نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۱، صفحات ۵۹-۷۰، بهار ۱۴۰۳

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 1, PP. 59-70, Spring 2024
DOI: 10.22112/JWWSE.2023.396294.1364

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها با مقایسات بین‌آزمایشگاهی: آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران

مهتاب باغبان[۱]، نوشین سهرابنیا[۲]، فهیمه مهرانفر[۴*] و محمدرضا شیرازی[۳]

۱- مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران
۲- رئیس قسمت کالیبراسیون و LIMS آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران
۳- کارشناس کنترل کیفیت شرکت آب و فاضلاب استان تهران
۴- رئیس قسمت میکروبیولوژی آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران
*نویسنده مسئول، ایمیل: fmehr_63@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران، با هدف کاهش هزینه‌های آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب، اولین دوره آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی را در سطح کشور در سال ۱۳۹۹ و دومین دوره را در سال ۱۴۰۰ برگزار نمود. برگزاری آزمون بر اساس استاندارد ISO/IEC17043 و دستورالعمل OP105 و محاسبات و تحلیل داده‌ها براساس استاندارد ISO13528 و روش‌های آزمون براساس روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب انجام شد. در این پژوهش، از نتایج ارسال شده توسط ۶۸ شرکت‌کننده، تحلیل و ارزیابی از عملکرد آزمایشگاه‌ها انجام شد. نتایج آزمون یکنواختی نشان داد که همه نمونه‌های فیزیکوشیمیایی آب از یکنواختی مناسبی برخوردار بودند. با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش فیزیکوشیمیایی آب تمامی اندازه‌ده‌ها به‌جز pH پایدار بودند. نتایج نشان داد که در بین اندازه‌ده‌های فیزیکوشیمیایی، بالاترین عملکرد نامطلوب شرکت‌کنندگان مربوط به آزمون کلراید و کمترین عملکرد نامطلوب مربوط به آزمون سدیم است. در مجموع، عملکرد شرکت‌کنندگان رضایت‌بخش برآورد شد. اجرای دو دوره مقایسات بین آزمایشگاهی نشان‌داد که آزمایشگاه‌های تخصصی، توانمندی اجرای این برنامه و تجزیه و تحلیل نتایج را دارند. هم‌چنین برگزاری این آزمون در کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی بسیار تاثیرگذار بود.

کلمات کلیدی: آزمون مهارت، مقایسات بین‌آزمایشگاهی، آزمون آماری استوار، ارزیابی عملکرد آزمایشگاه، آب و فاضلاب.

Research Paper

Evaluation of Laboratories Performance by Interlaboratory Comparisons: Reference Laboratory of Tehran Province Water and Wastewater Company

Mahtab Bagheban[1], Noushin Sohrabnia[2], Fahimeh Mehranfar[3*] and Mohammadreza Shirazi[4]

1- Director of Water and Wastewater Quality Monitoring and Supervising Center, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.
2- Head of Calibration and LIMS Department of Reference Laboratory, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.
3- Quality Control Expert, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.
4- Head of Microbiology Department of Reference Laboratory, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.
*Corresponding Author, Email: fmehr_63@yahoo.com

Received: 10/05/2023
Revised: 22/08/2023
Accepted: 28/08/2023
© IWWA

Abstract

Reference laboratory of Tehran Water and Wastewater Company, with the aim of reducing the costs of water and wastewater laboratories, conducted the first interlaboratory comparison test in 2020 and the second interlaboratory comparison in 2021. The test was conducted according to the SO/IEC17043 standard and the OP105 instruction, and data analysis were performed according to the ISO13528 standard and the test methods were based on the Standard Methods of Water and Wastewater. In this research, from the results achived by 68 participants, analysis and evaluation of the laboratories' performance was done. The results of the uniformity test showed that all the physicochemical samples of water had good uniformity. According to the results, all parameters except pH were stable. The results showed that among the physicochemical parameters, the highest unfavorable performance of the participants is related to the chloride test and the lowest unfavorable performance is related to the sodium test. Overall, the performance of the participants is satisfactory. The implementation of two courses of interlaboratory comparisons showed that specialized laboratories have the ability to implement this program and analyze the results. Holding this test was also very effective in reducing laboratory costs.

Keywords: Proficiency Testing, Interlaboratory Comparsions, Robust Statistical Test, Laboratory Performance Evaluation, Water and Wastewater.

۱- مقدمه

نتایج اندازه‌گیری نقشی حیاتی در زندگی روزمره انسان بازی می‌کند، زیرا داده‌های آزمایش ممکن است مبنایی باشد تا براساس آن تصمیم‌های مدیریت اقتصادی، قانونی یا محیط‌زیستی گرفته‌شود (IAEA, 2009). بنابراین، این موضوع که چنین اندازه‌گیری‌هایی دقیق، قابل اعتماد، مقرون به‌صرفه و قابل دفاع باشند، اهمیت ویژه‌ای دارد. الزامات عمومی برای آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون برای تایید صلاحیت از لحاظ فنی و تولید نتایج معتبر فنی، در استاندارد ISO/IEC 17025:2017 درج شده است (International Standard ISO/IEC17025, 2017). این استاندارد اساس اعتبارسنجی آزمایشگاه در سطح بین‌المللی را تشکیل می‌دهد. بخش ۷.۷ ISO/IEC 17025:2017 ایجاب می‌کند که آزمایشگاه‌ها باید روش‌های تضمین کیفیت را برای نظارت بر اعتبار آزمایش‌ها و کالیبراسیون‌های انجام‌شده برنامه‌ریزی و انجام دهند (UKAS Policy, 2019).

آزمایشگاه‌هایی که مایل به تایید صلاحیت توسط مراجع اعتباربخشی و مایل به ادامه وضعیت اعتباربخشی اعطا شده هستند، مطالعات لازم را برای اثبات صلاحیت فنی خود انجام داده و خود مسئول نظارت بر این صلاحیت هستند. یکی از راه‌های نشان‌دادن صلاحیت فنی، مشارکت آزمایشگاه‌ها در سازمان‌های مناسب PT و ILC و دستیابی به نتایج موفق است (TURKAK, 2020). مقایسه‌های بین‌آزمایشگاهی از طریق مشارکت آزمایشگاه‌ها در آزمون مشترک شامل سازماندهی، عملکرد و ارزیابی اندازه‌گیری‌ها یا آزمایش‌ها بر روی موارد مشابه یا یکسان با دو یا تعداد بیشتر آزمایشگاه مطابق با شرایط از پیش تعیین‌شده است. بنابراین، آزمایشگاه‌ها، آزمایش را در شرایط معمول انجام می‌دهند و نتیجه را در یک مهلت مشخص، به برگزارکننده گزارش می‌دهند (Voiculescu et al., 2013).

مقایسه‌های بین‌آزمایشگاهی به‌طور گسترده برای اهداف متعددی و در سطح بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Softić et al., 2012). استاندارد بین‌المللی "ارزیابی انطباق - الزامات عمومی برای آزمون مهارت"، الزامات عمومی را برای صلاحیت ارائه‌دهندگان طرح‌های آزمون مهارت و توسعه و اجرای طرح‌ها مشخص می‌کند (BS EN ISO/IEC 17043:2010, 2010). آزمایشگاه‌ها (و سایر انواع شرکت‌کنندگان) باید در طرح‌های مقایسات بین‌آزمایشگاهی که برای دامنه آزمایش آن‌ها مناسب است، شرکت کنند. طرح‌های مقایسات بین آزمایشگاهی انتخاب شده باید با الزامات استاندارد بین‌المللی ISO/IEC/17043, (2010) مطابقت داشته باشد (Henric, 2003). یک عامل کلیدی در چنین مقایسه‌هایی، نمونه و هم‌چنین مناسب‌بودن مجموعه از نمونه‌های از پیش آزمون‌شده، برای آزمایش و نشان دادن شباهت‌ها و تفاوت‌ها در نتایج است. آزمایشگاه شرکت‌کننده، اقلام آزمون مهارت را دریافت کرده و نتایج را برای بررسی توسط ارائه‌دهنده آزمون مهارت، ارائه می‌کند BS EN ISO/IEC (17043:2010, 2010).

