Water and Wastewater, Vol. 36, No. 3, pp: 36-53

Conformity Assessment and Application of the Decision Rule in Acceptance or Rejecting Test Results of Drinking Water

Mahtab Bagheban[1], Noushin Sohrabnia[2*], Fahimeh Mehranfar[3], Afshin Ghorbanashrafi[4]

1. Director of Water and Wastewater Quality Monitoring and Supervising Center, Water and Wastwater Company, Tehran Province, Tehran, Iran
2. Head of Calibration and LIMS of Reference Laboratory, Water and Wastwater Company, Tehran Province, Tehran, Iran (Corresponding Author) nsohrabnia@hotmail.com
3. Quality Control Expert of Reference Laboratory, Water and Wastwater Company, Tehran Province, Tehran, Iran
4. Member of the Board of Directors of Payesh Salamat System Company, Tehran, Iran

https://doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454 **Technical Note**

Abstract

Conformity assessment of drinking water quality test results, particularly under critical water supply conditions, requires decision rules approaches that protect consumer health and prevent unjustified rejection of acceptable water sources. In this study, conformity assessment and decision rules based on measurement uncertainty were investigated for the acceptance or rejection of Nitrate, Turbidity, and pH test results in drinking water. These measurands were selected due to their importance in water quality and their direct or indirect impacts on human health. The primary objective of this research was to determine the probability of conformity of test results with regulatory requirements and to highlight the role of measurement uncertainty in reducing the risk of incorrect decisions, especially when new water sources are introduced into the distribution network. Nitrate, Turbidity, and pH analyses were conducted in accordance with the latest edition of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Measurement uncertainty was estimated separately for each measurand, and conformity assessment was performed with reference to the permissible limits specified in the Iranian National Drinking Water Standard No. 1053. Based on these inputs, the probability of conformity for each test result was calculated and used as the basis for acceptance or rejection decisions. The results demonstrated that applying a decision rule based on measurement uncertainty can significantly influence conformity assessment outcomes for drinking water quality parameters. The calculated probabilities of conformity were 95% for Nitrate, 90% for Turbidity, and 85% for pH, indicating different levels of decision confidence for the three measurands. These differences suggest that for certain measurands-particularly Nitrate, which has a more direct impact on human health-the risk of incorrect decision rules is higher, and measurement uncertainty must be considered more rigorously when declaring conformity. The findings further indicate that reliance solely on raw measurement results, without incorporating measurement uncertainty, may lead to the incorrect acceptance of unsafe water sources or the unjustified rejection of compliant ones. Overall, this study emphasizes that implementing a measurement uncertainty-based approach in the conformity assessment of drinking water test results enables informed decision rules with defined and acceptable risk levels. Adoption of this approach enhances decision accuracy, reduces risks to consumer health, prevents unnecessary rejection of acceptable water resources, and contributes to more efficient resource utilization and avoidance of unnecessary costs in water supply management systems.

Keywords:
Drinking Water, Conformity Assessment, Decision Rule, Measurement Uncertainty, Well Water.

Received: Feb. 16, 2025
Revised: June 15, 2025
Accepted: July 2, 2025

To cite this article:
Bagheban, M., Sohrabnia, N., Mehranfar, F., Ghorbanashrafi, A., 2025. Conformity assessment and application of the decision rule in acceptance or rejecting test results of drinking water. *Water and Wastewater*, 36(3), 36-53.
https://doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454.

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Use your device to scan and read the article online

1. Introduction

One of the main challenges laboratories face when reporting test results is making appropriate decisions on whether to accept or reject those results, a task that becomes especially critical under sensitive or high-risk conditions. Unreliable measurements increase the risk of incorrect decisions and may result in financial losses, health hazards, or legal consequences. Therefore, the fundamental goal of any analytical measurement is to generate consistent, reliable, and accurate data (Stajkovic et al., 2021).

To meet this goal, test results are generally expected to be produced by competent laboratories operating in compliance with ISO/IEC 17025. A key element in ensuring the quality of reported results is conformity assessment and the application of decision rules, which have been introduced as mandatory requirements in the latest revision of ISO/IEC 17025. Proper implementation of these concepts can significantly reduce errors in test reports and calibration certificates. Previous studies and international guidance documents, particularly those published by JCGM, provide a widely accepted framework for analyzing consumer and producer risks and for defining the role of measurement uncertainty in setting decision limits. Other studies have highlighted the influence of errors and uncertainties in laboratory data on water quality models, demonstrating a clear link between data quality and conformity assessment outcomes (Wu et al., 2022).

Furthermore, other studies showed that appropriate reporting of measurement uncertainty in accredited laboratories plays a crucial role in the selection of decision rules and the management of conformity-related risks (Bettencourt and Ricardo, 2024). Practical guidance on decision rules and conformity assessment has also been provided by EUROLAB and WADA, covering various application scenarios (Silva Riberio and Golze, 2017; WADA, 2019).

In this study, a practical approach is proposed to support sound decision-making for test results that lie within standard limits but may be considered borderline when measurement uncertainty is taken into account. Nitrate, turbidity, and pH measurements in drinking water were selected as case studies, and a clear framework for acceptance or rejection of results was developed based on measured values, applicable standards, and associated measurement uncertainties. This approach enables rational and transparent decision-making while considering both the importance of these parameters and the increasing constraints on water resources. One of the main contributions of this study is the presentation of an uncertainty-based decision rule approach that can be readily applied in drinking water testing. This framework may also be extended to other water quality parameters and to broader areas of laboratory measurement. The findings are expected to improve quality control practices, reduce costs related to unnecessary sample rejection, increase confidence in laboratory results, and ultimately enhance the safety and quality of water resources used by the community.

2. Materials and methods

The analysis for Nitrate, Turbidity, and pH in drinking water was carried out in accordance with the latest edition of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Measurement uncertainty was estimated for each measurand, and the conformity assessment was performed with reference to the permissible limits specified in the national drinking water standard No. 1053.

3. Results and discussion

3.1. Uncertainty of measurement

The measurement uncertainty for nitrate, turbidity, and pH measurands was estimated. The initial list of identified factors, obtained through a cause-and-effect (fishbone) diagram, was reviewed and refined to eliminate redundant items and to merge overlapping effects. This process ensured that the final uncertainty model included only distinct and relevant factors, thereby preventing duplication or double evaluation of identical uncertainty sources.

3.2. Compliance assessment and decision rules

The results of this study showed that application of the decision rule based on measurement uncertainty, can have a significant impact on the outcome of the compliance assessment of water quality parameters. The calculated compliance probability values for Nitrate, Turbidity, and pH were 95%, 90%, and 85%, respectively, which indicates the difference in the level of decision rule confidence for these three measurands. This difference suggests that for some measurands, particularly nitrate, the risk of incorrect decision rule is higher and that measurement uncertainty needs to be considered more carefully when declaring compliance. These findings emphasize that relying on measured values without considering uncertainty can lead to the acceptance

of inaccurate results or unjustified rejection of healthy samples. Therefore, using an uncertainty-based approach in the conformity assessment system can improve decision accuracy, reduce risks to consumer health, and prevent the wastage of acceptable water resources.

4. Conclusion

It is recommended that the decision rule based on measurement uncertainty be applied in the process of assessing the conformity of drinking water test results. Implementing this approach allows for a final decision to be made with a specific and acceptable level of risk. In this way, on the one hand, the health and safety of the consumer is ensured and, on the other hand, the unjustified rejection of safe and acceptable water sources is prevented. Using this method, in addition to improving accuracy in decision making, will also result in optimal use of resources and prevention of unnecessary costs.

آب و فاضلاب، دوره ۳۶، شماره ۳، صفحه: ۵۳-۳۶

ارزیابی انطباق و کاربرد قانون تصمیم‌گیری در پذیرش یا رد نتایج آزمون در آب آشامیدنی

مهتاب باغبان[۱]، نوشین سهرابنیا[۲*]، فهیمه مهرانفر[۳]، افشین قربان اشرفی[۴]

۱- مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران
۲- رئیس قسمت کالیبراسیون و LIMS آزمایشگاه مرجع، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) nsohrabnia@hotmail.com
۳- کارشناس کنترل کیفیت آزمایشگاه مرجع، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران
۴- عضو هیئت مدیره شرکت پایش سلامت سیستم، تهران، ایران

