



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۹۳۱۳

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

19313

1st. Edition

2015

مایعات خنک کننده موتور - تعیین سیلیسیم  
و سایر عناصر در مایعات خنک کننده موتور  
به روش طیفسنجی نشر اتمی پلاسمای  
جفت شده القایی - روش آزمون

**Engine coolant - Determination of silicon  
and other elements in engine coolant by  
inductively coupled plasma-Atomic emission  
spectroscopy-Test method**

ICS:71.100.45

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرفکنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال میشود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل میدهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup> کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International organization for Standardization

2- International Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«مایعات خنک کننده موتور - تعیین سیلیسیم و سایر عناصر در مایعات خنک کننده موتور به روش طیفسنجی نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی - روش آزمون»

### رئیس:

هاشمی، مهدی  
(دکتری شیمی تجزیه)

### سمت و / یا نمایندگی

دانشگاه بوعلی سینا همدان

### دبیر:

صنعتگر دلشاد، الهام  
(کارشناس ارشد شیمی فیزیک)

شرکت رویان پژوهان سینا

### اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

افتخاری دافچاهی، سمیه  
(کارشناس ارشد شیمی فیزیک)

شرکت رویان پژوهان سینا

بابازاده، فرشته  
(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)

کارشناس استاندارد

بیگلری، حسن  
(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)

پژوهشکده شیمی و پتروشیمی پژوهشگاه استاندارد

ردائی، احسان  
(کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)

اداره کل استاندارد استان همدان

شیخ علیزاده، کاملیا  
(کارشناس شیمی)

پالایشگاه نفت پارس

صیافی، سید مهدی  
(کارشناس شیمی)

شرکت پالایش الموت آبادان

عندلیبی، مریم  
(کارشناس شیمی)

آزمایشگاه مرجع شیمی تجزیه راک

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش‌گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصول آزمون
۲	۴ تداخلات
۲	۵ وسایل
۳	۶ مواد و/یا واکنشگرها
۳	۷ نمونه‌برداری
۴	۸ کالیبراسیون و استانداردسازی
۴	۹ آماده‌سازی نمونه
۴	۱۰ روش انجام آزمون
۵	۱۱ گزارش آزمون
۵	۱۲ دقت و اریبی

## پیش‌گفتار

استاندارد " مایعات خنک کننده موتور - تعیین سیلیسیم و سایر عناصر در مایعات خنک کننده موتور به روش طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسما جفت شده القایی - روش آزمون " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت رویان پژوهان سینا تهیه و تدوین شده و در یک هزار و دویست و هشتاد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد صنایع شیمیایی و پلیمر مورخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۰ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM D6130:2011, Standard Test Method for Determination of Silicon and Other Elements in Engine Coolant by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy

## مقدمه

برخی از مایعات خنک کننده موتور با افزودنی‌های حاوی سیلیسیم فرموله می‌شوند. این استاندارد، روشی را برای تعیین کردن غلظت عناصر پراکنده شده یا حل شده فراهم می‌کند که نشان‌دهنده مقدار افزودنی در مایعات خنک کننده موتور می‌باشد.

## مایعات خنک کننده موتور - تعیین سیلیسیم و سایر عناصر در مایعات خنک کننده موتور به روش طیفسنجی نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی - روش آزمون

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری اقدامات ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن برعهده کاربر این استاندارد است.

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای اندازه‌گیری سیلیسیم در مایعات خنک کننده موتور به روش طیفسنجی نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی می‌باشد. با استفاده از این روش، سیلیسیم را می‌توان تا ۵ ppm تعیین کرد. سایر عناصر موجود در مایعات خنک کننده موتور را می‌توان با این روش تعیین نمود.

این استاندارد جهت تعیین عناصر پراکنده شده یا حل شده کاربرد دارد. این استاندارد در هر دو مورد مایعات خنک کننده کارکرده و کارنکرده، کاربرد دارد.

### ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸، آب مورد مصرف در آزمایشگاه تجزیه-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۳۰، نمونه‌برداری و آماده‌سازی محلول‌های آبی خنک‌کننده‌ها یا ضد زنگ‌های موتور - روش آزمون

- 2-3 ASTM E177, Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- 2-4 ASTM E691, Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- 2-5 US EPA Standards, Method 6010, Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- 2-6 US EPA Standards, Method 200.7, Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometric Method for Trace Element Analysis of Water And Wastes, EPA-600/4-79-020, revised 1984

### ۳ اصول آزمون

عناصر موجود در محلول به صورت ترتیبی یا همزمان به روش ICP-AES<sup>۱</sup> تعیین می‌شوند. مایعات خنک کننده کار کرده و کارنکرده با رقیق‌سازی آماده می‌شوند. نمونه‌ها و استانداردها با استفاده از پمپ پرستالتیک<sup>۲</sup> به مه‌پاش وارد شده و آئروسول ایجاد شده به پلاسمای جفت شده القایی آرگون تزریق می‌شود. دمای بالای پلاسمای، نمونه را اتمی کرده و شدت‌های نشر اتمی در طول موج‌های عناصر موردنظر ایجاد می‌شود. شدت نشر متناسب با غلظت است. اندازه‌گیری‌های عناصر با مقایسه شدت‌های نشر نمونه و محلول استاندارد انجام می‌شود.

### ۴ تداخلات

تداخلات موجود در این روش به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱-۴ تداخلات طیفی، نشر نوری حاصل از منابع طیفی، غیر از عناصر موردنظر، در شدت سیگنال خالص ایجاد شده تداخل ایجاد می‌کند. منابع تداخل طیفی شامل هم پوشانی‌های خط طیفی مستقیم، بال‌های پهن شده<sup>۳</sup> خطوط طیفی شدید، نشر پیوسته ترکیب مجدد یون- اتم، نشر نوار مولکولی<sup>۴</sup> و نور هرز پراکنده شده<sup>۵</sup> حاصل از عناصر در غلظت‌های بالا می‌باشند. با انتخاب طول‌موج‌های تجزیه‌ای جایگزین می‌توان از همپوشانی‌ها اجتناب کرد.

۲-۴ تداخلات فیزیکی، این تداخلات در نتیجه ناسازگاری ورود نمونه به دستگاه و فرایندهای انتقال می‌باشد. این ناسازگاری‌ها تابعی از تغییرات گرانی و آلودگی ذره‌ای می‌باشند.

۳-۴ زمینه، اثرات زمینه بالا ناشی از نور پراکنده شده می‌باشد. این اثرات با تصحیح زمینه مجاور با خط گونه مورد آزمون تصحیح می‌شود.

۴-۴ تداخلات شیمیایی، این تداخلات اغلب ناشی از تشکیل ترکیبات مولکولی، اثرات یونیزاسیون و اثرات گرما شیمیایی همراه با تبخیر و اتمی شدن نمونه در پلاسمای می‌باشد. به طور معمول این اثرات مشخص نمی‌باشند. اما با انتخاب دقیق شرایط عملکردی (به عنوان مثال، قدرت تابش، موقعیت مشاهده پلاسمای) می‌توان این اثرات را به حداقل رساند.

### ۵ وسایل

۱-۵ طیف‌سنج، طیف‌سنج نشری پلاسمای جفت شده القایی به صورت همزمانی یا ترتیبی، شامل مولد RF، مشعل، مه‌پاش، محفظه پخش، پمپ پرستالتیک و رایانه می‌باشد.

---

1- Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy  
2- Peristaltic pump  
3- Broadened wings  
4- Molecular band emission  
5- Stray (scattered) light



## ۶ مواد/ یا واکنشگرها

۱-۶ خلوص واکنشگرها، در طی تجزیه برای آماده‌سازی همه محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها، فقط از واکنشگرهایی با خلوص تجزیه‌ای استفاده کنید. مواد شیمیایی با درجات دیگر، مشروط بر دارا بودن خلوص آزمایشگاهی و بدون اثرگذاری روی درستی اندازه‌گیری، استفاده می‌شوند.

