعه موجودیت‌ها و روابط میان آن‌هاست (۱۳). آنتولوژی، با هدف ایجاد یک طبقه‌بندی جامع و دقیق از مفاهیم و موجودیت‌ها در یک حوزه مشخص، به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که مطالعات را سازماندهی کرده و ارتباطات میان مفاهیم کلیدی را بهتر درک کنند (۱۴). در مقایسه با سایر رویکردهای توسعه سیستم‌های اطلاعاتی مانند مدل‌های پایگاه داده‌ای یا چارچوب‌های مبتنی بر قوانین، آنتولوژی‌ها از قدرت بیشتری در بازنمایی معنایی و یکپارچه‌سازی داده‌ها برخوردارند. در حالی که مدل‌های پایگاه داده معمولاً صرفاً به ذخیره و بازیابی

اطلاعات می‌پردازند و انعطاف‌پذیری کمی در استنتاج و کشف روابط پنهان دارند، آنتولوژی‌ها با تعریف دقیق مفاهیم، سلسله‌مراتب و روابط میان آن‌ها، امکان پردازش معنایی و تبادل‌پذیری دانش میان سیستم‌های مختلف را فراهم می‌کنند (۱۵).

در زمینه مدیریت منابع آب، آنتولوژی‌ها می‌توانند ابزار قدرتمندی برای تحلیل داده‌ها، شناسایی روابط میان عوامل مؤثر و در نهایت شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی باشند. این ابزار به پژوهشگران کمک می‌کند تا درک جامعی از حوزه‌های مختلف مرتبط با آب، از جمله مصرف، حفاظت، و سیاست‌گذاری داشته باشند و پژوهش‌های خود را به‌صورت هدفمند در جهت حل چالش‌های این حوزه هدایت کنند (۱۶). پژوهش‌های اخیر نیز بر نقش آنتولوژی در تبیین روابط پیچیده در حوزه‌های آبی تأکید کرده‌اند (۱۷) و نشان داده‌اند که این رویکرد می‌تواند برای مدل‌سازی اکوسیستم‌های نوظهور نظیر زنبورداری هوشمند نیز مؤثر باشد (۱۸).

هدف این مقاله، تحلیل جامع تحقیقات مرتبط با مدیریت منابع آب، شناسایی مولفه‌های اصلی در حوزه تبیین و شناسایی منابع آبی، ارزیابی منابع و متقاضیان منابع آبی، استفاده‌کنندگان منابع آبی، عوامل مؤثر در تغییرات منابع آبی، مدل‌ها و روش‌های تخصیص و پیش‌بینی منابع آبی، شاخص‌های مورد استفاده برای متقاضیان منابع آب و کیفیت آب مورد استفاده برای هر متقاضی است، ضمن اینکه روابط بین این مفاهیم به‌طور دقیق تبیین گردد. این هدف با توسعه آنتولوژی محقق گشته و یکی از خروجی‌های این آنتولوژی شناسایی شکاف‌های پژوهشی و اجرایی در بخش‌های مختلف مدیریت و تخصیص منابع آبی می‌باشد. شایان ذکر است با توجه به ماهیت آنتولوژی، دانش به دست آمده از آنتولوژی، توسط ماشین قابل خواندن و استفاده مجدد می‌باشد (۱۹) و همین امر امکان استنتاج و هوشمندسازی مدیریت و تخصیص منابع آبی را میسر می‌سازد. با استفاده از این دانش پژوهشگران می‌توانند نه تنها حوزه‌های مورد توجه را شناسایی کنند، بلکه به بررسی روندهای پژوهشی و اولویت‌بندی موضوعات برای تحقیقات آتی بپردازند. در واقع این مقاله در پی آن است که با ایجاد یک چارچوب دانش‌محور، ارتباط میان منابع، مصرف‌کنندگان و شاخص‌های پایداری را در قالبی نظام‌مند بازنمایی کند. بدین ترتیب، آنتولوژی طراحی شده می‌تواند به عنوان ابزاری راهبردی برای تحلیل جامع وضعیت منابع آبی و حمایت از تصمیم‌گیری‌های کلان در مدیریت پایدار آب عمل نماید.

فرضیات پژوهش حاضر عبارتند از:

- به کارگیری آنتولوژی می‌تواند داده‌ها و اطلاعات متنوع در حوزه آب را یکپارچه کرده و تعامل‌پذیری آن‌ها را افزایش دهد.
- توسعه آنتولوژی امکان شناسایی شکاف‌های پژوهشی و اجرایی در مدیریت و تخصیص منابع آبی را فراهم می‌کند.

¹ Rudolf Göckel

² Jacob Lorhard

- دانش استخراج شده از آنتولوژی به دلیل ماهیت ماشین خوان بودن، قابلیت استفاده مجدد و استنتاج خودکار را برای تصمیم گیری های آینده دارد.
- نوآوری های این پژوهش به طور کلی به شرح زیر خلاصه می شود:
- طراحی و پیاده سازی آنتولوژی اختصاصی برای مدیریت و تخصیص منابع آب

- ایجاد پایگاه دانش مدلسازی صنایع در مدیریت و تخصیص منابع آب با استفاده از مرور ادبیات پیشین

- ارزیابی آنتولوژی پیشنهادی با استفاده از شاخص های کمی
- در ادامه این پژوهش، در بخش مرور ادبیات، به بررسی پیشینه پژوهش پرداخته و سپس در بخش روش شناسی، روش انجام پژوهش، مود بحث قرار می گیرد. در ادامه در بخش توسعه آنتولوژی، به توضیحات مربوط به آنتولوژی طراحی شده در این پژوهش پرداخته و در بخش استخراج اطلاعات از آنتولوژی، اطلاعات مورد نیاز، از آنتولوژی مورد نظر استخراج می شود. در نهایت در بخش نتیجه گیری و پیشنهادها، ضمن تبیین شکاف پژوهشی، پیشنهاداتی برای پژوهش های آتی توصیه شده است.

مرور ادبیات

مرور ادبیات این پژوهش در دو بخش پژوهش های مربوط به مدیریت و تخصیص منابع آب و آنتولوژی های توسعه یافته در حوزه آب بررسی می شود.

آب کالایی غیرقابل جایگزین با ارزش اقتصادی بالا است. امروزه کمبود آب بزرگترین چالش در جهان است و بحران های ناشی از کمبود منابع آب شیرین تهدیدی جدی برای توسعه پایدار محیط زیست و سلامت و رفاه انسان است (۲۰). بنابراین مدیریت و تخصیص درست منابع آبی، به یکی از مهم ترین موضوعات پژوهشی تبدیل شده است (۲). یوان و همکاران (۲۱)، در پژوهش خود به تخصیص بهینه منابع آبی در شرایط بحران می پردازند. این مطالعه از نظریه بازی و چانه زنی نش برای مدل سازی رفتار امتیازدهی بهره می برد و نشان می دهد که رویکرد مذاکره می تواند به توزیع عادلانه منابع آب میان کشورها کمک کند. هدف این پژوهش، بهینه سازی مطلوبیت گروهی تخصیص آب با در نظر گیری محدودیت آب رودخانه و نقطه مقاومت بوده و برای مطالعه موردی، رودخانه دجله و فرات در نظر گرفته شده است. پژوهش (۲۲)، با معرفی یک مدل چندمرحله ای بهینه سازی مقاوم، تخصیص منابع آب را در مواجهه با عدم قطعیت های اقلیمی بررسی کرده است. این مدل تلاش می کند تا هزینه های مربوط به تخصیص و کمبود را به حداقل رسانده و پایداری سیستم را در برابر تغییرات اقلیمی تضمین کند. محدودیت های مدل شامل ظرفیت منابع، نیازهای مصرفی و زیست محیطی در طول زمان است. در ادامه، از الگوریتم تجزیه بندر برای حل مسئله رباست طراحی شده، استفاده می شود.

³ Yinma

تحقیقات در زمینه مدیریت یکپارچه منابع آب نیز نقش مهمی در بهبود تخصیص منابع ایفا می کنند. مطالعه (۸)، تأثیر روش های مدیریت یکپارچه را در حوضه زاینده رود ایران بررسی کرده است. این پژوهش نشان می دهد که مدیریت یکپارچه می تواند تعادلی پایدار میان نیازهای کشاورزی، صنعتی، شهری و زیست محیطی ایجاد کند. این پژوهش از مدل های وزن دهی و تصمیم گیری چندمعیاره برای تصمیم گیری استفاده کرده است. در شرایط کمبود منابع، استفاده از روش های نوآورانه برای ترکیب منابع سطحی و زیرزمینی اهمیت ویژه ای دارد. پژوهش (۲۳)، به ارائه یک مدل بهینه سازی پویا مبتنی بر بازه های فازی پرداخته است. این مدل به ویژه در شرایط کمبود، توانایی مدیریت منابع را با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها نشان می دهد. توابع هدف این مطالعه، حداکثرسازی میزان آب تخصیص داده شده و حداقل کردن استخراج آب های زیرزمینی است و برای تأمین تقاضا، تنها آب های سطحی و زیرزمینی در نظر گرفته شده است. محدودیت های این پژوهش، درصد آب عرضه شده، مقدار کل تخصیص، میزان تقاضا برای انواع آب، حد بالای میزان تخصیص آب سطحی و اولویت تخصیص آب های سطحی و زیرزمینی است. این پژوهش تحت شرایط کم آبی در استان آذربایجان غربی ایران پیاده سازی شده است.

رویکردهای فازی در سایر مطالعات نیز تأکید شده اند. در مطالعه (۲۴) از یک مدل فازی دینامیک برای تخصیص منابع در سطوح منطقه ای استفاده شده است. این مدل با مدیریت عدم قطعیت ها و ترکیب داده های سطحی و زیرزمینی، عملکرد بالایی در سناریوهای مختلف نشان داده است. توابع هدف این پژوهش، بهینه سازی منفعت اقتصادی و رضایت مشتریان و کاهش حد انتشار آلاینده COD است که تحت محدودیت های ظرفیت تأمین آب، حداقل تقاضای آب تضمین شده، تقاضای ایده آل آب و حد انتشار آلاینده مدلسازی می شود. مطالعه موردی این پژوهش در شهر هاندان در چین بوده است. همچنین پژوهش (۲۵)، از مدل های بهینه سازی بازه ای فازی برای مدیریت توزیع منابع در حوضه آب بینما^۳ استفاده کرده و نتایج حاکی از بهبود پایداری سیستم بوده است. تنها تابع هدف در این مطالعه، بهینه سازی منافع اقتصادی بوده که تحت محدودیت های کل عرضه، کل تقاضا، ظرفیت تصفیه پساب، ظرفیت استفاده مجدد و میزان حمل آلودگی به دریاها، مدلسازی شده است.