اهداف معمول یک مقایسه بین آزمایشگاهی به‌صورت زیر است:

الف) ارزیابی عملکرد آزمایشگاه‌ها برای آزمایش‌ها یا اندازه‌گیری‌های خاص و نظارت بر عملکرد مستمر آزمایشگاه‌ها؛

ب) شناسایی مشکلات در آزمایشگاه‌ها و شروع اقداماتی برای بهبود که برای مثال ممکن است به روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری ناکافی، اثربخشی آموزش و نظارت کارکنان، یا کالیبراسیون تجهیزات مربوط باشد؛

ج) تعیین اثربخشی و مقایسه روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری؛

د) ارائه اطمینان بیشتر به مشتریان آزمایشگاه؛

ه) شناسایی تفاوت‌های بین‌آزمایشگاهی؛

و) آموزش آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده براساس نتایج این مقایسه‌ها؛

ز) اعتبار ادعاهای عدم قطعیت؛

ح) ارزیابی ویژگی‌های عملکرد یک روش؛

ط) تخصیص مقادیر به مواد مرجع و ارزیابی مناسب بودن آنها برای استفاده در روش‌های آزمایش یا اندازه‌گیری خاص.

نتایج مقایسه بین آزمایشگاهی براساس یک مقدار تخصیص‌یافته شناخته‌شده هستند. این روش، از طریق استفاده از مواد مرجع تایید شده (CRMs)، یا آزمایش نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های خبره به‌دست می‌آید. در مواقعی که امکان استفاده از روش‌های فوق وجود ندارد، مقادیر اجماع از نتایج شرکت‌کنندگان به‌دست می‌آید، بنابراین، استفاده از روش‌های آماری استوار برای تخمین مقدار اختصاص یافته، توصیه می‌شود (ISO 13528, 2015).

شرکت‌های برگزار کننده‌ای در سطح دنیا، آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی را طی برنامه سالانه اعلام و از آزمایشگاه‌ها برای مشارکت در آن دعوت می‌نمایند. از شرکت‌های برگزارکننده بین‌المللی که امور آزمایشگاه مرجع مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب استان تهران، تجربه مشارکت در آزمون‌های آن‌ها را داشته است، شرکت FAPAS انگلیس است. این شرکت

از سال ۱۹۹۰ برزگارکننده آزمون مهارت در سطح بین‌المللی در زمینه آب و مواد غذایی است و سالانه صدها آزمون مهارت را برای هزاران آزمایشگاه در تمام قاره‌های جهان به جز قطب جنوب ارائه می‌کند. نمونه‌های آزمایش ماتریس واقعی برای تمام زمینه‌های آزمایش معمول در زمینه‌های شیمی مواد غذایی، میکروبیولوژی مواد غذایی، مواد اصلاح‌شده ژنتیکی، شیمی آب آشامیدنی و میکروبیولوژی، شیمی محیطی و میکروبیولوژی ارائه می‌شود. از دیگر شرکت‌های برگزارکننده بین المللی آزمون مهارت شرکت PTA استرالیا است. این شرکت برگزارکننده آزمون مهارت در صنایع و هم‌چنین آب است که دارای تایید صلاحیت الزامات استاندارد بین‌المللی ISO/IEC 17043 ارزیابی انطباق - الزامات عمومی برای آزمون مهارت است.

اهداف این پژوهش عبارتند از: امکان‌سنجی برگزاری آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، کنترل کیفیت خارج سازمانی آزمایشگاه، بومی‌سازی علم و فناوری، کاهش هزینه‌های آزمایشگاه در خرید مواد و مواد مرجع، صرفه‌جویی در پرداخت‌های برون سازمانی و استفاده از توانمندی کارشناسان شرکت آب و فاضلاب.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طراحی و برنامه‌ریزی طرح آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی

مرکز پایش و نظارت بر کنترل کیفیت آب و فاضلاب و آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران، طبق نامه معاون راهبری و نظارت بر بهره‌برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، برای اجرای دستورالعمل «چگونگی برگزاری و مشارکت در آزمون‌های کفایت تخصصی و مقایسات بین‌آزمایشگاهی در آزمون‌های آب و فاضلاب» به شماره OP105 و در راستای بومی‌سازی علم و فناوری و کاهش هزینه‌های آزمایشگاه در خرید مواد و مواد مرجع و صرفه‌جویی در پرداخت‌های برون سازمانی و هم‌چنین استفاده از توانمندی کارکنان شرکت آب و فاضلاب، اولین دوره را در سال ۱۳۹۹ و دومین دوره مقایسات بین‌آزمایشگاهی را در سطح کشور در سال ۱۴۰۰ برگزار نمود. این تحقیق براساس برنامه‌ریزی سال ۱۴۰۰ تهیه شده است. بر این اساس، از آزمایشگاه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب ایران دعوت شد تا در برنامه مقایسات، مشارکت نمایند. تعداد شرکت‌کنندگان در سال ۱۴۰۰ در هر بخش آزمون، در جدول ۱ آمده است. زمان توزیع نمونه و زمان انجام آزمون هم‌زمان به کلیه شرکت‌کنندگان اعلام شد.

جدول ۱- تعداد شرکت‌کنندگان در هر آزمون با احتساب امور آزمایشگاه مرجع

نام آزمون		تعداد شرکت‌کنندگان
فیزیکوشیمیایی آب		۶۸
فیزیکوشیمیایی فاضلاب		۲۶
آلاینده‌های آلی	THM	۶
	TOC	۷
باکتریولوژی آب		۷۷
باکتریولوژی فاضلاب		۱۱
بیولوژی آب		۲۲
بیولوژی فاضلاب		۳

توزیع نمونه، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل برای کلیه بخش‌های آزمون در دو نوع ماتریکس آب و فاضلاب انجام شد. در این مقاله، به‌عنوان نمونه، فقط به بررسی نتایج آزمون فیزیکوشیمیایی آب پرداخته شده است. مشارکت‌کنندگان نیز کارکنان آزمایشگاه‌های شرکت آب و فاضلاب کشور هستند که حداقل دارای مدرک کارشناسی و تحصیلات دانشگاهی مرتبط با کار آزمایشگاه هستند. بیشتر کارکنان دارای مدرک کارشناسی در رابطه با آزمایشگاه شیمی، میکروبیولوژی و بهداشت محیط هستند.

۲-۲- اجرای طرح‌ها و دستورالعمل‌های انجام آزمون برای شرکت‌کنندگان

برای هماهنگی و سازماندهی آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، تیمی متشکل از مدیر، رؤسای قسمت، رؤسای آزمایشگاه و کارشناسان دفتر کنترل کیفیت آب و بهداشت فاضلاب و امور آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران تشکیل‌شده و برنامه‌ریزی برای تهیه مستندات، نمونه‌برداری، تهیه نمونه، زمان و محل نمونه‌برداری با تشکیل جلسات در این تیم انجام و صورت‌جلسات آن تهیه شد.

