



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۲۵۲

چاپ اول

۱۳۹۴

INSO

20252

1st.Edition

2015

تعیین مشخصات لجن - تعیین عناصر
کم مقدار و فسفر - روش های استخراج با
تیزاب سلطانی

**Characterization of sludges –
Determination of trace elements and
phosphorus – Aqua regia extraction
methods**

ICS: 13.030.20

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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، 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 می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات 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 می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عبار 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 Electrotechnical Commission

3-International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4-Contact point

5-Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«تعیین مشخصات لجن - تعیین عناصر کم‌مقدار و فسفر - روش‌های استخراج با تیزاب سلطانی»

رئیس:

ایمانی نبیی، امین

(دکترای شیمی تجزیه)

سمت و/یا نمایندگی

دانشگاه پیام نور

دبیر:

صابونی، رضا

(فوق لیسانس شیمی کاربردی)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آل احمدی، ام البنین

(فوق لیسانس شیمی تجزیه)

انجمن صنفی مدیران کنترل کیفی و
مسئولین فنی صنایع استان آذربایجان شرقی

پرتونیا، لیدا

(فوق لیسانس زیست‌شناسی)

اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان
آذربایجان شرقی

جوادی، افسانه

(فوق لیسانس شیمی تجزیه)

اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان
آذربایجان شرقی

چراغی، رضا

(لیسانس مهندسی شیمی)

سازمان صنعت، معدن و تجارت استان
آذربایجان شرقی

زمزمی، سهراب

(فوق لیسانس سنجش از دور و GIS)

اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان
آذربایجان شرقی

سالک‌زمانی، علی

(فوق لیسانس مهندسی کشاورزی)

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی
استان آذربایجان شرقی

سالک‌زمانی، مریم

(فوق لیسانس علوم تغذیه)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی
استان آذربایجان شرقی

سلیمانی، جابر
(دکترای مهندسی کشاورزی)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

قاطع فر، راحله
(فوق لیسانس مهندسی صنایع غذایی)

شرکت آب و فاضلاب شهری استان
آذربایجان شرقی

کاظمیان، نعیمه
(فوق لیسانس شیمی کاربردی)

شرکت آب و فاضلاب شهری استان
آذربایجان شرقی

کشاورزی حسین آبادی، مهشید
(فوق لیسانس باکتری شناسی)

دانشگاه صنعتی سهند

مقدس، جعفرصادق
(دکترای مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

ملازاده، میکائیل
(دکترای شیمی تجزیه)

سازمان مدیریت پسماندهای شهرداری تبریز

هراتی، حبیبه
(فوق لیسانس مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست)

آزمایشگاه آزما گستر فراز

یعقوب دوست، یعقوب
(لیسانس شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ اصول آزمون
۲	۵ مواد و/یا واکنشگرها
۳	۶ وسایل لازم
۴	۷ تهیه نمونه آزمایشگاهی
۴	۸ روش آزمون
۷	۹ آزمون بلانک
۷	۱۰ اندازه‌گیری‌ها
۷	۱۱ بیان نتایج
۷	۱۲ گزارش آزمون
۸	۱۳ داده‌های دقت
۹	پیوست الف (اطلاعاتی) پیش‌تیمار نمونه
۱۱	پیوست ب (اطلاعاتی) کالیبراسیون آون ریزموج
۱۳	پیوست پ (اطلاعاتی) خطوط راهنما برای تکنیک‌های اندازه‌گیری
۱۶	پیوست ت (اطلاعاتی) داده‌های دقت برای روش‌های پ و ت با مواد مرجع
۱۸	پیوست ث (اطلاعاتی) داده‌های مربوط به دقت

پیش‌گفتار

استاندارد «تعیین مشخصات لجن - تعیین عناصر کم‌مقدار و فسفر - روش‌های استخراج با تیزاب سلطانی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های فنی مربوط تهیه و تدوین شده است و در هفتادویکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد محیط‌زیست مورخ ۱۳۹۴/۶/۲۶ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک 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 تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

BSEN 13346: 2000, Characterization of sludges – Determination of trace elements and phosphorus – Aqua regia extraction methods

مقدمه

عناصر قابل استخراج با تیزاب سلطانی^۱ را نمی‌توان به‌عنوان «کل» عناصر قلمداد کرد. از طرفی، چون روش کار استخراج شرح داده شده در این استاندارد، شدیدتر از آن است که نمایانگر تمامی فرایندهای بیولوژیکی باشد، نمی‌توان آن‌ها (عناصر قابل استخراج) را به‌عنوان جزء «زیست‌فراهم^۲» عناصر تلقی کرد.

در این استاندارد، یک روش استخراج با استفاده از تیزاب سلطانی پیشنهاد شده است. چهار فرایند گرمایشی توصیف شده است که در آن‌ها از واکنشگرهای یکسان استفاده می‌شود و از این رو، اصول واکنش شیمیایی یکسانی را به کار می‌گیرند.

روش الف، به‌عنوان روش هضم شدید، امکان استفاده از نمونه‌های بزرگتر را میسر می‌کند. روش ب روشی است سریع که فقط در یک ظرف صورت می‌پذیرد، و در آن از نمونه‌های کوچک‌تر استفاده می‌شود. روش‌های پ و ت، روش‌های گرمایش با ریزموج هستند که در آن‌ها به‌ترتیب از سیستم‌های بسته و باز استفاده می‌شود.

1-Aqua regia
2-Bio-available

تعیین مشخصات لجن - تعیین عناصر کم‌مقدار و فسفر - روش‌های استخراج با تیزاب سلطانی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای استخراج عناصر کم‌مقدار و فسفر از لجن‌ها و محصولات لجن، با استفاده از تیزاب سلطانی است. محلول حاصل از استخراج، برای تعیین عناصر آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، سلنیم (Se)، روی (Zn)، و فسفر (P) با روش‌های طیف‌سنجی^۱ کاربرد دارد.