یادداشت فنی

https://doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

چکیده

ارزیابی انطباق نتایج آزمون کیفیت آب شرب، به‌ویژه در شرایط بحرانی تأمین آب، مستلزم به‌کارگیری رویکردهای مبتنی بر قواعد تصمیم‌گیری است که هم از سلامت مصرف‌کننده حفاظت کند و هم از رد ناعادلانه منابع آبی قابل‌قبول جلوگیری کند. در این پژوهش، ارزیابی انطباق و قواعد تصمیم‌گیری مبتنی بر عدم قطعیت اندازه‌گیری، برای پذیرش یا رد نتایج آزمون‌های نیترات، کدورت و pH در آب شرب بررسی شد. این اندازه‌ده‌ها، به‌دلیل اهمیت آن‌ها در کیفیت آب و تأثیرات مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت انسان انتخاب شدند. هدف اصلی این پژوهش، تعیین احتمال انطباق نتایج آزمون با الزامات مقرراتی و نمایش اهمیت عدم قطعیت اندازه‌گیری در کاهش ریسک تصمیم‌گیری نادرست، به‌ویژه در هنگام ورود منابع جدید آب به شبکه توزیع بود. اندازه‌گیری نیترات، کدورت و pH مطابق با آخرین ویرایش کتاب استاندارد متد (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) انجام شد. عدم قطعیت اندازه‌گیری به‌صورت جداگانه برای هر اندازه‌ده برآورد شد و ارزیابی انطباق با استناد به حدود مجاز مندرج در استاندارد ملی آب شرب ایران به شماره ۱۰۵۳، انجام شد. بر اساس این داده‌ها، احتمال انطباق هر نتیجه آزمون محاسبه و به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای پذیرش یا رد به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که به‌کارگیری قواعد تصمیم‌گیری مبتنی بر عدم قطعیت اندازه‌گیری می‌تواند به‌طور معناداری بر نتایج ارزیابی انطباق اندازه‌ده‌های کیفیت آب شرب تأثیر بگذارد. احتمال‌های انطباق محاسبه شده به‌ترتیب برابر با ۹۵ درصد برای نیترات، ۹۰ درصد برای کدورت و ۸۵ درصد برای pH بودند که بیانگر سطوح متفاوتی از اطمینان تصمیم‌گیری برای این سه اندازه‌ده بود. این تفاوت‌ها نشان داد که برای برخی اندازه‌ده‌ها، به‌ویژه نیترات که اثر مستقیم بر سلامت انسان دارد، ریسک تصمیم‌گیری نادرست بیشتر بوده و لازم است عدم قطعیت اندازه‌گیری با دقت بیشتری در اعلام انطباق لحاظ شود. یافته‌ها، همچنین نشان داد اتکای صرف به نتایج خام اندازه‌گیری، بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت اندازه‌گیری، می‌تواند منجر به پذیرش نادرست منابع آبی ناایمن یا رد غیرموجه منابع ایمن شود. درمجموع، این پژوهش تأکید کرد که پیاده‌سازی رویکرد مبتنی بر عدم قطعیت اندازه‌گیری در ارزیابی انطباق نتایج آزمون‌های آب شرب، امکان تدوین قواعد تصمیم‌گیری آگاهانه با سطوح ریسک مشخص و قابل‌قبول را فراهم می‌سازد. اتخاذ این رویکرد موجب افزایش دقت تصمیم‌گیری، کاهش مخاطرات برای سلامت مصرف‌کنندگان، جلوگیری از رد غیرضروری منابع آبی قابل‌قبول و در نهایت بهبود بهره‌وری و اجتناب از هزینه‌های غیرضروری در سامانه‌های مدیریت تأمین آب می‌شود.

واژه‌های کلیدی:
آب آشامیدنی، ارزیابی انطباق، قانون تصمیم‌گیری، عدم قطعیت اندازه‌گیری، آب چاه

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸
اصلاح: ۱۴۰۴/۳/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۱

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
باغبان، م.، سهرابنیا، ن.، مهرانفر، ف.، قربان اشرفی، ا.، ۱۴۰۴، ارزیابی انطباق و کاربرد قانون تصمیم‌گیری در پذیرش یا رد نتایج آزمون در آب آشامیدنی. *آب و فاضلاب*. ۳۶(۳)، ۵۳-۳۶.
https://doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

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

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

۱- مقدمه

یکی از چالش‌های مهم آزمایشگاه‌ها در گزارش‌دهی نتایج آزمون، تصمیم‌گیری در مورد‌پذیرش یا رد نتیجه آزمون است؛ موضوعی که به‌ویژه در شرایط حساس می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد. نتایج غیرقابل‌اعتماد، احتمال تصمیم‌گیری‌های نادرست را افزایش داده و ممکن است منجر به هزینه‌های مالی، مخاطرات بهداشتی و حتی تبعات حقوقی شود. ازاین‌رو، هدف اصلی هر فرایند اندازه‌گیری، تولید داده‌های تکرارپذیر، قابل‌اعتماد و دقیق است (Stajkovic et al., 2021). برای دستیابی به این هدف، معمولاً از نتایج آزمایشگاه‌های معتبر بر اساس الزامات استاندارد ISO/IEC 17025 استفاده می‌شود.

یکی از ارکان کلیدی در کیفیت گزارش‌دهی، بحث ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری است که در ویرایش جدید استاندارد ISO/IEC 17025، به‌صورت الزام‌آور مطرح شده است. توجه صحیح به این موضوع می‌تواند بخش قابل‌توجهی از خطاهای گزارش نتایج آزمون و گواهی‌های کالیبراسیون را کاهش دهد.

به‌طورکلی، ارزیابی انطباق به هر فعالیتی اطلاق می‌شود که بررسی می‌کند آیا یک محصول، فرایند، سیستم، شخص یا نهاد با الزامات و استانداردهای مشخص‌شده مطابقت دارد یا خیر (ISO/IEC Guide 98-4, 2012). در ویرایش جدید استاندارد ISO/IEC 17025، «قانون تصمیم‌گیری» به‌عنوان روشی برای لحاظ کردن عدم قطعیت اندازه‌گیری هنگام اعلام انطباق یک نتیجه، معرفی شده است. این قوانین تصمیم‌گیری، ازجمله الزامات کلیدی برای ارزیابی انطباق هستند که با در نظر گرفتن عدم قطعیت اندازه‌گیری، ریسک پذیرش یا رد نادرست نتایج را کنترل می‌کنند (Silva Ribeiro and Golze, 2017).

تصمیم‌گیری در خصوص انطباق، به ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و حدود رواداری مربوط به آن وابسته است. با توجه به نتیجه آزمون و مقدار اندازه‌گیری، ممکن است گزینه‌های مختلفی مانند: (الف) پذیرش نتیجه، (ب) رد نتیجه، یا (ج) اندازه‌گیری مجدد (UKAS LAB 48, 2024) وجود داشته باشد.

برای تصمیم‌گیری صحیح، ضروری است نتایج حاصل از اندازه‌گیری همراه با عدم قطعیت گزارش شوند. مطابق تعریف ISO/IEC Guide 99:2007، عدم قطعیت اندازه‌گیری، پارامتری غیرمنفی است که گستره معقولی از مقدار قابل انتساب به اندازه‌ده را نشان می‌دهد (ISO/IEC Guide 99, 2007). هنگام ارزیابی نتایج در مقابل حدود استاندارد (به‌خصوص هنگامی‌که مقدار اندازه‌گیری شده به مرز رواداری نزدیک باشد)، در نظر گرفتن عدم قطعیت اهمیتی مضاعف دارد. بی‌توجهی به عدم قطعیت می‌تواند منجر به دو نوع خطای تصمیم‌گیری شود: پذیرش یک مورد، درحالی‌که درواقع نامنطبق است، یا رد یک مورد که در حقیقت منطبق بوده است. استفاده صحیح از عدم قطعیت اندازه‌گیری، امکان مدیریت و کاهش ریسک‌های تولیدکننده (رد نادرست یک مورد منطبق) و ریسک‌های مصرف‌کننده (پذیرش نادرست یک مورد نامنطبق) را فراهم می‌سازد (Hernandez-Vasquez and Cruz de Oliveira, 2025).

استاندارد ISO 10576-1:2003، دستورالعمل‌هایی برای ارزیابی انطباق ارائه می‌دهد که در آن، مقدار اندازه‌گیری شده همراه با بازه عدم قطعیت با حدود مشخصات مقایسه می‌شود (ISO 10576-1, 2003). در این چارچوب، یک منطقه پذیرش و یک منطقه رد تعریف می‌شود (ILAC G8, 2019). اگر مقدار اندازه‌گیری شده در منطقه پذیرش قرار گیرد، نتیجه، منطبق تلقی می‌شود و اگر در منطقه مردود باشد، نتیجه، نامنطبق به شمار می‌رود (Eurachem Guide, 2021). یک قانون تصمیم‌گیری علمی و صحیح باید شامل روش مستندی برای تعیین مناطق پذیرش و رد باشد و ترجیحاً به درصد احتمال اطمینان اشاره کند تا سطح پذیرش ریسک برای هر دو طرف مشخص باشد.

یکی از قوانین تصمیم‌گیری پرکاربرد، قانون پذیرش ساده یا «ریسک مشترک» است که در آن، تولیدکننده و مصرف‌کننده درباره پذیرش یا رد نتایج نزدیک به حدود رواداری به توافق می‌رسند (Eurachem Guide, 2021). همچنین طبق الزامات ISO/IEC 17025، لازم است آزمایشگاه‌های آزمون و بازرسی، ریسک‌های مرتبط با هر تصمیم را شناسایی، ارزیابی و در صورت لزوم، اقدامات اصلاحی مناسب را پیاده‌سازی کنند (ISO/IEC 17025, 2017).

در مطالعات پیشین، رویکردهای مختلفی برای ارزیابی ریسک و ارزیابی انطباق نتایج آزمون ارائه شده است که به‌طور مستقیم با موضوع این پژوهش مرتبط هستند. برای نمونه، در پژوهشی توسط Puydarrieux et al.، نقش محوری عدم قطعیت در فرایند تصمیم‌گیری و ارزیابی انطباق تحلیل شد و نشان داد که نادیده

گرفتن عدم قطعیت، می‌تواند منجر به خطاهای تصمیم‌گیری و افزایش ریسک برای مصرف‌کننده یا تولیدکننده شود (Puydarrieux et al., 2019).

در پژوهش دیگری از Benedek and Bognár، با مرور نظام‌مند پژوهش‌های موجود، چارچوب جدیدی برای تعریف "ریسک تصمیم‌گیری در انطباق" ارائه شده و اهمیت انتخاب صحیح قانون تصمیم‌گیری را برجسته می‌کند (Benedek and Bognár, 2024).

علاوه بر این، Desimoni and Brunetti، در یک مقاله مروری کلاسیک نشان دادند زمانی که مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک به حد مجاز باشد، حتی عدم قطعیت کوچک نیز می‌تواند به‌طور معنی‌دار بر نتیجه انطباق و تصمیم نهایی (قبول/رد نمونه) تأثیرگذار باشد؛ این نکته برای اندازه‌دهایی مثل نیترات، کدورت و pH در آب آشامیدنی بسیار حیاتی است (Desimoni and Brunetti, 2011).

