چگونه می توان به داده های یک آزمایشگاه مواد معدنی اعتماد کرد؟

شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما

مقدمه:

آیا جوابهای این آزمایشگاه درست است؟

چگونه متوجه صحت و دقت جوابها بشویم؟

چه پارامترهای کنترلی را می توان برای تست آزمایشگاه قرار داد؟

چه معیارهایی می تواند در آنالیز نمونه های معدنی حائز اهمیت باشد؟

تا چه درصد خطایی می توانم نتایج تکراری را قبول کنم؟

و

.

.

سوالاتی از این قبیل، سالهاست که ذهن اکتشافگران، محققین، معدنکاران و بازرگانان را درگیر خود کرده است، از طرفی سره از ناسره جدا نشده و دست آزمایشگاه می تواند برای ارایه هر پاسخی حتی اشتباه، کاملا باز باشد. بنابراین نیاز به تشریح برخی مسائل کنترلی در خصوص آزمایشگاه الزامیست. صحبت از توضیح کامل پارامترهای کنترلی در یک آزمایشگاه با توجه به گستره وسیع موارد کنترلی از مرحله نمونه برداری تا نحوه ارایه نتایج در این مقاله نمی گنجد. از طرفی آشنایی با روابط آماری پیچیده و کاربردهای آنها مانند محاسبه عدم قطعیت کل و غیره برای نویسنده که تخصصی در علم شیمی و روابط آماری دارد طاقت فرسا می باشد و برای خوانندگانی که آشنایی به این مطالب ندارند ملال آور و کم فایده خواهد بود. از سوی دیگر از گذشته یک فضای متفاوت برای تفهیم مطالب در میان خواسته زمین شناسان و رعایت اصول روشهای آنالیز توسط کارشناسان شیمی وجود داشته، بنابراین سعی بر آن شده که با ساده نگاری و پرداختن به موضوعات کلیدی ابهام خواننده در زمینه های زیر برطرف شود:

- آشنایی با برخی مفاهیم اصولی آماری
- چگونگی اعمال پارامترهای کیفی در داخل آزمایشگاه
- فرآیند ارزیابی روند آنالیز توسط آزمایشگاه

و مهمتر اینکه:

- چگونه از صحت و دقت جواب آنالیز نمونه های ارسالی به آزمایشگاه مطلع شوید.

به صورت کلی مفاهیم به دو بخش اصلی تقسیم می شوند:

1 -روشهای کنترل بهینه کیفیت در آزمایشگاه

2 -روشهای کنترل نتایج آزمایشگاه توسط مالکان نمونه

بخش اول : روشهای کنترل بهینه کیفیت در آزمایشگاه

در این بخش توضیح مختصری راجب به معیارهای مورد نظر برای کنترل روند کار آزمایشگاه داده خواهد شد.

تضمین کیفیت (Quality Assurance) :

همانطور که از اسم آن مشخص است به شرط رعایت این برنامه، کیفیت آنالیز و ارائه نتایج توسط آزمایشگاه تضمین می شود. برنامه تضمین کیفیت یک آزمایشگاه از دو بخش تشکیل شده است : کنترل کیفیت و ارزیابی کیفیت.

کنترل کیفیت (Quality Control) :

برنامه های کنترل کیفیت، شامل تمامی فعالیت هایی است که استفاده می شود تا یک سیتم تحت کنترل آماری قرار گیرد. به صورت کلی روند کنترل کیفی یک آزمایشگاه به صورت زیر می باشد:

- تهیه روشی برای ثبت و پردازش داده ها
- تهیه روشی برای نحوه کالیبراسیون، نگهداری دستگاه و تجهیزات
- روشی برای اعتبار سنجی پردازش و گزارش نتایج
- برنامه ای برای استفاده از نمونه های کنترلی و استاندارد به منظور چک کردن تکرارپذیری، صحت و ...