یادآوری ۱- اگر غلظت مواد محلول در حاصل‌استخراج‌ها^۲ زیاد باشد، باید مزاحمت‌های طیفی و تشدید سیگنال زمینه^۳ را انتظار داشت.

یادآوری ۲- این روش به‌جز برای اجزای عنصری پیوندیافته با سیلیس، برای سایر عناصر 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 مورد نظر 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 مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸، آب، مورد استفاده برای آزمایشگاه‌های تجزیه

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۷۴۴۲-۲، درستی (صحت و دقت) روش‌ها و نتایج اندازه‌گیری - قسمت دوم: روش پایه برای تعیین تکرارپذیری و تجدیدپذیری

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۴۸، کیفیت آب - اندازه‌گیری عناصر انتخاب شده به روش اسپکتروفتومتری نشرنوری با پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES)

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۵۵۹، کیفیت آب - اندازه‌گیری کادمیم به روش طیف‌سنجی جذب اتمی

2-5 EN 1233, Water quality – Determination of chromium – Atomic absorption spectrometric methods

2-6 EN 1483, Water quality, Determination of mercury

2-7 EN 12880, Characterization of sludges – Determination of dry residue and water content

2-8 ISO 8288, Water quality – Determination of cobalt, nickel, copper, zinc, cadmium and lead – Flame atomic absorption spectrometric methods

1-Spectrometric methods

2-Extract solution

3-Background enhancement

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود.

۱-۳

تیزاب سلطانی

محلول هضم به دست آمده از مخلوط کردن یک حجم از نیتریک اسید با سه حجم از هیدروکلریک اسید.

۲-۳

جرم خشک (ماده خشک)

جرم مواد جامد به دست آمده پس از انجام فرایند خشک کردن توضیح داده شده. یادآوری- این جرم برحسب گرم یا کیلوگرم بیان می‌شود.

۴ اصول آزمون

نمونه آزمایشگاهی به گونه‌ای آماده می‌شود تا بتوان از آن، نمونه‌ای نمایانگر به دست آورد. آزمون مطابق یکی از روش‌های گرمایش شرح داده شده در زیر مورد استخراج قرار می‌گیرد:

- جوشانیدن به مدت حدود ۲ h با مبرد رفلاکس^۱، و متعاقب آن، صاف کردن و به حجم رساندن در بالن حجم‌سنجی (روش الف)؛

- جوشانیدن به مدت حدود ۱۵ min در لوله شیشه‌ای کالیبره شده^۲ و به حجم رساندن در همان لوله و متعاقب آن، انتظار تا سکون و ته‌نشین شدن و سپس سرریز کردن محلول روشن‌آور برای آنالیز (روش ب)؛

- هضم با ریزموج به مدت ۲۰ min در ظرف بسته، و متعاقب آن صاف کردن و به حجم رساندن در بالن حجم‌سنجی (روش پ)؛

- هضم با ریزموج به مدت ۳۰ min در ظرف باز، و متعاقب آن صاف کردن و به حجم رساندن در بالن حجم‌سنجی (روش ت)؛

یادآوری- می‌توان سایر روش‌های گرمایش را نیز در صورت داشتن عملکرد معادل، به کار برد.

۵ مواد و/یا واکنشگرها

۱-۵ کلیات

واکنشگرهای مورد استفاده باید از خلوص کافی برخوردار باشند، تا خطای معنی‌داری در نتیجه آنالیز ایجاد نشود. همراه با هر بیج آنالیز، باید بلانک^۳ واکنشگر^۳، حاوی همان مقدار از اسیدها، مورد تمام مراحل روش کار قرار گیرد.

1-Reflux condenser

2-Calibrated

3-Reagent blank

۲-۵ آب

آب مورد استفاده باید یون‌زدایی شده یا تقطیر شده و مطابق با آب درجه دو استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸ باشد.

۳-۵ محلول هیدروکلریک اسید، $c(\text{HCl}) = ۱۲,۰ \text{ mol/l}$

حدود ۳۷٪ (جرمی-جرمی)، $\rho \approx ۱,۱۸ \text{ g/ml}$

۴-۵ محلول نیتریک اسید، $c(\text{HNO}_3) = ۱۵,۸ \text{ mol/l}$

حدود ۶۵٪ (جرمی-جرمی)، $\rho \approx ۱,۴۲ \text{ g/ml}$

۵-۵ محلول نیتریک اسید، حدود ۱٪ (حجمی-حجمی) برای تمیز کردن

درون بالنی با گنجایش ۱ l، ۱۰ ml از نیتریک اسید (بند ۴-۵) را برداشته، با آب به حجم برسانید. برای تمیز کردن ظروف شیشه‌ای حتماً از این محلول استفاده شود.

۶-۵ دودکان نرمال یا هر ماده ضدکف مناسب (برای اضافه کردن در روش ب).

۶ وسایل لازم

۱-۶ کلیات

همه ظروف شیشه‌ای و پلاستیکی باید به‌اندازه کافی تمیز و طوری نگه‌داری شوند که دچار آلودگی^۱ نگردند. یادآوری- ممکن است لازم باشد، ظروف واکنش با ماده سطح‌فعال^۲ مناسب به‌طور ادواری تمیز شوند تا رسوباتی هم که به‌آسانی پاک نمی‌شوند، از بین بروند.

۲-۶ ظروف واکنش

۱-۲-۶ بالن شیشه‌ای، به‌عنوان مثال با گنجایش ۲۵۰ ml، (برای استفاده در روش الف)؛

۲-۲-۶ لوله شیشه‌ای کالیبره شده، با گنجایش ۵۰ ml از جنس بوروسیلیکات، همراه با درپوش شیشه‌ای یا پلی‌پروپیلنی (برای استفاده در روش ب)؛

۳-۲-۶ ظرف پلاستیکی (دست‌کم با گنجایش ۱۰۰ ml) از جنس پلیمر پرفلوئوروآلکوکسی (PFA)^۳ یا پلیمر تترافلوئورومتوکسیل (TFM)^۴ دارای سیستمی با قابلیت کنترل اضافه‌فشار^۵ به‌منظور جلوگیری از انفجار ظرف (برای استفاده در روش پ)؛

۴-۲-۶ ظرف هضم از جنس شیشه بوروسیلیکاتی با حجم دست‌کم ۵۰ ml (برای استفاده در روش ت). یادآوری- به‌جای ظروف شیشه‌ای می‌توان از ظروف کوارتز استفاده کرد.