در اسناد مرجع کمیته مشترک راهنماهای مترولوژی[1] که به‌طور مشترک توسط کمیته بین‌المللی مراجع اندازه‌گیری منتشر شده است، چارچوبی دقیق برای مفهوم ریسک مصرف‌کننده و ریسک تولیدکننده ارائه کرده و نقش عدم قطعیت را در تعیین حدود تصمیم‌گیری توضیح می‌دهد (JCGM, 2011). این سند، یکی از پایه‌ای‌ترین منابع استاندارد برای تصمیم‌گیری مبتنی بر عدم قطعیت است.

همچنین Wu et al.، به اهمیت خطاها و عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی در مدل‌های کیفیت آب اشاره کرده‌اند که به‌طور مستقیم با موضوع این پژوهش و تأثیر کیفیت داده‌های آزمایشگاهی بر نتیجه انطباق، مرتبط است (Wu et al., 2022).

در پژوهش دیگری Bettencourt and Ricardo، نشان دادند که گزارش‌دهی صحیح عدم قطعیت در آزمایشگاه‌های دارای تأیید صلاحیت، چگونه با ریسک تصمیم‌گیری انطباق مرتبط بوده و در تعامل بین نتایج آزمایش و انتخاب قانون تصمیم‌گیری اثرگذار است (Bettencourt and Ricardo, 2024).

همچنین اسناد EUROLAB و WADA، مجموعه‌ای از توصیه‌ها و قوانین تصمیم‌گیری برای ارزیابی انطباق در سناریوهای مختلف ارائه می‌کنند که می‌تواند در تدوین رویکرد بهینه برای آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت مفید باشد (WADA, 2019, Silva Riberio and Gloze, 2017)

این پیشینه نشان می‌دهد که روش اتخاذ شده در این پژوهش، برای محاسبه عدم قطعیت و اعمال قانون تصمیم‌گیری، نه‌تنها با ادبیات علمی حوزه سازگار است، بلکه در راستای بهترین رویه‌های پذیرفته شده بین‌المللی است.

در این پژوهش، تمرکز بر تحلیل نتایج اندازه‌گیری‌هایی بود که یک کمیت عددی منفرد را برای یک ویژگی مشخص گزارش می‌کرد. ویژگی‌ای که حدود قابل‌قبول آن بر اساس بازه‌های رواداری معین تعریف شده است. برای این دسته از نتایج، حالت‌های ممکن تنها شامل انطباق یا عدم انطباق نتیجه با مشخصات و تصمیم متناظر با آن یعنی پذیرش یا رد است. همچنین، در این پژوهش، فرایند تصمیم‌گیری بر مبنای احتمال انطباق و احتمال وقوع دو نوع خطای تصمیم‌گیری، با در نظر گرفتن تابع چگالی احتمال[2]، بازه‌های رواداری و حدود پذیرش بررسی شد. رویه‌های مربوط به ارزیابی انطباق در اندازه‌گیری‌های کمّی پیش‌تر بررسی شدند. در اینجا مقدار اندازه‌گیری شده بر اساس اصول مطرح شده در راهنمای عدم قطعیت اندازه‌گیری[3]، گزارش شده و عدم قطعیت اندازه‌گیری نیز همراه آن بیان شد. به‌این ترتیب فرض بر آن بود که تمامی عوامل سیستماتیک مؤثر بر نتیجه، در گزارش عدم قطعیت لحاظ شده‌اند. در ادامه و با تکیه بر قانون تصمیم‌گیری منتخب، ارزیابی انطباق برای نتایج آزمایش‌های نیترات، کدورت و pH با لحاظ کردن ریسک مصرف‌کننده انجام خواهد شد. در این چارچوب، آزمایشگاه با استناد به حدود مجاز استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۵۳ و با توجه به درخواست مشتری، نتایج آزمون را تحلیل کرده و نسبت به پذیرش یا رد آن‌ها اقدام می‌کند. این نوع تصمیم‌گیری در شرایط حساس می‌تواند ابزار مناسبی برای مدیریت منابع آبی و پیشگیری از تصمیم‌های غیرضروری باشد.

در این پژوهش تلاش شد تا راهکاری برای تصمیم‌گیری صحیح در خصوص نتایج آزمونی که در محدوده استاندارد قرار دارند، اما ممکن است با توجه به عدم قطعیت اندازه‌گیری شرایط مرزی داشته باشند، ارائه شود. به همین منظور، اندازه‌گیری‌های

[1] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM)

[2] Probability Density Function (PDF)

[3] Guide for Uncertainty Measurement (GUM)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

نیترات، کدورت و pH در آب آشامیدنی به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد تا با توجه به نتایج آزمون، مقدار استاندارد و عدم قطعیت اندازه‌گیری، تحلیل مشخصی برای رد یا پذیرش نتایج ارائه شود و درنهایت، امکان تصمیم‌گیری صحیح و منطقی با لحاظ اهمیت این اندازه‌ده‌ها و کاهش منابع آبی فراهم شود. علاوه بر این، یکی از نوآوری‌های این پژوهش، ارائه رویکردی عملی برای تصمیم‌گیری بر مبنای عدم قطعیت اندازه‌گیری در آزمایش‌های مرتبط با آب آشامیدنی بود. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان الگویی برای سایر اندازه‌ده‌های کیفی آب و حتی سایر حوزه‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی استفاده شود. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش بتواند به بهبود فرایندهای کنترل کیفیت، کاهش هزینه‌های ناشی از رد غیرضروری نمونه‌ها و همچنین ارتقای اعتماد به نتایج آزمایشگاهی منجر شود و نهایتاً به افزایش سطح ایمنی و کیفیت منابع آب مورداستفاده جامعه کمک کند.

۲- روش‌ها

۲-۱- تعیین حدود مجاز خطا

بر اساس الزامات استاندارد ۱۰۵۳، حدود مجاز برای هر یک از کمیت‌های اندازه‌گیری مشخص شد و سپس عدم قطعیت محاسبه شده برای هر آزمون، نسبت به این حدود مرجع مورد ارزیابی و تطبیق قرار گرفت.

۲-۲- تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری

در این پژوهش، برآورد عدم قطعیت اندازه‌گیری با رویکرد پایین به بالا و طبق دستورالعمل EURACHEM/CITAC انجام شد. مراحل محاسبه و تجزیه‌وتحلیل عدم قطعیت مطابق رویه زیر اجرا شد (EURACHEM/CITAC, 2012).

۲-۲-۱- شناسایی تمام منابع عدم قطعیت

با استفاده از نمودارهای علت‌ومعلول (نمودار استخوان‌ماهی[1])، شناسایی تمام منابع عدم قطعیت و مؤلفه‌های آن انجام شد (ISO 9004-4, 1993). نمودار علت‌ومعلول، مرحله اول از فرایند "شناسایی منابع عدم قطعیت" است و نقش مهمی در مستندسازی و شفافیت فرایند ارزیابی انطباق دارد. نمودار علت‌ومعلول، ابزاری گرافیکی برای شناسایی، سازمان‌دهی و نمایش منابع بالقوه عدم قطعیت در فرایند اندازه‌گیری است. در ارزیابی عدم قطعیت، این روش کمک می‌کند تا تمام منابع خطا یا نوسان در اندازه‌گیری به‌صورت سیستماتیک شناسایی و در مراحل بعدی طبق استاندارد QUAM[2] کمّی‌سازی شوند. این منابع شامل مواردی از قبیل استانداردهای مرجع، مواد مرجع، روش‌ها و تجهیزات مورداستفاده، شرایط محیطی، خصوصیات و شرایط اقلام مورد آزمون/ کالیبراسیون، کاربر و نمونه‌برداری است، ولی الزاماً منحصر به این موارد نیستند.

۲-۲-۲- تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری

مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عدم قطعیت به شکل نمودار علت‌ومعلول مشخص شدند و در فرم‌های مربوطه ثبت شدند. برای تخمین عدم قطعیت با رویکرد پایین به بالا، پیش از محاسبه، باید نوع توزیع احتمالی (نرمال، مستطیلی، مثلثی و U شکل) را برای هر مؤلفه عدم قطعیت تعیین کرده و مقدار عدم قطعیت را برحسب نوع توزیع محاسبه کرد (EURACHEM/CITAC, 2012). قبل از ترکیب، تمام سهم‌های مشارکت‌کننده باید به شکل عدم قطعیت‌های استاندارد، یعنی به شکل انحراف استانداردها بیان شوند. این امر ممکن است نیازمند تبدیل سایر شاخص‌های پراکندگی به شکل معادل انحراف استاندارد باشد. انجام این فرایند، اطمینان می‌دهد که تمامی مؤلفه‌ها در سطح یکسان و قابل‌مقایسه، برای ترکیب نهایی عدم قطعیت و محاسبه عدم قطعیت مرکب، در مدل وارد می‌شوند.

۲-۲-۳- عدم قطعیت استاندارد مرکب

درحالی‌که کمیت‌های ورودی، هیچ وابستگی درونی به یکدیگر نداشته باشند، عدم قطعیت استاندارد مرکب از ترکیب عدم قطعیت‌های استاندارد منفرد به دست می‌آید که با u_C یا $u_C(y)$ نشان داده می‌شود (EURACHEM/CITAC, 2012)

$$u_c=\sqrt{u_i^2 C_i^2} \qquad (۱)$$

[1] Fishbone Diagram

[2] Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (QUAM)

که در آن

C_i معادل ضریب حساسیت کمیت ورودی و u_i عدم قطعیت استاندارد مرکب است.

