

Assessment of drinking water resources resilience in Yazd City using the Delphi method

Mohammad Sadegh Talebi¹ , Seyed Reza Hashemi² 

1. Corresponding Author, Department of Geography, Meybod University, Meybod, Iran. E-mail: talebi@meybod.ac.ir
2. Master's Student, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran. E-mail: S.rezahashemi.1380@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 7 Jun 2025
Revised 13 Jul 2025
Accepted 4 Aug 2025
Published 28 Sep 2025

Keywords:
Climate,
Resilience,
Water Resources,
Delphi Method.

ABSTRACT

Objective: The quantitative and qualitative decline of water resources represents a critical global challenge, necessitating in-depth investigation in regions susceptible to water scarcity. Yazd city, characterized by a hot and arid climate, falls into this category. Resilience, defined as the ability of a system to withstand disturbances and maintain functionality, plays a pivotal role in sustainable water resource management. This study aimed to assess the resilience of drinking water resources in Yazd city, identifying its strengths and weaknesses.

Method: Employing a practical, descriptive-analytical approach, data were collected through literature review and field studies, utilizing the Delphi method with the participation of 40 experts in water resources, environmental science, and urban management. The Delphi process facilitated consensus among experts regarding factors influencing resilience and the evaluation of the current situation. Data analysis was performed using SPSS software.

Results: The findings indicate an unfavorable assessment of drinking water resource resilience across all investigated dimensions. Specifically, the dimensions of "Current Drinking Water Status and Supply" and "Future Drinking Water Quality" exhibited the lowest scores, with means of 2.10 and 2.13, respectively, indicating significant challenges in ensuring sustainable and high-quality drinking water provision.

Conclusion: These results highlight the high vulnerability of Yazd's drinking water resources to climate change and increasing demand. Consequently, the sustainability and resilience of drinking water resources in Yazd city require urgent attention and immediate measures to prevent potential crises.

Cite this article: Talebi MS, Hashemi SR. Assessment of drinking water resources resilience in Yazd city using the Delphi method. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(3): 13-22.
<https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13149.1017>.



Introduction

Iran is classified as part of the world's arid regions due to its low average rainfall and the uneven spatial and temporal distribution of precipitation. Under such conditions, the effective management of water resources in Iran is imperative. The city of Yazd, selected as the case study in this research, faces chronic water scarcity and challenges in securing reliable water sources. Therefore, the concept of resilience in the context of water resources requires thorough investigation and evaluation.

This study seeks to answer the following question: To what extent are Yazd's drinking water resources capable of withstanding consumption pressures, considering various factors such as declining precipitation, increased evaporation and transpiration, and excessive water withdrawals?

The objective of this applied research is to assess the resilience of Yazd's drinking water resources and identify their strengths and weaknesses. The research adopts a descriptive-analytical methodology. Data collection was conducted through both documentary review and fieldwork, utilizing the Delphi method with the participation of 40 experts specializing in water, environmental science, and urban management. The Delphi process was employed to reach expert consensus on the key factors influencing water resilience and to evaluate the current status of water systems in Yazd.

Method

To collect the required data, this study employed a mixed-method approach combining documentary and field techniques. The literature review and investigation of the geographical characteristics of the study area—Yazd, Iran—were conducted through desk research. Population data, water consumption patterns, and expert insights were obtained via fieldwork, including interviews and structured questionnaires.

The statistical population of this study consisted of specialists and professionals in the field of drinking water resources in Yazd. Due to the specialized nature of the target group, a sample size of 40 participants was determined and selected using the snowball sampling method. In this technique, experts contributed to sample expansion through reciprocal introductions.

Data collection was facilitated using a questionnaire designed based on a Likert scale. The items were formulated with reference to prior studies and expert opinions. The collected data were analyzed using SPSS software and interpreted through the Delphi model. The key evaluation criteria included water quality, water quantity, resource capacity, and consumption patterns.

The Delphi method—recognized for its validation capability and expert consensus-building—was applied to synthesize professional perspectives and guide informed decision-making on key components of the issue under investigation.

To quantify qualitative data obtained via the Likert-based questionnaire, numerical values ranging from 1 to 5 were assigned to each response, corresponding respectively to "very poor," "poor," "moderate," "fairly good," and "excellent." After the first round of questionnaires, the mean and standard deviation for each item were calculated. Additionally, Kendall's coefficient of concordance (W) was employed to measure the degree of agreement among experts. Values approaching zero indicated minimal consensus, while values nearing one suggested strong agreement. Given that complete consensus (100%) is rarely attainable, a threshold of 0.7 was set as the benchmark for acceptable agreement. Accordingly, Kendall values below 0.7 indicated the need for subsequent Delphi rounds, whereas values above 0.7 were deemed indicative of sufficient expert consensus.

Results

Yazd faces critical urban water supply challenges due to rising per capita consumption, limited accessible resources, and increased migration. The city operates 13 water storage tanks, six of which are active with a nominal capacity of 113,000 m³; seasonal fluctuations reduce reservoir levels to 50–60% capacity. Drinking water is sourced from groundwater and transferred through supplies. Statistical analyses revealed strong positive correlations between population growth and water consumption (Pearson's $r = 0.951$ and 0.991). Projections indicate escalating demand amid population pressures, while expert interviews highlight limited resilience, with quality storage capacity estimated at just 48 hours in emergencies.

The Delphi method was used to assess expert consensus regarding water system indicators. The first round produced low agreement (Kendall's $W \approx 0$), prompting a second round with a 95% response rate. The resulting $W = 0.719$ reflected substantial convergence, negating the need for further rounds. While water use patterns showed moderate adequacy (average score ≈ 3), indicators related to consumption levels and resource capacity were deemed suboptimal, emphasizing the urgent need for effective improvement strategies.