۳-۶ مبرد رفلاکس

با قابلیت اتصال به ظروف واکنش به کار برده شده در روش‌های الف یا ت.

1-Contamination
2-Surfactant
3-Perfluoroalkoxy
4-Tetrafluoromethoxyl
5-Ovrepresure

۴-۶ وسایل گرمایش

۱-۴-۶ اجاق سبیدی^۱ برای استفاده در روش الف و گرماساز بلوک آلومینیومی^۲ برای استفاده در روش ب؛
۲-۴-۶ آون ریزموج با توان قابل برنامه ریزی برای کنترل واکنش گرماده^۳ سریع و ظروف ریزموج بسته دارای سیستم ایمنی برای استفاده در روش پ. استفاده از آون ریزموج خانگی مجاز نیست؛
۳-۴-۶ آون ریزموج با مدول برنامه ریز^۴ برای استفاده در روش ت.

یادآوری- برای مثال دستگاهی با فرکانس ریزموج ۲/۴۵ GHz، کنترل خودکار الکترونیکی توان الکتریکی که می تواند از ۱۰٪ تا ۹۹٪ با افزایش ۵٪ برای حداکثر توان الکتریکی خروجی ۲۰۰ W، کنترل شود، و دارای یک پمپ برای واکنشگرها باشد.

۵-۶ کاغذهای صافی

کاغذ صافی پایه سلولزی، سخت شده و مقاوم در برابر تیزاب سلطانی.

۶-۶ بالنهاي حجم سنجی، با گنجایش ۲۵ ml، ۵۰ ml، یا ۱۰۰ ml.

۷-۶ ترازوی آنالیتیکال، با درستی ۱ mg یا بهتر.

۸-۶ کمک جوش ها، سنگ جوش ها^۵ یا دانه های شیشه ای، با قطر ۲ mm تا ۳ mm، شسته شده با اسید، برای استفاده در روش های الف و ب.

۷ تهیه نمونه آزمایشگاهی

درون ظرف چینی، آن مقدار از نمونه مرطوب را وزن کنید که مقدار کافی جرم خشک برای روش به کار رفته به دست آید و آن را مطابق استاندارد EN 12880 آماده کنید. نمونه خشک شده را برداشته، با دسته هاون و هاون تمیز یا آسیاب تمیز، آسیاب کنید. نمونه را در شرایط خشک نگهداری کنید.
یادآوری- در پیوست الف اطلاعاتی درباره سایر روش های آماده سازی نمونه خشک شده بیان شده است.

۸ روش آزمون

۱-۸ روش کار استخراج تحت شرایط رفلاکس (روش الف)

حدود ۳ g از نمونه آماده شده طبق بند ۷ را با دقت ۰/۰۰۱ g وزن کنید و به ظرف واکنش ۲۵۰ ml (بند ۶-۲-۱) منتقل کنید. نمونه را با حدود ۰/۵ ml تا ۱/۰ ml آب (بند ۵-۲) مرطوب کنید و همراه با مخلوط کردن، ml (۰/۱ ± ۲۱) هیدروکلریک اسید (بند ۵-۳) و به دنبال آن ml (۰/۱ ± ۷) نیتریک اسید (بند ۵-۴) اضافه کنید (در صورت لزوم برای کاهش تشکیل کف، نیتریک اسید را به صورت قطره قطره اضافه کنید). مبرد (بند ۶-۳) را به ظرف واکنش متصل کنید، و در دمای اتاق به حال خود بگذارید تا تقریباً هرگونه کف ایجاد شده فرونشیند و مواد آلی لجن به آرامی اکسید شود.

1-Heating mantle
2-Aluminium block heater
3-Exothermic
4-Programmer module
5-Anti bumping

ظرف واکنش را به وسیله گرمایش (بند ۴-۶-۱) انتقال دهید و دمای مخلوط واکنش را به آرامی تا شرایط رفلکس افزایش دهید و حدود ۲ h این شرایط را حفظ کنید. در عین حال اطمینان حاصل کنید که ناحیه چگالش^۱ پایین تر از یک سوم ارتفاع مبرد باشد. پس از گذشت زمان مذکور، اجازه دهید خنک شود. مبرد را با ۱۰ ml آب به درون ظرف واکنش (بند ۵-۲) بشویید.

یادآوری- در صورتی که نمونه هضم شده حاوی ریز ذرات معلق^۲ باشد که بتواند موجب گرفته شدن مجرای مه پاش شود یا در تزریق نمونه اختلال ایجاد کند، می توان آن را سانتریفیوژ کرد، صبر کرد تا ذرات ته نشین شود، یا آن را صاف کرد، و سپس نمونه را به بالن حجم سنجی با اندازه مناسب (بند ۶-۶) منتقل کرد. به عنوان مثال، محلول باید از کاغذ صافی (بند ۶-۵) عبور داده شود، سپس مانده انحلال ناپذیر روی کاغذ صافی با حداقل مقدار ممکن آب (بند ۵-۲) شسته شود.

نمونه هضم شده را به درون بالن حجم سنجی (بند ۶-۶) با اندازه مناسب منتقل کنید و تا خط نشانه با آب (بند ۵-۲) به حجم برسانید.