۲-۶ خلوص آب، در طی تجزیه، فقط از آب بدون یون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸ استفاده کنید.

۳-۶ محلول‌های ذخیره استاندارد، محلول‌های ذخیره استاندارد را خریداری و/یا از فلزات و نمک‌های شیمیایی با درجه خلوص بالا (مطابق با استانداردهای بند ۲-۵ و ۲-۶) تهیه کنید. محلول‌های استاندارد با غلظت ۱۰۰۰ mg/l از عناصر موردنظر تهیه می‌شوند. توصیه می‌شود نمک‌ها را همان‌گونه که ذکر شده است، خشک کنید.

۴-۶ استانداردهای کالیبراسیون، این استانداردها را در بالن‌های حجمی، با استفاده از حجم‌های مناسب از هر محلول ذخیره استاندارد جهت پوشش گستره غلظتی مورد انتظار نمونه‌ها آماده کنید. عناصر موجود در استانداردهای چند عنصری باید سازگار و پایدار باشند. با استفاده از مقدار مناسبی از اتیلن گلیکول و/یا یک استاندارد داخلی اختلاف‌های بین بافت نمونه/ استاندارد را تصحیح کنید. ترکیبات و خطوط تجزیه‌ای پیشنهاد شده در جدول ۱ ارائه شده است. استانداردهای کالیبراسیون را تایید کنید. پایداری محلول‌های استاندارد را بررسی و کنترل کنید.

جدول ۱- طول موج‌های تجزیه‌ای برای تعیین ICP-AES عناصر موجود در مایعات خنک‌کننده

عناصر	طول موج، nm
سیلیسیم	استاندارد مخلوط شده ۱ ۲۵۲,۴۱۱، ۲۵۲,۸۵۱، ۲۸۸,۱۵۸، ۲۵۱,۶۱۲
مولیبدن	۲۰۴,۵۹۸، ۲۰۲,۰۳۰
بور	۲۴۹,۷۷۳
فسفر	۱۷۸,۲۹، ۲۱۴,۹۱۴ استاندارد مخلوط شده ۲
آلومینیوم	۳۶۹,۱۵۲، ۳۹۴,۴۰۱، ۳۰۸,۲۱۵
سرب	۲۲۰,۳۵۳
روی	۲۱۳,۸۵۶
آهن	۲۳۸,۲۰۴، ۲۵۹,۸۳۷، ۲۵۹,۹۴
مس	۲۱۹,۲۲۶، ۳۲۴,۷۵۴
منیزیم	۲۷۹,۵۵۳، ۲۸۰,۲۷۰، ۲۷۹,۰۷۹
کلسیم	۳۱۵,۸۸۷، ۳۹۶,۸۴۷، ۳۹۳,۳۷، ۳۱۷,۹۳۳
سدیم	۵۸۹,۵۹۲، ۵۸۸,۹۹۵

## ۷ نمونه برداری

نمونه برداری را مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۳۰ انجام دهید.

## ۸ کالیبراسیون و استانداردسازی

دستگاه را مطابق با دستورالعمل سازنده تنظیم کنید. اجازه دهید دستگاه به مدت ۲۰ دقیقه گرم شود. دستگاه را مطابق با دستورالعمل سازنده و با محلول‌های استاندارد و شاهد، کالیبره کنید. محلول‌های استاندارد را حداقل به مدت ۳۰ ثانیه مه‌پاش کرده و اجازه دهید دستگاه قبل از انتگرال‌گیری سیگنال به تعادل برسد. پس از ورود محلول‌های استاندارد دارای بور، آب را به مدت ۶۰ ثانیه جاری کنید. کالیبراسیون باید تایید شده و توصیه می‌شود پایداری محلول‌های استاندارد کنترل شود.