ارزیابی کیفیت (Quality Assessment) :

برنامه های ارزیابی کیفیت، مشخص می کنند که آیا سیستم تحت کنترل آماری قرار گرفته است یا خیر و اینکه سیستم از کنترل آماری خارج شده است یا خیر.

اولین قدم در اجرای فرآیند ارزیابی کیفیت آزمایشگاه در بخش تجزیه ای تعیین خطای مجاز می باشد. علیرغم تمامی تلاشها، وجود خطا در آزمایشگاهها حتی در بهترین شرایط اجتناب ناپذیر می باشد. بطوریکه حتی اگر در یک آزمایشگاه، یک کارشناس، آزمایش ثابتی را با دستگاه مشخص بر روی نمونه واحد به دفعات انجام دهد، اخذ نتایج مشابه و یکسان در تمامی موارد بعید به نظر می رسد. پس مدیر کنترل کیفیت آزمایشگاه می بایست با در نظر گرفتن مجموع شرایط آزمایشگاه و نیز با توجه به سطح کیفیت مورد نیاز خود، میزان عدم دقت و عدم صحت و یا مجموعا خطای کلی مجاز خود را مشخص نماید.

ارزیابی کیفی آماری:

موضوعات قابل بررسی :

دقت، تکرارپذیری (Precision) :

دقت را در یک جمله می توان نزدیکی نتایج داده ها به یکدیگر توضیح داد. برای کنترل دقت از نمونه های مورد آنالیز، نمونه تکراری انتخاب شده و همراه با سایر نمونه ها با همان شرایط، آماده سازی می شود و در نهایت با مقایسه تکرارپذیری نتایج با استفاده از روابط آماری می توان دقت آنالیز را ارزیابی کرد. یکی از این روابط از طریق بدست آوردن درصد انحراف اختلاف نسبی با درجه اطمینان 99.9درصد محاسبه می شود درصد خطا برای دو نمونه تکراری A_1 و A_2 از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\%RPD^{1} = \left(\frac{S}{x}\right) \times 100$$

$S = |A1 - A2|$

x = Average(A1,A2)

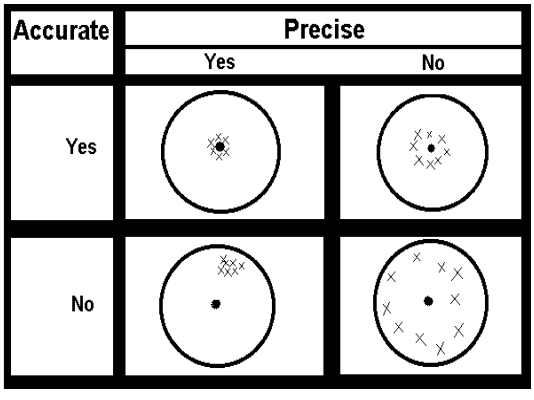
نکته مهم در بررسی تکرار پذیری داده برمی گردد به این سوال که تا چه درصدی می توان داده ها را مردود کرد و یا پذیرفت؟

عدد مشخصی را نمی توان در جواب این سوال بیان کرد و در واقع این مقدار کاملا به زمینه کاری و عیار عناصر مختلف در نمونه وابستگی دارد. به صورتیکه محاسبه درصد خطا در آزمایشگاههای معتبر می تواند 10، 30 و حتی 50 برابر حد تشخیص باشد به عنوان مثال در وبسایت شرکت بازرسی اس جی اس برای داده های 5 برابر حدتشخیص مقدار 50 درصد خطا قابل قبول است. بنابراین هیچ نسخه مشابهی را نمی توان برای تمام نمونه ها پیچید.

صحت (Accuracy) :

صحت یک آنالیز، نزدیکی داده ها به مقدار واقعی می باشد. به منظور بررسی صحت یک آنالیز از نمونه های استاندارد مرجع تایید شده (CRMs)[۲] و یا نمونه استاندارد محلول در بازه های مشخص مابین نمونه های محلول استفاده می شود. به عنوان مثال در یک دسته 50 تایی از نمونه خاکی به منظور آنالیز میزان سرب (Pb) با روش تیزاب از استاندارد مرجع سرب با غلظت 250ppm استفاده شده است پس از انحلال، خوانش و پردازش داده ها غلظت سرب این استاندارد برابر با 220ppm محاسبه می شود. از آنجا که استاندارد مذکور دقیقا با همان شرایط نمونه های دیگر آماده سازی شده نتیجه گیری می شود که باید به مقدار 30ppm به سایر نمونه های آماده سازی شده همراه اضافه کرد.