از دیگر رویکردهای برجسته در مدیریت منابع آب می توان به کاربرد مدل های زنجیره تأمین اشاره کرد. پژوهش (۲۶)، اهمیت مدیریت عملیات مخازن ذخیره را برای افزایش بهره وری سیستم های آبیاری مورد تأکید قرار داده است. این پژوهش نشان داده است که بهینه سازی بهره برداری از مخازن ذخیره می تواند منجر به بهبود بهره وری و کاهش هدررفت آب شود. هدف این پژوهش حداکثرسازی درآمد خالص با در نظر گیری حداقل و حداکثر ظرفیت و محدودیت عرضه و تقاضاست. این پژوهش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی را نیز دخیل نموده و به عنوان متغیر تصمیم از آن استفاده نموده است. در ادامه این پژوهش در عربستان سعودی پیاده سازی شده و با استفاده از الگوریتم های

ژنتیک^۴، کلونی مورچگان^۵ و ازدحام ذرات^۶ حل شده است. الگوریتم کلونی مورچگان از الگوریتم‌های رایج در پژوهش‌های مربوط به مدیریت آب است؛ مطالعه (۲۰)، یک رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر توسعه کشاورزی و اقتصادی و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی ارائه می‌دهد. این پژوهش تلاش دارد تا از الگوریتم‌های کلونی مورچگان یا زنبور عسل برای حل مسائل پیچیده تخصیص منابع آب استفاده کند. در این مدل، توابع هدف شامل بهینه‌سازی بهره‌وری کشاورزی، کاهش هزینه‌های اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی هستند. محدودیت‌های مدل، منابع آب در دسترس، نیازهای کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی را پوشش می‌دهند. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از چنین رویکردهایی می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری در سطوح منطقه‌ای کمک کند و تعادلی میان توسعه اقتصادی و حفاظت از منابع طبیعی ایجاد کند.

مطالعه (۲۷)، با تمرکز بر مدل‌های چندهدفه، به تخصیص هم‌زمان منابع آب سطحی و زیرزمینی پرداخته است. در این پژوهش، تابع هدف به کمینه‌کردن کمبود آب و برداشت آب زیرزمینی اختصاص یافته است. محدودیت‌های مدل شامل محدودیت‌های منابع آبی، تعهدات زیست‌محیطی، و نیازهای متغیر مصرف است. این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک و سیستم دینامیکی، تحلیل و حل و در انتها برای تخصیص بین مناطق متفاوت، از چانه‌زنی نش نیز استفاده شده است. برای مدیریت منابع آب در سطوح پیچیده‌تر، ابزارهای تصمیم‌گیری نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. مطالعات دیگری نیز مانند (۲۸)، اهمیت استفاده از مدل‌های چندهدفه در مواجهه با تغییرات اقلیمی را نشان داده‌اند. این پژوهش تأثیر تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی شبیه‌سازی کرده و راه‌حلی برای تخصیص بهینه ارائه داده است. در این پژوهش تقاضاهای آشامیدنی، کشاورزی، صنعتی و اکولوژی در نظر گرفته شده و توابع هدف پیرامون حداکثر منابع اقتصادی و زیست محیطی بوده است. این پژوهش با محدودیت‌های عرضه و تقاضا، ظرفیت تقاضای آب و محدودیت سفارش آب، مدل‌سازی و با روش PSO حل شده است. پژوهش (۲۹)، کاملاً مشابه پژوهش (۲۸) بوده است با این تفاوت که در این پژوهش به شبکه‌بندی منابع عرضه و تقاضا پرداخته و سپس محدودیت‌ها و توابع هدف پژوهش قبل را اعمال می‌کند. علاوه بر آن در مطالعه (۱۰)، مدل بهینه‌سازی ارائه شده است که به صورت هم‌زمان به محدودیت‌های ناشی از آلودگی آب و کمبود منابع آب در حوضه رودخانه فن‌ه^۷ در شمال چین می‌پردازد. این مطالعه از مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه بهره برده و توابع هدف آن شامل کاهش آلودگی، تخصیص بهینه منابع آب به کاربران مختلف، و تضمین تأمین آب کافی برای نیازهای زیست‌محیطی است. محدودیت‌های مدل شامل میزان دسترسی به منابع آب، ظرفیت‌های سیستم‌های تصفیه آب، و اهداف کاهش آلودگی است. این پژوهش نشان داده که استفاده از رویکردهای ترکیبی می‌تواند به‌طور مؤثری مشکلات ناشی از کمبود و آلودگی منابع آب را مدیریت کند.

پژوهش (۳۰)، رویکرد بهینه‌سازی دو سطحی را برای تخصیص منابع معرفی کرده است. این مدل در سطوح بالادست و پایین‌دست، اولویت‌بندی تخصیص را براساس اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی انجام می‌دهد. این پژوهش رضایت‌مندی را نیز در توابع هدف در نظر گرفته و تخصیص حداکثری و برآورده شدن حداقل نیازهای پایین‌دستی را به عنوان محدودیت به این توابع هدف اضافه کرده است. با توجه به وجود محدودیت و چند تصمیم‌گیره بودن مسئله، از بازی استکلبرگ با روش حل KKT استفاده می‌شود.

از سوی دیگر، مقاله (۹)، به بررسی استفاده از رویکرد دینامیک سیستم‌ها برای مدیریت منابع آب پرداخته است. این پژوهش با مدل‌سازی روابط پویا میان مصرف، منابع و سیاست‌های مدیریتی، نشان داده است که چگونه می‌توان تعادل پایدار میان عرضه و تقاضای آب ایجاد کرد. در این پژوهش، آب سطحی، زیرزمینی، تصفیه پساب فاضلاب و آب نمک‌زدایی شده به عنوان منابع تأمین آب و تقاضای کشاورزی، تجاری، آشامیدن، صنعتی و دولتی به عنوان منابع تقاضای آب، در نظر گرفته شدند. همچنین این پژوهش بازه‌ی ۷۰ ساله آب را پیش‌بینی و متغیرهای مربوطه را تحلیل حساسیت مینماید.

پیشرفت‌های اخیر در یادگیری ماشین نیز فرصت‌های نوینی برای مدیریت منابع آب فراهم کرده‌اند. پژوهش (۳۱)، به مرور سیستماتیک کاربردهای یادگیری ماشین در این حوزه پرداخته و الگوریتم‌هایی مانند شبکه‌های عصبی و یادگیری تقویتی را معرفی کرده است که می‌توانند در پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف آب کاربرد داشته باشند.

ادبیات حاضر، بر انواع تقاضای آب، انواع منابع آب، نحوه تخصیص آب از هر منبع به هر تقاضا، محدودیت‌های تخصیص، اهداف تخصیص و شاخص‌های ارزیابی از جمله شاخص پایداری تمرکز شده که در ادامه برای طراحی آنتولوژی، از این موارد استفاده می‌شود.

یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت منابع آب، نیاز به یکپارچه‌سازی داده‌ها و اطلاعات مختلف برای تصمیم‌گیری مؤثر است. در این راستا، استفاده از آنتولوژی به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی دانش، امکان بهبود تحلیل و مدیریت منابع آبی را فراهم کرده است. از سوی دیگر در فرایند توسعه آنتولوژی شناسایی و تمرکز بر آنتولوژی‌های توسعه یافته در حوزه‌ی مود بررسی بسیار حائز اهمیت است. در مقایسه با سایر روش‌های توسعه سیستم‌های اطلاعاتی، استفاده از آنتولوژی‌ها در مدیریت منابع آب برتری‌های آشکاری دارد. مدل‌های سنتی پایگاه داده و حتی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، اغلب در مواجهه با پیچیدگی‌های مفهومی و تنوع داده‌ها دچار محدودیت می‌شوند. در حالی که آنتولوژی‌ها با فراهم‌سازی لایه‌ای معنایی، قابلیت اتصال داده‌های ناهمگون، استخراج دانش پنهان و پشتیبانی از استدلال خودکار را ایجاد می‌کنند (۳۲). این ویژگی‌ها، آنتولوژی را به ابزاری قدرتمند برای مدیریت دانش در حوزه آب بدل کرده است.

در پژوهش (۱۲) یک آنتولوژی برای پایش منابع آب طراحی شده است که به‌عنوان ابزاری تحقیقاتی برای توسعه پایدار منطقه‌ای عمل می‌کند.

⁶ PSO

⁷ Fenhe

⁴ NSGA

⁵ Ant Coloni

سال ۲۰۲۵ نشان داده‌اند که آنتولوژی‌ها در مدیریت منابع آبی می‌توانند در حوزه‌های تخصصی‌تری نیز به کار گرفته شوند. به عنوان نمونه، پژوهش (۳۶) چارچوبی نیمه‌خودکار برای ساخت آنتولوژی سیلاب ارائه کرده‌اند که با هدف بهبود ارتباطات ریسک و استفاده مؤثر از داده‌های هیدرولوژیک طراحی شده است. همچنین پژوهش (۳۷) یک آنتولوژی و گراف دانش برای پایش فرآیندهای سیلاب توسعه داده‌اند که با سازماندهی بهتر داده‌های سیلابی، امکان تحلیل‌های جامع‌تر و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مدیریت منابع آبی را فراهم می‌سازد.

علاوه بر منابع بین‌المللی، در ادبیات فارسی نیز برخی تلاش‌ها برای به‌کارگیری مفاهیم مرتبط با هستان‌شناسی و آنتولوژی انجام شده است. برای نمونه، پژوهش (۳۸) یک الگوی هستان‌شناسی برای داده‌های فراداده‌ای طراحی شده است که می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای توسعه آنتولوژی‌های بخش محیط‌زیست و منابع آب مورد توجه قرار گیرد. همچنین، در پژوهش (۳۹)، چالش‌ها و راهکارهایی برای تطبیق آنتولوژی‌ها در زبان فارسی بررسی شده‌اند، موضوعی که می‌تواند برای طراحی آنتولوژی‌های ملی آب کاربرد داشته باشد. اگرچه مطالعات فارسی در زمینه آنتولوژی آب محدود است، اما این منابع نشان می‌دهند که در فضای علمی ایران زمینه‌ای برای حرکت به سمت مدل‌سازی دانش و آنتولوژی وجود دارد و پژوهش حاضر می‌تواند در این زمینه خلأها را پر کند. با این حال، این پژوهش‌ها، جزئیات بیشتر از جمله انواع تقاضا، انواع تغییرات آب و هوا و تأثیر آن بر منابع آبی، نحوه تخصیص آب و میزان کارایی روش تخصیص را نشان نمی‌دهند. بنابراین، پژوهش حاضر با ارائه یک آنتولوژی جامع که به‌طور هم‌زمان منابع مختلف آب، انواع تقاضا، محدودیت‌ها، توابع هدف و مدل‌های تخصیص را پوشش می‌دهد، تلاش می‌کند تا این خلأهای تحقیقاتی را پر کرده و چارچوبی یکپارچه برای تحلیل و مدیریت پایدار منابع آبی فراهم آورد.