۲-۸ روش استخراج تحت جوشاندن در لوله شیشه‌ای (روش ب)

حدود ۰٫۵ g از نمونه آماده شده طبق بند ۷ را با دقت ۰٫۰۰۱ g وزن کنید و به ظرف واکنش ۵۰ ml (بند ۶-۲-۲) منتقل کنید. نمونه را با ۱ ml (۰٫۱ ± ۱٫۰) آب (بند ۵-۲) مرطوب کنید. چند دانه کمک جوش (بند ۶-۸) اضافه کنید. با دقت ۱ ml (۰٫۱ ± ۶٫۰) هیدروکلریک اسید (بند ۵-۳) و سپس ۱ ml (۰٫۱ ± ۲٫۰) نیتریک اسید (بند ۵-۴) را از دیواره لوله به درون آن بریزید. لوله را در یک رک^۳ قرار دهید و اجازه دهید واکنش شدید اولیه فرونشیند. اگر مخلوط واکنش، بیش از حد کف کند دو قطره دودکان نرمال (بند ۵-۶) اضافه کنید.

لوله را در وسیله گرمایش (بند ۴-۶-۱) قرار دهید و درجه آن را طوری تنظیم کنید که نمونه به آرامی رفلکس شود. پس از ۲ min (± ۱۰)، دیواره لوله را از بالا به پایین با حدود ۵ ml (بند ۵-۲) بشویید. مدت ۱ min (± ۵) دیگر رفلکس را ادامه دهید، سپس لوله را از روی بلوک بردارید. اجازه دهید مخلوط حاصل خنک شود و سپس با آب (بند ۵-۲) به حجم برسانید. دهانه لوله را با درپوش ببندید و با سر و ته کردن، به هم بزنید. **یادآوری-** در صورتی که نمونه هضم شده حاوی ریز ذرات معلق باشد که بتواند موجب گرفته شدن مجرای مه پاش شود یا در تزریق نمونه اختلال ایجاد کند، می توان آن را سانتریفیوژ کرد، صبر کرد تا ذرات ته نشین شود، یا آن را صاف کرد، و سپس نمونه را به بالن حجم سنجی با اندازه مناسب (بند ۶-۶) منتقل کرد. به عنوان مثال، محلول باید از کاغذ صافی (بند ۶-۵) عبور داده شود، سپس مانده انحلال ناپذیر روی کاغذ صافی با حداقل مقدار ممکن آب (بند ۵-۲) شسته شود.

نمونه هضم شده را به بالن حجم سنجی (بند ۶-۶) با اندازه مناسب منتقل کنید و با آب (بند ۵-۲) تا خط نشانه به حجم برسانید.

۳-۸ روش استخراج با آون ریزموج بسته (روش پ)

حدود ۰٫۳ g تا ۱ g از نمونه آماده شده طبق بند ۷ را با دقت ۰٫۰۰۱ g وزن کنید و به ظرف واکنش (بند ۶-۲-۳) منتقل کنید. حدود ۱ ml (۰٫۱ ± ۲) نیتریک اسید (بند ۵-۴) و ۱ ml (۰٫۱ ± ۶) هیدروکلریک اسید (بند ۵-۳) اضافه کنید. درپوش و فنر ظرف را طبق توصیه‌های سازنده سر جای خود قرار دهید. ظرف واکنش را با

1-Condensation zone

2-Particulate

3-Rack

دقت g ۰/۱ وزن کنید. آن را در چرخانه^۱ (بند ۶-۴-۲) قرار دهید. چرخانه را در آون ریزموج (بند ۶-۴-۲) قرار دهید و برنامه هضم را اجرا کنید. همیشه همه جالوله‌های چرخانه را پر کنید.

در انتهای برنامه هضم، بگذارید چرخانه تا رسیدن به دمای اتاق خنک شود تا فشار داخلی درون ظرف کاهش یابد. برای اطمینان از عدم هدررفت بیش از حد محلول هضم طی اجرای دستورکار هضم، مطابق با توصیه‌های سازنده، وزن ظرف و شرایط غشاء یا پوشش ایمنی را بررسی کنید. کنترل کنید تا هدررفت وزن از ۱۰٪ (جرمی-جرمی) جرم اولیه فراتر نباشد. ظرف را به آرامی زیر هود^۲ باز کنید.

یادآوری- در صورتی که نمونه هضم‌شده حاوی ریز ذرات معلق باشد که بتواند موجب گرفته‌شدن مجرای مه‌پاش شود یا در تزریق نمونه اختلال ایجاد کند، می‌توان آن را سانتریفیوژ کرد، صبر کرد تا ذرات ته‌نشین شود، یا آن را صاف کرد، و سپس نمونه را به بالن حجم‌سنجی با اندازه مناسب (بند ۶-۶) منتقل کرد. به‌عنوان مثال، محلول باید از کاغذ صافی (بند ۶-۵) عبور داده شود، سپس مانده انحلال‌ناپذیر روی کاغذ صافی با حداقل مقدار ممکن آب (بند ۵-۲) شسته شود. نمونه هضم‌شده را درون بالن حجم‌سنجی (بند ۶-۶) با اندازه مناسب منتقل کنید و تاخط نشانه با آب (بند ۵-۲) به حجم برسانید.

یادآوری ۲- مثالی از برنامه هضم برای شش نمونه به شرح زیر است:

- ۲ min در ۲۵۰ W؛
- ۲ min در ۱۰ W؛
- ۵ min در ۲۵۰ W؛
- ۵ min در ۴۰۰ W؛
- ۵ min در ۵۰۰ W؛

یادآوری ۳- برای ملاحظه شیوه کالیبراسیون آون ریزموج به بند ب-۱ پیوست ب مراجعه کنید.

۴-۸ روش استخراج با آون ریزموج باز (روش ت)

حدود g ۰/۵ تا g ۱ از نمونه آماده‌شده طبق بند ۷ را با دقت g ۰/۰۰۱ وزن کنید و به‌درون ظرف (بند ۶-۲-۴) منتقل کنید. اسیدها را طبق برنامه انتخابی و دستورالعمل‌های سازنده اضافه کنید، ستون رفلاکس را در دهانه ظرف جا انداخته، ظرف را در دستگاه ریزموج (بند ۶-۴-۳) قرار دهید و برنامه را اجرا کنید (به یادآوری ۲ مراجعه کنید).