Conclusion

Based on expert interviews, data analysis, and the Delphi process, the resilience status of drinking water resources across all relevant indicators was evaluated as unfavorable. The Delphi results highlight significant challenges in terms of water quantity, quality, ecological potential, and sustainability indicators.

Item analysis revealed that the lowest scores were associated with statements on the "current status of drinking water supply" (2.10) and the "future quality of drinking water" (2.13), whereas the highest scores were attributed to "drinking water conservation practices" (3.08) and "water consumption culture" (3.05).

It is noteworthy that the city's drinking water supply is heavily reliant on transferred water sources, as existing local resources are insufficient in both quantity and quality to meet citizens'

needs. Population growth and increasing migration further intensify water demand, placing additional pressure on available resources.

Given these circumstances, relevant authorities must adopt strategic approaches and develop practical solutions to ensure the sustainable management and provision of water resources—both now and in the future. Water, after all, is the foundation of life and sustainable development.

Declarations

Ethical Approval

The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

Competing interests

Conflict of Interest – None

Availability of data and materials

Data will be made available on the request.

Authors Contributions

Seyed Reza Hashemi was responsible for collecting library resources, statistical data, and conducting field surveys. The corresponding author carried out the data analysis, compilation, and interpretation of the study materials.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



ارزیابی تاب آوری منابع آب شرب در شهر یزد با استفاده از روش دلفی

محمدصادق طالبی^۱، سیدرضا هاشمی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. رایانامه: talebi@meybod.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. رایانامه: S.rezahashemi.1380@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

کلیدواژه‌ها:

اقلیم،

تاب آوری،

منابع آب،

روش دلفی.

هدف: کاهش کمی و کیفی منابع آب، به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، نیازمند بررسی دقیق در مناطق مستعد کمبود آب است. شهر یزد، با اقلیم گرم و خشک، در این دسته قرار می‌گیرد. تاب آوری، به عنوان توانایی یک سامانه در مقابله با آشفتگی‌ها و حفظ عملکرد، نقش کلیدی در مدیریت پایدار منابع آب دارد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تاب آوری منابع آب شرب شهر یزد و شناسایی نقاط ضعف و قوت آن انجام شده است.

روش: این پژوهش کاربردی و از نوع توصیفی-تحلیلی است. داده‌ها از طریق روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی، با استفاده از روش دلفی و مشارکت ۴۰ کارشناس حوزه آب، محیط زیست و مدیریت شهری جمع‌آوری شده‌اند. فرآیند دلفی به منظور دستیابی به اجماع نظر کارشناسان در خصوص عوامل موثر بر تاب آوری و ارزیابی وضعیت موجود به کار رفت. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان می‌دهند که وضعیت تاب آوری منابع آب شرب در تمامی گویه‌های مورد بررسی، نامساعد ارزیابی می‌شود. به طور خاص، گویه‌های "وضعیت آب شرب و تامین آن در حال حاضر" و "کیفیت آب شرب در آینده" با میانگین نمرات ۲/۱۰ و ۲/۱۳ به ترتیب، کم‌ترین میزان را دارا بودند که نشان‌دهنده چالش‌های جدی در تامین پایدار و با کیفیت آب شرب است.

نتیجه‌گیری: این نتایج حاکی از آسیب‌پذیری بالای منابع آب شرب شهر یزد در برابر تغییرات اقلیمی و افزایش تقاضا است. در نتیجه، وضعیت منابع آب شرب شهر یزد از لحاظ پایداری و تاب آوری نیازمند توجه ویژه و تدابیر فوری است تا از بروز بحران‌های احتمالی جلوگیری شود.

استناد: طالبی محمدصادق، هاشمی سیدرضا. ارزیابی تاب آوری منابع آب شرب در شهر یزد با استفاده از روش دلفی. *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱۴۰۴؛

(۳۱): ۱۳-۲۲. <http://doi.org/10.22091/wrcc.2025.13149.1017>



۱- مقدمه

اساسی‌ترین عناصر طبیعی، به شدت تحت تاثیر تغییرات اقلیمی هستند [۹].

در سطح بین‌المللی، کمبود آب به یکی از مهم‌ترین چالش‌ها تبدیل شده است. در سال ۲۰۰۰ میلادی، ۲۶ کشور با مشکل کمبود آب مواجه بودند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، این تعداد به ۶۶ کشور افزایش یابد که بیش از ۶۶ درصد جمعیت جهان را شامل می‌شود [۱۰].

ایران به دلیل میانگین بارندگی پایین‌تر از حد متوسط جهانی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش، در یک منطقه خشک جهان قرار دارد [۱۱]. خشک‌سالی پدیده‌ای رایج در ایران است، به طوری که طی ۴۰ سال گذشته، ۲۷ دوره خشک‌سالی در کشور به وقوع پیوسته است. با توجه به این شرایط، مدیریت صحیح منابع آبی در ایران امری ضروری است. با صرفه‌جویی تنها ۱۰ درصدی در مصرف آب بخش کشاورزی، می‌توان نیاز آبی بخش‌های صنعت و خانگی را تامین کرد [۱۲].

شهر یزد، به عنوان مورد مطالعه در این پژوهش، نیز با معضل کم‌آبی و مشکلات تامین منابع آب مواجه است. از این رو، مفهوم تاب‌آوری در حوزه منابع آب نیازمند بررسی و ارزیابی است. تاب‌آوری را می‌توان به عنوان توانایی یک زیست‌بوم برای ارائه خدمات مطلوب در برابر تغییرات محیطی و فشارهای انسانی تعریف کرد [۱۳].