به کلیه شرکت‌کنندگان با نامه رسمی از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور زمان و شرایط دریافت نمونه، الزامات حمل و نقل نمونه و نگهداری آن، اعلام شد. کلیه شرکت‌کنندگان قطعی، در تاریخ مقرر، نمونه را در محل آزمایشگاه مرجع دریافت نمودند. دریافت نمونه‌ها از طریق نمایندگان شرکت‌کنندگان انجام شد. به‌همراه نمونه به هر شرکت‌کننده، نامه‌ای رسمی برای معرفی محتویات ظروف به همراه کد اختصاصی تحویل داده شد. به‌منظور شفاف‌سازی و یکنواختی روش آزمون بین همه مشارکت‌کنندگان، راهنمای آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی آب و راهنمای آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی فاضلاب تهیه و با ایمیل برای

شرکت‌کنندگان ارسال شد که در آن نحوه انجام آزمون و کلیه مراحل کار از دریافت، آماده‌سازی، روش انجام آزمون و نحوه ارسال نتایج تشریح شده بود. هم‌چنین، برای ثبت نتایج آزمون، فرم ثبت نتایج آزمون برای نمایندگان ایمیل شد. برای ارتقا و بهبود در برگزاری آزمون مقایسات، فرم نظرسنجی نیز برای کلیه شرکت‌کنندگان ارسال شد.

۲-۳- تهیه اقلام آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی

برای هر آزمون، به‌صورت جداگانه ابتدا نمونه‌برداری، در ظروف ۲۰ لیتری از هدف نمونه‌برداری حقیقی (منابع طبیعی آب مانند آب چاه یا آب سطحی) انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه مرجع انتقال داده شد. فرایند نمونه‌برداری بر اساس سری استانداردهای بین المللیISO5667، مرجع روش‌های استاندارد برای آزمون‌های آب و فاضلاب (APHA, AWWA, WEF, 2017) و مجموعه دستورالعمل‌های داخلی امور آزمایشگاه مرجع انجام شد. برای یکنواختی، همه نمونه‌های برداشت شده یک آزمون، به یک ظرف هم‌زن بزرگ‌تر انتقال یافت. هم‌زمان با ایجاد یکنواختی، با استفاده از هم‌زن برقی، توزیع نمونه فرعی در ظروف موردنظر برای آزمون انجام شد. توزیع نمونه‌های فرعی برای انجام آزمون فیزیکوشیمیایی آب در ظروف ۴ لیتری پلاستیکی انجام شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است. تمامی ظروف مورد نظر فرعی از قبل برچسب‌گذاری شده بودند. از بین نمونه‌های فرعی آماده شده، در هر بخش آزمون، به‌صورت تصادفی ۶ نمونه برای بررسی یکنواختی و یک نمونه برای بررسی پایداری انتخاب و به آزمایشگاه مرتبط با آن آزمون، انتقال و باقی نمونه‌ها، به‌صورت تصادفی به شرکت‌کنندگان تحویل داده شد. شرایط حمل نمونه مانند حمل در کول‌باکس و در کنار آیس‌پک و کنترل شرایط محیطی نمونه از قبل به دریافت‌کنندگان طبق نامه و دستورالعمل ابلاغ شد.

شکل ۱- نمونه‌های فرعی آماده شده برای انجام آزمون فیزیکوشیمیایی آب

تمامی آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده ملزم شدند که حداکثر ۲۴ ساعت پس از دریافت نمونه، آزمایش‌های مرتبط را انجام دهند و در این مدت باید شرایط محیطی نمونه رعایت شود که طی دستورالعمل‌های تدوین شده، از قبل به اطلاع آزمایشگاه‌ها رسید. هم‌چنین آزمون پایداری ۷۲ ساعت پس از آزمون اصلی برای کلیه آزمون های انجام شد و در صورت انحراف در محاسبات آماری لحاظ شد. بنابراین، ضمن رعایت شرایط حمل و نقل، نیازی به تثبیت نمونه‌ها نیست.

۲-۳-۱- مشخصات اقلام آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی و اندازه‌ده‌ها برای آزمون فیزیکوشیمیایی آب

در این آزمون یک ظرف ۴ لیتری حاوی نمونه یکنواخت‌شده، برای اندازه‌گیری اندازه‌ده‌های pH -هدایت الکتریکی- سختی کل- کلسیم- منیزیم- قلیائیت- سدیم- پتاسیم- فلوراید- کلراید- سولفات- نیترات به آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده ارسال شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد، نتایج را در فرم ثبت نتایج (ارسال شده توسط امور آزمایشگاه مرجع) و با ۳ بار تکرار همراه با عدم‌قطعیت اندازه‌گیری، ثبت و به امور آزمایشگاه مرجع ارسال نمایند. با توجه به این‌که در آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی، شرکت‌کنندگان می‌توانند از هر روشی برای اندازه‌گیری استفاده کنند، برای مقایسه و بررسی عملکرد روش‌های آزمون، از شرکت‌کنندگان درخواست شد که در فرم پاسخ‌نامه، همراه با ثبت نتایج، روش آزمون مربوطه هم قید شود. ارزیابی نشان‌داد که اکثر شرکت‌کنندگان براساس مرجع روش‌های استاندارد برای آزمون‌های آب و فاضلاب (APHA, AWWA, WEF, 2017) اندازه‌گیری را انجام داده‌اند که لیست روش‌های آزمون معمول مورد استفاده در جدول ۲ نمایش داده شده است.

۲-۴- آزمون یکنواختی

آزمون یکنواختی برای تمامی اندازه‌ده‌ها انجام شد. نتایج با استفاده از استاندارد بین‌المللی ISO 13528 مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. مطابق با الزامات استانداردهای مرجع، پرسنل مجرب، تجهیزات مناسب و سیستم اندازه‌گیری کنترل‌شده برای انجام آزمون یکنواختی درنظر گرفته‌شد. از بین موارد ارائه‌شده برای آزمون بین آزمایشگاهی، ۶ نمونه به‌صورت تصادفی برای آزمون یکنواختی انتخاب شدند. نتایج آزمون یکنواختی توسط تیم آنالیز براساس استانداردهای موجود مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت.

جدول ۲- روش‌های آزمون معمول برای اندازه‌گیری اندازه‌های مورد نظر

روش اندازه‌گیری	اندازه‌ده
4500- H^+ B. Electrometric Method	pH
2510 B. Laboratory Method	هدایت الکتریکی
2340 C. EDTA Titrimetric Method	سختی کل
3500-Ca B. EDTA Titrimetric Method	کلسیم
3500-Mg B. Calculation Method	منیزیم
2320 B. Titration Method	قلیائیت
3500-Na B. Flame Photometric Method	سدیم
3500-K B. Flame Photometric Method	پتاسیم
4500-F^- D. SPADNS Method	فلوراید
4500- Cl^- C. Mercuric Nitrate Method	کلراید
4500-$SO4^{2-}$ E. Turbidimetric Method	سولفات
4500-$NO3^-$ B. Ultraviolet Spectrophotometric Screeing Method	نیترات

تجزیه و تحلیل آماری انجام‌شده در آزمون یکنواختی به این شرح است: نمونه‌های آزمایش شده به دو قسمت تقسیم و برای آزمایش‌های مختلف در شرایط تکرارپذیر مورد آزمایش قرارگرفتند. یکنواختی نمونه‌ها با استفاده از روش ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه نوسانات درون‌نمونه و نوسانات بین‌نمونه بررسی شد. اگر بین این دو منبع نوسانات تفاوت معنی‌داری وجود نداشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌ها از یکنواختی مناسبی برخوردار هستند. قبل از انجام آزمون یکنواختی و به‌منظور ارزیابی این‌که آیا نوسانات درون‌نمونه به‌طور کلی با یکدیگر مرتبط هستند یا خیر، آزمون کوچران برای مقایسه مجموعه داده‌هایی با بیشترین نوسان با سایر مجموعه داده‌ها انجام شد. آزمون کوچران با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^{n} S_i} \qquad (۱)$$

که C: عدد کوچران محاسبه شده است. اگر C محاسبه شده بزرگتر از مقدار C بحرانی باشد، به‌عنوان داده پرت درنظر گرفته می‌شود و قبل از انجام آزمون یکنواختی، باید حذف شود. بعد از حذف داده پرت، آزمون یکنواختی با استفاده از روش ANOVA یک‌طرفه محاسبه و مورد بررسی قرارگرفت. بدین ترتیب که اگر F محاسبه شده کمتر از F کلیدی باشد، نمونه یکنواخت و در غیر این‌صورت نمونه از یکنواختی مناسبی برخوردار نیست.