در انتهای برنامه ریزموج، اجازه دهید ظرف تا رسیدن به دمای اتاق خنک شود. با باز کردن دهانه ظرف و تهویه تحت هود، آماده‌سازی نمونه را به پایان برسانید.

یادآوری- در صورتی که نمونه هضم‌شده حاوی ریز ذرات معلق باشد که بتواند موجب گرفته‌شدن مجرای مه‌پاش شود یا در تزریق نمونه اختلال ایجاد کند، می‌توان آن را سانتریفیوژ کرد، صبر کرد تا ذرات ته‌نشین شود، یا آن را صاف کرد، و سپس نمونه را به بالن حجم‌سنجی با اندازه مناسب (بند ۶-۶) منتقل کرد. به‌عنوان مثال، محلول باید از کاغذ صافی (بند ۶-۵) عبور داده شود، سپس مانده انحلال‌ناپذیر روی کاغذ صافی با حداقل مقدار ممکن آب (بند ۵-۲) شسته شود.

1-Rotor
2-Under fume extraction

نمونه هضم شده را به درون بالن حجم سنجی با اندازه مناسب (بند ۶-۶) منتقل کنید و تا خط نشانه با آب (بند ۲-۵) به حجم رسانید.

یادآوری ۲- مثالی از برنامه هضم به شرح زیر است:

جدول ۱- مراحل برنامه

HCl ml	HNO ₃ ml	توان وات	زمان min
۹	۳	۴۰	۱۵
۹	۳	۴۰	۱۵

یادآوری ۳- برای ملاحظه شیوه کالیبراسیون آون ریزموج به بند ب-۲ پیوست ب مراجعه کنید.

۹ آزمون بلانک^۱

آزمون بلانک را باید به موازات آزمون نمونه، طبق همان روش استخراج، و با استفاده از همان مقادیر تمام واکنشگرها، در غیاب نمونه انجام دهید.

۱۰ اندازه گیری ها

مزاحمت های ویژه موجود در لجن ها را لحاظ کنید (به پیوست پ مراجعه کنید). حاصل استخراج ها (به بند ۸ مراجعه کنید) و آزمون بلانک (به بند ۹ مراجعه کنید) را بردارید و آنالیزها را طبق استانداردهای ملی ایران شماره ۱۹۵۵۹ و شماره ۱۰۸۴۸، و استانداردهای EN 1233، EN 1483، ISO 8288، و ISO 11969 انجام دهید. قدرت اسیدی را طوری تنظیم کنید که با مقادیر مذکور در روش اجرایی مکتوب، منطبق شود.

۱۱ بیان نتایج

نتایج باید برحسب میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک یا برحسب گرم در کیلوگرم برای فسفر (P) بیان شود.

۱۲ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید جداگانه یا همراه با گزارش روش آنالیتیکی متعاقب، صادر شود. گزارش آزمون باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

۱-۱۲ ارجاع به شماره این استاندارد ملی ایران؛

۲-۱۲ شناسایی کامل نمونه؛

۳-۱۲ اطلاعاتی درباره پیش تیمار و استخراج نمونه؛

- ۴-۱۲ هرگونه جزئیاتی که در این استاندارد مشخص نشده بود، یا حالت اختیاری دارد؛
- ۵-۱۲ هر اطلاعات دیگر مرتبط با کیفیت داده‌های آنالیتیکی؛
- ۶-۱۲ نام و نام خانوادگی و امضای آزمونگر.

۱۳ داده‌های دقت

برای آگاهی از داده‌های مربوط به دقت این روش آزمون به پیوست ت مراجعه کنید.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
پیش تیمار نمونه

الف-۱ کلیات

برای پیش تیمار نمونه‌های دریافت شده در آزمایشگاه، که هدف از آن، استفاده از نمونه‌های گرفته شده از لجن مرطوب، لجن خشک‌انجمادی^۱، و لجن به طور جزئی خشک شده در هوا^۲ یا به طور جزئی خشک‌انجمادی شده است، سه روش ارائه می‌شود:

الف-۲ لجن مرطوب

مانده خشک باید شناخته شده باشد تا بتوان نمونه‌ای را مطابق با بندهای ۱-۸، ۲-۸، ۳-۸، و ۴-۸ برداشت. مانده خشک را برحسب درصد (q_1) مطابق استاندارد EN 12880 اندازه‌گیری کنید. مقدار مورد نیاز (m) از لجن مرطوب را برحسب گرم طبق معادله (۱) محاسبه کنید:

(۱)

که در آن:

m_0 مقدار ماده خشک داده شده در بندهای ۱-۸، ۲-۸، ۳-۸ یا ۴-۸ برحسب گرم؛
 q_1 درصد جرم خشک (مانده خشک) است.
بطری نمونه را با شدت تکان دهید تا بتوان یک نمونه نمایانگر، نمونه‌برداری کرد.

الف-۳ لجن خشک‌انجمادی

حدود ۲۰۰ g نمونه مرطوب را وزن کنید و درون ظرف شیشه‌ای مناسب با پوششی دارای یک سوراخ قرار دهید. نمونه‌ها را در خشکاننده انجمادی در دمای 25°C به مدت ۱۶ h قرار دهید. مبرد خشکاننده انجمادی را روشن کنید و منتظر بمانید تا دما به 45°C - برسد.

نمونه‌های منجمد را روی پلیت‌های گرم‌کننده^۳ خشکاننده انجمادی قرار دهید، شیر خلا را ببندید و پمپ را به کار بیندازید. هنگامی که خلا به ۱۳ Pa رسید، گرمایش را در دمایی حدود 10°C + شروع کنید. تا آنجا خشک کنید که مقدار آب کمتر از ۱ ml شود.