در رویکردهای سنتی مدیریت زیست‌بوم، محیط به عنوان یک سامانه ثابت در نظر گرفته می‌شود و تغییرات تدریجی نادیده گرفته می‌شوند که این امر منجر به افزایش آسیب‌پذیری زیست‌بوم می‌شود. در مقابل، سامانه‌های تاب‌آور بر دستیابی به پایداری در بلندمدت تمرکز دارند [۱۴]. بنابراین، منابع آب پایدار، سامانه‌هایی هستند که ظرفیت لازم برای کاهش نوسانات و اختلالات را دارند [۱۵].

مفهوم تاب‌آوری با بازگشت به حالت اولیه مرتبط دانسته می‌شود و در سامانه‌های بوم‌شناسی، به عنوان توانایی جذب و مدیریت تغییرات و نوسانات، می‌توان تعریف کرد [۱۶]. پس از آن، در بررسی پدیده‌های بلندمدت مانند

تغییرات اقلیمی و افزایش دما از مهم‌ترین چالش‌های بین‌المللی به شمار می‌روند [۱ و ۲]. در دهه‌های اخیر، افزایش میانگین دمای کره زمین به وضوح مشهود بوده است و سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ به عنوان گرم‌ترین سال‌های ثبت‌شده، تاییدی بر این روند هستند [۳]. این افزایش دما، منجر به تغییرات گسترده‌ای در الگوهای جوی و اتمسفری، و تغییر در رژیم‌های بارش شده است.

در بسیاری از مناطق جهان، میزان بارش سالانه کاهش یافته و در عین حال، توزیع زمانی بارش نیز دچار تغییر شده است که این امر به وقوع سیلاب در برخی مناطق دامن زده است. علاوه بر دما و بارش، تغییرات اقلیمی بر فرآیندهای آب‌شناسی مانند جریان سطحی، تبخیر و ترق و به طور کلی، بیلان آب تاثیرگذار است [۴]. در سطح جهانی، تشدید خشک‌سالی به عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم شناخته می‌شود [۴].

خشک‌سالی به دوره‌ای با بارش کم‌تر از حد نرمال طی چند ماه تا چند سال اطلاق می‌شود. افزایش دمای زمین با وقوع و طولانی شدن دوره‌های خشک‌سالی رابطه مستقیم دارد و نشان‌دهنده تشدید این پدیده است [۵]. باید توجه داشت که خشکی و خشک‌سالی دو مفهوم متفاوت هستند؛ خشکی یک ویژگی اقلیمی ذاتی یک منطقه است، در حالی که خشک‌سالی به دلیل عواملی مانند کاهش بارش رخ می‌دهد. اقلیم گرم‌تر، تغییرات بیش‌تری در الگوهای مکانی بارش ایجاد کرده و پتانسیل وقوع پدیده‌های حدی مانند خشک‌سالی را افزایش می‌دهد. اثرات تغییر اقلیم در مناطق خشک که به طور ذاتی دارای رطوبت و بارش کمی هستند، بسیار قابل توجه است [۶].

کاهش منابع آب و مسائل مرتبط با آن، به همراه تغییر الگوهای مصرف آب، از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، به ویژه در مناطق خشک، به شمار می‌روند [۷]. تغییرات آب و هوایی به عنوان یک مسئله زیست‌محیطی، بر تمام جنبه‌های زندگی بشر تاثیر می‌گذارد [۸]. منابع آب، به عنوان یکی از

تأثیر زیست‌محیطی در دو بعد مقیاس سامانه و نوع منبع آب، مشخص کرده و چارچوب WR-DP را به‌عنوان راه‌کاری مورد تأیید متخصصان معرفی نموده‌اند.

فانکنمارک^۴ و همکاران در پژوهشی با محوریت درک تاب‌آوری آب در دوران آنتروپوسن (عصر نوین زمین‌شناسی که در آن انسان نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات سیاره‌ای دارد)، اهمیت حیاتی آب را برجسته کرده و بیان می‌کنند که تغییرات در الگوهای سامانه‌های طبیعی مانند منابع آب، منجر به فرسایش خاک و تخریب زیست‌بوم‌ها شده و وضعیت جهانی تاب‌آوری منابع آب را نامطلوب کرده است [۲۲].

وانگ^۴ و بلکمور^۵ رویکردهای موجود برای ارتقای تاب‌آوری این سامانه‌های منابع آب را بررسی کرده‌اند. آن‌ها جنبه‌های کلیدی تاب‌آوری از جمله ظرفیت تطبیقی، پاسخ‌دهی و بازیابی پس از اختلال را مورد تحلیل قرار داده و طرحی برای سنجش کمی انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سامانه‌های منابع آب ارائه کرده‌اند [۲۳].

نیک‌رنجبر^۶ و همکاران در پژوهشی با استفاده از روش دلفی، به غربالگری عوامل مؤثر بر تاب‌آوری منابع آب در حوضه‌های آبخیز ایران پرداختند. آن‌ها ضمن تأکید بر اهمیت مدیریت منابع آب، معین‌سازی عوامل مؤثر را گامی اساسی در این راستا می‌دانند. نتایج این پژوهش نشان دادند که پس از رتبه‌بندی زیرمعیارها براساس درصد اهمیت و درجه، آب سطحی و بارش به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری منابع آب در ایران شناسایی شده‌اند [۲۴].