۲-۵- آزمون پایداری

در این تحقیق، برای انجام آزمون پایداری، یکی از نمونه‌های تحت آزمون انتخاب و به دو قسمت تقسیم شد. بخشی از این نمونه، در روز اول هم‌زمان با انجام آزمون نمونه، اندازه‌ده‌های موردنظر آن اندازه‌گیری شد و بر روی بخش دوم، بعد از ۴۸ تا ۷۲ ساعت (بسته به نوع اندازه‌ده)، اندازه‌گیری انجام‌گرفت. نتایج به‌دست آمده با استفاده از ANOVA یک‌طرفه برای بررسی پایداری آنالیز شد. بررسی پایداری به این‌صورت است که اگر F به‌دست آمده از محاسبات ANOVA کمتر از F کلیدی باشد، نمونه پایدار و در غیر این‌صورت پایدار نیست.

۲-۶- مقدار تخصیص‌یافته

براساس استاندارد ISO13528 مقدار تخصیص‌یافته در تمام بخش‌ها براساس روش میانگین استوار آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده تعیین‌شد. هم‌چنین برای اطمینان مقدار تخصیص‌یافته از طریق محاسبه میانگین میانگین‌ها (اجماع شرکت‌کنندگان) هم انجام و نتایج با همدیگر مقایسه شد.

۲-۶-۱- قابلیت ردیابی مقدار تخصیص‌یافته

مقادیر تخصیص‌یافته برای بیشتر اندازه‌ده‌ها از نتایج شرکت‌کنندگان در این برنامه به‌دست آمده است. این مقادیر ازنظر اندازه‌شناسی به مراجع بالاتر قابل ردیابی نیست. دلیل به‌کارگیری این رویکرد، این واقعیت است که فرایند نمونه‌برداری بر روی یک هدف نمونه‌برداری حقیقی انجام شده است که شبیه اهداف روتین شرکت‌کنندگان بوده و هم‌چنین امکان تهیه اهدافی که بتوان مقدار تخصیص یافته را از سایر رویکردها استفاده نمود، وجود ندارد.

۲-۷- محرمانگی

برای حفظ اطلاعات شرکت‌کنندگان و حفظ محرمانگی، برای هر شرکت‌کننده یک کد اختصاصی تعلق‌گرفت. این کد با نامه

رسمی به شرکت‌کنندگان اعلام‌شد و در سراسر گزارش، هر آزمایشگاه با این کد قابل ردیابی است.

۲-۸- آنالیز داده‌ها و ارزیابی نتایج

سه روش کلی زیر برای ارزیابی نتایج آزمون در مقایسات بین‌آزمایشگاهی وجود دارد (Szewczak et al., 2016).

- ارزیابی تفاوت بین هر نتیجه و مقدار درست (واقعی)؛
- مقایسه واریانس (یا عدم قطعیت) هر آزمایشگاه با واریانس (یا عدم قطعیت) پیش‌بینی شده، مورد نیاز یا شناخته شده؛
- ارزیابی قابلیت مقایسه نتایج آزمایشگاهی.

در این تحقیق از روش سوم برای ارزیابی نتایج استفاده شده است؛ به‌دلیل این‌که، نیاز به داشتن آگاهی در مورد مقدار درست یا واریانس پیش‌بینی شده ندارد. روش‌های ساده ارزیابی نتایج مقایسات بین‌آزمایشگاهی در استاندارد ISO13528 اشاره شده است.

۲-۸-۱- آنالیز آماری نتایج آزمون مقایسات بین‌آزمایشگاهی

تجزیه و تحلیل نتایج آزمون ابتدا برای هر سطح به‌صورت جداگانه انجام می‌گیرد و موارد زیر محاسبه می‌شود:

واریانس تکرارپذیری (s_r^2)، واریانس بین آزمایشگاهی (s_L^2)، واریانس تجدیدپذیری ($s_R^2 = s_r^2 + s_L^2$)، میانگین ($\bar{x}$) و استفاده سیستماتیک از آزمون‌های آماری برای تشخیص نقاط دور افتاده.

۲-۸-۱-۱- محاسبه و تجزیه و تحلیل شاخص h و k

نتایج آزمون دریافتی از هر آزمایشگاه در یک جدول مرتب شده است. هر ستون، شامل نتایج حاصل از کلیه آزمایشگاه‌ها بر روی یک ماده و هر سطر، شامل نتایج حاصل از یک آزمایشگاه بر روی مواد است. بنابراین هر سلول شامل نتایج آزمون یک آزمایشگاه بر روی یک نمونه است.

۲-۸-۱-۲-محاسبه میانگین

میانگین نتایج ارسال شده توسط هر آزمایشگاه توسط معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (۲)$$

که $\bar{x}$: مقدار میانگین نتایج هر آزمایشگاه، x_i : مقدار انحصاری نتایج آزمون ارسال‌شده و n: تعداد نتایج آزمون برای هر آزمایشگاه است.

۲-۸-۱-۳- محاسبه انحراف استاندارد

با توجه به معادله (۳)، انحراف استاندارد نتایج آزمون ارسال شده توسط هر آزمایشگاه محاسبه می‌شود.

$$s = \sqrt{\sum_{1}^{n} \frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (۳)$$

۲-۸-۱-۴- محاسبه میانگین میانگین نتایج

میانگین غلظت یک ماده از طریق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{1}^{P} \bar{x}}{P} \qquad (۴)$$

که $\bar{\bar{x}}$: میانگین نتایج همه شرکت‌کنندگان آزمایشگاه‌ها (میانگین میانگین‌ها)، $\bar{x}$: مقدار میانگین نتایج ارسال شده هر آزمایشگاه و p: تعداد آزمایشگاه‌ها هستند.

۲-۸-۱-۵- محاسبه انحراف نتیجه هر آزمایشگاه

برای هر یک از آزمایشگاه‌ها، انحراف نتیجه هر آزمایشگاه با کسر میانگین هر نتیجه از میانگین میانگین نتایج همه آزمایشگاه با توجه به معادله (۵) محاسبه می‌شود.

$$d = \bar{x} - \bar{\bar{x}} \qquad (۵)$$

که d: میزان انحراف را نشان می‌دهد.

۲-۸-۱-۶- محاسبه انحراف استاندارد میانگین

انحراف استاندارد میانگین با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌گردد.

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\sum_{1}^{p} \frac{d^2}{(p-1)}} \qquad (۶)$$

که $S_{\bar{x}}$: انحراف استاندارد میانگین، d: میزان انحراف و p: تعداد آزمایشگاه‌ها را نشان می‌دهمد.