یادآوری-به‌عنوان مرجع، بطری حاوی حدود ۱۵۰ ml آب باید خشک شود. چنانچه بعد از مراحل خشک کردن، بیش از ۱ ml آب باقی مانده باشد، عمل خشک کردن نمونه‌ها را باید یک روز دیگر ادامه دهید.

نمونه خشک شده را از روی گرم‌کننده بردارید و در هاون بگذارید. نمونه را با دسته هاون همگن کنید، نمونه را در بالن قرار داده، در آن را ببندید.

1-Freeze-dried sludge
2-Partially air-dried sludge
3-Heating plate

الف-۴ نمونه به طور جزئی خشک شده در هوا یا به طور جزئی خشک انجمادی شده لجن‌های به طور جزئی خشک شده به عنوان لجن‌هایی تعریف می‌شوند که محتوای آب باقیمانده آن‌ها به قدری کم باشد که اجازه دهد نمونه آسیاب و همگن شود. به طور کلی محتوای آب باقیمانده در حد (3 ± 5) ٪ مناسب است. ماده خشک برحسب درصد را در نمونه به طور جزئی خشک شده، طبق استاندارد EN 12880 تعیین کنید. نمونه از نمونه به طور جزئی خشک شده که آسیاب و همگن شده است، گرفته می‌شود. خشک کردن در هوا می‌تواند در دمایی بین 35°C و 50°C صورت پذیرد. برای خشک شدن بهتر توصیه می‌شود نمونه چندین بار طی این عملیات به شدت مخلوط شود. لازم نیست انجماد خشک با همان دقت اشاره شده در بند الف-۳ کنترل شود. زمان خشک کردن به مقادیر، نوع لجن‌ها و نوع دستگاه به کار رفته در عملیات بستگی دارد. لذا کمی تجربه کاری لازم است تا زمان مورد نیاز برای به دست آوردن نمونه‌های به طور جزئی خشک شده، معلوم شود.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

کالیبراسیون آون ریزموج

ب-۱ کالیبراسیون آون ریزموج برای روش پ

قبل از استفاده از آون ریزموج، باید آن را کالیبره کرد. با استفاده از کالیبراسیون می‌توان بین علامت‌های مقیاس تنظیم توان با توان (مؤثر) عملاً اعمال شده، همبستگی و تناظر ایجاد کرد؛ به این ترتیب می‌توان مقدار توان اعمال شده را، صرف‌نظر از این که از کدام آون ریزموج استفاده می‌شود، تنظیم کرد. در این پیوست روش کالیبراسیون آون ریزموج به کار رفته برای هضم نمونه‌های لجن شرح داده شده است.

آون ریزموج باید به‌طور دوره‌ای کالیبره شود. در عمل، کالیبراسیون دو بار در سال معمولاً کفایت می‌کند. بسته به رابطه بین توان خروجی آون ریزموج و مقیاس سیستم الکترونیکی آن (معمولاً به‌صورت درصد توان کل)، باید بین دو گزینه کالیبراسیون دونقطه‌ای یا سه‌نقطه‌ای، یکی را انتخاب کرد. در اولین کالیبراسیون، یا هنگامی که رابطه روی کل گستره مورد استفاده خطی نیست، کالیبراسیون چندنقطه‌ای ضرورت می‌یابد. به‌عنوان مثال، کالیبراسیون در توان‌های ۸۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪، ۵۰٪ و ۴۰٪ انجام و نتایج به‌صورت نموداری ترسیم می‌شود. می‌توان استفاده از قسمت غیرخطی را کنار گذاشت یا محدود کرد. در صورت وجود رابطه خطی، می‌توان کالیبراسیون را در دو نقطه انجام داد (برای مثال در توان‌های ۴۰٪ و ۱۰۰٪).

توان مؤثر با اندازه‌گیری توان تلف‌شده آون در نمونه معین، به‌عنوان مثال از طریق گرم کردن ۱ kg آب برای مدت زمان ثابت ۲ min، تعیین می‌شود.

برای این منظور، روش زیر باید به کار برده شود:

آب را در بشر پلاستیکی (یا یک بشر از جنس ماده غیرجاذب انرژی ریزموج) منتقل کنید و به‌هم بزنید. بشرهای شیشه‌ای انرژی ریزموج را جذب می‌کنند و نباید مورد استفاده قرار گیرند. دمای آب را اندازه بگیرید. این دما باید نزدیک به مقدار دمای اتاق در شروع آزمون باشد.

بشر پلاستیکی را در آون ریزموج قرار دهید. موقعیت انتخاب‌شده باید همیشه یکسان، و ترجیحاً در وسط صفحه گردونه^۱ باشد. توان انتخاب‌شده را برای ۲ min اعمال کنید. بشر را بردارید، هم بزنید، و دمای نهایی را اندازه بگیرید. این کار را با سایر تنظیمات توان انتخاب‌شده نیز تکرار کنید.

اندازه‌گیری‌ها باید با درستی 0.1°C و ظرف ۳۰ s پس از گرمایش انجام شوند. اگر بخواهید چندین اندازه‌گیری انجام دهید، از همان آب استفاده نکنید، مگر این که آب قبلاً استفاده‌شده تا دمای اتاق خنک شود.

توان جذب‌شده براساس معادله ب ۱ تعیین می‌شود:

(ب ۱)

که در آن:

P توان جذب شده توسط آب، برحسب وات؛

C_p گرمای ویژه آب برحسب ژول بر کیلوگرم. کلوین ($4184 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)؛

m جرم آب مورد استفاده برای کالیبراسیون برحسب کیلوگرم؛

اختلاف بین دمای اولیه و نهایی، برحسب کلوین؛

t مدت زمان، برحسب ثانیه است.

چنان چه در معادله فوق الذکر از زمان ۲ min و ۱ kg آب استفاده شود، معادله ب ۱ را می توان به صورت زیر ساده تر نوشت:

$$P = \quad \times 34.87$$

به این ترتیب رابطه بین مقدار توان (مؤثر) عملاً اعمال شده و درجه بندی مقیاس دستگاه را می توان تعیین کرد.