## ۹ آماده‌سازی نمونه

نمونه را با آب بدون یون به نحوی رقیق کنید که غلظت عنصر(های) موردنظر در گستره تشخیص خطی دستگاه قرار گیرد. به طور کلی رقیق‌سازی  $\frac{1}{4}$  یا  $\frac{1}{5}$  برای مایعات خنک‌کننده موتور کارکرده و رقیق‌سازی  $\frac{1}{10}$  برای مایعات خنک‌کننده موتور غلیظ مناسب می‌باشد. نمونه‌ها را به صورت وزنی/حجمی و/یا حجمی/حجمی آماده کنید. دقت داشته باشید هنگام انجام رقیق‌سازی به صورت حجمی، کل نمونه منتقل شده باشد. نمونه‌هایی را که حاوی ذرات می‌باشند، سانتریفیوژ یا صاف کنید.

## ۱۰ روش انجام آزمون

۱-۱۰ نمونه‌های آماده شده را با استفاده از شرایط یکسان ایجاد شده برای روش کالیبراسیون به دستگاه کالیبره شده، مه‌پاش کنید. جهت جلوگیری از انتقال باقیمانده، به میزان کافی آبکشی کنید. برای نمونه‌های بور، ۶۰ ثانیه بیشتر سامانه را با آب شستشو دهید.

۲-۱۰ پس از تجزیه هر ۱۰ نمونه، محلول شاهد و محلول استاندارد کنترل دستگاه (استاندارد کالیبراسیون، تایید کالیبراسیون یا مایعات خنک‌کننده موتور استاندارد) را در صورت نیاز به دستگاه مه‌پاش کنید. محلول‌های شاهد و استاندارد کنترل را در انتهای هر آزمون، تجزیه کنید. غلظت محلول‌های شاهد استاندارد کنترل باید در  $\pm 5\%$  مقدار مورد انتظار باشد. اگر غلظت خارج از این گستره باشد، مشکل را تصحیح کرده، مجدد دستگاه را کالیبره کنید و دوباره نمونه‌ها را به دستگاه مه‌پاش کنید.

۳-۱۰ اگر غلظت‌های نمونه به دلیل آلودگی، تداخلات طیفی یا مقدار ناچیز عنصر موردنظر، مشکوک در نظر گرفته شود، تجزیه بافت‌های غنی شده و تکراری باید به عنوان روش‌های آزمون کنترل کیفیت انجام شود.

۴-۱۰ تصحیحات و محاسبات شامل ضرایب رقیق‌سازی را با استفاده از رایانه دستگاه انجام دهید.

## ۱۱ گزارش آزمون

نمونه‌های آماده شده به صورت وزنی/ حجمی را بر حسب ppm یا درصد وزنی، بسته به غلظت عنصر مورد نظر گزارش کنید. نمونه‌های آماده شده به صورت حجمی/ حجمی را بر حسب گرم بر لیتر، میلی‌گرم بر لیتر، میکروگرم بر لیتر گزارش کنید. این واحدها را می‌توان با استفاده از چگالی نمونه به ppm یا درصد وزنی تبدیل نمود.

$$(g/ml) \text{ چگالی} / (\mu g/ml) \text{ غلظت} = (ppm) \text{ غلظت}$$

## ۱۲ دقت و اریبی

۱-۱۲ دقت این روش آزمون براساس مطالعات بین آزمایشگاهی انجام شده در سال ۲۰۰۹ به دست آمده است. در مجموع ۹ آزمایشگاه در این مطالعه مشارکت داشته و ۶ نمونه مختلف از مایعات خنک‌کننده جهت بررسی مقادیر فلزی، آزمون شده است. هر نتیجه آزمون بیانگر یک تعیین مجزا بوده و همه مشارکت‌کنندگان، ۴ نتیجه آزمون تکراری را برای هر ترکیب (فلز/ مایع خنک‌کننده) گزارش نموده‌اند. تجزیه و تحلیل نتایج مطابق با استاندارد ASTM E 691 انجام شده است.