۲-۸-۱-۷- محاسبه انحراف استاندارد تکرارپذیری

انحراف استاندارد تکرارپذیری با توجه به معادله (۷) محاسبه می‌شود.

$$S_r = \sqrt{\sum_{1}^{p} \frac{s^2}{(p)}} \quad (۷)$$

که S_r: انحراف استاندارد تکرارپذیری و S: انحراف استاندارد نتایج هر آزمایشگاه هستند.

۲-۸-۱-۸-محاسبه انحراف استاندارد تجدیدپذیری

انحراف استاندارد تجدیدپذیری با استفاده از معادله (۸) محاسبه می‌شود.

$$S_R = \sqrt{(S_{\bar{x}})^2 + \frac{(n-1)(S_r)^2}{n}} \quad (۸)$$

که S_R: انحراف استاندارد تجدیدپذیری، $S_{\bar{X}}$: انحراف استاندارد میانگین و n: تعداد نتایج آزمون در هر آزمایشگاه هستند. مقدار نهایی انحراف استاندارد بیشترین مقدار بین دو مقدار S_r و S_R خواهد بود (هر کدام بیشتر بود).

۲-۸-۱-۹- تکرارپذیری و تجدیدپذیری

با استفاده از نتایج آماری صحیح، برای هر ماده ۹۵ درصد حدود تکرارپذیری (r) و تجدیدپذیری (R) مطابق معادلات (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$r = 2.8 s_r \quad (۹)$$

$$R = 2.8 s_R \quad (۱۰)$$

اغلب مقادیر S_r و S_R به ازای میانگین خواص هر سطح ($\bar{x}$) متغیر خواهند بود، بنابراین باید در روش آزمون، رویه تغییر موارد آماری براساس خواص سطوح درنظر گرفته‌شود.

۲-۸-۱-۱۰- شاخص آماری سازگاری بین آزمایشگاهی (h)

معادله (۱۱) شاخص آماری سازگاری بین آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

$$h = \frac{d}{S_{\bar{x}}} \quad (۱۱)$$

که h: سازگاری آماری بین آزمایشگاهی، d: انحراف میانگین نتایج هر آزمایشگاه از میانگین کل نتایج همه شرکت‌کنندگان و $S_{\bar{x}}$: انحراف استاندارد میانگین سلول‌ها هستند.

۲-۸-۱-۱۱- شاخص آماری سازگاری درون‌آزمایشگاهی (k)

سازگاری آماری درون آزمایشگاهی (k) با توجه به معادله (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$k = \frac{S}{S_r} \quad (۱۲)$$

مقدار کلیدی h، براساس تعداد آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده در برنامه مطالعات بین‌آزمایشگاهی (p)، تعیین می‌شود و مقدار کلیدی k، براساس تعداد آزمایشگاه‌های مشارکت‌کننده در برنامه مطالعات بین‌آزمایشگاه (p) و تعداد تکرار آزمون‌ها برای یک ماده (n)، تعیین می‌شود. درصورتی‌که مقدار شاخص h، مربوط به یک آزمایشگاه از مقدار بحرانی آن ($h_{critical}$) کوچک‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه ازنظر درستی مناسب بوده و درصورتی‌که مقدار شاخص h، از مقدار بحرانی ($h_{critical}$) بزرگ‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه ازنظر درستی مناسب نیست. درصورتی‌که مقدار شاخص k، مربوط به یک آزمایشگاه از مقدار بحرانی آن ($k_{critical}$) کوچک‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه ازنظر دقت مناسب بوده واگر مقدار شاخص k از مقدار بحرانی آن ($k_{critical}$) بزرگ‌تر باشد، عملکرد آزمایشگاه ازنظر دقت مناسب نیست.

۲-۹- نمره‌های z

محاسبه عملکرد شرکت‌کنندگان براساس استاندرد ISO 13528 با استفاده از معادله (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$z\ score = \frac{(x - X)}{s^*} \quad (۱۳)$$

که x: میانگین نتایج هر شرکت‌کننده، X: مقدار تخصیص‌یافته استوار یا مقدار مرجع تخصیص‌یافته برای ارزیابی عملکرد در مقیاس لگاریتمی و s^*: انحراف استاندارد به‌دست آمده با استفاده از روش استوار در مقیاس لگاریتمی هستند.

۲-۹-۱- تفسیر نمره‌های z

هنگامی‌که شرکت‌کننده نتیجه‌ای را گزارش نماید که نمره z بزرگ‌تر از ۳ یا کم‌تر از ۳- باشد، نتیجه آزمون در محدوده اقدام قراردارد و شرکت‌کنندگان باید نقاط ضعف آزمایشگاه را مشخص

و فرم اقدام اصلاحی برای آن تکمیل و علت ریشه‌ای آن بررسی نمایند. هم‌چنین نمره بالای ۲ و کمتر از ۲- در محدوده هشدار قراردارد و باید بررسی و تحلیل شوند. نحوه رده‌بندی نمره‌های z-score به‌صورت زیر است:

$$|z\ or\ z'| \leq 2, \text{مطلوب}, S$$
$$-2 < |z\ or\ z'| < 2, \text{هشدار}, W$$
$$-3 < |z\ or\ z'| < 3, \text{اقدام}, A$$

اگر معادله (۱۴) برقرار باشد به جای پارامتر z-score از $z'-score$ از معادله (۱۵) استفاده می‌شود.

$$u < 0.3 \times s* \quad (۱۴)$$
$$z' - score = \frac{(x - X)}{\sqrt{s*^2 + u^2}} \quad (۱۵)$$

که u: عدم‌قطعیت مقدار تخصیص‌یافته و $s*$: انحراف استاندارد به‌دست آمده با استفاده از روش استوار در مقیاس لگاریتمی هستند.

۲-۱۰- حذف داده‌های پرت

روش‌های مختلفی برای حذف داده‌های پرت وجود دارد. در این تحقیق، از آزمون گرابز برای حذف داده‌های پرت استفاده شد. این آزمون از طریق معادلات (۱۶) تا (۲۰) انجام می‌شود (Urvoy et al., 2014). برای انجام آزمون گرابز، نتایج از کوچک به بزرگ مرتب می‌شود. فرض صفر این است که داده‌ای که مشکوک است، دارای تفاوت فاحشی نسبت به سایر داده‌ها نیست.

$$G_{lowest} = \frac{(\bar{X} - X_{min})}{S} \quad (۱۶)$$
$$G_{highest} = \frac{(X_{max} - \bar{X})}{S} \quad (۱۷)$$

در تست گرابز، اگر رابطه (۱۸) برقرار باشد، فرض صفر پذیرفته می شود، یعنی آن داده پرت نیست.

$$\left(G_{lowest}\ or\ G_{highest}\right) < G_{crit}, 0.05 \quad (۱۸)$$

اگر رابطه (۱۹) برقرار باشد داده معلق محسوب می‌شود و انتخاب با آزمایشگاه است که داده را حذف کرده یا در محاسبات لحاظ کند.

$$G_{crit}, 0.01 < \left(G_{lowest}\ or\ G_{highest}\right) < G_{crit}, 0.05 \quad (۱۹)$$

هم‌چنین اگر رابطه (۲۰) برقرار باشد، داده داده پرت در نظر گرفته می‌شود.

$$\left(G_{lowest}\ or\ G_{highest}\right) > G_{cri}, 0.01 \quad (۲۰)$$

در محاسبات این آزمون، داده پرت فقط در محاسبه مقدار تخصیص‌یافته منظور نشده، ولی سایر محاسبات مثل تعیین h و k و محاسبه z-score برای آن انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون یکنواختی

بررسی یکنواختی براساس الزامات (ISO 13528) و آزمون کوچران برای بررسی یکنواختی واریانس در نتایج، برای کلیه اندازه‌دهای فیزیکوشیمیایی آب انجام و به‌عنوان نمونه، فقط نتیجه مربوط به آزمون هدایت الکتریکی در این مقاله گزارش شده است. همان‌طور که داده‌های جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد، اندازه‌ده هدایت الکتریکی از یکنواختی مناسبی برخوردار است. نتایج نشان داد که سایر اندازه‌دهای فیزیکوشیمیایی آب هم از یکنواختی مناسبی برخوردار هستند.