اگر تابع ریاضی اولیه به‌صورت ضرب یا تقسیم باشد، عدم قطعیت را می‌توان به شکل نسبی و از معادله ۲ استخراج کرد، در این حالت، نیازی به محاسبه ضرایب حساسیت نیست (EURACHEM/CITAC, 2012)

$$\frac{u_c(y)}{|y|}=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{u(x_i)}{|x_i|}\right]^2} \quad (۲)$$

۲-۲-۴- عدم قطعیت بسط‌یافته

عدم قطعیت بسط‌یافته، بیانگر عدم قطعیت استاندارد مرکب در یک سطح اطمینان مشخص است. برای تعیین این سطح اطمینان، از ضریب پوششی استفاده می‌شود که با ضرب آن در عدم قطعیت استاندارد مرکب، مقدار عدم قطعیت بسط‌یافته حاصل می‌شود. انتخاب مقدار مختلف ضریب پوششی برای عدم قطعیت مرکب، منجر به تولید سطوح اطمینان متفاوت برای عدم قطعیت گزارش شده خواهد شد؛ به‌طوری‌که معمولاً سطح اطمینان تقریبی ۹۵ درصد را فراهم می‌کند. عدم قطعیت بسط‌یافته از معادله ۳ به دست می‌آید (EURACHEM/CITAC, 2012)

$$U=Ku_c(y) \quad (۳)$$

که در آن

$u_c(y)$ عدم قطعیت مرکب و K ضریب پوششی است.

۲-۳- ارزیابی انطباق

انطباق یا عدم انطباق با الزامات مشخص شده و با توجه به پاسخ به این سؤال که ریسک مربوط به مصرف‌کننده است یا تأمین‌کننده، باید تعیین شوند. در این پژوهش، رویه‌ای که برای ارزیابی انطباق انجام شد، بر مبنای مراحل زیر است:

- مشخص کردن اندازه‌ای که باید مورد آزمون قرار گیرد.
- نتایج آزمون
- عدم قطعیت اندازه‌گیری بسط‌یافته در یک سطح اطمینان و با ضریب پوششی مشخص
- مشخص کردن حدود رواداری‌ها
- تعیین ناحیه پذیرش، ناحیه رد شدن و دامنه احتیاطی

۲-۴- نقش قانون تصمیم‌گیری در ارزیابی انطباق

در قانون تصمیم‌گیری، تعیین حدود بالایی و پایینی رواداری ضروری است تا بتوان ریسک مصرف‌کننده و ریسک تأمین‌کننده را بر اساس نقش عدم قطعیت اندازه‌گیری مدیریت کرد. در رویکرد مرتبط با ریسک مصرف‌کننده، عدم قطعیت از مقدار اندازه‌گیری شده کسر می‌شود و حدود رواداری بر این اساس تنظیم می‌شود؛ یعنی نتیجه سخت‌گیرانه‌تر تفسیر می‌شود تا احتمال پذیرش یک نتیجه نامنطبق کاهش یابد. در مقابل، در رویکرد مرتبط با ریسک تأمین‌کننده، عدم قطعیت به مقدار اندازه‌گیری شده اضافه می‌شود تا از رد شدن غیرضروری نتایج منطبق جلوگیری شود. به‌این‌ترتیب، با اعمال این دو رویکرد و تعریف حدود رواداری مناسب، می‌توان تعادلی منطقی میان محافظت از مصرف‌کننده و جلوگیری از زیان غیرواقعی تأمین‌کننده برقرار کرد.

در این پژوهش، با توجه به حدود بالایی و پایینی رواداری، قانون تصمیم‌گیری «بیانیه دوتایی با استفاده از نوار محافظ» استفاده شد. این قانون مطابق با الزامات بیان شده در سند ILAC G8 تعریف و اجرا شده است (ILAC G8, 2019). در این صورت بیانیه انطباق به‌صورت زیر بیان می‌شود:

قبول: پذیرش مبتنی بر نوار محافظ، نتایج اندازه‌گیری کمتر از حد پذیرش هستند.

رد: رد نتایج مبتنی بر نوار محافظ، اگر نتایج بالاتر از حد پذیرش هستند.

۲-۵- تابع چگالی احتمال نرمال

اطلاعات مربوط به ویژگی اندازه‌گیری شده (اندازه‌ده) با استفاده از یک تابع چگالی احتمال مدل‌سازی می‌شود. حدود رواداری با در نظر گرفتن تابع چگالی احتمال ($g(\eta|y,u)$) استفاده می‌شوند و این توزیع احتمال در چارچوب قانون بیز به کار گرفته می‌شود (Loga et al., 2022). در رویکرد بیزی، از تئوری بیز برای به‌روزرسانی توزیع کمیت موردنظر استفاده می‌شود (Sharifi Moghadam and Alimohammadi, 2024).

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

طبق این رویکرد، در ارزیابی انطباق، یک کمیت قابل‌اندازه‌گیری (Y) مربوط به یک قلم موردبررسی به‌صورت یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و مقدار ممکن آن با η نشان داده می‌شوند. پیش از انجام اندازه‌گیری (Y)، شناخت نسبت به این مقدار، از طریق اطلاعات مربوط به تابع چگالی احتمال پیشین بیان می‌شود؛ تابعی که شکل آن مستقل از فرایند اندازه‌گیری است. بر این اساس، تصمیم‌گیری درباره انطباق یا عدم انطباق بر مبنای توزیع احتمال مقدار واقعی آن انجام می‌شود (ISO/IEC Guide 98-4, 2012). این رویکرد، امکان لحاظ کردن عدم قطعیت اندازه‌گیری و کنترل ریسک تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. مفاهیم و روابط ریاضی حاکم بر ارزیابی انطباق و محاسبه احتمال انطباق، مطابق با مرجع مورداستفاده ISO/IEC Guide 98، به‌صورت زیر ارائه می‌شوند.

اگر حدود رواداری مرتبط با نتیجه اندازه‌گیری (y)، با $C = [T_L, T_U]$ نشان داده شود، احتمال انطباق برای ناحیه رواداری دوطرفه که با P_c بیان می‌شود؛ به‌صورت معادله ۴ است (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c = \int_{T_L}^{T_U} g\left(\eta; y, u\right) d\eta \qquad (۴)$$

که در آن

C نمایانگر بازه‌ای از مقدار y، p_c احتمال انطباق، η مقدار واقعی که یک اندازه‌ده دارد، y مقدار اندازه‌گیری شده (تخمینی از Y)، u عدم قطعیت مرکب و g تابع چگالی احتمال است.

تصمیم‌گیری در خصوص انطباق نمونه بر اساس مقایسه احتمال انطباق با یک سطح پذیرش از پیش تعیین شده، انجام می‌شود. ازآنجاکه ممکن است احتمال خطا در تصمیم‌گیری وجود داشته باشد، درصورتی‌که، نمونه به‌عنوان منطبق اعلام شود، احتمال پذیرش نادرست (ریسک مصرف‌کننده) به‌صورت معادله ۵ است

$$\bar{p_c} = 1 - p_c \qquad (۵)$$

۲-۵-۱- احتمال انطباق با فرض تابع چگالی احتمال نرمال

اگر مقدار واقعی کمیت Y با تابع چگالی احتمال مدل‌سازی شود و اگر بهترین تخمین از مقدار اندازه‌گیری شده با y و عدم قطعیت استاندارد با u نشان داده شود، در این صورت، تابع چگالی احتمال مقدار واقعی کمیت به شکل معادله ۶ است (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$g\left((\eta)\middle|\eta_m\right) = \frac{1}{u\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta - y}{u}\right)^2\right] = \varphi(\eta, y, u^2) \qquad (۶)$$

اگر حدود رواداری با a و b نمایش داده شوند، احتمال اینکه مقدار اندازه‌ده Y در این محدوده قرار بگیرد، عبارت است از (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p = P_r\left(a \le Y \le (b|\eta_m)\right) = \int_a^b g(\eta|\eta_m)\, d\eta = G(b) - G(a) \qquad (۷)$$

برای تابع نرمال، این انتگرال با تابع توزیع تجمعی استاندارد نرمال قابل‌محاسبه است که در آن ϕ، تابع توزیع تجمعی استاندارد نرمال است (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c\left(a \le y \le (b|\eta_m)\right) = \phi\left(\frac{b-y}{u}\right) - \phi\left(\frac{a-y}{u}\right) \qquad (۸)$$

۲-۵-۲- احتمال انطباق با تابع چگالی احتمال نرمال برای حدود رواداری یک‌طرفه پایین

اگر حدود رواداری به‌صورت یک‌طرفه و از سمت حد پایین‌تر تعریف شده باشد، مقدار موردقبول ویژگی، مقداری است که در محدوده‌ای بالاتر از T_L قرار می‌گیرند. به‌عبارت‌دیگر، صرفاً مقدار اندازه‌گیری شده بالاتر از این حد، معیار انطباق را برآورده می‌کنند. با فرض $a = T_L$ و $b \to \infty$ و با در نظر گرفتن اینکه، $\emptyset(\infty) = 1$، احتمال انطباق عبارت است از (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c = 1 - \emptyset\left(\frac{T_L - y}{u}\right) \qquad (۹)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_L حد پایین انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده، u عدم قطعیت مرکب و ∅ تابع محاسبه نرمال احتمال گاوسی است.

احتمال انطباق برای یک نمونه را می‌توان با استفاده از تابع NORM.DIST در اکسل محاسبه کرد، در جایی که احتمال انطباق برای یک حد پایین برابر است با (UKAS LAB 48, 2024)

$$p_c=1\text{-NORM.DIST}(T_l,y,u,TRUE) \quad (۱۰)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_L حد پایین انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده و u عدم قطعیت مرکب است.

۲-۵-۳- احتمال انطباق با تابع چگالی احتمال نرمال برای حدود رواداری یک‌طرفه بالا

چنانچه یک اندازه‌ده فقط دارای حد رواداری یک‌طرفه از بالا (T_U) باشد، مقدار منطبق به مقداری گفته می‌شود که از مقدار حد T_U تجاوز نکنند و در بازه‌ای پایین‌تر از T_U قرار می‌گیرند. در این صورت، با فرض $b=T_U$ و $a \to -\infty$ و با در نظر گرفتن اینکه، $\emptyset(-\infty) = 0$، احتمال انطباق عبارت است از (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c=\emptyset\left(\frac{T_U-y}{u}\right) \quad (۱۱)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_U حد بالای انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده، u عدم قطعیت مرکب و $\emptyset$ تابع محاسبه نرمال احتمال گاوسی است.