روش شناسی

روش انجام این پژوهش شامل مرور سیستماتیک ادبیات پژوهش و توسعه آنتولوژی می‌باشد. در ابتدا مقالات مربوطه استخراج و سپس براساس آنها، آنتولوژی مورد نظر توسعه داده شده است. شکل ۱ روش انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

این آنتولوژی شامل موجودیت‌هایی مانند منابع آبی، واحدهای مدیریتی، فعالیت‌های انسانی و عوامل محیطی است. هدف اصلی این تحقیق، پایش پارامترهای کلیدی همچون کیفیت آب، میزان جریان و مصرف منابع است. استفاده از مفاهیم آنتولوژی در این تحقیق، امکان اتصال داده‌های محیطی در سطوح مختلف منطقه‌ای را فراهم کرده و به تحلیل پایداری و بهبود تصمیم‌گیری کمک می‌کند. این تحقیق با طراحی آنتولوژی برای پایش منابع آب، امکان تحلیل پایداری و تصمیم‌گیری بهتر را فراهم می‌کند. با این حال، به چالش‌های عملیاتی پیاده‌سازی و بهینه‌سازی تخصیص منابع توجه کافی نشده است. پژوهش (۳۳)، چارچوبی مبتنی بر آنتولوژی برای انتشار و بهره‌برداری از داده‌های باز مرتبط با مدیریت منابع آبی ارائه شده است. این پژوهش بر بهره‌برداری از داده‌های پیوندی برای بهبود دسترسی به اطلاعات و تعامل میان سیستم‌های مختلف تمرکز دارد. موجودیت‌های به کار رفته در این چارچوب شامل منابع آبی، کاربران و روابط میان آن‌ها است. این چارچوب امکان استفاده از داده‌های پیوندی و تعامل‌پذیری را در مدیریت منابع آبی افزایش داده و بهره‌وری در استفاده از داده‌های موجود را بهبود می‌بخشد. چارچوب ارائه‌شده، تعامل‌پذیری داده‌ها و دسترسی به اطلاعات را با بهره‌گیری از داده‌های پیوندی بهبود می‌بخشد. اما تمرکز آن بیشتر بر مدیریت داده‌هاست و تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی را بررسی نمی‌کند. پژوهش دیگری که در این حوزه صورت گرفته است، پژوهش (۳۴)، به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های کشاورزی بر منابع آب پرداخته است. در این تحقیق، آنتولوژی‌هایی طراحی شده‌اند که اطلاعات مربوط به تغییرات اقلیمی، روش‌های کشاورزی و تأثیر آن‌ها بر منابع آبی را مدل‌سازی می‌کنند. این آنتولوژی شامل موجودیت‌هایی مانند محصولات کشاورزی، شیوه‌های آبیاری، دما و بارش است. هدف این پژوهش، افزایش تعامل‌پذیری داده‌ها میان حوزه‌های مختلف و تسهیل بازیابی اطلاعات برای تحلیل دقیق‌تر سناریوهای آینده است. این تحقیق مدل‌سازی تأثیرات تغییرات اقلیمی و کشاورزی بر منابع آب را تسهیل کرده و تعامل‌پذیری داده‌ها را افزایش می‌دهد. با این حال، نیازمند اعتبارسنجی بیشتر در شرایط واقعی و ارائه سیستم‌های کاربردی برای تصمیم‌گیری است. در پژوهش (۳۵) نیز، یک آنتولوژی برای مدل‌سازی مبتنی بر اجزا در سیستم‌های منابع آبی معرفی شده است. این آنتولوژی تلاش می‌کند تا اجزا و روابط کلیدی در سیستم‌های منابع آبی را به‌صورت سیستماتیک تعریف کند. موجودیت‌هایی مانند منابع آب، زیرساخت‌های مدیریت آب و تقاضای آب، در این آنتولوژی گنجانده شده‌اند. این رویکرد امکان استفاده از مدل‌های قابل انعطاف در مدیریت منابع آبی را فراهم کرده و به بهبود پیش‌بینی و برنامه‌ریزی کمک می‌کند. مدل‌سازی مبتنی بر اجزا در این پژوهش، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی منابع آب را بهبود می‌دهد. اما پیچیدگی مدل ممکن است پیاده‌سازی عملی را دشوار کرده و ابعاد اجتماعی و اقتصادی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعات نشان می‌دهند که طراحی و استفاده از آنتولوژی‌ها در حوزه منابع آب، نه تنها تعامل‌پذیری داده‌ها و سیستم‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه امکان تحلیل‌های دقیق‌تر، پیش‌بینی و مدیریت بهینه منابع آبی را فراهم می‌کند. افزون بر این، پژوهش‌های جدید در

فیلتر تعداد مقالات کل، به ۸۴۹ مقاله کاهش یافت. در ادامه از تمامی پایگاه‌ها با توجه به فیلترهای انجام شده، به صورت ris خروجی مقالات گرفته و این خروجی با کدهای پایتون به خروجی xlsx تبدیل و تمام مقالات در یک فایل گردآوری شدند. در هر پایگاه داده ممکن است مقالات تکراری یافت شود، بنابراین، براساس نام مقالات، مقالات تکراری حذف شدند و تعداد کل مقالات به ۲۳۲ مقاله رسید.

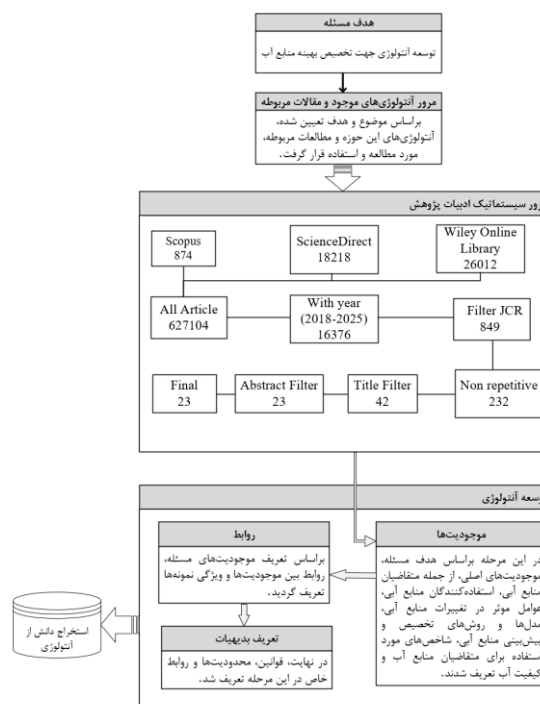
از آنجا مقالات حوزه مدیریت و تخصیص آب، می‌توانند کاملاً تخصصی و خارج از محدوده‌ی بررسی مهندسی صنایع و دیگر رشته‌ها باشند، براساس عناوین مقالات، برخی از مقالاتی که به نظر از حوزه موردنظر دور بودند، حذف گردید، با اعمال این فیلتر تعداد کل مقالات برابر ۴۲ شد. در ادامه با مطالعه چکیده مقالات گفته شده، تعدادی از آنها حذف و به تعداد ۲۳ مقاله نهایی که مرتبط با موضوع هدف باشند، انتخاب گردید.

توسعه آنتولوژی

حوزه مورد مطالعه، مربوط به مدیریت و تخصیص منابع آبی است که موضوعی حیاتی و قابل بحث است. بنا برآن است تا با استفاده از توسعه آنتولوژی، عوامل موثر بر کیفیت آب، نحوه تخصیص آب، محدودیت‌های تخصیص و اهداف تخصیص آب شناسایی شوند. همچنین در ادامه مطالعات انجام شده در این حوزه، مورد تحلیل و بررسی قرار بگیرند و در نهایت، بخش‌هایی که هنوز شکاف تحقیقاتی در آنها مشاهده می‌شود، شناسایی شوند. لازم به ذکر است این پژوهش در راستای کمک به مهندسی صنایع برای شناختن بهتر حوزه مدیریت و تخصیص منابع آب، انجام شده است. پژوهش‌های (۱۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵) نیز، به طراحی و رسم آنتولوژی در این حوزه پرداخته‌اند. با این وجود، هیچ آنتولوژی خاص مدیریت و تخصیص منابع آب با بررسی روابط و روش حل، طراحی نشده است. آنتولوژی مورد بررسی شامل ویژگی‌های مرتبط به آب و همچنین روابط و مدلسازی صورت گرفته در این حوزه برای مدیریت و تخصیص انواع منابع آب و انواع تقاضای آب است. برخی از سوالاتی که انتظار می‌رود آنتولوژی رسم شده به آن پاسخ دهد، در جدول ۱ مشاهده می‌شود. در ادامه بررسی شده است که سوالات مطرح شده، در پژوهش‌های قبلی به آن پاسخ داده نشده باشد. با توجه به دانش کنونی نویسندگان، در پژوهش‌های گذشته، پاسخ این سوالات بیان نشده است.

جدول ۱- سوالات شایستگی آنتولوژی

شماره سوال	دسته	سوال
سوال ۰۱		چه منابع آبی، در یک منطقه خاص موجود هستند؟
سوال ۰۲		کدام منابع آبی به صورت مشترک بین چند کشور یا منطقه استفاده می‌شوند؟
سوال ۰۳		کیفیت آب یک منبع خاص چگونه ارزیابی می‌شود؟
سوال ۰۴	شناسایی و ارزیابی منابع آبی	کدام منابع آبی در فصل خاصی، کاهش ظرفیت دارند؟
سوال ۰۵		کدام منابع آبی در معرض خطر آلودگی قرار دارند؟
سوال ۰۶		کدام مناطق بیشترین آسیب‌پذیری در برابر کم‌آبی را دارند؟
سوال ۰۷		چه تأثیری دارد اگر تخصیص منابع آبی بر اساس شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی محلی انجام شود؟
سوال ۰۸	تحلیل و تخصیص منابع	چه عواملی در تعیین اولویت تخصیص آب برای حفاظت از اکوسیستم‌های حیاتی دخیل هستند؟



شکل ۱- روش‌شناسی انجام پژوهش

مرور سیستماتیک ادبیات پژوهش

برای استخراج مقالات از پایگاه داده‌های Scopus, ScienceDirect و Wiley Online Library استفاده گردید. با استفاده از کلیدواژه‌های تخصصی مربوط به تخصیص و مدیریت منابع آب، تعداد مقالات مربوطه استخراج شد. در ابتدا کلیدواژه‌های مربوط به آب؛ یعنی، water management, water allocation، water resource management، water scarcity و resource allocation به کلیدواژه‌های قابل سرچ اضافه گردید. این پنج کلیدواژه در پایگاه‌های داده گفته شده، سرچ شده و در نهایت به ۶۲۷۱۰۴ مقاله بدست آمد.