در شکل زیر مثال آشنای تفاوت دقت و صحت را مشاهده می کنید:



1
2

تکرارپذیری در زمان (Reproducibility) :

یکی ازمشکلات محققان زمین شناسی پایدار نبودن پاسخهای آزمایشگاه نسبت به نمونه های ارایه شده به آنها در گذر زمان است. به این معنی که پاسخ یک آزمایشگاه با گذشت حتی سالها پس از آنالیز یک نمونه یکسان، نباید با اختلاف معنی داری همراه باشد. استهلاک دستگاههای خوانشی، تعویض تکنسینها، تعویض اسیدها و مواد مصرفی، تغییر استانداردها و در برخی کانیها تاثیر گذر زمان بر آنها و غیره تماما از عواملی هستند که ممکن است پاسخ آنالیز یک نمونه را دستخوش تغییر کنند و همواره چک کردن پایداری جوابها با گذر زمان می بایست در دوره های معینی انجام گیرد. این پارامتر با استفاده از قرار دادن نمونه های قبلی مربوط به پروژه هایی که ماهها، بلکه سالها قبل کار شده اند و مقایسه نتایج آنها با نتایج گزارش شده قبلی قابل کنترل می باشد.

تعیین میزان خطای تجدید پذیری نیز همانند تکرارپذیری به زمینه کاری وابسته است.

نمونه شاهد (Blank) :

نمونه شاهد معمولی (Equipment Blank)

این نمونه در ابتدای نمونه ها به منظور چک کردن میزان آلودگی حاصل از دستگاه و تجهیزات در پروسه خوانش قرار می گیرد.

نمونه شاهد روش (Method Blank)

این نمونه با ماتریکس مشابه نمونه های آنالیز به منظور از بین بردن اثر زمینه در مرحله پردازش در پروسه خوانش قرار می گیرد.

نتایج خارج از رده (Outliers) :

شناسایی و حذف نتایج مشکوک چه در مرحله کالیبراسیون و چه در تفسیر داده ها از اهمیت بسزایی برخوردار است از آن جهت که وجود یک یا چند داده مشکوک در میان داده ها می تواند کلیه نتایج را به سمت اشتباه سوق دهد لذا استفاده از روشهای آماری مانند Q-Test و آزمون T_n می تواند درباره تصمیم گیری رد یا قبول یک داده کارگشا باشد. اینکه واقعا نتیجه مشکوک مرتبط با تجهیزات آزمایشگاهی است یا اینکه نمونه دارای عیاری متمایز از سایر نمونه ها است نیز مساله مهمی است که بایستی ابتدا از این مساله اطمینان کافی را به دست آورد.

در ادامه پارامترهایی که مدیرفنی می تواند توسط آنها آزمایشگاه و روشهای خود را ارزیابی کند به صورت مختصر توضیح داده می شود:

سیگنال ها، شکل و نوع پیکها :

قبل از شروع آنالیز توسط دستگاه اطمینان از کالیبره بودن دستگاه نسبت به طول موجهای آنالیز، همچنین بررسی کیفی پیکها و پاسخ کمی دستگاه نسبت به نمونه با غلظت مشخص انجام می گیرد. این کالیبراسیون به صورت دستی و یا به صورت خودکار توسط نرم افزار دستگاه انجام گیرد.

خط کالیبراسیون (Linearity) :

خطی بودن کالیبراسیون نشان از درستی استفاده از داده ها در معادله خط درجه اول می دهد .کنترل خطی بودن روابط بین غلظت و پاسخ دستگاه در روش A حاکی از آن است که نمونه در همان رنج را می توان با روش A آنالیز کرد.