احتمال انطباق برای یک نمونه را می‌توان با استفاده از تابع NORM.DIST در اکسل محاسبه کرد، در جایی که احتمال انطباق برای یک حد بالا برابر است با (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c=\text{NORM.DIST}(T_u,y,u,TRUE) \quad (۱۲)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_u حد بالای انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده و u عدم قطعیت مرکب است.

۲-۵-۴- احتمال انطباق با تابع چگالی احتمال نرمال برای حدود رواداری دوطرفه

درصورتی‌که یک اندازه‌ده دارای حدود رواداری دوطرفه با مقدار T_L و T_U باشد، $T=T_U-T_L$ طول رواداری را نشان می‌دهد. در این حالت، مقدار منطبق به مقداری اطلاق می‌شود که مقدار آن‌ها بیشتر از T_L و کمتر از T_U بوده و بنابراین در محدوده مجاز قرار می‌گیرند.

با فرض اینکه $b=T_U$ و $a=T_L$ احتمال انطباق به‌صورت معادله ۱۳ بیان می‌شود (ISO/IEC Guide 98-4, 2012)

$$p_c=\emptyset\left(\frac{T_U-y}{u}\right)-\emptyset\left(\frac{T_L-y}{u}\right) \quad (۱۳)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_u حد بالای انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده، u عدم قطعیت مرکب، T_L حد پایین انطباق مطابق با الزامات و $\emptyset$ تابع محاسبه نرمال احتمال گاوسی است.

احتمال انطباق برای یک نمونه را می‌توان با استفاده از تابع NORM.DIST در اکسل محاسبه کرد، در جایی که احتمال انطباق برای یک محدوده دوطرفه برابر است با (UKAS LAB 48, 2024)

$$p_c=\text{NORM.DIST}(T_u,y,u,TRUE)-\text{NORM.DIST}(T_l,y,u,TRUE) \quad (۱۴)$$

که در آن

p_c احتمال انطباق، T_u حد بالای انطباق مطابق با الزامات، y مقدار اندازه‌گیری شده، u عدم قطعیت مرکب و T_l حد پایین انطباق مطابق با الزامات است.

قانون تصمیم‌گیری، از منظر احتمال پذیرش غلط [1] و یا احتمال رد غلط [2] هم می‌تواند بیان شود. در برخی شرایط، احتمال پذیرش نادرست یک نمونه به‌عنوان «ریسک مصرف‌کننده» و احتمال رد نادرست آن به‌عنوان «ریسک تولیدکننده» تعریف می‌شود. با پذیرش یک کالا به اشتباه، پیامدهای زیان‌بار و هزینه‌ها متوجه مصرف‌کننده خواهد بود، درحالی‌که رد نادرست کالا منجر به تحمیل

[1] Probability of False Acceptance (PFA)
[2] Probability of False Rejection (PFR)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

هزینه به تولیدکننده می‌شود. اگر تصمیمی اتخاذ شود که نمونه را منطبق اعلام کند، احتمال پذیرش غلط برابر است با

$$PFA=1-P_c \quad (۱۵)$$

که در آن

PFA احتمال پذیرش غلط و P_c احتمال انطباق است. اگر تصمیمی اتخاذ شود که نمونه را نامنطبق اعلام کند، احتمال رد غلط برابر است با

$$PFR=P_c \quad (۱۶)$$

که در آن

PFR احتمال رد غلط و P_c احتمال انطباق است.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- اقلام آزمون موردنظر

در این پژوهش، تفسیر نتایج و بیانیه انطباق برای اندازه‌های نیترات، کدورت و pH از دیدگاه نهادی که نقش مصرف‌کننده ایفا می‌کند، بررسی شد. ارزیابی انطباق هر یک از اندازه‌ها بر اساس درصد پذیرش یا رد آن‌ها انجام شد. تحلیل‌ها با توجه به حدود مجاز تعیین شده در استاندارد ملی ۱۰۵۳ محاسبه و تجزیه‌وتحلیل شد.

۳-۲- عدم قطعیت اندازه‌گیری برای اندازه‌های موردنظر

عدم قطعیت اندازه‌گیری برای اندازه‌های نیترات، کدورت و pH تخمین زده شد. فهرست اولیه عوامل شناسایی شده از طریق نمودار علت‌ومعلول، مورد بازبینی و پالایش قرار گرفت تا موارد تکراری حذف و تأثیرات هم‌پوشان ادغام شوند. این اقدام موجب شد که مدل نهایی عدم قطعیت تنها شامل عوامل متمایز و واقعی باشد و از تکرار یا ارزیابی مضاعف منابع یکسان جلوگیری شود.

۳-۲-۱- عدم قطعیت اندازه‌گیری برای نیترات

مؤلفه‌های مؤثر بر عدم قطعیت نیترات از طریق نمودار علت‌ومعلول شناسایی شده و ساختار کلی این عوامل به‌صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. با بررسی این مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عدم قطعیت نیترات و درنتیجه، محاسبه عدم قطعیت با رویکرد پایین به بالا، مقدار عدم قطعیت مرکب نسبی، ۵ درصد به دست آمد.

۳-۲-۲- عدم قطعیت اندازه‌گیری برای اندازه‌ده کدورت

مؤلفه‌های تأثیرگذار در عدم قطعیت کدورت بر اساس نمودار علت‌ومعلول، در شکل ۲ نمایش داده شده است. با بررسی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عدم قطعیت کدورت و درنتیجه، محاسبه عدم قطعیت با رویکرد پایین به بالا، مقدار عدم قطعیت مرکب نسبی، ۳ درصد به دست آمد.

۳-۲-۳- عدم قطعیت اندازه‌گیری برای pH

مؤلفه‌های تأثیرگذار در عدم قطعیت pH بر اساس نمودار علت‌ومعلول، در شکل ۳ نمایش داده شده است. با بررسی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عدم قطعیت pH و درنتیجه، محاسبه عدم قطعیت با رویکرد پایین به بالا، مقدار عدم قطعیت مرکب نسبی، ۱/۹ درصد به دست آمد.

۳-۳- ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری

برای بررسی ارزیابی انطباق اندازه‌های موردنظر، از نتایج اندازه‌گیری‌های سال ۱۴۰۳ در آب آشامیدنی چاه‌های سطح شهر تهران استفاده شد. منابع انتخاب شده به گونه‌ای بودند که مقدار اندازه‌گیری شده در برخی موارد کمتر و در برخی موارد بالاتر از حد مجاز تعیین شده در استاندارد آب آشامیدنی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) قرار داشت. نتایج اندازه‌گیری برای هر یک از اندازه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۳-۱- توافقات و مشخصات گزارش شده

بر اساس نظریه تصمیم‌گیری در اندازه‌گیری‌های تحلیلی، مناسب بودن یک نتیجه آزمون تنها به نزدیکی مقدار اندازه‌گیری شده به حد مجاز وابسته نیست، بلکه باید با توجه به هدف اندازه‌گیری، ریسک تصمیم‌گیری و عدم قطعیت همراه آن ارزیابی شود. رویکرد تناسب برای هدف»[1] مستلزم در نظر گرفتن پیامدهای «تصمیم‌گیری نادرست و توزیع احتمال نتایج اندازه‌گیری است و تأکید می‌کند که پذیرش یا رد نتایج باید بر پایه احتمال انطباق و سطح ریسک