این پژوهش به‌دنبال پاسخ به این سوال است که با توجه به عوامل مختلفی همچون کاهش بارش، افزایش تبخیر و تعرق، و برداشت بی‌رویه، منابع آب شرب شهر یزد تا چه میزان توانایی مقاومت در برابر حجم مصرفی را دارند؟

تغییرات اقلیمی و در مطالعات نظام‌های اجتماعی، از این مفهوم بهره برده شده است [۱۴].

به‌طور کلی، تاب‌آوری به‌عنوان ظرفیت یک سامانه برای جذب آشفتگی‌ها و نوسانات و سازماندهی مجدد خود در پاسخ به تغییرات در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

تعریف جامع‌تری بیان می‌کند که تاب‌آوری، پتانسیل یک سامانه برای بازگشت به حالت پیش از اختلال، و حتی بهبود شرایط از طریق سازگاری و یادگیری است [۱۸]. این مفهوم در ابعاد مختلفی از جمله اجتماعی، بوم‌شناسی، اقتصادی، کالبدی و سازمانی قابل بررسی است [۱۹].

رویکردهای تاب‌آوری، با توجه به سازگاری و سازش یک جامعه با آسیب‌ها، حول سه محور اصلی شکل می‌گیرند: پایداری، بازیابی و گذار [۱۵]. پایداری به توانایی بازگشت به حالت اولیه اشاره دارد. بازیابی، مدت زمان لازم برای بازگشت به حالت اولیه را مشخص می‌کند و گذار، به پتانسیل سامانه برای تطبیق و ورود به یک وضعیت جدید دلالت دارد [۱۵].

تحقیقات متعددی در راستای بررسی مفهوم تاب‌آوری منابع آب انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. مونتیرو^۱ و همکاران در پژوهشی با عنوان "تاب‌آوری و تغییر الگوی مصرف آب"، ابتدا به تاب‌آوری منابع آب پرداخته و رفتار انسانی را یکی از موانع اصلی آن می‌دانند. آن‌ها ضمن بررسی عوامل زمینه‌ای مؤثر بر مصرف آب، مدلی برای درک رفتار مصرف و تاب‌آوری ارائه می‌دهند [۲۰].

کلوسترمن^۲ و همکاران در مقاله‌ای با عنوان "تاب‌آوری منابع آب شرب"، با تأکید بر اهمیت آب شرب و زیرساخت‌های مرتبط، به بررسی چگونگی طراحی منابع آب و سامانه‌های مربوطه برای پاسخ‌گویی به نیازها می‌پردازند [۲۱]. آن‌ها اصول طراحی عمومی افزایش تاب‌آوری را بر مبنای سه ویژگی کمیت آب، کیفیت آب و

^۴- Wang
^۵- Blackmore
^۶- Nikranjbar

^۱- Monteiro
^۲- Klossterman
^۳- Falkenmark

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

یزد، شهری باستانی در قلب کویر ایران، دارای معماری غنی و منحصر به فرد ایرانی است [۲۵]. اگرچه منشاء این شهر به طور معمول به دوران حکومت ساسانیان و یزدگرد اول نسبت داده می‌شود، اما شواهد نشان‌دهنده سکونت در این منطقه به قدمت چندین هزار سال است. امروزه، یزد به خاطر آب‌انبارهای سنتی و بادگیرهای چشم‌نواز خود شناخته شده است [۲۶].

این شهر، به‌عنوان مرکز استان یزد، بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر استان محسوب می‌شود. مختصات جغرافیایی یزد در بازه عرض ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۷ دقیقه و ۵۴ ثانیه شمالی و طول ۵۴ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی قرار دارد [۲۷]. براساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر یزد ۵۲۹،۶۷۳ نفر بوده و نرخ رشد جمعیت بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برابر با ۲/۴۱ درصد گزارش شده است. مساحت شهر یزد حدود ۹۹/۵ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۱۵ متر است [۲۸]. موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

پژوهش حاضر با هدف کاربردی و با رویکردی توصیفی-تحلیلی انجام شده است. در این پژوهش، به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی به صورت ترکیبی استفاده شد. بدین ترتیب که مرور منابع علمی و پیشینه‌ی تحقیق، و هم‌چنین توصیف ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، از طریق روش کتابخانه‌ای صورت پذیرفت. جمع‌آوری داده‌های مربوط به جمعیت، الگوهای مصرف آب و نظرات کارشناسی، از طریق روش میدانی شامل مصاحبه و پرسشنامه انجام شد.

جامعه‌ی آماری پژوهش، کارشناسان و متخصصان حوزه‌ی منابع آب شرب شهر یزد بودند. با توجه به ماهیت تخصصی جامعه، حجم نمونه‌ی تحقیق ۴۰ نفر تعیین و از طریق روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شدند. در این روش، کارشناسان از طریق معرفی متقابل، به جمع‌آوری نمونه کمک کردند.

ابزار جمع‌آوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای با سوالات طراحی‌شده براساس طیف لیکرت^۷ بود. این سوالات با بهره‌گیری از مطالعات پیشین و نظرات متخصصان تدوین شده‌اند. تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با به‌کارگیری مدل دلفی انجام شد. جدول ۱، معیارها و گویه‌های مورد استفاده در این پژوهش را به تفصیل ارائه می‌دهد.

۲-۲- روش دلفی

روش دلفی به‌عنوان یکی از ابزارهای معتبرسازی و دستیابی به اجماع نظر بین خبرگان، با هدف یک پارچه‌سازی دیدگاه‌های متخصصان، بستری را برای تصمیم‌گیری آگاهانه در خصوص مولفه‌های یک مسئله فراهم می‌آورد [۲۹]. شکل ۲، چارچوب نظری روش دلفی در تحقیقات کیفی را به‌تصویر می‌کشد.