استاندارد داخلی (Internal standard) :

استاندارد داخلی ماده ای با خواص مشابه با آنالیت مورد نظر است که با غلظت مشخص و حجم معینی به نمونه های استاندارد و نمونه های مورد آنالیز اضافه می شود. از استاندارد داخلی به منظور بررسی درستی روش آماده سازی نمونه استفاده می شود.

استفاده از محلول ها و خاکهای استاندارد (Standard Soils & Solutions) :

شاید یکی از مهمترین مراحل آنالیز، انتخاب استاندارد صحیح با ماتریکس مشابه باشد. مواد مرجع (استانداردها) به منظور تعیین صحت در آنالیز بکار می روند. به صورت کلی فارغ از محلول ها، استانداردهای خاکی به دو نوع مواد مرجع تایید شده (CRMs) و مواد مرجع [۳](RMs) تقسیم می شوند.

مواد مرجع تایید شده توسط سازمانهای بسیار معتبر و با روشهای مختلف اندازه گیری شده و همراه با گواهینامه و ذکر روش کار با غلظت های مشخص برای فروش در اختیار قرار می گیرند. از جمله این سازمانها می توان به NIST (USA)[۴] ، BAM (Germany)[۵] ، Geostats (Australia)[۶] اشاره کرد.

مواد مرجع نیز موادی هستند که بدون ارائه گواهینامه و انجام چند آنالیز، غلظت عناصر در آنها گزارش شده بنابراین از اعتبار کمتری نسبت به CRM ها برخوردارند و در مواردی که صحت آنالیز از اهمیت پایینتری برخوردار است می توان به آنها استناد کرد.

در عکس زیر یک نمونه از مواد مرجع تایید شده را مشاهده می فرمایید.

3 - Re
4 - Na
5 - Fe
6 - Ge

رانش دستگاهی (Drift) :

رانش دستگاهی را تغیر محسوس در پاسخهای یک نمونه با گذر زمان در یک فرایند خوانشی با شرایط یکسان تعریف می کنند. از عوامل اصلی رانش می توان به تاثیر نویزها و گرما برروی قطعات الکتریکی دستگاه اشاره کرد. با ذکر مثال می توان اینگونه فرض کرد که در ابتدای خوانش، دستگاه پاسخ 20ppm را برای یک نمونه گزارش کرده، در ادامه خوانش و ثابت بودن پارامترهای مختلف پس از 5 ساعت مجددا همان نمونه برای خوانش در دستگاه قرار می گیرد و پاسخ 15ppm توسط دستگاه گزارش می شود به همین ترتیب پس از گذشت 10 ساعت پاسخ 12ppm گزارش می شود. مشاهده می شود که با ادامه دادن خوانش از ابتدا با یک رانش منفی در دستگاه مواجه هستیم که همواره برای از بین بردن این اثر نیاز به کالیبراسیون دوباره دستگاه و یا استفاده از روابط پیچیده ریاضی می باشد.

اثر حافظه (Memory effect, Carry Over) :

اثر حافظه در دستگاه اغلب ماحصل آلوده شدن یک یا چند نمونه از نمونه یا نمونه های قبلی با عیار بالا در فرآیند خوانش می باشد که منجر به ارایه نتایج غلطتی بالا و اشتباه می شود. در عمل نحوه یافتن این آلودگی استفاده از نمونه با غلظت مشخص و همچنین ملاحظه نوع نمونه های خوانشی قبلی است. به عنوان مثال اگر در ترتیب خوانشی دستگاه ابتدا نمونه های با عیار بالا خوانش شوند و سپس نمونه های رسوب آبراهه ای، احتمال آلودگی سری دوم نمونه ها بالا می رود. از روشهای جلوگیری از آلودگی می توان رعایت ترتیب غلظتی نمونه ها در خوانش با آگاهی از حدود غلظت نمونه ها و استفاده از محلول شستشوی مناسب در بین خوانش هر نمونه و زمان مناسب شستشو توسط دستگاه را نام برد.