[1] Fitness for Purpose

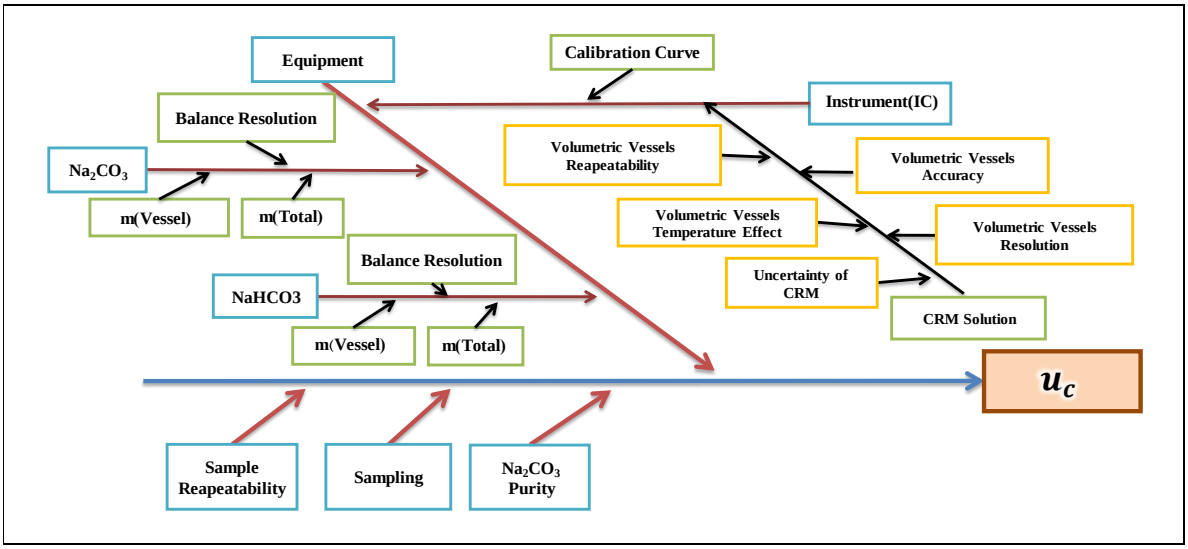

Fig. 1. Factors affecting Nitrate uncertainty illustrated by fishbone diagram

شکل ۱- نمایش عوامل مؤثر بر عدم قطعیت نیترات در قالب نمودار علت‌ومعلول

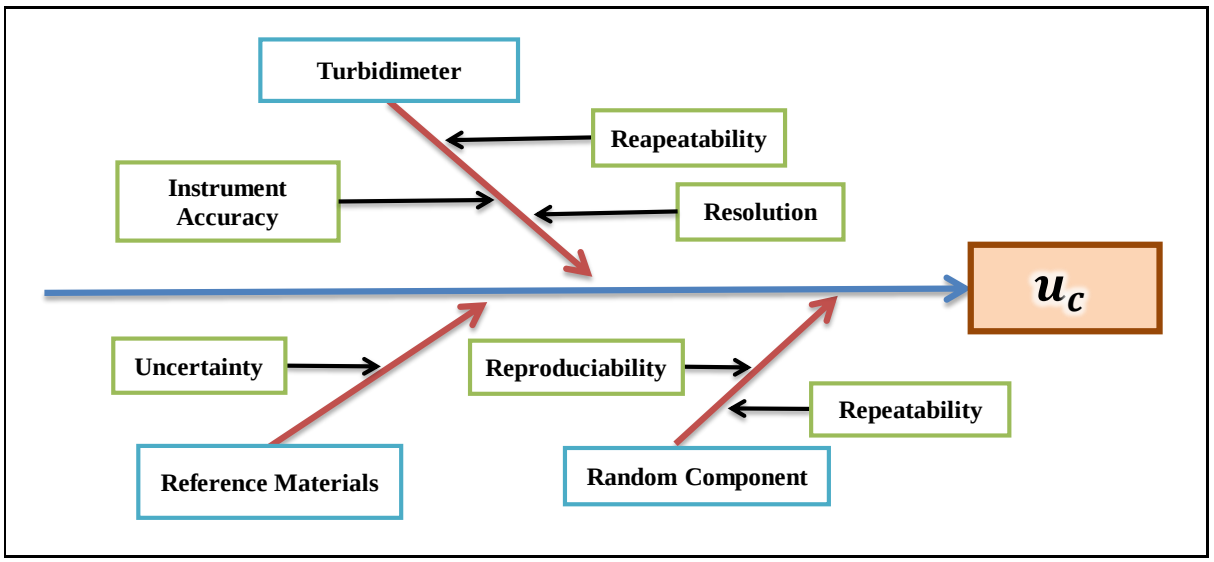

Fig. 2. Factors affecting Turbidity uncertainty illustrated by fishbone diagram

شکل ۲- نمایش عوامل مؤثر بر عدم قطعیت کدورت در قالب نمودار علت‌ومعلول

قابل‌قبول انجام شود (Fearn et al., 2002). همچنین، دستیابی به ارزیابی انطباق بهینه تنها در صورتی امکان‌پذیر است که عدم قطعیت اندازه‌گیری به‌صورت صریح در قوانین تصمیم‌گیری لحاظ شود، به‌گونه‌ای که ریسک کلی تصمیم به حداقل برسد (Forbes, 2006).

پژوهشی دیگر بیان می‌کند که عدم قطعیت اندازه‌گیری مبنای کمّی تعیین حدود تصمیم‌گیری و تخصیص سطوح قابل‌قبول ریسک مصرف‌کننده و تولیدکننده است (Pendrill, 2014). مجموع این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نادیده گرفتن عدم قطعیت اندازه‌گیری، به‌ویژه در شرایطی که نتایج در نزدیکی حدود استاندارد قرار دارند، می‌تواند منجر به تصمیم‌های جانب‌دارانه و از نظر علمی غیرقابل‌دفاع شود. در همین راستا، همان‌طور که در ادامه نشان داده

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

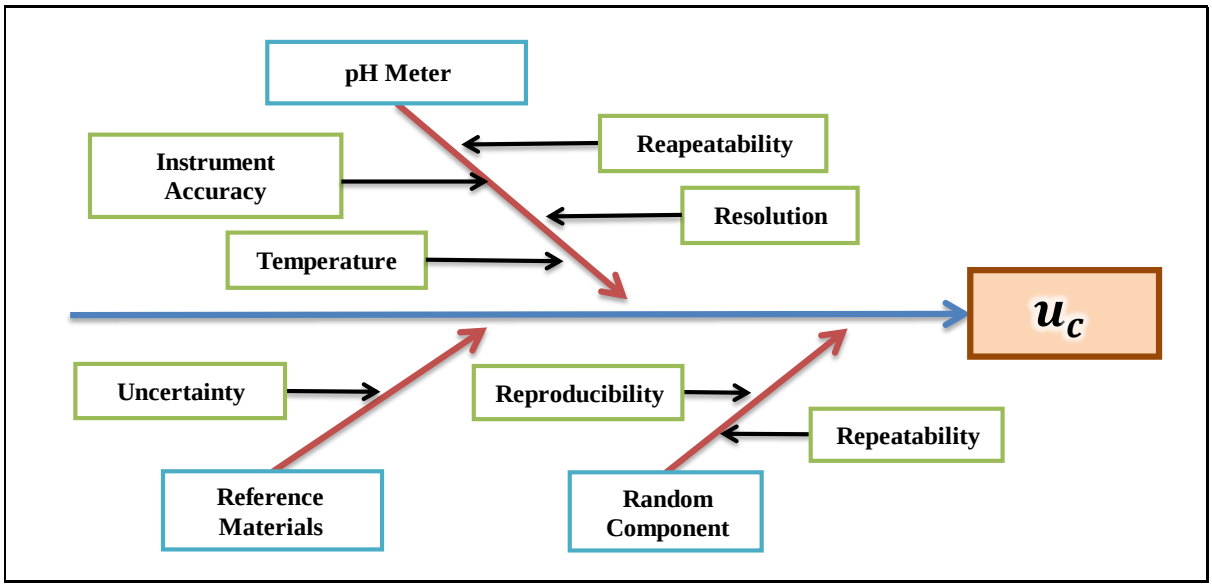

Fig. 3. Factors affecting pH uncertainty illustrated by fishbone diagram

شکل ۳- نمایش عوامل مؤثر بر عدم قطعیت pH در قالب نمودار علت‌ومعلول

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری شده اندازه‌ده موردبررسی در نمونه‌های آزمایشی

Table 1. The measured results of the investigated measurand in the test sample

Row	Test sample	pH	Turbidity (NTU)	Nitrate (mg/L)
1	Sample 1	7.58	0.80	39.80
2	Sample 2	7.59	4.35	42.20
3	Sample 3	7.25	1.70	44.60
4	Sample 4	6.80	0.90	47.30
5	Sample 5	8.40	2.30	49.40
6	Sample 6	7.80	1.30	50.40
7	Sample 7	8.10	1.70	52.50
8	Sample 8	7.59	3.72	56.40
9	Sample 9	7.74	3.40	60.20
10	Sample 10	7.41	9.85	70.00

شده است، برای اندازه‌ده‌های نیترات، کدورت وpH، احتمال انطباق بر اساس سطوح متفاوت ریسک تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. اختلاف احتمال انطباق در این سه اندازه‌ده تأیید می‌کند که اعمال یک قانون تصمیم‌گیری یکنواخت برای همه شاخص‌ها نمی‌تواند منجر به تصمیم‌های بهینه شود و لازم است عدم قطعیت اندازه‌گیری و اهمیت هر اندازه‌ده در چارچوب نظریه تصمیم‌گیری لحاظ شود. بنابراین، به‌کارگیری رویکرد مبتنی بر عدم قطعیت، امکان اتخاذ تصمیمی منطقی‌تر و متناسب با هدف اندازه‌گیری را فراهم می‌کند.

۳-۳-۱-۱-ارزیابی انطباق برای اندازه‌ده نیترات

ارزیابی انطباق بر اساس حد رواداری یک‌طرفه بالا انجام شد. احتمال انطباق برای هر محل نمونه‌برداری و برای هر اندازه‌ده به‌صورت مجزا، با توجه به نتیجه اندازه‌گیری، حدود رواداری و عدم

قطعیت محاسبه شد. به‌عنوان‌مثال، احتمال انطباق بر اساس نتیجه اندازه‌گیری شده ($39.8\frac{mg}{L}$) و عدم قطعیت مرکب نسبی نیترات ($\pm 1.99\frac{mg}{L}$) و حد رواداری یک‌طرفه بالا ($50\frac{mg}{L}$) به‌صورت معادله ۱۷ محاسبه شد

$$p_c=\emptyset\left(\frac{50-39.8}{1.99}\right)=\emptyset(5.12)=1 \quad (۱۷)$$
$$\%p_c=1\times 100=100$$

همچنین، می‌توان احتمال انطباق را با استفاده از معادله ۱۸ به دست آورد

$$p_c=\mathrm{NORM.DIST}(T_u,y_m,u_m,\mathrm{TRUE})= \quad (۱۸)$$
$$\mathrm{NORM.DIST}(50,39.8,1.99,\mathrm{TRUE})=1$$
$$\%p_c=1\times 100=100$$

در این پژوهش، برای ارزیابی انطباق از قانون تصمیم‌گیری "بیانیه دوتایی با استفاده از نوار محافظ" استفاده شد. بر این اساس، قانون تصمیم‌گیری برای نیترات به‌صورت زیر تعریف شد:

قبول، وقتی‌که $P_c \geq 95\%;\ (PFA < 5\%)$

رد، وقتی‌که $P_c \leq 95\%;\ (PFA > 5\%)$

معیار پذیرش برای نیترات برابر با ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. دلیل این انتخاب آن بود که استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۵۳ مقدار مجاز نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اعلام کرده است. همچنین، مطالعات سازمان بهداشت جهانی مشابه این مقدار را اعلام کرده‌اند. نیترات یک ترکیب شیمیایی طبیعی در محیط‌زیست است، اما افزایش غلظت آن در آب، به‌ویژه آب آشامیدنی، می‌تواند خطرات جدی برای سلامت انسان ایجاد کند. بنابراین، کنترل و کاهش غلظت نیترات در آب آشامیدنی اهمیت زیادی دارد و قانون تصمیم‌گیری برای پذیرش یا رد نتایج نیترات در شبکه توزیع آب، نقش حیاتی دارد.