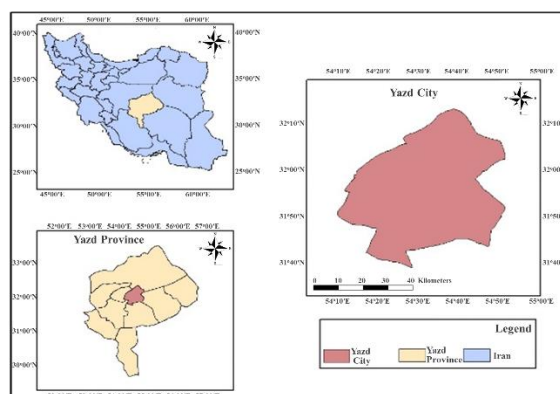


Figure 1. Location of the study area

شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

⁷- Likert Scale

پاسخ‌های "نامطلوب"، "به‌نسبت نامطلوب"، "متوسط"، "به‌نسبت مطلوب" و "مطلوب" بودند. پس از تکمیل دور اول پرسشنامه‌ها، میانگین و انحراف معیار برای هر پاسخ محاسبه شد. به‌علاوه، از شاخص کندال (W) به‌منظور سنجش میزان توافق بین خبرگان استفاده گردید. مقادیر نزدیک به صفر برای شاخص کندال، نشان‌دهنده عدم‌توافق و مقادیر نزدیک به ۱ بیان‌گر توافق کامل است. با توجه به این‌که دستیابی به توافق کامل (۱۰۰ درصد) همواره امکان‌پذیر نیست، آستانه ۰/۷ به‌عنوان معیار پذیرش توافق در نظر گرفته شد. بدین‌معنا که مقادیر شاخص کندال کم‌تر از ۰/۷، نیاز به تکرار فرآیند اخذ نظرات کارشناسان را نشان می‌دهد، در حالی که مقادیر بالاتر از ۰/۷ حاکی از وجود توافق بین خبرگان است [۳۰].

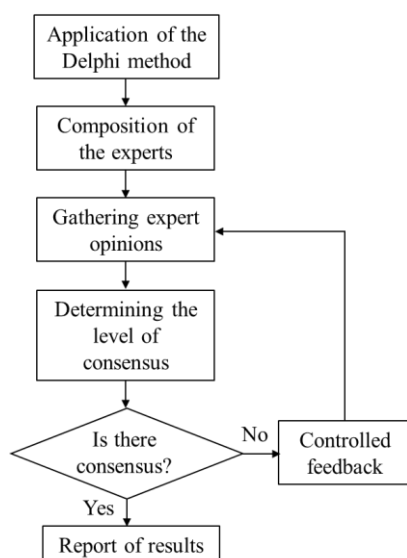


Figure 2. Theoretical framework of the Delphi method in qualitative research

شکل ۲- چارچوب نظری روش دلفی در تحقیقات کیفی

۳- بحث و بررسی نتایج

چالش‌های متعدد در زمینه تأمین آب شهری از جمله افزایش سرانه مصرف، محدودیت منابع آب قابل دسترس و رشد مهاجرت، ضرورت تحلیل وضعیت موجود در شاخص‌هایی نظیر رشد جمعیت، میزان مصرف سرانه

جدول ۱- معیارها و گویه‌های مورد استفاده

Table 1. Used criteria and indicators

Component	Criteria	Indicators	Number of indicators
Status of drinking water resources	Water resource quality	Present drinking water quality	2
		Future drinking water quality projection	
	Water resource quantity	Current status of drinking water resources and their supply	3
		Projected status of drinking water resources and their supply in the future	
		Drinking water consumption rate compared to the existing population	
	Water resource capacity	Resilience of drinking water resources	2
		Sustainability of drinking water resources	
	Patterns of water resource consumption	Status of drinking water consumption culture	3
		Status of drinking water loss	
		Status of drinking water conservation	

در این پژوهش، یک پرسشنامه محقق‌ساخته طراحی و در اختیار ۴۰ نفر از کارشناسان و صاحب‌نظران حوزه منابع آب قرار گرفت. به‌منظور کمی‌سازی داده‌های کیفی جمع‌آوری‌شده از طریق پرسشنامه طراحی‌شده براساس طیف لیکرت، به هریک از پاسخ‌ها اعدادی از ۱ تا ۵ تخصیص داده شد. بدین ترتیب که نمرات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب نمایان‌گر

صورت می‌پذیرد. جدول ۴، میزان تولید آب شرب (برحسب میلیون متر مکعب) را در یک دوره سه‌ساله در شهر یزد به تصویر می‌کشد.

جدول ۴- تولید آب شرب در شهر یزد

Year	Transfer water	Groundwater resources	Total
2021	33	31	64
2022	33	31	64
2023	38	31	69

در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های موجود، پیش‌بینی‌هایی برای سال‌های آتی انجام شد. در گام نخست، به‌منظور ارزیابی میزان همبستگی بین داده‌های ۹ ساله مصرف آب و جمعیت شهر در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴، از ضریب همبستگی پیرسون مطابق رابطه (۱) استفاده گردید.

$$r = \frac{n(\varepsilon x y) - (\varepsilon x)(\varepsilon y)}{\sqrt{[n(\varepsilon x^2) - (\varepsilon x)^2][n(\varepsilon y^2) - (\varepsilon y)^2]}} \quad (1)$$