۳-۲- آزمون پایداری

با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در بخش فیزیکوشیمیایی آب تمامی اندازه‌دها به‌جز pH پایدار بودند. در مورد اندازه‌دهایی که پایدار نبودند، تأثیر ناپایداری (Ss) در ارزیابی شرکت‌کنندگان درنظر گرفته‌شده است. نتایج آزمون پایداری در جدول ۵ نمایش داده شده است.

۳-۳- مقدار تخصیص‌یافته

مقدار تخصیص‌یافته و انحراف معیار آزمون مقایسه بین آزمایشگاهی برای هر اندازه‌گیری از طریق دو روش اجماع نتایج شرکت‌کنندگان و روش‌ها و نتایج آماری قوی در جدول ۶ نشان داده شده است. این جدول نتایج تجزیه و تحلیل مقایسه بین آزمایشگاهی انجام شده در همه شرکت‌کنندگان را خلاصه می‌کند. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، توافق خوبی بین دو روش محاسبه مقدار اختصاص داده‌شده از طریق اجماع شرکت‌کنندگان (روش‌های h و k) و روش آماری استوار (به‌جز در

چند معیار محدود) وجود دارد. با این‌حال، با توجه به نتایج نشان داده شده در دو روش، تصمیم گرفته‌شد، از روش آماری استوار برای ارزیابی صحت شرکت‌کننده و از روش k برای ارزیابی دقت بین آزمایشگاهی استفاده شود.

جدول ۳- داده‌ها و نتایج حاصل از آزمون یکنواختی بر اساس الزامات استاندارد ISO 15328 برای هدایت الکتریکی

ردیف	نتیجه بخش ۱	نتیجه بخش ۲	میانگین	واریانس (s^2)
۱	۴۷۶/۸	۴۷۱/۲	۴۷۴	۱۵/۶۸
۲	۴۷۶/۳	۴۷۷/۱	۴۷۶/۷	۰/۳۲
۳	۴۷۷/۷	۴۸۱/۷	۴۷۹/۷	۸
۴	۴۷۷/۶	۴۸۱/۴	۴۷۹/۵	۷/۲۲
۵	۴۷۸/۳	۴۸۲/۱	۴۸۰/۲	۷/۲۲
۶	۴۷۹	۴۸۲	۴۸۰/۵	۴/۵
میانگین کل				۴۷۸/۴۳
واریانس بین گروهی				۱۳/۱۲
واریانس درون گروهی				۷/۱۶
مقدار F				۱/۸۳
مقدار F کلیدی				۴/۳۹
یکنواختی تایید می شود؟				بله

جدول ۴- نتایج آزمون Cochran بر روی داده‌های یکنواختی

۵ جفت داده	۶ جفت داده	تعداد
----	۴۲/۹۴	مجموع مربعات واریانس‌ها
----	۰/۳۶	Cمقدار
----	۰/۷۸۱	مقدارC کلیدی
----	مورد تایید است	نتیجه آزمون

جدول ۵- نمایش نتایج آزمون پایداری فیزیکوشیمیایی آب

اندازه‌ده			هدایت الکتریکی	pH	کدورت	سختی کل	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	فلوراید	کلراید	قلیاییت	نیترات	سولفات
نمونه ها	۱	تکرار ۱	۴۷۷/۱	۷/۸۷	۱۷/۵۲	۱۹۶	۵۷/۶	۱۲/۵	۲۴/۲	۱/۶	۰/۱۹	۳۳	۱۴۴	۶/۲۸	۴۹/۱۵
		تکرار ۲	۴۸۱/۳	۷/۸۹	۱۷/۷۶	۲۰۰	۵۹/۲	۱۲/۵	۲۴/۵	۱/۶	۰/۱۸	۳۴	۱۴۴	۶/۹۳	۴۷/۳۳
		تکرار ۳	۴۸۲/۱	۷/۹۸	۱۵/۷۸	۱۹۸	۵۶	۱۳/۹	۲۴/۴	۱/۷	۰/۱۹	۳۴	۱۴۲	۶/۴۱	۴۹/۰۴
		تکرار ۴	۴۸۲/۵	۸	۱۷/۵۴	۱۹۴	۵۵/۲	۱۳/۴	۲۴	۱/۷	۰/۲۱	۳۴	۱۴۲	۶/۰۴	۵۳/۴
	۲	تکرار ۱	۴۷۹/۵	۷/۹۹	۱۷/۰۹	۲۰۰	۵۶/۸	۱۳/۹	۲۴	۱/۶	۰/۱۹	۳۴	۱۴۲	۶/۷۲	۵۰/۶۴
		تکرار ۲	۴۸۳/۵	۸/۰۳	۱۶/۴۱	۲۰۰	۵۶	۱۴/۴	۲۴/۲	۱/۶	۰/۱۹	۳۴	۱۴۴	۶/۹	۴۷/۲۳
		تکرار ۳	۴۸۲/۷	۸/۰۶	۱۷/۲۳	۱۹۶	۵۶/۸	۱۳	۲۴/۱	۱/۷	۰/۱۹	۳۴	۱۴۴	۶/۷۴	۴۷
		تکرار ۴	۴۸۳	۸/۱	۱۶/۲	۱۹۴	۵۶	۱۳	۲۴/۶	۱/۷	۰/۲۱	۳۳	۱۴۴	۷/۲۳	۵۰
مقدار F محاسبه شده			۰/۸۶	۷/۶۴	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۸۹	۰/۰۸	۰	۰/۱	۰	۰/۴۳	۴/۷۳	۰/۴
مقدار F کلیدی			۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷	۵/۹۸۷
آیا نمونه پایدار است؟			بله	خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله

جدول ۶- خلاصه نتایج حاصل از آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی شرکت کنندگان در بخش فیزیکوشیمیایی آب

اندازه‌ده	هدایت الکتریکی	pH	کدورت	سختی کل	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	فلوراید	کلراید	قلیائیت	سولفات	نیترات
تعداد نتایج	۵۷	۵۶	۵۷	۵۷	۵۶	۵۴	۳۹	۳۷	۳۷	۵۰	۵۱	۵۵	۴۷
مقدار تخصیص یافته با استفاده از روش اجماع	۴۶۹/۰۱	۷/۹۸	۱۲/۸۶	۱۸۹/۲	۵۴/۳۳	۱۲/۸۳	۲۴/۲۲	۱/۸۲	۰/۲۶	۳۵/۰۳	۱۴۳/۹	۵/۵	۴۸/۸
انحراف استاندارد میانگین نتایج	۸/۹۸	۰/۲۴	۱/۷۹	۴/۴۴	۲/۲۵	۱/۵	۱/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۷	۲/۰۳	۵/۲۹	۰/۵۲	۵/۴۵
مقدار تخصیص یافته با استفاده از روش استوار	۴۶۹/۵۸	۷/۹۹	۱۲/۵۶	۱۸۹/۳	۵۴/۴۷	۱۲/۷۸	۲۴/۱۹	۱/۷۹	۰/۲۶	۳۵/۱	۱۴۴	۵/۵۱	۴۸/۳۸
انحراف استاندارد استوار نتایج	۵/۹۲	۰/۱۷	۱/۴۲	۳/۶۵	۱/۹۵	۱/۴	۱/۱	۱/۱	۰/۷۷	۱/۹۵	۴/۲۳	۰/۴۹	۴/۲۱
عدم قطعیت مقدار تخصیص یافته استوار	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۱۶	۰/۳۷	۰/۷۶	۰/۰۸	۱/۷۸
تعداد داده‌های پرت	۰	۳	۱	۴	۱	۵	۴	۱	۰	۶	۳	۳	۱
تعداد نمره‌های h بزرگتر از h بحرانی	۱	۳	۱	۴	۲	۵	۴	۱	۰	۶	۴	۴	۱
تعداد نمره‌های k بزرگتر از k بحرانی	۱	۰	۲	۲	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۲
تعداد نمره‌هایz-score بزرگتر از ۲	۱	۲	۶	۹	۴	۳	۲	۴	۱	۳	۳	۲	۴
تعداد نمره‌هایz-score بزرگتر از ۳	۶	۳	۲	۴	۲	۵	۴	۱	۰	۶	۵	۴	۳
روش تعیین انحراف استاندارد	اجماع نتایج شرکت کنندگان												