با توجه به اینکه در این پژوهش، عدم قطعیت اندازه‌گیری نیترات نسبتاً زیاد است، در نتایج نزدیک به حد مجاز، ریسک تصمیم‌گیری اشتباه افزایش می‌یابد. ازآنجاکه نیترات به‌طور مستقیم بر سلامت مصرف‌کننده اثر می‌گذارد، سطح سخت‌گیری در پذیرش نتایج افزایش می‌یابد تا ریسک مصرف‌کننده (پذیرش نادرست) کاهش یابد. بر این اساس، اگر با اعمال عدم قطعیت روی نتیجه آزمون، ۹۵ درصد احتمال وجود داشته باشد که مقدار اندازه‌ده در محدوده مجاز قرار دارد، آن نتیجه به‌عنوان «قبول» گزارش می‌شود؛ در غیراین‌صورت، نتیجه «رد» اعلام خواهد شد. در این شرایط، احتمال پذیرش نادرست برابر با ۵ درصد خواهد بود؛ به‌عبارت‌دیگر، ازلحاظ آماری، ۵ درصد از مقدار نامنطبق احتمالی ممکن است به اشتباه منطبق گزارش شوند.

بر اساس مثال فوق، نتیجه محاسبه ارزیابی انطباق (۱۰۰ درصد) نشان می‌دهد که نمونه موردنظر قابل‌قبول است. نتایج ارزیابی انطباق و اعمال قانون تصمیم‌گیری برای ۱۰ نمونه پایلوت در جدول ۲ ارائه شده است.

۳-۳-۱-۲-ارزیابی انطباق برای اندازه‌ده کدورت

با استفاده از معادلات ۱۹ و ۲۰، احتمال انطباق پارامتر کدورت برای هر محل نمونه‌برداری محاسبه شد. به‌عنوان‌مثال، احتمال انطباق بر اساس نتیجه اندازه‌گیری شده ($0.8\frac{mg}{L}$) و عدم قطعیت مرکب نسبی کدورت ($\pm 0.02\frac{mg}{L}$) و حد رواداری یک‌طرفه بالا ($1\frac{mg}{L}$) به‌صورت معادله ۱۹ محاسبه شد (جدول ۲)

$$p_c=\emptyset\left(\frac{1-0.8}{0.02}\right)=\emptyset(10)=1 \quad (۱۹)$$
$$\%p_c=1\times 100=100$$

$$p_c=\mathrm{NORM.DIST}(T_u,y,u,\mathrm{TRUE})=\ NORM.DIST \quad (۲۰)$$
$$(1,0.8,0.02,TRUE)=1$$
$$\%p_c=1\times 100=100$$

نتایج ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری "بیانیه دوتایی با استفاده از نوار محافظ" برای اندازه‌ده کدورت، در جدول ۳ برای ۱۰ نمونه پایلوت گزارش شده است. بر این اساس، قانون تصمیم‌گیری به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

قبول، وقتی‌که $P_c \geq 90\%;\ (PFA < 10\%)$

رد، وقتی‌که $P_c \leq 90\%;\ (PFA > 10\%)$

دلیل انتخاب معیار پذیرش ۹۰ درصد برای کدورت این است که در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۵۳، در سامانه‌های آب‌رسانی، بر اساس ۹۵ درصد از اندازه‌گیری‌های ماهانه، کدورت

جدول ۲- نتایج ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری برای اندازه‌ده نیترات

Table 2. Compliance assessment results and decision rule for Nitrate measurand

Row	Test sample	Nitrate (mg/L)	Tolerance upper limit	Standard uncertainty	P_c	Decision
1	Sample 1	39.80	50.00	1.99	100.00	Accept
2	Sample 2	42.20	50.00	2.11	99.99	Accept
3	Sample 3	44.60	50.00	2.23	99.23	Accept
4	Sample 4	47.30	50.00	2.37	87.32	Reject
5	Sample 5	49.40	50.00	2.47	59.60	Reject
6	Sample 6	50.40	50.00	2.52	43.69	Reject
7	Sample 7	52.50	50.00	2.63	17.05	Reject
8	Sample 8	56.40	50.00	2.82	1.16	Reject
9	Sample 9	60.20	50.00	3.01	0.04	Reject
10	Sample 10	70.00	50.00	3.50	0.00	Reject

جدول ۳- نتایج ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری برای اندازه‌ده کدورت

Table 3. Compliance assessment results and decision rule for Turbidity measurand

Row	Test sample	Turbidity (NTU)	Tolerance upper limit	Standard uncertainty	P_c	Decision
1	Sample 1	0.80	1.00	0.02	100.00	Accept
2	Sample 2	4.35	1.00	0.13	0.00	Reject
3	Sample 3	1.70	1.00	0.05	0.00	Reject
4	Sample 4	0.90	1.00	0.03	99.99	Accept
5	Sample 5	2.30	1.00	0.07	0.00	Reject
6	Sample 6	1.30	1.00	0.04	0.00	Reject
7	Sample 7	1.70	1.00	0.05	0.00	Reject
8	Sample 8	3.72	1.00	0.11	0.00	Reject
9	Sample 9	3.40	1.00	0.10	0.00	Reject
10	Sample 10	9.85	1.00	0.30	0.00	Reject

باید کمتر از ۱ واحد NTU باشد و نباید بیش از ۴ واحد NTU شود. همچنین، مطالعات سازمان بهداشت جهانی، حد ایده‌آل کدورت را کمتر از ۱ واحد NTU تعیین کرده است.

کدورت آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت آب است که نشان‌دهنده میزان ذرات و موانع موجود در عبور نور از لایه‌های آب است. افزایش کدورت نه‌تنها ظاهر آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه ارتباط مستقیمی با آلودگی میکروبی آن دارد (Miranzadeh et al., 2011).

با توجه به پایین بودن عدم قطعیت استاندارد اندازه‌گیری کدورت در این پژوهش، محاسبات نشان داد که احتمال انطباق نتایج پایین‌تر از حد مجاز، بسیار بالا و احتمال انطباق نتایج بالاتر از حد مجاز، بسیار کم است.

ازآنجاکه کدورت شاخص کیفیت ظاهری و کارایی فیلتراسیون است ولی به‌طور غیرمستقیم بر سلامت انسان اثر می‌گذارد، برای جلوگیری از تصمیم‌گیری اشتباه، به‌ویژه زمانی که نتایج نزدیک به حد مجاز باشند، معیار پذیرش ۹۰ درصد در نظر گرفته شد و احتمال انطباق، با استفاده از حد رواداری یک‌طرفه بالا محاسبه شد. به این معنی که اگر، با اعمال عدم قطعیت بر نتیجه آزمون، ۹۰ درصد احتمال وجود داشته باشد که مقدار اندازه‌ده در محدوده مجاز قرار دارد، نتیجه به‌عنوان «قبول» گزارش می‌شود؛ در غیر این صورت، نتیجه «رد» اعلام خواهد شد. در این شرایط، احتمال پذیرش نادرست برابر با ۱۰ درصد است؛ به‌عبارت‌دیگر، ازلحاظ آماری، ۱۰ درصد از مقدار نامنطبق ممکن است به اشتباه منطبق گزارش شوند.

جدول ۴- نتایج ارزیابی انطباق و قانون تصمیم‌گیری برای اندازه‌ده pH

Table 4. Compliance assessment results and decision rule for pH measurand

Row	Test sample	pH	Tolerance lower limit	Tolerance upper limit	Standard uncertainty	P_c	Decision
1	Sample 1	7.58	6.50	8.50	0.14	100.00	Accept
2	Sample 2	7.59	6.50	8.50	0.14	100.00	Accept
3	Sample 3	7.25	6.50	8.50	0.14	100.00	Accept
4	Sample 4	6.80	6.50	8.50	0.13	98.99	Accept
5	Sample 5	8.40	6.50	8.50	0.16	73.45	Reject
6	Sample 6	7.80	6.50	8.50	0.15	100.00	Accept
7	Sample 7	8.10	6.50	8.50	0.15	99.53	Accept
8	Sample 8	7.59	6.50	8.50	0.14	100.00	Accept
9	Sample 9	7.74	6.50	8.50	0.15	100.00	Accept
10	Sample 10	7.41	6.50	8.50	0.14	100.00	Accept

۳-۳-۱-۳- ارزیابی انطباق برای اندازه‌ده pH

با استفاده از معادلات ۲۱ و ۲۲، احتمال انطباق با استفاده از حدود رواداری دوطرفه و عدم قطعیت مرکب نسبی برای هر محل نمونه‌برداری محاسبه شد. به‌عنوان‌مثال، برای یکی از داده‌های جدول ۴، احتمال انطباق با استفاده از حدود رواداری دوطرفه (۵/۸ تا ۶/۵)، عدم قطعیت مرکب نسبی (۰/۱۴±) و مقدار نتیجه اندازه‌گیری شده (۷/۵۸) به‌صورت معادله ۲۱ محاسبه می‌شود

(۲۱)

$$p_c=\emptyset\left(\frac{8.5-7.58}{0.14}\right)-\emptyset\left(\frac{6.5-7.58}{0.14}\right)\times 100=\emptyset(6.57)-\emptyset(-7.71)=1-0=1$$
$$\%p_c = 1 \times 100 = 100$$

همچنین، می‌توان با استفاده از معادله ۲۲ احتمال انطباق را محاسبه کرد

(۲۲)

$$p_c=\text{NORM.DIST}(T_u,y_m,u_m,\text{TRUE})-\text{NORM.DIST}(T_l,y_m,u_m,\text{TRUE})=$$
$$\text{NORM.DIST}(8.5,7.58,0.14,\text{TRUE})-\text{NORM.DIST}(6.5,7.58,0.14,\text{TRUE})=1$$
$$\%p_c=1\times 100=100$$

معیار پذیرش انطباق برای pH برابر با ۸۵ درصد در نظر گرفته شد. دلیل این انتخاب آن است که طبق مطالعات سازمان بهداشت جهانی، محدوده مجاز pH در آب آشامیدنی بین ۶/۵ تا ۸/۵ تعیین شده و استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۵۳، نیز همین محدوده را به‌عنوان حد مجاز pH مشخص کرده است. pH در آب آشامیدنی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا علاوه بر تأثیر بر طعم و ظاهر آب، pH بالا، موجب کاهش خاصیت ضدعفونی‌کننده کلر و pH پایین باعث خوردگی و زنگ‌زدگی لوله‌ها می‌شود.