شرکت در آزمون های مهارت (Proficiency Tests) :

با وجود کنترل کامل کیفی و ارزیابی داخلی آزمایشگاه توسط پرسنل داخلی و ارایه نتایج به عنوان سند اعتبار، اما همواره شرکت در آزمونهای مهارت خارجی و بین المللی مهر محکمی را بر تایید نتایج آزمایشگاه از نظر مشتریان می زند. به این معنی که با شرکت در این آزمونها، اطمینان از نحوه صحیح و استاندارد برگزاری آزمون، ارایه نتایج از طرف سازمان برگزارکننده بدون دخالت آزمایشگاه و استفاده از روابط آماری در ارزیابی نتایج به صورت ساده میسر خواهد بود.

مسابقات نوبتی (Round Robin) یکی از انواع آزمونهای مهارت هستند که شرکت های استانداردساز مانند Geostats استرالیا در دنیا اقدام به انجام آن در بین آزمایشگاهها می کنند به اینصورت که تعدادی نمونه پس از آماده سازی و هموژن شدن در بین بیش از 100 آزمایشگاه و مرکز آنالیز توزیع شده و آنها را موظف به آنالیز عناصر و ذکر روش انحلال و خوانش در یک بازه زمانی معین می کنند. نتایج استخراج شده از این آزمون برای یک آزمایشگاه حاکی از تایید نظام صحیح کنترلی در داخل و قابلیت ارایه نتایج معتبر برای مشتریان خواهد بود.

بخش دوم : پیشنهادهایی که بتوانید بدون آشنایی با اصول کار تجزیه و به صورت حرفه ای، درستی نتایج یک آزمایشگاه را ارزیابی کنید:

تهیه استاندارد خاکی مرجع تایید شده :

به طور معمول اهمیت صحت داده ها در پروژه های حفاری، تعیین ذخائر و موارد بازرگانی خرید و فروش مواد معدنی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است بنابراین پیشنهاد می شود که مالکان نمونه در بین نمونه های ارسالی خود به آزمایشگاه حتما از نمونه های استاندارد مرجع تایید شده (CRM) جهت کنترل صحت نتایج استفاده کنند. لازم به ذکر است که ماتریکس نمونه استاندارد بایستی تا حد ممکن مشابه نمونه های ارسالی باشد که بتوان در خصوص صحه گذاری نتایج قضاوت دقیقتری انجام داد. به عنوان مثال برای اندازه گیری عنصر مس، 200 عدد نمونه کالکوپیریت در محدوده غلظتی 0.1% تا 1% از سه استاندارد خاکی با ماتریکس سولفیدی و غلظت های حدود 0.3% ، 0.5% و 1% مس استفاده می شود.

تهیه استاندارد مرجع :

از آنجا که تهیه استانداردهای CRM در برخی ماتریکسهای خاص و غلظت ها دشوار می نماید و از طرفی باید بهای زیادی برای خرید این مواد پرداخت گردد لذا شاید در برخی موارد که تعداد نمونه کمتر بوده و صحت نتایج می تواند با خطای بالاتر مورد قبول واقع شود استفاده از استانداردهای مرجع RM منطقی ترین و به صرفه ترین روش برای بررسی صحت می باشد.

تهیه استاندارد مرجع میتواند به صورت شخصی انجام بگیرد به این ترتیب که پس از انتخاب نوع خاک مورد نظر و نرمایش به اندازه 40 میکرون (مشابه روش آماده سازی استاندارد مرجع تایید شده) نمونه برای اندازه گیری عناصر مورد نظر همزمان به چند آزمایشگاه معتبر در خارج و یا داخل کشور توزیع می شود. سپس نتایج جمع آوری شده و نتایج پرت حذف می شود، در نهایت از سایر داده میانگین و انحراف استاندارد گرفته می شود، نتیجه میانگین داده ها عدد مشخصی برای غلظت عنصر مورد نظر خواهد بود که با ضریب اطمینان بالا می توان به آن استناد کرد. در شرایطی که امکان ارسال نمونه به چند آزمایشگاه وجود نداشته باشد می توان با در نظر گرفتن یک آزمایشگاه معتبر، نمونه را به صورت چند مرتبه متوالی برای آنالیز ارسال کرد.