ب-۲ کالیبراسیون آون ریزموج برای روش ت

کالیبراسیون در ابتدا صورت می گیرد و سپس به طور ادواری توسط سازنده تصدیق می گردد.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

خطوط راهنما برای تکنیک‌های اندازه‌گیری

پ-۱ نوع لجن

لجن، اغلب از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تهیه می‌شود. لجن می‌تواند با آهک تیمار شده باشد، در مخزن هضم نگهداری شده باشد یا اصلاً تحت تیمار قرار نگرفته باشد. فاضلاب‌هایی که لجن از آن منشا می‌گیرد، اغلب با واکنشگرهایی حاوی املاح آلومینیوم یا آهن، و کلسیم اکسید تیمار می‌شوند. مانده خشک می‌تواند از کمتر از ۱٪ تا حدود ۸۰٪ جرمی متغیر باشد.

هدررفت روی احتراق تقریباً از ۱۵٪ تا ۷۵٪ (به صورت درصد جرم خشک) متغیر باشد (غالباً ۵۰٪ تا ۷۰٪).

پ-۲ اسپکترومتری جذب اتمی (AAS)

اسپکترومتری جذب اتمی، از نظر پیشینه، تکنیکی با گسترده‌ترین کاربرد برای آنالیز عنصری در لجن‌هاست. حدود آشکارسازی قابل‌دستیابی با استفاده از اسپکترومتری جذب اتمی شعله‌ای برای اغلب کاربردها رضایت‌بخش است، اما اسپکترومتری جذب اتمی بدون شعله محدود به اندازه‌گیری‌هایی در مقادیر خیلی کم از عناصر کمیاب‌تر، نظیر کادمیم، است. به‌خاطر تنوع گسترده پیکربندی‌ها، در این قسمت هیچ‌گونه راهنمایی در مورد راه‌اندازی دستگاه ارائه نمی‌شود، با این حال، در خصوص بعضی مزاحمت‌های رایج مرتبط با دستگاه، توضیحاتی داده می‌شود:

الف- مزاحمت‌های فیزیکی

تضعیف یا تشدید سیگنال آنالیت (=گونه مورد آزمون) در نمونه نسبت به استاندارد کالیبراسیون، تحت‌عنوان مزاحمت‌های فیزیکی تعریف می‌شود که این مزاحمت‌ها در اصل ناشی از تفاوت در خواص فیزیکی از قبیل گرانش، کشش سطحی، و فشار بخار است. این خواص در اسپکترومتری جذب اتمی شعله‌ای مهم‌تر از اسپکترومتری جذب اتمی بدون شعله هستند (به‌خاطر پیچیدگی بیشتر سیستم واردسازی نمونه در سیستم شعله‌ای). می‌توان از طریق مشابه‌سازی ماتریس استانداردهای کالیبراسیون با ماتریس نمونه، رقیق کردن نمونه، یا کاملاً به‌عنوان آخرین چاره، با استفاده از روش افزایش استاندارد، بر چنین مزاحمت‌هایی فائق آمد.

ب- مزاحمت‌های شیمیایی

مزاحمت‌های شیمیایی در اسپکترومتری جذب اتمی شعله‌ای ناشی از اتمی‌شدن ناقص آنالیت یا واکنش شیمیایی اتم‌های آنالیت برای تشکیل ترکیبات پایدار هستند. برای غلبه بر این مزاحمت‌ها یا می‌توان از شعله داغ‌تر (نیتروز اکسید-استیلن) استفاده کرد یا یک ماده شیمیایی رهاکننده/حفاظت‌کننده^۱ به نمونه اضافه کرد. در اسپکترومتری جذب اتمی بدون شعله، مزاحمت‌های شیمیایی یا ناشی از تشکیل ترکیبات فراری است که آنالیت در آن‌ها پیش از اتمیزه شدن از دست می‌رود، یا ناشی از تشکیل ترکیبات پایدار است. برای غلبه بر این

1-Releasing/shielding agent

مزاخمت‌ها می‌توان از اصلاح‌کننده‌های ماتریس و انتخاب آگاهانه نوع سیل و شرایط مناسب برای اتمی‌شدن استفاده کرد.

پ- مزاخمت‌های یونیزاسیون

اگر آنالیت در شعله یونیزه شود، جذب اتمی اتفاق نمی‌افتد و پاسخ تضعیف‌شده به دست می‌آید. این نوع مزاخمت مشکلی است که در آنالیز عناصری که به سادگی یونیزه می‌شوند، دیده می‌شود، مانند فلزات قلیایی و قلیایی خاکی. برای غلبه بر این مشکل، استانداردهای کالیبراسیون و نمونه با مقدار مازاد عنصری، مانند سزیم، که به سادگی یونیزه می‌شود «بافری» می‌شود.

ت- مزاخمت‌های طیفی

مزاخمت‌های طیفی در اسپکترومتری جذب اتمی نسبتاً نامعمول، و عمدتاً ناشی از جذب مولکولی هستند. چنین جذب نوار پهن یا از نوع پیوستار را اغلب می‌توان با تصحیح زمینه رفع کرد.

پ-۳ اسپکترومتری نشر نوری پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-OEC)

در آزمایشگاه‌هایی با ظرفیت بالای پذیرش نمونه، اسپکترومتری ICP-OEC به‌طور فزاینده‌ای در حال تبدیل به تکنیک اصلی برای آنالیز لجن است. قابلیت آنالیز چندعنصری، گستره پویای خطی وسیع، و فقدان نسبی مزاخمت‌ها در این روش، از جمله مزایای مهم ICP-OEC نسبت به اسپکترومتری جذب اتمی است. در این‌جا نیز به دلیل تنوع پیکربندی‌های دستگاهی، تکنیک به تفصیل بیان نمی‌شود. بعضی از مزاخمت‌های رایج به شرح زیر است.