روش پیرسون ابزاری برای سنجش همبستگی میان داده‌ها است که مقدار آن در بازه +۱ تا -۱ متغیر است. هرچه مقدار این ضریب به +۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی مثبت و قوی‌تر است [۲۴]. در این مطالعه، ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰/۹۵۱ به‌دست آمد که نزدیکی آن به ۱، حاکی از وجود همبستگی قوی بین دو متغیر مورد بررسی است. در ادامه، با استفاده از روش رگرسیون خطی ساده، داده‌های جمعیتی و مصرف آب برای سال‌های ۲۰۲۷ تا ۲۰۳۱ مطابق با رابطه (۲) محاسبه و برآورد گردید.

$$y = A + Bx \quad (2)$$

رگرسیون خطی ساده (دو متغیره) روشی آماری است که به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی رابطه بین یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل به‌کار می‌رود [۱۸]. جدول ۵، و میزان مصرف آب با توجه به مقادیر تخمینی جمعیت را در بازه زمانی ۲۰۲۷ تا ۲۰۳۱ ارائه می‌دهد.

آب شرب و حجم ذخایر آب شهری در شهر یزد را برجسته می‌سازد. جدول ۲، برآورد جمعیت شهرستان یزد را در بازه زمانی ۱۱ ساله ۲۰۱۶-۲۰۲۶ نشان می‌دهد.

جدول ۲- برآورد جمعیت شهرستان یزد

Year	Population
2016	529673
2017	543575
2018	557842
2019	572483
2020	587508
2021	602928
2022	618753
2023	634992
2024	651658
2025	668762
2026	686314

براساس داده‌های به‌دست‌آمده از سازمان آب و فاضلاب استان یزد، شهر یزد در حال حاضر از ۱۳ مخزن ذخیره آب شرب برخوردار است که از این تعداد، شش مخزن با ظرفیت اسمی در مجموع ۱۱۳ هزار متر مکعب فعال و قابل بهره‌برداری هستند. سطح آب موجود در این مخازن، به‌دلیل تغییرات فصلی در میزان تقاضا، متغیر بوده و به‌طور متوسط در فصل زمستان به حدود ۶۰ درصد و در فصل تابستان به ۵۰ درصد ظرفیت اسمی می‌رسد. جدول ۳، روند مصرف سالانه آب شرب شهر یزد را در یک دوره ۹ ساله نشان می‌دهد.

جدول ۳- مصرف سالانه آب شرب شهر یزد

Year	Annual consumption ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
2016	46
2017	47
2018	45
2019	49
2020	51
2021	53
2022	52
2023	55
2024	55

بررسی‌ها نشان می‌دهند که تامین آب شرب شهر یزد از دو منبع اصلی، یعنی آب‌های زیرزمینی و آب انتقالی،

دوم، از مجموع ۴۰ کارشناس، ۳۸ نفر همکاری نمودند که معادل ۹۵ درصد است. نتایج حاصل از دور دوم در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶- داده‌های جمع‌آوری شده در دور اول پرسشنامه

Table 6. Data collected in the first round of the questionnaire

Factors	Score 1 (Mean)	Standard deviation	Kendall (W)
Drinking Water Quality in the Present Era	2.9	1.033	0.097
Predicted Drinking Water Quality in the Future	2.23	0.947	
Current Status of Drinking Water Resources and Supply	2.25	0.981	
Predicted Status of Drinking Water Resources and Supply in the Future	2.93	0.917	
Drinking Water Consumption Rate Compared to the Existing Population	2.85	0.949	
Resilience of Drinking Water Resources	2.88	0.966	
Sustainability of Drinking Water Resources	2.83	1.083	
Status of Drinking Water Consumption Culture	3.18	0.931	
Status of Drinking Water Waste/Loss	3.02	1.097	
Status of Water Conservation Practices	3.1	1.194	

جدول ۷- داده‌های جمع‌آوری شده در دور دوم پرسشنامه

Table 7. Data collected in the second round of the questionnaire

Factors	Score 2 (Mean)	Standard Deviation	Kendall (W)
Drinking Water Quality in the Present Era	2.93	0.474	0.719
Predicted Drinking Water Quality in the Future	2.13	0.404	
Current Status of Drinking Water Resources and Supply	2.10	0.379	
Predicted Status of Drinking Water Resources and Supply in the Future	2.95	0.389	
Drinking Water Consumption Rate Compared to the Existing Population	2.90	0.441	
Resilience of Drinking Water Resources	2.88	0.463	
Sustainability of Drinking Water Resources	2.85	0.533	
Status of Drinking Water Consumption Culture	3.05	0.552	
Status of Drinking Water Waste/Loss	3.02	0.480	
Status of Water Conservation Practices	3.08	0.474	

جدول ۵- مصرف آب در بازه زمانی ۲۰۲۷ تا ۲۰۳۱

Table 5. Water consumption in the period 2027 to 2031

Year	Water consumption ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Population
2027	59	695510
2028	60	710734
2029	61	725974
2030	63	741214
2031	64	756454

به‌منظور بررسی میزان همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده مصرف آب و جمعیت، از ضریب همبستگی پیرسون دوباره استفاده شد که مقدار ۰/۹۹۱ به دست آمد. این ضریب، نشان‌دهنده وجود همبستگی قوی و مثبت بین دو متغیر است. یافته‌های حاصل از تحلیل آماری و هم‌چنین نتایج حاصل از مصاحبه با متخصصان حوزه منابع آب، حاکی از وضعیت نامطلوب منابع آب شرب شهر یزد است. با در نظر گرفتن روند افزایشی جمعیت و مهاجرت به شهر یزد، پیش‌بینی می‌شود مصرف آب و تقاضای آن نیز به‌طور چشمگیری افزایش یابد. متخصصان بر این باورند که در صورت توقف جریان آب انتقالی، علاوه بر عدم کفایت منابع آب موجود، کیفیت آب شرب نیز به‌شدت کاهش خواهد یافت. هم‌چنین، ظرفیت تاب‌آوری کیفی منابع آب شرب در استان یزد تنها ۴۸ ساعت تخمین زده می‌شود. بنابراین، اتخاذ و اجرای راه‌کارهای عملی و مؤثر برای بهبود وضعیت منابع آب شرب شهر یزد، از سوی مسئولین ذی‌صلاح، امری ضروری و حیاتی است.