۳-۴- ارزیابی نتایج

۳-۴-۱- ارزیابی صحت نتایج شرکت‌کنندگان

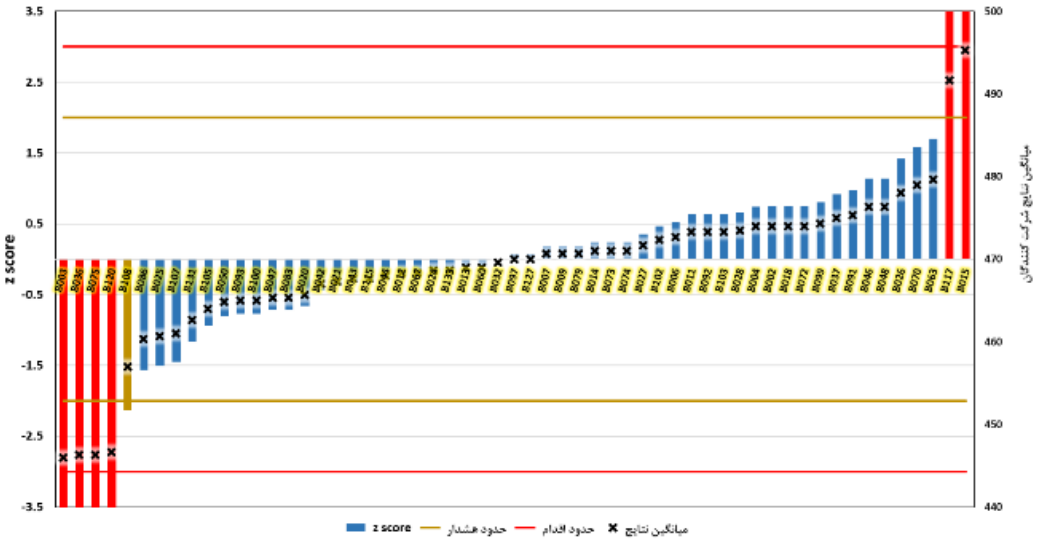
نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که برگزاری آزمون‌های مهارت برای نهادهای نظارتی که نیاز به ارزیابی عملکرد شرکت‌کنندگان تحت پوشش مقررات دارند، مفید است. نتایج این آزمون، می‌تواند برای نشان دادن شایستگی استفاده شود. بدین ترتیب، شرکت‌کنندگان می‌توانند شایستگی خود را به سایر طرف‌های ذینفع، مانند مشتریان یا در یک قرارداد فرعی نشان دهند (Durgut, 2021). در این تحقیق به نقش آزمون‌های مقایسات بین‌آزمایشگاهی در اطمینان از کیفیت اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در آزمایشگاه‌ها، سازماندهی آزمون‌ها ، تجزیه و تحلیل و گزارش نتایج آن‌ها پرداخته شده است. بدین ترتیب، از نمودار کنترل شوهارت که روش مؤثری برای نمایش مقادیر بزرگی نمره‌های عملکرد است، برای نمایش گرافیکی صحت استفاده شده است (Biswas et al., 2016). مقادیر z-score به‌عنوان شاخص صحت و در نهایت مقایسه عملکرد مشارکت‌کنندگان در این آزمون است. این نمودارهای کنترل صحت نتایج مشارکت‌کنندگان در آزمون مقایسات بین آزمایشگاهی در بخش‌های فیزیکوشیمیایی آب را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه، شکل ۲ نمودار بررسی صحت نتایج برای اندازه‌ده هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد. در این نمودار، مقادیر z-score بالاتر از ۲ برای شرکت‌کنندگان با رنگ زرد نشان داده شده است و بیانگر علامت هشدار برای آزمایشگاه موردنظر برای بررسی شرایط و تجهیزات مورد استفاده در آزمون است. این علامت، نشان می‌دهد که شرکت‌کنندگان باید درستی روش‌ها را با استفاده از مواد مرجع و مشارکت در آزمون مهارت به‌منظور بررسی اثربخشی اقدامات اتخاذ شده مورد بررسی قراردهند. خط قرمز در نمودار نشان دهنده مقادیر z-score بالاتر از ۳ بوده و علامت عمل برای آزمایشگاه موردنظر برای اقدامات لازم به‌منظور تأمین صحت اندازه‌گیری است. بنابراین باید شرکت‌کننده فرایندهای خود را تا زمانی‌که علل ریشه‌ای مشکل شناسایی شوند، متوقف نماید و اقدامات مناسبی را برای اصلاح کار نامنطبق و از بین‌بردن علل عدم انطباق اتخاذ نماید.

۳-۴-۲- نمایش دقت نتایج مشارکت‌کنندگان

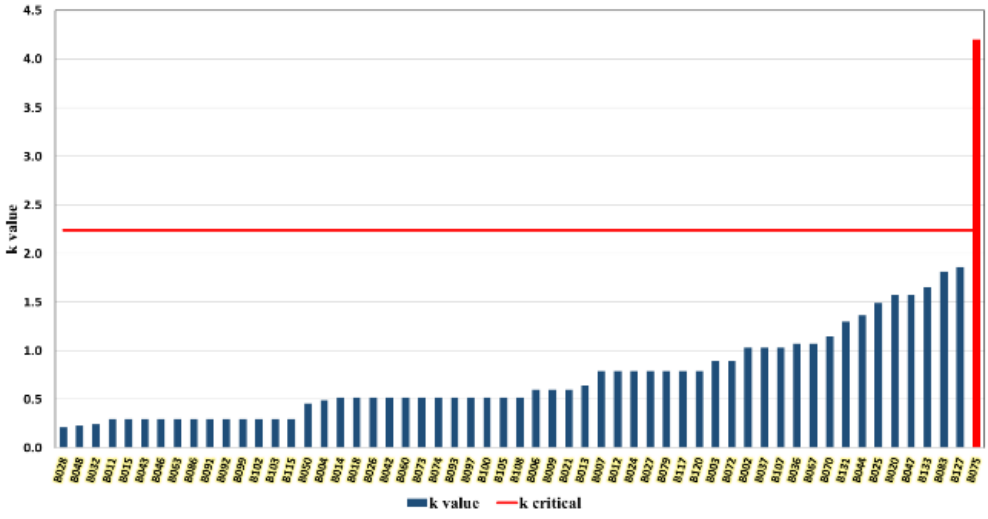
برای ارزیابی دقت درون آزمایشگاهی شرکت‌کنندگان از مقادیر k استفاده شده‌است. نمودارها بیانگر نمایش گرافیکی نتایج هستند. در این نمودارها خط قرمز رنگ مقدار k کلیدی را برای هر اندازه‌ده نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه، مقادیر k برای اندازه‌ده هدایت الکتریکی در شکل ۳ نمایش داده‌شده است. در نمودار نمایش داده‌ها براساس k، نتایج قرمز نشان‌دهنده مقادیر بالاتر از حد کلیدی بوده و بنابراین شرکت‌کننده موردنظر از دقت درون‌آزمایشگاهی کافی برخوردار نبوده است.