لازم بوده است تا مقالات ۲۰۱۸ به بعد مورد بررسی قرار گیرند، بنابراین فیلتر سال در هر پایگاه داده اضافه شدند که تعداد مقالات به ۱۶۳۷۶ رسید. در ادامه زبان مقالات انگلیسی انتخاب و برای بررسی مقالات سطح بالاتر، تنها مقالات ۱۵ ژورنال ISI انتخاب گردید. با اعمال این

شماره سوال	دسته	سوال
سوال ۰۹		چه میزان آب از یک منبع مشخص برای مصارف کشاورزی تخصیص یافته است؟
سوال ۱۰		کدام تقاضاها، بیشترین سهم از منابع آبی را در یک منطقه مشخص دارند؟
سوال ۱۱		کدام مناطق بیشترین سهم از آب‌های بازیافتی را استفاده می‌کنند؟
سوال ۱۲		کدام بخش‌های صنعتی به منابع آبی خاصی وابسته هستند؟
سوال ۱۳		چگونه می‌توان از طریق مدل‌سازی مفهومی اطلاعات تهدیدات منابع آبی را تحلیل کرد؟
سوال ۱۴		چه الگویی از تغییرات اقلیمی بیشترین تأثیر را بر تخصیص منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد؟
سوال ۱۵	مدلسازی و پیش‌بینی	چگونه می‌توان رابطه بین کیفیت آب و تخصیص منابع آبی برای کشاورزی و صنعت را بهینه کرد؟
سوال ۱۶		چگونه می‌توان تأثیر عوامل غیرقابل پیش‌بینی را در تخصیص منابع آبی مدل‌سازی کرد؟
سوال ۱۷		چه خالهایی در مدلسازی تخصیص آب وجود دارد؟
سوال ۱۸		مدلسازی‌های انجام شده تا چه حد منطبق بر دنیای واقع است؟
سوال ۱۹		آیا امکان پیش‌بینی تضادها یا همکاری‌های احتمالی بین مصرف‌کنندگان منابع وجود دارد؟
سوال ۲۰	فناوری و جایگزینی منابع	آیا فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، می‌توانند تخصیص منابع آبی را بهتر مدیریت کنند؟
سوال ۲۱		آیا سیستم‌های آبی مبتنی بر منابع غیرمتعارف، می‌توانند جایگزین بخشی از منابع آبی طبیعی شوند؟

تعیین عناصر تشکیل‌دهنده آنتولوژی

آنتولوژی مدیریت و تخصیص منابع آب با هدف شناسایی، طبقه‌بندی و مدل‌سازی مفاهیم مرتبط با منابع آب طراحی شده است. این آنتولوژی تلاش می‌کند روابط میان منابع آب، تقاضاها، مناطق جغرافیایی، سیاست‌های تخصیص و ... را شفاف‌سازی کند. برای دستیابی به این هدف، داده‌های خام مرتبط با حوزه مدیریت منابع آب، از مطالعات علمی مرتبط با این حوزه مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس مطالعه منابع و استخراج مفاهیم اصلی، کلاس‌های پایه اطلاعات مربوط به آب، اطلاعات مربوط به مدلسازی‌های مسئله و اطلاعات مربوط به روش حل و آنالیز است که خود دارای کلاس‌های اصلی جزئی‌تری می‌باشد. کلاس‌های جزئی‌تر بخش آب، شامل، نوع عرضه و تقاضا، ویژگی‌های هیدرولیکی آب، حوزه آبریز، شرایط آب و هوا، کیفیت آب و ذی‌نفعان است. کلاس‌های مربوط به مدلسازی مسئله، شامل، نوع مدلسازی، تابع هدف، محدودیت‌ها، قطعیت مدل و متغیرهای تصمیم می‌باشد. در نهایت کلاس‌های بخش روش حل، دارای کلاس‌های روش حل، بازه زمانی برای آنالیز حساسیت، روش‌های تحلیل و شاخص است. این آنتولوژی به گونه‌ای طراحی شده که از نظر سلسله مراتبی منطقی باشد. ساختار کلاس‌ها نه بیش از حد پیچیده است که مدیریت آن دشوار شود و نه بیش از حد ساده که اطلاعات مهم در ویژگی‌ها پنهان شوند. هدف اصلی این آنتولوژی ایجاد یک چارچوب انعطاف‌پذیر و قابل گسترش است که بتواند به تحلیل و مدیریت بهینه منابع آب کمک کند. گراف موجودیت‌ها و روابط بین آنها در شکل ۲ قابل مشاهده است. در این

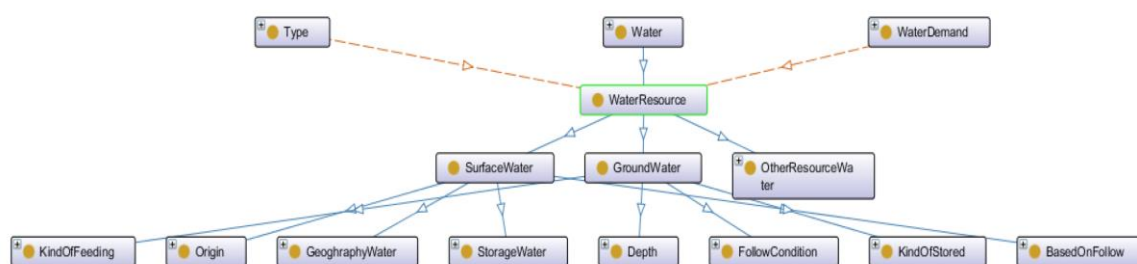
گراف در ابتدا، دسته‌بندی اصلی مشخص و براساس نیاز، جزئی شده است. به عنوان مثال، در دسته‌ی مربوط به آب، انواع تقاضا، انواع عرضه، کیفیت آب، ویژگی‌های هیدرولیکی و حوزه آبریز تعریف شده است. در ادامه در دسته مدل، نوع مدلسازی، متغیر تصمیم، توابع هدف و قطعیت، موجودیت‌های اصلی هستند که به واسطه روابط به موجودیت‌های دیگر وابسته شده‌اند؛ به عنوان مثال، یک تابع هدف یا محدودیت، می‌تواند تأثیر الودگی را نشان دهد و یا یک تابع هدف، براساس ویژگی‌های هیدرولیکی آب نوشته شده باشد. دو دسته‌ی اصلی دیگر، مربوط به مقالاتی است که مطالعه شدند و روش تخصیص. موجودیت مربوط به این دسته‌ها نیز به واسطه روابط به موجودیت‌های دیگر وصل می‌شوند. اطلاعات کامل مربوط به روابط میان کلاس‌ها که از طریق object property تعریف شده است در بخش جزئیات طراحی آنتولوژی، بیان می‌شود. فرآیند توسعه آنتولوژی در این پژوهش بر اساس مراحل استاندارد طراحی آنتولوژی انجام شده است. ابتدا دامنه و اهداف آنتولوژی مشخص گردید و سپس با مرور نظام‌مند ادبیات، مفاهیم کلیدی مرتبط با مدیریت و تخصیص منابع آب استخراج شد. در گام بعدی، این مفاهیم به صورت کلاس‌ها، زیردسته‌ها و ویژگی‌های داده‌ای و شیء‌محور سازماندهی شدند. پس از طراحی اولیه، ساختار آنتولوژی در نرم‌افزار Protégé پیاده‌سازی شد و با استفاده از معیارهای کمی نظیر تعداد کلاس‌ها، ویژگی‌ها و روابط، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، برای سنجش شفافیت و سازگاری، از کوئری‌های طراحی شده و تحلیل روابط میان مفاهیم استفاده شد تا از کفایت و جامعیت آنتولوژی اطمینان حاصل شود.

دسته‌بندی‌های استاندارد مدیریت منابع آب انجام شده است. برای بهینه‌سازی سلسله مراتب و جلوگیری از پیچیدگی یا سادگی بیش‌ازحد، تلاش شده است که تمامی کلاس‌های هم‌سطح دارای یک سطح از جزئیات باشند. برای مثال، منابع آب، مصرف‌کننده و سیاست تخصیص در بالاترین سطح سلسله مراتب قرار دارند، درحالی‌که جزئیات مرتبط با هر کدام در سطوح پایین‌تر گنجانده شده‌اند.

آنتولوژی طراحی شده برای مدیریت و تخصیص منابع آب از رویکردی برای ساختاردهی سلسله مراتب کلاس‌ها بهره می‌برد. این میانهمحور آنتولوژی به منظور مدل‌سازی دقیق مفاهیم و فرآیندهای مرتبط با منابع آب، مصرف‌کنندگان، و سیاست‌های تخصیص طراحی شده است. در برای طراحی سلسله‌مراتب این ساختار، از رویکرد بالا به پایین برای کلاس منابع آب، مفاهیم. کلاس‌های اصلی استفاده شده است و آب‌های بازافتی کلی مانند آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی به عنوان زیرکلاس‌های اصلی تعریف شده‌اند. این تقسیم‌بندی بر اساس جدول ۲، برخی از کلاس‌ها به همراه زیر کلاس‌ها را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، این آنتولوژی با هدف انعطاف‌پذیری و قابلیت گسترش طراحی شده است و امکان افزودن مفاهیم جدید، مانند سیستم‌های آب‌شیرین‌کن یا فناوری‌های پیشرفته مدیریت منابع، در آینده فراهم است. طراحی این ساختار می‌تواند به توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری در

منبع	زیربخش	توضیحات	کلاس
(۳۴)	ClimateChange	باتوجه به اینکه میزان تأمین آب در شرایط آب و هوایی متفاوت، متغیر است،	ClimateCondition
	OtherCondition	بنابراین اینکه آیا شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شده است یا خیر، می‌تواند مفید واقع شود.	
(۳۳)	Engineering	با توجه به اینکه هر ذینفع، از یک شاخص استفاده می‌کند و همچنین اهداف متفاوتی دارند، شناسایی ذینفعان مهم است.	EndUser
	Managers Other		
(۹)	Reliability	در هر مسئله و هر هدف، شاخص‌های متفاوتی برای برآورد عملکرد مسئله مهم است. دو شاخص مهم در مدیریت آب، شاخص‌های پایداری و قابلیت اطمینان	KPI
	WaterSustainabilityIndex	هستند که باتوجه به ذینفعان، به روش‌های متفاوتی محاسبه می‌شوند.	
–	GameTheory MADM		Modeling'sType

کلاس	توضیحات	زیربخش	منبع
	با در نظر گیری نوع مسئله و هدف مسئله، نوع مدلسازی نیز متفاوت است. با این موجودیت‌ها مشخص می‌شود کدام نوع مدلسازی بیشتر کار شده و کدامیک هنوز جای کار دارد.	MultiObjective	
		SingleObjective	
		Hybrid	
ObjectFunction	مدیریت و تخصیص منابع آب، اهداف متفاوتی را دنبال می‌کند، بنابراین لازم است تا مشخص شود کدام اهداف در نظر گرفته شده است.	Max	-
		Min	
		Minimax	
		Maximin	
Pollutants	آلودگی‌هایی که باعث تغییر کیفیت آب می‌شوند، انواع متفاوتی دارند، شناسایی و در نظر گیری آنها می‌تواند به نوع تصفیه و استفاده آب کمک کند.	BiologicalPolluted	-
		ChemicalPolluted	
		FisicalPollouted	
		MiendedPollouted	
SolveMethod	هر مدلسازی، ممکن است با روش‌های حل متفاوتی سازگار باشد، بنابراین در این پژوهش، روش حل‌های متفاوت در نظر گرفته شده است.	Exact	-
		GameTheory	
		Huristic	
		MetaHuristic	
		MachineLearning	
		SpecialMethod	
WaterResource	هر تقاضای آب، دارای منبع خاصی از آب است، شناسایی انواع منابع آب می‌تواند به تخصیص بهتر آن کمک نماید.	SurfaceWater	(۳۳)
		GroundWater	
		OtherResourceWater	



شکل ۳- نمایی از گراف مربوط به کلاس منابع آن و زیربخش‌های آن

موجودیت‌ها وارد نرم‌افزار و سپس با توجه به ویژگی و روابط تعریف شده، به هر نمونه اجزای مناسب آن، اختصاص داده شد. برخی از نمونه‌های وارد شده، در جدول ۳ مشخص شده است.