در ادامه، داده‌های جمع‌آوری شده در دور اول پرسشنامه براساس روش دلفی در جدول ۶ ارائه شده است. براساس نتایج دور اول، مقدار شاخص کندال نزدیک به صفر به دست آمد که نشان‌دهنده‌ی توافق پایین در میان کارشناسان است. بنابراین، به‌منظور افزایش اعتبار یافته‌ها، پرسشنامه‌ها دوباره برای کارشناسان ارسال و از آن‌ها خواسته شد تا به سوالات پاسخ دهند. شایان ذکر است که در دور اول، میانگین پاسخ‌ها در پرسشنامه جدید درج شده بود که این موضوع می‌توانست بر نظرات کارشناسان و تمایل آن‌ها به همسویی با میانگین تأثیرگذار باشد. در دور

موجود، از نظر کمی و کیفی قادر به تامین نیاز شرب شهروندان نیستند. افزایش جمعیت و پدیده مهاجرت، نیز به تشدید تقاضا برای آب و در نتیجه، افزایش فشار بر منابع آبی منجر می‌شود.

با در نظر گرفتن این عوامل، اتخاذ رویکردهای راه بردی و تدوین راه‌کارهای عملی توسط مسئولین ذی‌ربط، برای تامین و مدیریت پایدار منابع آب در حال و آینده، امری ضروری و حیاتی است. چرا که آب، زیربنای حیات و توسعه پایدار است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید ایشان است.

مشارکت نویسندگان

سیدرضا هاشمی مسئول جمع‌آوری منابع کتابخانه‌ای، داده‌های آماری و انجام بررسی‌های میدانی بود. نویسنده مسئول، تحلیل داده‌ها، تدوین و تفسیر مواد مطالعه را انجام داد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک هزینه خاصی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

با توجه به شاخص کندال ۰/۷۱۹ که در این مرحله به‌دست آمده، می‌توان دریافت که نظرات کارشناسان همگرایی قابل توجهی یافته و به اجماع نزدیک شده است. از آنجا که این شاخص فراتر از آستانه ۰/۷ قرار دارد، نیازی به تکرار فرآیند جمع‌آوری نظر از طریق پرسشنامه نیست. در تحلیل نتایج، گویه‌های مربوط به "چگونگی مصرف آب" با میانگین نمره‌ی حدود ۳، وضعیت متوسطی را نشان می‌دهند. با این حال، بررسی سایر گویه‌ها و معیارهایی نظیر "میزان مصرف" و "ظرفیت‌های آب" حاکی از آن است که وضعیت کلی در این حوزه‌ها به‌نسبت نامطلوب ارزیابی می‌شود. این نکته نشان‌دهنده ضرورت توجه ویژه به بهبود این شاخص‌ها و یافتن راه‌کارهای عملی برای ارتقای آن‌ها است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از مصاحبه با کارشناسان، تحلیل داده‌ها و فرآیند دلفی، وضعیت تاب‌آوری منابع آب آشامیدنی در تمامی شاخص‌های مرتبط، نامطلوب ارزیابی شد. نتایج روش دلفی نشان می‌دهند که منابع آب آشامیدنی از حیث کمیت، کیفیت، پتانسیل‌های بوم‌شناسی و شاخص‌های تاب‌آوری و پایداری، با چالش‌های جدی مواجه هستند.

تحلیل گویه‌ها نشان داد که کم‌ترین امتیازها به گزاره‌های "وضعیت فعلی تامین آب آشامیدنی" (۲/۱۰) و "کیفیت آب شرب در آینده" (۲/۱۳) اختصاص یافته است، در حالی که گزاره‌های "وضعیت صرفه‌جویی در مصرف آب آشامیدنی" (۳/۰۸) و "فرهنگ مصرف آب" (۳/۰۵) بیش‌ترین امتیاز را کسب کردند.

لازم به ذکر است، تامین آب شرب این شهر به‌طور عمده به منابع آب انتقالی وابسته است؛ زیرا منابع آبی

References

- [1] Bagheri Khanghahi M, Hazar Jaribi A, Kamali MI, Zamani F. Forecasting rainfall in different climatic regions of Iran using the LARS WG7 climate model. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(1): 28-39. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11744.1008>.