۱-۱-۱۲ حد تکرارپذیری، دو نتیجه آزمون به دست آمده در یک آزمایشگاه، در صورتی که بیش از مقدار  $r$  برای آن ماده اختلاف داشته باشند، معادل در نظر گرفته نمی‌شوند.  $r$  فاصله‌ای است که نشان‌دهنده اختلاف بحرانی بین دو نتیجه آزمون به دست آمده توسط یک آزمایش‌گر، بر روی مواد یکسان، با استفاده از تجهیزات یکسان و در یک آزمایشگاه یکسان است.

۱-۱-۱-۱۲ حدود تکرارپذیری در جداول ۲ تا ۱۳ ارائه شده است.

۲-۱-۱۲ حد تجدیدپذیری، دو نتیجه آزمون در صورتی که بیش از مقدار  $R$  برای آن ماده اختلاف داشته باشند، معادل در نظر گرفته نمی‌شوند.  $R$  فاصله‌ای است که نشان‌دهنده اختلاف بحرانی بین دو نتیجه آزمون به دست آمده توسط آزمایش‌گر متفاوت، بر روی مواد یکسان، با استفاده از تجهیزات متفاوت و در آزمایشگاه‌های متفاوت است.

۱-۲-۱-۱۲ حدود تجدیدپذیری در جداول ۲ تا ۱۳ ارائه شده است.

۳-۱-۱۲ حدود تکرارپذیری و تجدیدپذیری مطابق با استاندارد ASTM E177 ارائه شده است.

۴-۱-۱۲ مقادیر تکرار پذیری و تجدیدپذیری در حد اطمینان ۹۵٪ تخمین زده شده است.

۲-۱۲ اریبی، در زمان انجام این مطالعه، به دلیل نبود مواد مرجع مناسب، اریبی برای این روش آزمون مشخص نشده است.

۱-۲-۱۲ ۶ نوع مایع خنک‌کننده استفاده شده جهت ارزیابی دقت و اریبی به شرح زیر می‌باشد:

- مایع خنک‌کننده A

- مایع خنک‌کننده B

- مایع خنک کننده C
- مایع خنک کننده D
- مایع خنک کننده E
- مایع خنک کننده F

جدول ۲- آلومینیوم ( $\mu\text{g/ml}$ )

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۶/۴	۸/۰	۹/۷	۲۲/۴	۲۷/۲
نمونه B	۲/۹	۳/۰	۳/۲	۸/۳	۹/۰
نمونه C	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۲/۰	۲/۱
نمونه D	۲/۹	۴/۴	۴/۹	۱۲/۴	۱۳/۹
نمونه E	۵/۲	۳/۷	۴/۸	۱۰/۲	۱۳/۵
نمونه F	۵/۶	۶/۱	۷/۰	۱۷/۲	۱۹/۷

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۳- بور ( $\mu\text{g/ml}$ )

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۲۱۵/۸	۵/۳	۲۹/۳	۱۴/۷	۸۲/۱
نمونه B	۱۹۳/۵	۱۶۹/۵	۲۲۲/۷	۴۷۴/۶	۶۲۳/۵
نمونه C	۲۹۸/۸	۹۸/۲	۱۳۱/۶	۲۷۴/۸	۳۶۸/۵
نمونه D	۳۸۸/۸	۳۳۴/۹	۴۴۷/۳	۹۳۷/۶	۱۲۵۲/۵
نمونه E	۱۳۹/۳	۱۲۳/۷	۱۶۱/۱	۳۴۶/۲	۴۵۱/۱
نمونه F	۹۱/۸	۷۸/۲	۱۰۳/۲	۲۱۸/۹	۲۸۸/۹

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۴- کلسیم (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۳٫۹	۴٫۲	۵٫۱	۱۱٫۶	۱۴٫۲
نمونه B	۷٫۰	۱٫۲	۲٫۱	۳٫۵	۵٫۹
نمونه C	۹٫۰	۵٫۲	۶٫۵	۱۴٫۶	۱۸٫۱
نمونه D	۱۲٫۶	۵٫۳	۵٫۸	۱۵٫۰	۱۶٫۳
نمونه E	۳٫۶	۰٫۷	۰٫۸	۲٫۱	۲٫۳
نمونه F	۳٫۷	۲٫۳	۳٫۰	۶٫۵	۸٫۵