در ادامه برای تکمیل آنتولوژی مورد نظر، لازم است تا نمونه داده‌هایی برای هر موجودیت وارد شده و سپس نتایج استخراج شود. بدین منظور با توجه به پژوهش‌های مطالعه شده در بخش مرور ادبیات، نمونه

جدول ۳- برخی از نمونه‌ها کلاس‌ها

کلاس	زیربخش	برخی از نمونه‌ها
ObjectFunction	Max	MaximizingGroupUtilityOfWaterAllocation, MaximizingIncome, MaximulAllocation, MaximumEconomicProfit
	Min	MinimizeGroundwaterExtraction, MinimizeWaterScarcity, MinimumShortageCosts
SolveMethod	Exact	Benders_Decomposition, BilevelProgramming, KKT, BranchAndBound, DynamicProgramming
	ReinforcementLearning	DoubleDQN, DQN, DuelingDQN, QLearning, SARSA
MachineLearning	SupervisedLearning	DNN, Inform, KNN, Linear Regression, LSTN
	UnsupervisedLearning	C-means, K-means, OPTICS
Pollutants	BiologicalPllouted	FecalColiforms
	ChemicalPolluted	"Ammonium(NH ₄)", "ChemicalOxygenDemand(COD)", Radium و "TotalPhosphorus(TP)"
	FisicalPollouted	"BiochemicalOxygenDemand(BOD)", "TotalSuspendedSolids(TSS)"
	MiendedPollouted	"Chlorides(Cl ⁻)", "Fluoride(F ⁻)", "Sulphates(SO ₄ ²⁻)"
KPI	Reliability	NonShortageYear

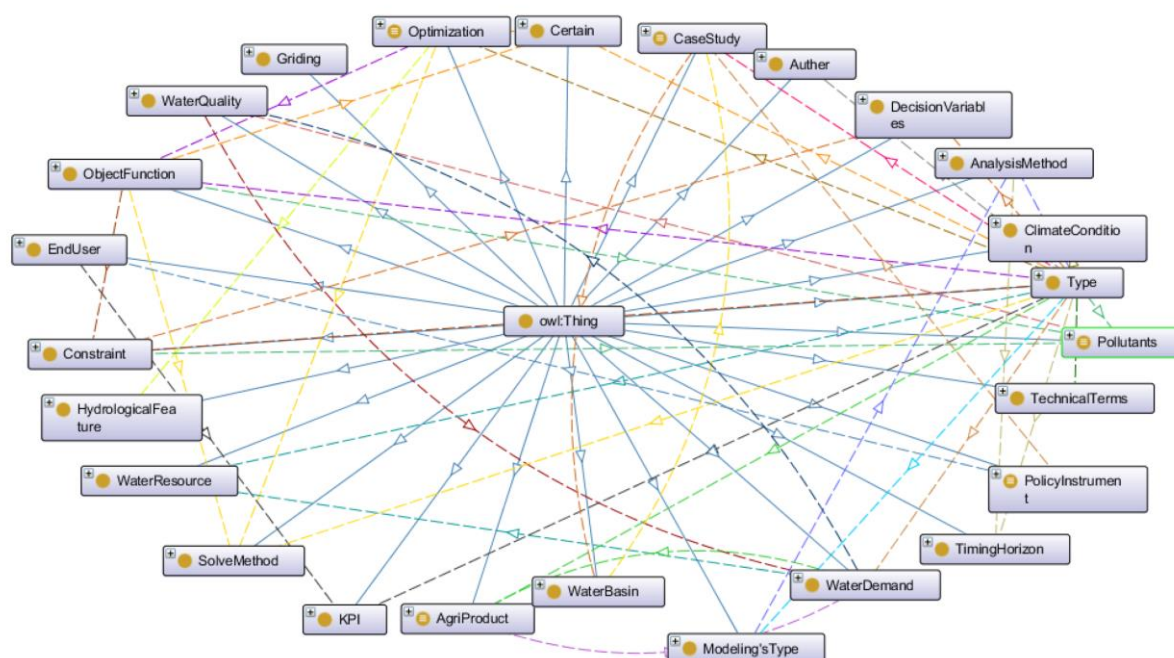
کلاس	زیربخش	برخی از نمونه‌ها
WaterSustainabilityIndex		EnergyWaterNexus, EnvironmentalFlowMaintenance, SocioEconomicEquity, SupplyDemandRatio

جزئیات طراحی آنتولوژی

نمایش موجودیت‌های اصلی در نرم‌افزار مطابق شکل ۴، است. هر کدام از این کلاس‌ها، خود دارای زیربخش‌هایی هستند که در جدول ۲، نشان داده شده است. در ادامه برای رسم آنتولوژی از ابزارهای موجود برای ایجاد اسناد OWL می‌توان استفاده نمود؛ از جمله، OilEd، OntoEdit، Protégé و Protégé. با توجه به جامعیت و کاربرپسند بودن نرم‌افزار Protégé (۳۵)، در این پژوهش از این نرم‌افزار برای رسم آنتولوژی استفاده شده است. اطلاعات نهایی مربوط به آنتولوژی رسم شده در جدول ۴ نشان داده شده است. برای نام‌گذاری کلاس‌ها و روابط، از قوانین کلی زیر

استفاده شد. این سیستم نام‌گذاری در سراسر رسم آنتولوژی رعایت می‌شود.

- استفاده از قرارداد نام‌گذاری PascalCase برای نام‌گذاری کلاس‌ها
- استفاده از قرارداد نام‌گذاری CamelCase برای نام ویژگی‌ها
- استفاده از فرم مفرد برای همه مفاهیم



شکل ۴- نمایش کلاس‌های اصلی در نرم‌افزار

تعداد	متریک
۱۱	Equivalent Classes
۹۵	SubClassOf (H)

پس از وارد نمودن تمامی کلاس‌ها، لازم است تا ویژگی هر یک تحت عنوان data property وارد نرم‌افزار شود. برای اینکار در بخش Entity در زیربخش مربوط به data property، این ویژگی‌ها وارد و سپس کلاس مربوط به هر ویژگی، اختصاص داده شده است.

بر تعریف مقادیر data property می‌توان برای تعریف کلاس‌های یکسان نیز استفاده نمود (۳۳).

جدول ۴- متریک‌های آنتولوژی رسم شده

تعداد	متریک
۷۷	Class count (C)
۳۰	Data property count (att)
۳۰	Object property (P)
۱۹۶۷	Axiom
۳۳۶	Individual
۱۴۹۵	Logical axiom count
۴۷۲	Declaration axioms count

جدول ۵، این موارد را نشان می‌دهد. برخی از این ویژگی‌ها تنها مقادیر خاصی را در برمی‌گیرد که در بخش Equivalent موجودیت مربوط به آن data property وارد می‌شود. Equivalent یکی از اصول مهم در تعریف کلاس‌ها و خواص در رسم آنتولوژی است. از این بخش علاوه

جدول ۵ - برخی از ویژگی کلاس‌ها

منبع	توضیحات	Range	Domain	Data Property
(۳۳)	هر ابزار سیاسی ممکن است در سطح ملی یا منطقه‌ای کاربرد داشته باشد.	String	PolicyInstrument	hasApplicability
(۳۳)	استفاده و اجرای هر سیاست هزینه‌ای دارد که با در نظرگیری آن می‌توان مقرون به صرفه بودن آن را استنتاج نمود.	Float	PolicyInstrument	hasCost
-	هر منطقه مورد مطالعه جمعیتی دارد که در تقاضای آن مطالعه موردی تاثیر می‌گذارد.	Float	CaseStudy	hasPopulation
(۳۴)	هر آلودگی، از یک منبع آلودگی نشأت می‌گیرد که باعث تاثیرات متفاوتی بر روی انواع آب می‌شود.	String	Pollutants	hasSource
-	هر متغیر تصمیم و تابع هدف، واحدی دارند که یکسان بودن واحدها برای اطمینان از درستی مدل‌سازی ضروری است.	String	ObjectFunction, DecisionVariables	hasUnit
(۲۶)	هر محصول به مقدار مشخصی آب برای بهره‌برداری نیاز دارد.	Float	AgriProduct	hasWaterRequirement
(۲۶)	هر محصول متعلق به یک منطقه آب و هوایی است.	String	AgriProduct	isCultivatedIn
-	اگر محصول نیاز به آب تمیز داشته باشد، این ویژگی True می‌شود.	Boolean	WaterDemand	isFreshWaterRequired
-	اگر تابع هدف و محدودیت مربوطه، واحدهای یکسانی داشته باشند، True می‌شود.	Boolean	Constraint, ObjectFunction	isCompatible
-	هر مسئله‌ای که با نظریه بازی حل شود، می‌تواند بازیکنان متفاوتی را در نظر بگیرد.	String	GameTheory	playerOfGameTheory

به یک کشور است. دو رابطه `kindOfQualityWater` و `isSutableFor` نیز، دو رابطه‌ی عس هستند، هر نوع تقاضا، به کیفیت خاصی از آب نیاز دارد و همچنین کیفیت متفاوت آب باعث تغییر در نوع تقاضایی که آن آب تامین می‌کند، می‌شود. نمونه‌ای از تعریف `Object Property` در شکل ۵ نشان داده شده است.

به یک کشور است. دو رابطه `kindOfQualityWater` و `isSutableFor` نیز، دو رابطه‌ی عس هستند، هر نوع تقاضا، به کیفیت خاصی از آب نیاز دارد و همچنین کیفیت متفاوت آب باعث تغییر در نوع تقاضایی که آن آب تامین می‌کند، می‌شود. نمونه‌ای از تعریف `Object Property` در شکل ۵ نشان داده شده است.

`isSutableFor` نیز، دو رابطه‌ی عس هستند، هر نوع تقاضا، به کیفیت خاصی از آب نیاز دارد و همچنین کیفیت متفاوت آب باعث تغییر در نوع تقاضایی که آن آب تامین می‌کند، می‌شود. نمونه‌ای از تعریف `Object Property` در شکل ۵ نشان داده شده است.