با توجه به اینکه pH، اثر مستقیمی بر سلامت انسان ندارد و بیشتر برخوردگی لوله و طعم آب تأثیر می‌گذارد و همچنین با توجه به اینکه در این پژوهش، عدم قطعیت تخمین زده شده برای این اندازه‌ده پایین است، بنابراین، معیار پذیرش برای pH، با احتمال انطباق ۸۵ درصد در نظر گرفته شد که با استفاده از حدود رواداری دوطرفه محاسبه شد. بر این اساس، قانون تصمیم‌گیری به‌صورت زیر است:

قبول، وقتی‌که $P_c \geq 85\%;\ (PFA < 15\%)$

رد، وقتی‌که $P_c \leq 85\%;\ (PFA > 15\%)$

به‌عبارت‌دیگر، اگر با اعمال عدم قطعیت روی نتیجه آزمون، ۸۵ درصد احتمال وجود داشته باشد که مقدار اندازه‌ده در محدوده مجاز قرار دارد، آن نتیجه به‌عنوان «قبول» گزارش می‌شود؛ در غیر این صورت، نتیجه «رد» اعلام خواهد شد. در این شرایط، احتمال پذیرش نادرست برابر با ۱۵ درصد است؛ یعنی ازلحاظ آماری، ۱۵ درصد از مقدار نامنطبق احتمالی ممکن است به اشتباه منطبق گزارش شوند. نتایج ارزیابی انطباق و اعمال قانون تصمیم‌گیری برای ۱۰ نمونه پایلوت در جدول ۴ ارائه شده است.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.489323.3454

۴- نتیجه‌گیری

در ارزیابی انطباق نتایج آزمون با حدود مجاز استاندارد، عدم قطعیت اندازه‌گیری نقشی بنیادین دارد. تصمیم‌گیری صرفاً بر اساس مقدار خام آزمون و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت، از دیدگاه اندازه شناختی فاقد قابلیت ردیابی بوده و می‌تواند موجب افزایش ریسک برای مصرف‌کننده، تولیدکننده یا هر دو شود. این موضوع به‌ویژه، زمانی اهمیت پیدا می‌کند که نتیجه موردبررسی در نزدیکی حد مجاز قرار داشته باشد، زیرا بازه عدم قطعیت مشخص می‌کند که آیا نتیجه با الزامات استاندارد مطابقت دارد یا خیر. در شرایط حساس، به‌خصوص زمانی که قرار است منبع جدیدی وارد مدار بهره‌برداری و شبکه توزیع آب آشامیدنی شود، تصمیم‌گیری مبتنی تنها بر داده خام آزمون، می‌تواند منجر به پذیرش نادرست یک منبع ناسالم یا رد اشتباه یک منبع سالم شود. در چنین شرایطی، استفاده از قانون تصمیم‌گیری مبتنی بر عدم قطعیت اندازه‌گیری، این امکان را فراهم می‌سازد که تصمیم نهایی با سطح ریسک مشخص، کنترل شده و قابل‌قبول اتخاذ شود؛ به‌گونه‌ای که از یک‌سو سلامت مصرف‌کننده تضمین شده و از سوی دیگر از رد غیرضروری منابع آب سالم جلوگیری شود.

۵- قدردانی

این پژوهش در آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران انجام شد. نویسندگان از تمامی همکاران شاغل در آزمایشگاه مرجع که در برنامه‌ریزی، نمونه‌برداری و انجام آزمون‌ها مشارکت داشتند، صمیمانه قدردانی می‌کنند. امید است یافته‌های این پژوهش برای ارتقای عملکرد و بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب در سطح کشور کاربردی و مفید واقع شود.

References

Benedek, P. and Bognár, F., 2024. Compliance risk assessment-results of a comprehensive literature review. *Acta Polytechnica Hungarica*, 21(6), 243-262. https://doi.org/10.12700/APH.21.6.2024.6.13.

Bettencourt, S. and Ricardo, J. N., 2024. The issue of reporting the measurement uncertainty in accredited tests. *Accreditation and Quality Assurance*, 29, 329-330. https://doi.org/10.1007/s00769-024-01603-z.

Desimoni, E. and Brunetti, B., 2011. Uncertainty of measurement and conformity assessment: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 400(6), 1729-1741. https://doi.org/10.1007/s00216-011-4776-y.

European Network of Analytical Chemistry, 2021. *Use of Uncertainty Information in Compliance Assessment*, *Eurachem Guid*, 2nd Ed. Barcelona, Spain. [Link]

European Network of Analytical Chemistry/Coorperation on International Traceability in Analytical Chemistry, 2012. *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*, EURACHEM/CITAC Guide, 3rd Ed. Barcelona, Spain. [Link]

Fearn, T., Fisher, S. A., Thompson, M. and Ellison, S. L. R., 2002. A decision theory approach to fitness for purpose in analytical measurement. *Analyst*, 127(6), 818-824. https://doi.org/10.1039/B111465D.

Forbes, A. B., 2006. Measurement uncertainty and optimized conformance assessment. *Measurement*, 39(9), 808-814. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2006.04.007.

JCGM, 2011. *Evaluation of Measurement Data - Supplement 3 to the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): Modelling*. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 103. Paris, France. [Link]

Hernandez-Vasquez, J. D. and Cruz de Oliveira, E., 2025. The importance of measurement uncertainty arising from the sampling process in conformity assessment: the case of fuel quality. *Metrology*, 5(1), 7. https://doi.org/10.3390/metrology5010007.

International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), 2019. *Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity*, ILAC-G8:09. Copenhagen, Denmark. [Link]

International Organization for Standardization (ISO), 2003. *Statistical Methods - Guidelines for the Evaluation of Conformity with Species Requirements - Part 1: General Principles*. ISO, 10576-1, Geneva. [Link]

International Organization for Standardization (ISO), 1993. *Quality Management and Quality System Elements-Guidelines- Part 4: Guidelines for Quality Improvement*. ISO, 9004-4, Geneva. [Link]

International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission (ISO/IEC). 2012. *Uncertainty of Measurement-Part 4: Role of Measurement Uncertainty in Conformity Assessment*. ISO/IEC Guide 98-4, Geneva. [Link]

International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission (ISO/IEC). 2007. *International Vocabulary of Metrology-Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM).* ISO/IEC Guide 99, Geneva. [Link]

International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission (ISO/IEC). 2017. *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*. ISO/IEC 17025, Geneva. [Link]

Loga, M., Piniewski, M. and Marcinkowski, P., 2022. Bayesian decision tables for estimation of risk of water management decisions based on uncertain surface water status: a case study of a Polish catchment. *Environmental Sciences Europe*, 34, 42. https://doi.org/10.1186/s12302-022-00625-z.

Miranzadeh, M. B., Hasanzadeh, M., Dehqan, S. and Sabahi-Bidgoli, M., 2011. The relationship between turbidity, residual chlorine concentration and microbial quality of drinking water in rural areas of Kashan during 2008-9. *Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences*, 15(2), 126-131. (In Persian). [Link]

Pendrill, L. R., 2014. Using measurement uncertainty in decision-making and conformity assessment. *Metrologia*, 51, S206–S218. https://doi.org/10.1088/0026-1394/51/4/S206.

Puydarrieux, S., Pou, J. M., Leblond, L., Fischer, N., Allard, A., Feinberg, M. et al., 2019. Role of measurement uncertainty in conformity assessment. *19th International Congress of Metrology*, 16003. https://doi.org/10.1051/metrology/201916003.

Sharifi Moghadam, H. and Alimohammadi, S., 2024. Calibration and uncertainty analysis of freundlich and langmuir isotherms using the markov chain monte carlo (MCMC) approach. *Journal of Water and Wastewater*, 35(4), 23-48. (In Persian). https://doi.org/10.22093/wwj.2025.483434.3443.

Silva Ribeiro, A. and Golze, M., 2017. *Decision Rules Applied to Conformity Assessment*. EUROLAB Technical Report, No. 1. 1-14. [Link]

Stajkovic, S., Vasilev, D., Dimitrijevic, M. and Karabasil, N., 2021. Uncertainty of measurement and conformity assessment. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 854(1), 012093. https://doi.org/10.1088/1755-1315/854/1/012093.

United Kingdom Accreditation Service (UKAS), 2024. *Decision Rules and Statements of Conformity*. UKAS Publications, LAB 48, Edition 5. 1-48. [Link]

World Anti-Doping Agency (WADA), Technical Document. 2019. *Decision Limits for the Confirmatory Quantification of Threshold Substances*. TD2019DL, Version 2.0, 1-19. Montreal, Canada. [Link]

Wu, X., Marshall, L. and Sharma, A., 2022. Quantifying input uncertainty in the calibration of water quality models: reordering errors via the secant method. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(5), 1203-1221. https://doi.org/10.5194/hess-26-1203-2022.