- [2] Golfam P. Estimation of crop irrigation water demand using climatic data and Cropwat model. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(1): 51-61. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11311.1001> [In Persian].
- [3] IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H. O. Pörtner, E. S. Poloczanska, D. C. Roberts, M. Tignor, K. L. Bader, P. M. Midgley, S. M. Pritchard, T. Das, W. Felis, et al. (eds.)]. Cambridge University Press; 2021. 928 pp.
- [4] Benestad RE, Lussana C, Lutz J, Dobler A, Landgren O, Haugen JE, Mezghani A, Casti B, Parding KM. Global hydro-climatological indicators and changes in the global hydrological cycle and rainfall patterns. *PLOS Climate*. 2022 May; 1(5): e0000029. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000029>.
- [5] Diffenbaugh NS, Swain DL, Touma D. Anthropogenic warming has increased drought risk in California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015; 112(13): 3931–3936. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422385112>.
- [6] Dai A, Zhao T, Chen J. Climate change and drought: a precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports*. 2018; 4(3): 301–312. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0101-6>.
- [7] Rahimi D, Zarei F. The effects of climate change on volume of water resources and transfer of inter-basin water. *Irrigation Sciences and Engineering*. 2019; 42(3): 61-74. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.21862.1565> [In Persian].
- [8] Varela-Ortega C, Esteve P, Blanco I, Carmona G, Ruiz Fernández J, Rabah T. Assessment of socio-economic and climate change effects on water resources and agriculture in Southern and Eastern Mediterranean Countries. MEDPRO Technical Report No. 28/March 2013.
- [9] Pahl-Wostl C, Downing T, Kabat P, Magnuszewski P, Meigh J, Schlueter M, Sendzimir J, Werners S. Transition to adaptive water management: The NeWater project. *Water Policy*. 2005; NeWater Working Paper X. Osnabrück: Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück.
- [10] Omidvar K, Zare M, Ebrahimi R. The impact of recent droughts on groundwater resources in the Yazd-Ardakan plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2016 Dec; 10(5): 622–635 [In Persian].
- [11] Ashraf Vaghefi S, Keykhai M, Jahanbakhshi F, Sheikholeslami J, Ahmadi A, Yang H, Abbaspour KC. The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*. 2019 Nov; 9: 1464. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-38071-8>.
- [12] Sedighi Moghadam M, Hosseini, SM, Farajollah Hosseini SJ. Identifying the strategies for sustainable water utilization management of Qanats in Yazd province, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 2021 Nov; 52(4): 849-837. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.320087.669019> [In Persian].
- [13] Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2004 Aug; 35(1): 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>.
- [14] Yazdani MR, Mehrabi Sh, Ghorbani M. Resilience assessment in social-ecological Systems against available water depletion (Case Study: Harchegan Village). *Journal of Emergency Management*. 2022 Apr; 11(1): 67-80 [In Persian].
- [15] Mousavi SK, Tabesh MR, Lahijanian A, Jozi SA, Mirfakhradini SH. Establishment and selection for improve resilience of Yazd Ardakan plain water resources. *Geographical Space*. 2011; 21(73): 103-120 [In Persian].
- [16] Nariman A, Fattahi MH, Taleb Bidakhti N, Sadeghian MS. Assessing the hydraulic resilience and return time of Sadra city water distribution network against earthquake. *Iranian Water Resources Research*. 2021; 17(2): 204-221 [In Persian].
- [17] Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 2004 Aug; 35(1): 557-581.

- [18] Fatahi S, Vahedi M, Arayesh MB, Eshraghi Samani R. An assessment of farmers' social resilience level in the face of water-based crises: The case of Haris County. *Iranian Agricultural Economics and Development Research*. 2023 Mar; 54(1): 107-129. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2022.338067.669128> [In Persian].
- [19] Mirzaei E, Jalali A, Jodaki H, Arbabi Sabzevari A. Analyzing the level of urban resilience against the water crises, a case study: Tehran City. *Safe City*. 2019; 2(1): 93-104 [In Persian].
- [20] Monteiro M, Bahta YT, Jordaan H. Water resilience and change of water use behavior. 24th International Farm Management Association Congress; 2024 Jul 14-19; University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- [21] Kloosterman RA, Van der Hoek JP, Herder P. Resilient drinking water resources. *Water Resources Management*. 2020 Dec; 35: 337-351. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02736-9>.
- [22] Falkenmark M, Wang-Erlandsson L, Rockström J. Understanding of water resilience in the Anthropocene. *Journal of Hydrology X*. 2019 Jan; 2: 100009. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2018.100009>.
- [23] Wang ChH, Blackmore JM. Resilience concepts for water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2009 Nov; 135(6): 528-536. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:6\(528\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:6(528)).
- [24] Nikranjbar M, Babaei Semirmi F, Jozi SA, Danehkar A, Arjomandi R. Application of Delphi method to prioritization effective factors in water resources resilience in watersheds. *Geographic Space*. 2022; 21(76): 181-195 [In Persian].
- [25] Nabavi F, Ahm Yahaya A, Goh AT. Daylight and opening in traditional houses in Yazd, Iran. In: 28th International PLEA Conference; 2012 Nov; Lima, Peru.
- [26] Zolfagharkhani M, Ostwald MJ. The spatial structure of Yazd courtyard houses: A space syntax analysis of the topological characteristics of the courtyard. *Buildings*. 2021 Jun; 11(6): 262. <https://doi.org/10.3390/buildings11060262>.
- [27] Zareie S, Khosravi H, Nasiri A, Dastorani M. Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran. *Solid Earth*. 2016; 7(6): 1551-1564. <https://doi.org/10.5194/se-7-1551-2016>.
- [28] Rezaei MR, Alizadeh Shourki Y. Stability of water resources based on optimal loading of population and urban development (Case study: Yazd city). *Human Geography Research*. 2019 Jul; 51(2): 307-322. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.222203.1007355> [In Persian].
- [29] Fatemi M, Akaberi M, Dehghan Khavari S. Investigating the impact of economic and social factors on urban water demand in Yazd province with emphasis on immigration process. *Journal of Water and Sustainable Development*. 2020 Dec; 7(3): 37-46. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i3.86531> [In Persian].
- [30] Okoli C, Pawlowski SD. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & management*. 2004; 42(1):15-29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>.