همانطور که در بخش جزئیات طراحی آنتولوژی بیان شد، کلاس‌های تعریف شده، توسط روابط به یکدیگر متصل می‌شوند. ، رابطه `hasWaterBasin` نشان‌دهنده یک مطالعه‌ی موردی (یک کشور) است که دارای حوزه آبریز است و عکس این رابطه، رابطه `hasCountry` می‌باشد که بیانگر این است که یک حوزه آبریز متعلق

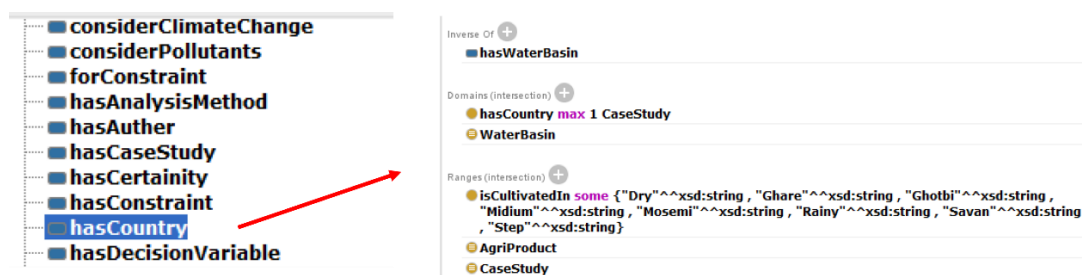
جدول ۶، برخی از این روابط و محدوده هر کدام را نشان می‌دهد. برخی از روابط می‌توانند عکس^۸ یکدیگر باشند؛ در واقع مقدار `Domain` و `Range` آنها، عکس یکدیگر است؛ به عنوان مثال در، رابطه `hasWaterBasin`، نشان‌دهنده یک مطالعه‌ی موردی (یک کشور) است که دارای حوزه آبریز است و عکس این رابطه، رابطه `hasCountry` می‌باشد که بیانگر این است که یک حوزه آبریز متعلق جدول ۶، رابطه `hasWaterBasin`، نشان‌دهنده یک مطالعه‌ی موردی (یک کشور) است که دارای حوزه آبریز است و عکس این رابطه، رابطه `hasCountry` می‌باشد که بیانگر این است که یک حوزه آبریز متعلق به یک کشور است. دو رابطه `kindOfQualityWater` و

جدول ۶- تعریف روابط کلاس‌ها

توضیحات	Range	Domain	Object Property
هر مطالعه موردی که در یک کشور است، ممکن است حوزه آبریز خاصی را مدنظر داشته باشد.	WaterBasin	CaseStudy	hasWaterBasin
هر حوزه آبریز تنها متعلق به یک کشور است.	CaseStudy	WaterBasin	hasCountry
هر مدل بهینه‌سازی و یا تابع هدف، می‌تواند عدم قطعیت را در نظر بگیرد.	Certain	Optimization, ObjectFunction	hasCertainty

^۸ Inverse Of

Object Property	Domain	Range	توضیحات
hasResource	WaterDemand, Type	WaterResource	هر تقاضای آبی، از یک منبع خاص آب استفاده می‌کند، همچنین هر مقاله ممکن است انواع عرضه آب را در نظر بگیرد.
influenced	PolicyInstrument	EndUser	هر سیاست برای کاربری خاص مناسب است.
useWaterDemand	AgriProduct	WaterDemand	هر محصول کشاورزی از نوع خاص آب و میزان متفاوتی استفاده می‌کند.
considerAgriProduct	WaterDemand	AgriProduct	هر نوع آب برای محصول کشاورزی خاصی مدنظر است.
appliedIn	PolicyInstrument	CaseStudy	هر سیاست برای یک مطالعه موردی خاص، پیاده‌سازی شده است.
considerPollutants	ObjectFunction, Constraint	Pollutants	یک تابع هدف یا محدودیت، نوع خاصی از آلودگی را در نظر گرفته است.
hasDecisionVariable	Constraint	DecisionVariables	هر محدودیت، می‌تواند دارای متغیرهای تصمیم وابسته به خود باشد.
affectsWaterQuality	Pollutants	WaterQuality	هر آلودگی، باعث ایجاد کیفیت متفاوتی در آب‌ها می‌شود.
requiresDataFrom	Optimization	HydrologicalFeature	ممکن است در مدلسازی و بهینه‌سازی‌های انجام شده، نیاز به استفاده از داده‌های هیدرولیکی نیز باشد.
kindOfQualityWater	WaterDemand	WaterQuality	هر تقاضای آب، از یک کیفیت متفاوت آب استفاده می‌کند.
isSutableFor	WaterQuality	WaterDemand	هر کیفیت آب، مناسب تقاضای مخصوص به خود است.



شکل ۵- نمونه تعریف object property و ویژگی‌های آن

در ادامه لازم است تا کلاس‌های یکسان مشخص گردد؛ به عنوان مثال، یک مدل زمانی چند هدفه در نظر گرفته می‌شود که حداقل دو تابع هدف داشته باشد. همچنین یک مدل، تک هدفه است اگر تنها

جدول ۷- تعریف Equivalentها

تعریف Equivalent	هدف	موجودیت
hasObjectFunction min 2 ObjectFunction	یک مدل زمانی چند هدفه است که حداقل دو تابع هدف داشته باشد	MultiObjective
hasObjectFunction exactly 1 ObjectFunction	یک مدل زمانی تک هدفه است که فقط یک تابع هدف داشته باشد.	SingleObjective
hasOptimizationModel min 1 (MultiObjective or SingleObjective)	یک مسئله زمانی بهینه‌سازی است که یا تک هدفه و یا چند هدفه باشد.	Optimization
hasCountry max 1 CaseStudy	هر حوزه آبریز تنها متعلق به یک کشور است.	WaterBasin
hasApplicability some {"Global"^^xsd:string, "National"^^xsd:string}	ابزارهای سیاسی می‌توانند در سطح ملی یا جهانی پیاده‌سازی شوند.	PolicyInstrument
isCultivatedIn some {"Dry"^^xsd:string, "Ghare"^^xsd:string, "Ghotbi"^^xsd:string, "Midium"^^xsd:string, "Rainy"^^xsd:string, "Step"^^xsd:string}	هر محصول کشاورزی در منطقه‌ای خاص رشد می‌کند.	AgriProduct
hasSource some {"AgriWasted"^^xsd:string, "Bakteria"^^xsd:string, "ChemicalInWater"^^xsd:string, "IndustrialWasteWater"^^xsd:string}	هر آلودگی آب، منبعی مشخصی دارد که با توجه به آن نوع آلودگی تغییر می‌کند.	Pollutants

```
"OilSpills"^^xsd:string, "PeoplePolluted"^^xsd:string,
"WaterInSolubleSubstance"^^xsd:string }
```

نیز، باید همان واحد را داشته باشند. این مورد مشابه (۲) نوشته شده است. از دیگر روابط نوشته شده در این بخش، رابطه (۳) می‌باشد که نشان می‌دهد اگر یک تقاضای آب، نیاز به FreshWater داشت، آنگاه مقدار data property مربوطه که به صورت صفر و یک تعریف شده است، True شود. اطلاعات نهایی مربوط به آنتولوژی رسم شده در نشان داده شده است.

در ادامه برای آنتولوژی مدنظر تعدادی Semantic Web Rule Language نوشته شد تا ارتباط بین individualها برقرار شود؛ به عنوان مثال، اگر یک تابع هدف، دارای عدم قطعیت از individual فازی است، باید در موجودیت Optimization نیز، مدلسازی فازی استفاده شود. این قانون به صورت (۱) نوشته شده است. همچنین اگر یک تابع هدف، واحدی داشت، محدودیت‌های مربوط به آن تابع هدف

ObjectFunction(?o) ^ hasCertainty(?o, Fuzzy) -> hasOptimizationModel(?o, fuzzyInterval) (۱)

ObjectFunction(?o) ^ hasConstraint(?c, ?o) ^ hasUnit(?o, ?unit1) ^ hasUnit(?c, ?unit2) ^ swrlb:equal(?unit1, ?unit2) -> isCompatible(?o, true) (۲)

WaterDemand(?a) ^ hasDemandResource(?a, ?w) ^ WaterQuality(FreshWater) -> isFreshWaterRequired(?a, true) (۳)

پژوهش‌های اخیر در این حوزه بی سابقه نیست (۳۱). برخی از کوئری‌های نوشته شده در این پژوهش، در ادامه بیان می‌شود.

استخراج اطلاعات از آنتولوژی

- برای استخراج محدودیت‌هایی که به توابع هدف تخصیص داده شده است، کوئری مشخص شده در شکل ۶ نوشته شد. این کوئری به طور کلی و یکجا نشان می‌دهد هر تابع هدف، دارای چه محدودیت‌هایی است.

پس از رسم آنتولوژی و وارد نمودن SWRL، لازم است تا اطلاعات مورد نیاز از آنتولوژی رسم شده، استخراج گردد. برای اینکار از کوئری نویسی در بخش SPARQL استفاده شده است. کوئری‌ها به منظور استخراج اطلاعات خاص از آنتولوژی یا انجام عملیات مختلف بر روی داده‌های ذخیره شده در آن استفاده می‌شوند^۹. استفاده از کوئری‌ها در

SPARQL query

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

PREFIX : <http://www.semanticweb.org/notebook/ontologies/2024/11/untitled-ontology-27#>
SELECT ?Constraint ?Max
WHERE {
  ?Constraint a :Constraint .
  ?Max a :Max .
  ?Max hasConstraint ?Constraint .
}
```

Constraint	
Polluted	MaximumEnviromentProfit
AmountOfAllocation	MaximizingGroupUtilityOfWaterAllocation
Satisfaction	MaximumCustomerSatisfaction
AmountOfAllocation	MaximumAllocation

شکل ۶- کوئری مربوط به تخصیص محدودیت‌ها و توابع هدف

محدودیت‌ها لازم است برای پژوهش‌های آتی استفاده شود، کوئری نشان داده شده در شکل ۷ نوشته شد.

- برای اینکه مشخص شود، از کدام محدودیت‌های لازم و مربوطه در کدام پژوهش‌ها استفاده شده و کدام

^۹ <https://protege.stanford.edu/>

SPARQL query