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۵- مس (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۱٫۴	۱٫۶	۱٫۸	۴٫۴	۵٫۱
نمونه B	۵٫۰	۱٫۳	۱٫۶	۳٫۸	۴٫۴
نمونه C	۴٫۸	۳٫۸	۵٫۰	۱۰٫۷	۱۳٫۹
نمونه D	۲٫۹	۱٫۳	۱٫۸	۳٫۶	۴٫۹
نمونه E	۴٫۱	۳٫۵	۳٫۹	۹٫۷	۱۱٫۰
نمونه F	۲٫۶	۲٫۵	۳٫۴	۷٫۱	۹٫۶

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۶- آهن (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۷٫۳	۰٫۷	۴٫۷	۲٫۱	۱۳٫۱
نمونه B	۴۱٫۰	۳۴٫۵	۴۵٫۸	۹۶٫۵	۱۲۸٫۲
نمونه C	۲٫۳	۲٫۱	۲٫۶	۶٫۰	۷٫۴
نمونه D	۲۳٫۵	۷٫۱	۱۰٫۲	۲۰٫۰	۲۸٫۵
نمونه E	۱٫۹	۲٫۹	۳٫۰	۸٫۰	۸٫۵
نمونه F	۴٫۹	۴٫۳	۶٫۲	۱۱٫۹	۱۷٫۳

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۷- سرب ( $\mu\text{g/ml}$ )

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۲٫۸	۳٫۰	۴٫۲	۸٫۴	۱۱٫۶
نمونه B	۱٫۸	۱٫۷	۲٫۲	۴٫۸	۶٫۱
نمونه C	۴٫۹	۲٫۸	۳٫۲	۷٫۸	۹٫۱
نمونه D	۳٫۲	۱٫۷	۲٫۵	۴٫۷	۷٫۱
نمونه E	۵٫۵	۵٫۰	۵٫۶	۱۴٫۰	۱۵٫۶
نمونه F	۳٫۳	۳٫۱	۴٫۹	۸٫۷	۱۳٫۷

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۸- منیزیم ( $\mu\text{g/ml}$ )

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۳٫۴	۳٫۷	۴٫۶	۱۰٫۲	۱۳٫۰
نمونه B	۳٫۰	۱٫۲	۲٫۴	۵٫۹	۶٫۹
نمونه C	۲٫۴	۱٫۶	۲٫۱	۴٫۵	۵٫۸
نمونه D	۲٫۲	۱٫۷	۲٫۰	۴٫۶	۵٫۷
نمونه E	۱٫۶	۱٫۴	۱٫۷	۳٫۸	۴٫۶
نمونه F	۲٫۹	۲٫۵	۴٫۰	۷٫۰	۱۱٫۳

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۹- مولیبدن ( $\mu\text{g/ml}$ )

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، $r$	حد تجدید پذیری، $R$
نمونه A	۳۸۹٫۲	۴٫۹	۱۹٫۵	۱۳٫۷	۵۴٫۷
نمونه B	۱۴۱٫۱	۷۳٫۷	۱۰۵٫۶	۲۰۶٫۴	۲۹۵٫۷
نمونه C	۱۰٫۰	۸٫۴	۱۱٫۵	۲۳٫۶	۳۲٫۲
نمونه D	۴۱۷٫۷	۶۴٫۷	۹۷٫۲	۱۸۱٫۰	۲۷۲٫۳
نمونه E	۵٫۹	۴٫۹	۶٫۸	۱۳٫۸	۱۹٫۰
نمونه F	۳۰۷٫۸	۲۰۴٫۲	۲۸۵٫۲	۵۷۱٫۸	۷۹۸٫۶