مقایسه استاندارد مرجع تایید شده و استاندارد مرجع :

	استاندارد مرجع تایید شده CRM	استاندارد مرجع RM
صحت	✓✓✓	✓
اعتبار	✓✓✓	✓
قیمت	✓	✓✓✓
مقدار	✓✓	✓✓✓
ماتریکس	✓✓	✓✓✓

قرار دادن نمونه های تکراری از همان پروژه و پروژه های قبلی :

به منظور بررسی تکرارپذیری و تجدید پذیری[7] آموده ترین روش، استفاده از نمونه های تکراری است به این صورت که حدود 3 - 10 درصد از نمونه های مورد آنالیز با کد متفاوت و همراه نمونه ها ارسال می شوند. بنابراین کنترل دقت نتایج با استفاده از فرمولهای مشخص شده براحتی میسر می شود. هنگامی که بازه همکاری با آزمایشگاه طولانی و چند ساله باشد کنترل تجدید پذیری نیز بسیار حائز اهمیت است. استفاده از نمونه هایی که در ماهها بلکه سالهای قبل برای آنالیز فرستاده شدند در لابه لای نمونه های امروزی می تواند مشکل گشا باشد بدین ترتیب تکرارپذیری در زمان با روشی کاملا ساده کنترل خواهد شد.

مشاهده نتایج حاصل از مشارکت آزمایشگاه در مقایسات بین آزمایشگاهی:

با وجود اینکه تمامی پارامترهای کنترلی بررسی و اعمال شده اما همچنان مشاهده نتایج حاصل از مشارکت آزمایشگاه در آزمونهای مهارت که به صورت استاندارد و بین المللی و در بازه های زمانی مستمر می باشد ذهن را در مورد درستی آنالیز و ارسال نمونه آسوده خاطر می کند.

اشکال زیر دو نمونه از گزارش نتایج شرکت زرآزما در آزمون مهارت شرکت Geostats را نشان می دهند.

Low Grade Gold Round Robin - Summary Statistics, Assays, Standardised Values and Graphs - October 2013

Standard Reference	GLG913-1	GLG913-2	GLG913-3	GLG913-4	GLG913-5
MEAN (ppb)	11	23	3	3	85
STDEV (ppb)	2	3	1	2	10
95% CI (ppb)	1	1	0	1	2
95% CI (%)	4.70%	2.80%	18.67%	16.53%	2.52%
MIN (ppb)	6	17	0	1	60
MEDIAN (ppb)	11	22	3	3	84
MAX (ppb)	16	30	6	8	110
IQR (ppb)	4	4	2	2	13
COUNT	69	77	35	44	79

Standard Reference	GLG913-1		GLG913-2		GLG913-3		GLG913-4		GLG913-5		Method	Reading
Lab Reference	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score		
BECQUEREL-NAA	12	-0.39	24	0.35	1	-1.10	2	-0.65	81	-0.04	NAA	
ZARAZMA	10	-0.52	21	-0.55	bld	bld	4	0.14	86	0.12	FA	AAS
COMLAB	6	-2.32	18	-1.62	<5	bld	<5	bld	79	-0.61	FA	AAS

[7] - Reproducibility

Copper (Total Digest) Round Robin - Summary Statistics, Assays, Standardised Values and Graphs - October 2013