محاسبه مقدار تخصیص‌یافته و ارزیابی عملکرد بر اساس استانداردهای بین المللی ISO 13528 ممکن است به‌عنوان رویکرد مفیدی برای مقایسه بین‌آزمایشگاهی در آزمایشگاه‌های آب اتخاذ شود. هنگام اعمال این استاندارد، مقدار تخصیص داده‌شده با مقادیر اجماع محاسبه‌شده از نتایج شرکت‌کنندگان با استفاده از تجزیه و تحلیل قوی و نتایج با استفاده از عامل z-score

به‌عنوان اندازه‌ده صحت ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی دقت آزمایشگاهی از مقادیر k استفاده شد. آزمایشگاه‌هایی با مقادیر k بیشتر از مقادیر بحرانی و با امتیاز z بالاتر از ۳ به‌عنوان آزمایشگاه‌هایی با عملکرد ضعیف طبقه‌بندی شدند که نیاز به اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه و بررسی و رفع ریشه مشکلات و ناسازگاری‌های شناسایی‌شده دارند. مقادیر با امتیاز z بین ۲ و ۳ نشان‌دهنده یک علامت هشدار برای آزمایشگاه برای بررسی شرایط و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش است. به‌طور کلی، ارزیابی نتایج نشان داد که ۳ درصد از شرکت‌کنندگان در آزمون هدایت الکتریکی، ۲ درصد در آزمون کلسیم، ۲۸ درصد در آزمون فلوراید، ۱۰ درصد در آزمون کلراید در وضعیت نامطلوب قرار دارند. هم‌چنین ۱۰ درصد شرکت‌کنندگان در آزمون هدایت الکتریکی، ۲ درصد در آزمون سختی کل، ۲ درصد در آزمون کلسیم، ۸ درصد در آزمون سدیم، ۸ درصد در آزمون پتاسیم، ۴ درصد در آزمون فلوراید، ۸ درصد در آزمایش کلرید، ۶ درصد در آزمایش سولفات و ۲ درصد در آزمون نیترات نتایج مشکوکی دارند.



شکل ۲- مقدار z-score برای هدایت الکتریکی



شکل ۳- مقدار k برای هدایت الکتریکی

دریافت یک علامت هشدار در یک دوره آزمون مهارت و دو علامت هشدار در دوره‌های متوالی آزمون مهارت به‌معنی عملکرد نامطلوب آزمایشگاه و ایجاد عدم انطباق با استاندارد در روش آزمون موردنظر بوده و نیازمند انجام اقدامات اصلاحی و پیش‌گیرانه به‌منظور بررسی و رفع ریشه‌ای مشکلات عدم انطباق‌های شناسایی‌شده است. بنابراین آزمایشگاه‌های شرکت‌کننده باید در بخش‌های مختلف نتایج خود را بررسی‌نموده و از این طریق اقدامات لازم برای بررسی علل و رفع مشکلات خود را انجام دهند.

۴- نتیجه‌گیری

آزمایشگاه مرجع شرکت آب و فاضلاب استان تهران طی دو دوره، در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ موفق به برگزاری آزمون مقایسه‌های بین آزمایشگاهی در سطح کشور شد. اجرای دو دوره مقایسه‌های بین آزمایشگاهی نشان‌داد که آزمایشگاه‌های تخصصی، توانمندی اجرای این برنامه و تجزیه و تحلیل نتایج را دارند. در این راستا بررسی عملکرد نتایج ارسال‌شده از شرکت‌کنندگان آزمون مقایسه‌های بین آزمایشگاهی، تحلیل عملکرد و ارزیابی نتایج براساس محاسبات آماری انجام و گزارش آن برای کلیه شرکت‌کنندگان ارسال شد.

برگزاری آزمون مقایسه‌ها در سطح کشور، علاوه‌بر کنترل خارج‌سازمانی آزمایشگاه‌ها، با توجه به رایگان‌بودن برگزاری آن، طبق برآورد انجام‌شده، نزدیک به ۱۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی اقتصادی برای شرکت‌های آب و فاضلاب و وزارت نیرو به‌همراه داشته است. زیرا آزمایشگاه‌هایی که در آزمون مهارت برگزارکنندگان خصوصی مشارکت می‌نمایند، ملزم به خریداری نمونه‌های آزمون مهارت هستند که با توجه به دامنه کاری آزمایشگاه و تعداد آن، می‌تواند مبالغ قابل‌توجهی از هزینه‌های نگهداری و کنترل کیفیت آزمایشگاه را به‌خود اختصاص‌دهد. می‌توان پایش بلندمدت فعالیت‌های کنترل کیفیت آزمایشگاه را با استفاده از نمودارهای کنترلی انجام‌داد تا وقوع هر نوع روندی در سیستم اندازه‌گیری بررسی‌شود. شرکت مداوم و مستمر در آزمون‌های مهارت و مقایسه‌های بین آزمایشگاهی می‌تواند کمک مؤثری در بهبود کیفیت سیستم آزمایشگاه‌ها داشته باشد.

۵- مراجع

APHA, AWWA, WEF, (2017), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 23rd Edition.

Biswas, R.K., Masud, M.S., and Kabir, E., (2016), "Shewhart control chart for individual measurement: An application in a weaving mil", *Australasian Journal of Business, Social Science and Information Technology*, 2(2), 89-100.

Durgut, Y., (2021) "Inter-laboratory comparisons and their roles in accreditation", *European Journal of Science and Technology*, 28, 402-406, https://doi.org/10.31590/ejosat.1001957.

Henrik, H.S., (2003), "Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing", *NCSL International Workshop and Symposium*, *Indianapolis, Indiana, USA.*

IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications, (2009), "Proficiency test of Ukrainian laboratories determination of Gamma emitting radionuclides", IAEA/AQ/006, IAEA Viena, 1.

ISO/IEC 17025, (2017), "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Geneva.

ISO /IEC 17043, (2010), "Conformity assessment, General requirements for proficiency testing", International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Geneva.

ISO 1352., (2015), "Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons", International Organization for Standardization, Geneva.

Softić, A., Zaimović-Uzunović, N., and Basić, H., (2012), "Proficiency testing and interlaboratory comparisions in laboratory for dimensional measurement", *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 16(1), 115-118.

Szewczak, E., and Bondarzewski, A., (2016), "Is the assessment of interlaboratory comparison results for a small number of tests and limited number of participants reliable and rational?", *Accreditation and Quality Assurance*, 21, 91-100, https://doi.org/10.1007/s00769-016-1195-y.

Urvoy, M., and Autrusseau, F., (2014), "Application of Grubbs' test for outliers to the detection of watermarks", *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Information hiding and Multimedia Security*, 49-60, https://doi.org/ 10.1145/2600918.2600931.

Voiculescu, R.M., Olteanu, M.C., and Nistor, V.M., (2013), "Design and operation of an inter-laboratory comparsion cheme", *Proceedings of NUCLEAR 2013 the 6th Annual International Conference on Sustainable Development through Nuclear Research and Education*.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.