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۱۰- پتاسیم (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، r	حد تجدید پذیری، R
نمونه A	۴۰۶۰٫۲	۴۷۸٫۸	۵۶۷٫۷	۱۳۴۰٫۵	۱۵۸۹٫۷
نمونه B	۲۶۹۵٫۷	۲۲۵۷٫۹	۲۷۲۱٫۰	۶۳۲۲٫۱	۷۶۱۸٫۸
نمونه C	۱۱۵۰٫۵	۶۵۲٫۴	۸۴۸٫۹	۱۸۲۶٫۶	۲۳۷۶٫۸
نمونه D	۳۱۳۶٫۵	۳۸۳٫۶	۴۴۷٫۴	۱۰۷۴٫۰	۱۲۵۲٫۶
نمونه E	۱۲۱۹٫۸	۳۶۸٫۶	۴۶۲٫۳	۱۰۳۲٫۱	۱۲۹۴٫۶
نمونه F	۴۳۶۱٫۵	۱۶۴۱٫۹	۲۱۳۳٫۸	۴۵۹۷٫۳	۵۹۷۴٫۷

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۱۱- سیلیسیم (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، r	حد تجدید پذیری، R
نمونه A	۱۱۷٫۳	۵٫۵	۲۵٫۲	۱۵٫۳	۷۰٫۷
نمونه B	۳۲٫۳	۲۶٫۷	۳۵٫۸	۷۴٫۸	۱۰۰٫۳
نمونه C	۹۳٫۴	۸٫۸	۱۸٫۵	۲۴٫۶	۵۱٫۸
نمونه D	۱۷٫۱	۱۳٫۷	۱۸٫۰	۳۸٫۴	۵۰٫۵
نمونه E	۱۹٫۲	۱۶٫۷	۲۱٫۷	۴۶٫۹	۶۰٫۸
نمونه F	۳۱٫۷	۲۶٫۴	۳۴٫۴	۷۳٫۹	۹۶٫۳

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۱۲- سدیم (µg/ml)

نمونه	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	انحراف استاندارد تکرار پذیری، $S_r$	انحراف استاندارد تجدید پذیری، $S_R$	حد تکرار پذیری، r	حد تجدید پذیری، R
نمونه A	۱۱۷۵٫۹	۵۸٫۵	۱۰۴٫۵	۱۶۳٫۷	۲۹۲٫۷
نمونه B	۳۲۶۸٫۹	۴۴۲٫۰	۶۲۴٫۵	۱۲۳۷٫۶	۱۷۴۸٫۵
نمونه C	۱۸۷۲٫۶	۴۲۳٫۰	۵۸۳٫۷	۱۱۸۴٫۳	۱۶۳۴٫۵
نمونه D	۳۱۳۴٫۷	۸۴۶٫۷	۱۲۲۹٫۹	۲۳۷۰٫۸	۳۴۴۳٫۶
نمونه E	۲۵۵۴٫۱	۴۸۷٫۶	۶۷۳٫۷	۱۳۶۵٫۳	۱۸۸۶٫۴
نمونه F	۱۰۱۱٫۴	۳۹۷٫۳	۵۲۴٫۵	۱۱۱۲٫۵	۱۴۶۸٫۶

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده

جدول ۱۳- روی (µg/ml)

حد تجدید پذیری، R	حد تکرار پذیری، r	انحراف استاندارد تجدید پذیری، S <sub>R</sub>	انحراف استاندارد تکرار پذیری، S <sub>r</sub>	میانگین، $\bar{X}$ ، الف	نمونه
۱۸٫۸	۱۴٫۰	۶٫۷	۵٫۰	۴٫۸	نمونه A
۵٫۰	۴٫۳	۱٫۸	۱٫۵	۱٫۶	نمونه B
۱۶٫۳	۱۲٫۵	۵٫۸	۴٫۵	۷٫۸	نمونه C
۷٫۹	۶٫۳	۲٫۸	۲٫۲	۴٫۴	نمونه D
۹٫۷	۶٫۳	۳٫۵	۲٫۳	۴٫۴	نمونه E
۵٫۱	۲٫۳	۱٫۸	۰٫۸	۱٫۹	نمونه F

الف میانگین نتایج آزمایشگاهی محاسبه شده