Standard Reference	GBM913-1	GBM913-2	GBM913-3	GBM913-4	GBM913-5	GBM913-6	GBM913-7	GBM913-8	GBM913-9	GBM913-10
MEAN (ppm)	3964	11	34	1556	2880	3321	7990	4379	4542	3019
STDEV (ppm)	144	5	4	43	114	112	180	149	132	109
95% CI (ppm)	33	1	1	10	26	26	44	35	31	25
95% CI (%)	0.84%	10.81%	2.68%	0.65%	0.91%	0.78%	0.55%	0.79%	0.67%	0.84%
MIN (ppm)	3661	1	26	1460	2633	3020	7550	3981	4224	2785
MEDIAN (ppm)	3978	10	33	1566	2881	3336	8003	4400	4550	3018
MAX (ppm)	4280	21	42	1648	3095	3530	8330	4754	4890	3290
IQR (ppm)	151	5	4	67	187	169	281	187	152	129
COUNT	73	61	63	69	74	73	66	73	73	72

Standard Reference	GBM913-1		GBM913-2		GBM913-3		GBM913-4		GBM913-5		GBM913-6		GBM913-7		GBM913-8		GBM913-9		GBM913-10		Method	Reading
Lab Reference	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score	assay	z-score		
ZARAZMA	3923	-0.29	9	-0.37	34	0.00	1521	-0.82	2732	-1.29	3337	0.14	7869	-0.67	4085	-1.97	4563	0.16	2814	-1.88	4A	ES
COMLAB	3706	-1.79	32	3.00	69	3.00	1406	-3.00	2671	-1.83	2774	-3.00	7907	-0.46	4180	-1.33	4418	-0.94	2897	-1.12	4A	ES

به منظور تحلیل نتایج هر آزمایشگاه از منحنی توزیع طبیعی یا نرمال استفاده می شود در ساده ترین حالت مقدار Z - Score برای هر آزمایشگاه از رابطه زیر محاسبه شده و نتایج تا $\pm 3Z$ قابل قبول است.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

که در آن:

$X =$ مقداری که آزمایشگاه گزارش کرده

$\mu =$ مقدار میانگین جواب تمام آزمایشگاه ها

$\sigma =$ انحراف استاندارد جواب تمام آزمایشگاه ها

از روی نمودار نتیجه می شود که هرچه داده گزارش شده توسط آزمایشگاه به مقدار واقعی (میانگین) نزدیکتر باشد نشان از صحت بالاتر و مقدار Z کمتر دارد.

نتیجه گیری :

با توجه به توضیحات ارائه شده، جهت بررسی کیفیت نتایج کار آزمایشگاه مواد معدنی می توان موارد زیر را به عنوان شاخصهای اصلی معرفی نمود:

- سیستم کنترل کیفیت داخلی آزمایشگاه که مشتمل بر استفاده از نمونه های Blank، CRM، RM، Duplicate و Replicate می باشد.
- بانکی از انواع نمونه های مرجع تایید شده
- گزارش شرکت در مقایسات بین المللی آزمایشگاهی (Round Robin)
- دارا بودن گواهی های معتبر iso17025 و iso9001

حال در صورت داشتن موارد فوق مالکان نمونه می توانند با ارسال نمونه های مجهول جهت کنترل دقت و صحت نتایج آنالیز و با استفاده از نمونه های استاندارد در خصوص کیفیت نتایج آزمایشگاه اطمینان حاصل نمایند.

مراجع (References) :

1. Taylor, J.K. 1988 Quality Assurance of Chemical Measurements. Chelsea, ML : Lewis Publishers
2. NCCLS Document C24-A2 Vol. 19 No 5 Statistical Quality Control for Quantitative Measurements : Principles and Definitions. February 1999.
3. NCCLS Documents EP13-R Laboratory Statistic – Standard deviation : A Report, August 1995.
4. Amador, E.: Quality Control by the Reference Sample Method, Am. J. Clin. Path. 50 (1968), 360.
5. ASTM STP 15D: Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, American Society for Testing and Materials (1976).
6. Barnard, A.; Mitchell, R.; Wolf, G, Good Analytical Practices in Quality Control, Analytical Chemistry 50 (12) (1978), 1079A – 1086A.
7. Barnard, G. A.: Control Charts and Stochastic Processes. J. R. Statist. Soc. B12 (1959), 239 – 271.