```
SELECT ?Type ?Constraint
WHERE {
  ?Type a Type .
  ?Constraint a Constraint .
  ?Type hasConstraint ?Constraint .
  FILTER NOT EXISTS {
    ?Max a Max .
    ?Max hasConstraint ?Constraint .
  }
  FILTER NOT EXISTS {
    ?Min a Min .
    ?Min hasConstraint ?Constraint .
  }
}
ORDER BY ?Type ?Constraint
```

Type	
01Article	AllocationAndResistancePoint
01Article	Supply_DemandBalances
02Article	DemandCapacity
02Article	FollowBalances
02Article	UpperBoundOfSupply
04Article	PriorityOfSurfaceAndGroundwaterAllocation
04Article	UpperBoundOfSupply
04Article	UpperLimitOfSurfaceWaterAllocation
05Article	DemandCapacity
05Article	UpperBoundOfSupply

شکل ۷- کوئری استخراج محدودیت‌ها از مقالات

بحث

در ادامه، با توجه به کوئری‌های طراحی شده و گراف حاصل از آنتولوژی تدوین شده، لازم است تا به سوالات مطرح شده در جدول ۱ پاسخ داده شود. این فرآیند نه تنها به شفاف‌سازی چارچوب پژوهش کمک می‌کند، بلکه درک عمیق‌تری از محدودیت‌ها و چالش‌های حوزه تخصیص و بهینه‌سازی منابع آب ارائه می‌دهد. برای پاسخ به سوالات دسته‌ی تحلیل و تخصیص منابع آب، که به عوامل مهم مورد بررسی در حوزه تخصیص منابع آب در سال‌های اخیر، و همچنین انواع توابع هدف و محدودیت‌های این مسائل مرتبط هستند، از موجودیت‌ها و روابط تعریف‌شده در آنتولوژی استفاده شد. تحلیل‌ها نشان دادند که در پژوهش‌های اخیر، تمرکز اصلی بر تخصیص منابع آب‌های سطحی جاری و کاهش آلودگی، با هدف کاهش هزینه‌های کمبود و افزایش بهره‌وری بوده است. این مسائل عموماً به صورت مدل‌های خطی مدلسازی شده‌اند. علاوه بر این تحلیل کیفی، نتایج کمی آنتولوژی توسعه‌یافته نیز محاسبه شد. سه شاخص رایج ارزیابی آنتولوژی شامل غنای روابط ($RR=0.24$)، غنای ویژگی‌ها ($AR=0.38$) و غنای وراثت ($IR=1.20$) نشان دادند که چارچوب پیشنهادی از نظر تنوع روابط و ساختار سلسله‌مراتبی نسبت به آنتولوژی‌های موجود متوازن‌تر است. این نتایج بیانگر آن است که برخلاف بسیاری از پژوهش‌های پیشین که عمدتاً مدل‌های خطی و با پوشش محدود ارائه کرده‌اند، آنتولوژی حاضر توانسته است تنوع بیشتری از منابع، اعم از آب‌های سطحی و زیرزمینی و محدودیت‌ها، شامل آلودگی و کمبود را پوشش دهد.

- مقدار $RR=0.24$ نشان می‌دهد روابط تعریف‌شده در آنتولوژی توانسته‌اند ارتباط بین منابع سطحی و زیرزمینی و عوامل آلودگی را به شکل واقعی بازنمایی کنند.
- مقدار $AR=0.38$ نشان‌دهنده آن است که ویژگی‌های داده‌ای، مثل کیفیت و شرایط آب پوشش متوسطی دارند و برای تحلیل دقیق‌تر کیفیت و آلودگی آب نیازمند توسعه بیشتر هستند.
- مقدار $IR=1.20$ یعنی ساختار سلسله‌مراتبی کلاس‌ها نسبتاً غنی است و امکان مدل‌سازی تعاملات پیچیده بین عرضه

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی آنتولوژی طراحی شده در این پژوهش، از سه معیار متداول در ادبیات شامل غنای روابط^{۱۰}، غنای ویژگی‌ها^{۱۱} و غنای وراثت^{۱۲} استفاده شد (۱۹). این معیارها به ترتیب میزان تنوع روابط، غنای ویژگی‌های داده‌ای و ساختار سلسله‌مراتبی آنتولوژی را نشان می‌دهند. برای محاسبه این شاخص‌ها از روابط (۴)–(۶) استفاده شده است. مقادیر استفاده شده برای محاسبه این روابط از جدول ۴، استخراج شده است. بر اساس نتایج، مقدار RR برابر با 0.24 است که نشان می‌دهد در کنار روابط سلسله‌مراتبی، حدود ۲۴ درصد روابط غیرسلسله‌مراتبی نیز وجود دارد و این امر بیانگر تنوع قابل قبول در روابط میان موجودیت‌ها است. مقدار AR برابر با 0.38 به دست آمد که نشان می‌دهد هر کلاس به‌طور میانگین کمتر از یک ویژگی داده‌ای دارد؛ بنابراین در توسعه‌های آتی می‌توان بر افزایش ویژگی‌های داده‌ای برای غنی‌سازی بیشتر آنتولوژی تمرکز کرد. همچنین مقدار IR برابر با 1.20 محاسبه شد که بیانگر آن است که هر کلاس به‌طور متوسط بیش از یک زیردسته دارد و در نتیجه ساختار سلسله‌مراتبی آنتولوژی از تعادل نسبی میان عمق و عرض برخوردار است.

این نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهد که آنتولوژی توسعه‌یافته علاوه بر داشتن ساختار منسجم و قابل‌فهم، از تنوع و قابلیت توسعه کافی برخوردار بوده و می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب دانش‌محور مؤثر برای مدیریت و تخصیص منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

$$RR = \frac{|P|}{|H| + |P|} \quad (4)$$

$$AR = \frac{|att|}{|C|} \quad (5)$$

$$IR = \frac{|H|}{|C|} \quad (6)$$

¹² Inheritance Richness (IR)

¹⁰ Relationship Richness (RR)

¹¹ Attribute Richness (AR)

و تقاضا در شرایط مختلف، مانند خشکسالی، آلودگی، تغییرات اقلیم فراهم شده است.

بررسی شکاف‌های موجود در پژوهش‌های پیشین پرداخته است و سعی دارد با ارائه راهکارهایی نوین، به بهبود مدل‌سازی و تحلیل مسائل آب کمک کند.

نتایج حاصل از کوثری‌های طراحی شده در آنتولوژی و گراف آنتولوژی، نشان‌دهنده این است که تعداد مقالاتی که به‌طور تخصصی از اطلاعات مربوط به منابع آب استفاده کرده‌اند، نسبتاً کم است. بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه به تخصیص منابع آب‌های سطحی و کاهش هزینه‌های ناشی از کمبود آب متمرکز بوده‌اند، در حالی که توجه کمتری به جنبه‌های پیچیده‌تری همچون آلودگی منابع آب و مدیریت منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است. در این راستا، پژوهش‌های انجام‌شده بیشتر از مدل‌های خطی و ساده برای تحلیل مسائل استفاده کرده‌اند، که قادر به در نظر گرفتن تعاملات پیچیده میان متغیرهای مختلف نیستند. علاوه بر این، بررسی‌ها نشان داد که بسیاری از مدل‌ها ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی را در تحلیل‌های خود لحاظ نکرده‌اند، در حالی که در نظر گرفتن این ویژگی‌ها می‌تواند به دقت و واقع‌گرایی بیشتر نتایج کمک کند. در عین حال، نتایج این پژوهش بر اهمیت استفاده از ابزارهای نوین در مدل‌سازی و تحلیل تخصیص منابع آب تأکید دارد. در این راستا، ارزیابی کمی آنتولوژی توسعه‌یافته نیز انجام شد. بر اساس شاخص‌های راجع ارزیابی آنتولوژی، مقادیر غنای روابط ($RR=0.24$)، غنای ویژگی‌ها ($AR=0.38$) و غنای وراثت ($IR=1.20$) به دست آمد. این مقادیر نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی از نظر تنوع روابط و ساختار سلسله‌مراتبی نسبت به پژوهش‌های پیشین متوازن‌تر است و در عین حال، امکان توسعه و غنی‌سازی بیشتر در حوزه ویژگی‌های داده‌ای وجود دارد. بنابراین نتایج کمی نیز بر کارآمدی آنتولوژی حاضر در تحلیل و بهینه‌سازی مدیریت منابع آب تأکید دارند. افزون بر این، تحلیل آماری آنتولوژی نشان داد که در مجموع ۷۷ کلاس، ۳۰ ویژگی داده‌ای و ۳۰ ویژگی شیء‌محور تعریف شده است که منجر به تولید ۱۹۶۷ اصل و ۳۳۶ فرد گردیده است. این ساختار بیانگر سطح بالای پوشش‌دهی و غنای آنتولوژی است. همچنین وجود ۱۱ کلاس معادل نشان‌دهنده توانایی سیستم در سازمان‌دهی مفاهیم هم‌معنا و یکپارچه‌سازی دانش موجود است. نتایج نشان می‌دهند که آنتولوژی توسعه‌یافته قادر است پیچیدگی‌های حوزه مدیریت آب را بهتر از مدل‌های خطی و ساده پیشین بازنمایی کند. در مقایسه با پژوهش‌های گذشته که اغلب تنها بر منابع آب سطحی تمرکز داشته‌اند، این پژوهش علاوه بر آب سطحی، منابع زیرزمینی، کیفیت آب، ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و محدودیت‌های ناشی از آلودگی را نیز در ساختار دانش خود وارد کرده است. این امر باعث می‌شود چارچوب پیشنهادی برای پاسخ به پرسش‌های چندبعدی حوزه آب، از قبیل ترکیب منابع، تحلیل محدودیت‌ها و ارزیابی شاخص‌های پایداری قابلیت استنتاج و پشتیبانی تصمیم‌گیری بیشتری داشته باشد. این نتایج به زبان ساده یعنی آنتولوژی حاضر می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا بفهمند در سناریوهای واقعی مثل کاهش کیفیت آب به دلیل آلودگی یا افزایش تقاضا در خشکسالی، چه روابطی باید در اولویت تخصیص آب لحاظ شوند.

با این حال، پژوهش‌های اندکی به عوامل مرتبط با آب‌وهوا و انواع دیگر منابع آب، نظیر آب‌های زیرزمینی، پرداخته‌اند. توابع هدف مطرح در این مقالات عمدتاً شامل کاهش کمبود آب، کاهش هزینه‌های مرتبط با کمبود، و افزایش مطلوبیت استفاده‌کنندگان است. محدودیت‌های اصلی این مسائل شامل تعادل عرضه و تقاضای آب و حد بالایی برای این پارامترها هستند. در تعداد محدودی از پژوهش‌ها، محدودیت‌هایی مربوط به آلودگی و منابع آب زیرزمینی نیز مطرح شده است. این در حالی است که این دو محدودیت از جمله مهم‌ترین موارد در حوزه مدیریت منابع آب به شمار می‌روند و توجه بیشتر به آن‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های واقع‌بینانه‌تر منجر شود. متغیر تصمیم در اغلب پژوهش‌ها نیز میزان تخصیص آب به انواع تقاضاها، نظیر مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی بوده است. همچنین در مورد استفاده از ویژگی‌های هیدرولیکی آب، نتایج نشان دادند که تنها در مقاله (۲۰) ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آب به‌صورت مستقیم در توابع هدف در نظر گرفته شده است. سایر پژوهش‌ها این ویژگی‌ها را در مدل‌های خود لحاظ نکرده‌اند. اگرچه این عدم توجه به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی لزوماً خللی در پژوهش‌ها و نتایج حاصل از آن‌ها ایجاد نمی‌کند، اما ادغام این ویژگی‌ها می‌تواند به نتایجی نزدیک‌تر به واقعیت منجر شود. در مجموع، این بررسی‌ها نشان می‌دهند که اگرچه پیشرفت‌های قابل‌توجهی در زمینه تخصیص و بهینه‌سازی منابع آب صورت گرفته است، اما همچنان شکاف‌هایی در ارتباط با در نظرگیری جنبه‌های محیطی و استفاده از مدل‌های جامع‌تر وجود دارد. توجه بیشتر به این شکاف‌ها می‌تواند به توسعه پژوهش‌های کاربردی‌تر و مؤثرتر در این حوزه منجر شود.

در مورد سوالات دسته‌ی فناوری و جایگزینی منابع، مشخص گردید که استفاده از فناوری‌های نوپهور، باعث پیش‌بینی دقیق‌تر وضعیت تقاضا و عرضه آب شده و در نتیجه تخصیص آب به هر نوع تقاضا بهتر صورت می‌گیرد. علاوه بر آن، با در نظرگیری تقاضاهای متفاوت، می‌توان از انواع عرضه غیر متعارف آب نیز استفاده نمود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدیریت منابع آب به‌عنوان یکی از چالش‌های جهانی، به‌ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی و رشد سریع جمعیت، اهمیت دوچندانی پیدا کرده است. تخصیص بهینه این منابع محدود برای مصارف مختلفی چون کشاورزی، صنعت، آشامیدن و حفظ اکوسیستم‌های آبی، نیازمند بهره‌گیری از مدل‌ها و ابزارهایی است که بتوانند به‌طور همزمان تمام ابعاد مسئله را مدنظر قرار دهند. این پیچیدگی‌ها به‌ویژه در مناطقی که منابع آب محدود و تقاضاها در حال افزایش است، به چالشی دشوارتر تبدیل می‌شود. در این راستا، آنتولوژی‌ها به‌عنوان چارچوب‌هایی برای سازمان‌دهی و یکپارچه‌سازی داده‌های مختلف، می‌توانند به‌طور مؤثر به مدیریت منابع آب کمک کنند. این پژوهش با هدف طراحی یک آنتولوژی جامع در حوزه مدیریت منابع آب و تخصیص بهینه آن، به

پژوهشگران و سیاست‌گذاران ایفا کند. این ابزارها می‌توانند داده‌های مختلف را یکپارچه‌سازی کرده و از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع جلوگیری نمایند، به‌ویژه در مواقعی که داده‌ها و مدل‌ها در سطح جهانی یا منطقه‌ای به اشتراک گذاشته می‌شوند. در نهایت، با توجه به پیچیدگی‌ها و چالش‌های روزافزون در مدیریت منابع آب، همکاری‌های بین‌المللی و هم‌ا این نتایج بیانگر آن است که برخلاف بسیاری افزایی میان کشورهای مختلف می‌تواند به توسعه راهکارهای مشترک و بهبود مدل‌ها کمک کند. این همکاری‌ها می‌توانند در ارتقای دقت پیش‌بینی‌ها، مدل‌سازی‌های بهینه و تخصیص منابع آب مؤثر باشند، به‌ویژه در مناطق با منابع محدود و مشکلات خاص آبی.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی، روش‌شناسی و ایده‌پردازی: مهدیه صادقیان.
روش‌شناسی، نظارت و نگارش نهایی: صبا صامی‌نیا.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Hellström D, Jeppsson U, Kärrman E. A framework for systems analysis of sustainable urban water management. Environmental impact assessment review. 2000;20(3):311-21.
2. Yuan L, Yang D, Wu X, He W, Kong Y, Ramsey TS, et al. Development of multidimensional water poverty in the Yangtze River Economic Belt, China. Journal of Environmental Management. 2023;325:116608.
3. Ghobadi A, Cheraghi M, Sobhanardakani S, Lorestani B, Merrikhpour H. Groundwater quality modeling using a novel hybrid data-intelligence model based on gray wolf optimization algorithm and multi-layer perceptron artificial neural network: a case study in Asadabad Plain, Hamedan, Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2022;1-15.
4. Sun J, Li Y, Suo C, Liu J. Development of an uncertain water-food-energy nexus model for pursuing sustainable agricultural and electric productions. Agricultural Water Management. 2020;241:106384.
5. Mekonnen M, Hoekstra A. Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity, Sci. Adv., 2, e1500323. 2016.
6. Parmesan C, Morecroft MD, Trisurat Y. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: GIEC; 2022.
7. Biswas AK. Integrated water resources management: a reassessment: a water

- forum contribution. *Water international*. 2004;29(2):248-56.
8. 8.Zehtabian E, Masoudi R, Yazdandoost F, Sedghi-Asl M, Loáiciga HA. Investigation of water allocation using integrated water resource management approaches in the Zayandehroud River basin, Iran. *Journal of Cleaner Production*. 2023;395:136339.
 9. 9.Naeem K, Aloui S, Zghibi A, Mazzoni A, Triki C, Elomri A. A system dynamics approach to management of water resources in Qatar. *Sustainable Production and Consumption*. 2024;46:733-53.
 10. 10.Meng C, Zhou S, Li W. An Optimization model for water management under the dual constraints of water pollution and water scarcity in the Fenhe River Basin, North China. *Sustainability*. 2021;13(19):10835.
 11. 11.Homavandi H, Norouzi Y, Rashidi S. Applying Ontologies in Knowledge Management: A Systematic Review. *Knowledge Retrieval and Semantic Systems*. 2023;10(34):225-60.
 12. 12.Ospan A, Mansurova M, Barakhnin V, Nugumanova A, Titkov R. The development of a water resource monitoring ontology as a research tool for sustainable regional development. *Data*. 2023;8(11):162.
 13. 13.Smith B. *Ontology. The furniture of the world*: Brill; 2012. p. 47-68.
 14. 14.Noy NF, McGuinness DL. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and ...; 2001.
 15. 15.Gruber TR. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*. 1993;5(2):199-220.
 16. 16.Gómez-Pérez A. *Ontological engineering: A state of the art*. Expert Update: Knowledge Based Systems and Applied Artificial Intelligence. 1999;2(3):33-43.
 17. 17.Drouin J, Gosset L, Wamejonengo J. *Water Places: From Relational Ontologies. Water Policy in New Caledonia: Participative Co-building of Water Governance in a Decolonization Process*. 2025;32:129.
 18. 18.Lukovac P, Joksimovic A, Bogdanovic Z, Despotovic-Zrakic M, Barac D. *Modeling smart apiculture ecosystem: An ontology-based approach*. 2025.
 19. 19.Keshavarzi M, Ghaffary HR. An ontology-driven framework for knowledge representation of digital extortion attacks. *Computers in Human Behavior*. 2023;139:107520.
 20. 20.Shahraki AS, Tash M, Caloiero T, Bazrafshan O. *Optimal Allocation of Water Resources Using Agro-Economic Development and Colony Optimization Algorithm*. Sustainability. 2024;16(13):5801.
 21. 21.Yuan L, Wu X, He W, Degefu DM, Kong Y, Yang Y, et al. Utilizing the strategic concession behavior in a bargaining game for optimal allocation of water in a transboundary river basin during water bankruptcy. *Environmental Impact Assessment Review*. 2023;102:107162.
 22. 22.Park J, Bayraksan G. A multistage distributionally robust optimization approach to water allocation under climate uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2023;306(2):849-71.
 23. 23.Azari P, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Goodarzi A. A fuzzy interval dynamic optimization model for surface and groundwater resources allocation under water shortage conditions, the case of West Azerbaijan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024;31(17):26217-30.
 24. 24.Suo M, Xia F, Fan Y. A fuzzy-interval dynamic optimization model for regional

- water resources allocation under uncertainty. Sustainability. 2022;14(3):1096.
25. He W, Yang L, Li M, Meng C, Li Y. Application of an Interval Two-Stage Robust (ITSR) Optimization Model for Optimization of Water Resource Distribution in the Yinma River Basin, Jilin Province, China. Water. 2020;12(10):2910.
 26. Alfaisal FM, Alam S, Alharbi RS, Kaur K, Khan MA, Athar MF, et al. Application of an optimization model for water supply chain using storage reservoir operation for efficient irrigation system. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2023;2023(1):7932653.
 27. Naghdi S, Bozorg-Haddad O, Khorsandi M, Chu X. Multi-objective optimization for allocation of surface water and groundwater resources. Science of the Total Environment. 2021;776:146026.
 28. Zhou M, Sun D, Wang X, Ma Y, Cui Y, Wu L. Multi-objective optimal allocation of water resources in Shule River Basin of Northwest China based on climate change scenarios. Agricultural Water Management. 2024;302:109015.
 29. Li Y, Han Y, Liu B, Li H, Du X, Wang Q, et al. Construction and application of a refined model for the optimal allocation of water resources—Taking Guantao County, China as an example. Ecological Indicators. 2023;146:109929.
 30. Calvete HI, Galé C, Iranzo JA, Mateo PM. A decision tool based on bilevel optimization for the allocation of water resources in a hierarchical system. International Transactions in Operational Research. 2023;30(4):1673-702.
 31. Ghobadi F, Kang D. Application of machine learning in water resources management: A systematic literature review. Water. 2023;15(4):620.
 32. Studer R, Benjamins VR, Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods. Data & knowledge engineering. 1998;25(1-2):161-97.
 33. Escobar P, Roldán-García MdM, Peral J, Candela G, Garcia-Nieto J. An ontology-based framework for publishing and exploiting linked open data: A use case on water resources management. Applied Sciences. 2020;10(3):779.
 34. Bonacin R, Nabuco OF, Junior IP. Ontology models of the impacts of agriculture and climate changes on water resources: Scenarios on interoperability and information recovery. Future Generation Computer Systems. 2016;54:423-34.
 35. Elag M, Goodall JL. An ontology for component-based models of water resource systems. Water Resources Research. 2013;49(8):5077-91.
 36. Li S, Erickson C, Zajac M, Guo X, Duan Q, Gong J. A Semi-Automated Framework for Flood Ontology Construction with an Application in Risk Communication. Water. 2025;17(19):2801.
 37. Du W, Liu C, Xia Q, Wen M, Hu Y, Chen Z, et al. OFPO & KGFP: Ontology and knowledge graph for flood process observation. Environmental Modelling & Software. 2025;185:106317.

۳۸. نوذری. هستان‌نگاری فراداده‌ای پایان‌نامه‌ها: طراحی یک الگو. مطالعات

کتابداری و سازماندهی اطلاعات. ۲۰۲۴؛ ۳۵(۱): ۷۵-۱۲۲.

۳۹. هادی‌تا، بیتا ش. PersianFarm: دیتاستی برای تطبیق آن‌تولوژی

های فارسی.