الف- مزاخمت‌های فیزیکی

به خاطر شباهت در سیستم‌های واردسازی نمونه، مزاخمت‌های فیزیکی و روش‌های غلبه بر آن‌ها مشابه همان است که در مورد اسپکترومتری جذب اتمی گفته شد. با این حال، چون ICP-OEC یک تکنیک چندعنصری است، استفاده از استانداردهای درونی می‌تواند با ارجحیت نسبت به روش افزایش استاندارد به‌کار گرفته شود.

ب- مزاخمت‌های شیمیایی و یونیزاسیون

این نوع مزاخمت‌ها در مقایسه با AAS در ICP-OEC کمتر دیده می‌شوند. با این حال، در آخرین نسل دستگاهی ICP محوری، آشکارساز از بالا و در راستای محور پلاسما به آن می‌نگرد تا حدود آشکارسازی بهبود یابد، مزاخمت‌های شیمیایی و یونیزاسیون می‌تواند یک مشکل اضافی باشد چرا که ممکن نیست در مورد ناحیه‌ای از پلاسما که به وسیله قسمت‌های نوری^۱ رویت می‌شود، کنترلی داشت.

پ- مزاخمت‌های طیفی

مزاخمت‌های طیفی تا حد زیادی مهمترین منبع بالقوه خطا در ICP-OEC هستند. طیف‌های نشری فوق‌العاده پیچیده هستند و در ماتریسی همانند لجن هضم‌شده، عناصر بسیاری با غلظت‌های بالا وجود دارند. مزاخمت‌های طیفی می‌توانند ناشی از جابه‌جایی زمینه^۲ ایجادشده توسط نشر پیوستار حاصل از غلظت‌های بالای عناصری

1-Optics

2-Background shift

همانند آلومینیوم و کلسیم، یا ناشی از همپوشانی خطی به دلیل عنصر دیگر موجود در نمونه باشد. نشر پیوستار می‌تواند به‌طور معمول با تصحیح زمینه رفع شود. در موارد همپوشانی خطی، چنانچه هیچ خط نشر دیگری موجود نباشد، معمولاً ضرورت خواهد داشت که فاکتور تصحیح بین‌عنصری محاسبه و به کار برده شود، گرچه دستگاه‌هایی در حال ارائه به بازار هستند که از تکنیک‌های مدل‌سازی قوی ریاضی برای تصحیح همپوشانی خطی استفاده می‌کنند.

پ-۴ اسپکترومتری جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)

ICP-MS از نظر قابلیت آشکارسازی و گستره عناصر تحت پوشش، قدرتمندترین تکنیک موجود برای آنالیز عنصری است. با وجود این، ICP-MS در مقایسه با ICP-OEC محدودیت‌هایی دارد که آن را برای آنالیز لجن، کمتر مناسب می‌کند. دستگاه‌های ICP-MS نمی‌توانند جوابگوی مواد جامد حل شده بالای ۰٫۲٪ باشند. در نهایت، مزاحمت‌های ناشی از یون‌های دارای نسبت جرم به بار یکسان (مزاحمت‌های ایزوبار^۱) مشکل بارزی برای عناصر تک‌ایزوتوپه (به‌عنوان مثال آرسنیک) هستند. هرچند بعضی از آزمایشگاه‌ها با رقیق کردن نمونه از ICP-MS برای آنالیز لجن‌ها استفاده می‌کنند.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

داده‌های دقت برای روش‌های پ و ت با مواد مرجع

جدول زیر نشان دهنده میانگین‌ها و بازه‌های اطمینان % ۹۵ به دست آمده برای شش آزمون با استفاده از روش‌های پ و ت، و مقادیر گواهی شده هستند.

CRM 143 R، لجن فاضلاب خاک بهسازی شده - مقدار گواهی شده براساس تیزاب سلطانی

CRM 144، لجن فاضلاب با منشا خانگی

CRM 145 R، لجن فاضلاب با منشا مخلوط - مقدار گواهی شده براساس تیزاب سلطانی

CRM 146، لجن فاضلاب با منشا صنعتی

جدول ت ۱-بازیابی فلزات از مواد مرجع - روش پ

Hg μg/g	Cd μg/g	Pb μg/g	Zn μg/g	Ni μg/g	Cu μg/g	Cr μg/g	
۱,۷۶	۳,۶۶	۴۹۰	۳۱۲۵	۹۳۵	۷۰۷	۴۸۱	CRM 144 میانگین
۰,۶۱	۰,۷۵	۳۳	۴۲	۳۶	۲۲	۱۴	بازه اطمینان % ۹۵
۱,۴۹	۳,۴۱	۴۹۵	۳۱۴۳	۹۴۲	۷۱۳	۴۸۵	مقدار گواهی شده کل محتوا
۰,۲۲	۰,۲۵	۱۹	۱۰۳	۲۲	۲۶	۲۰	بازه اطمینان % ۹۵
۲,۳۱	۳,۳۷	۲۸۷	۲۱۰۲	۲۴۰	۶۸۵	۳۲۰	CRM 145 R میانگین
۰,۴۲	۰,۳۳	۱۷	۱۱۶	۵۸	۲۸	۱۴	بازه اطمینان % ۹۵
۲,۰۱	^a ۳,۵۰	۲۸۲	۲۱۳۷	۲۵۱	۷۰۷	۳۰۷	مقدار گواهی شده براساس تیزاب سلطانی
۰,۲۲	۰,۱۵	۹	۵۰	۶	۹	۱۳	بازه اطمینان % ۹۵
۹,۳۸			۴۱۹۶	۲۶۶	۹۵۶	۷۶۵	CRM 146 میانگین
۱,۳۶			۲۹۲	۲۵	۷۲	۵۰	بازه اطمینان % ۹۵
۹,۴۹			۴۰۵۹	۲۸۰	۹۳۴	۷۸۴	مقدار گواهی شده کل محتوا
۰,۷۶			۹۰	۱۸	۲۴	۳۱	بازه اطمینان % ۹۵
^a مقدار کل موجود							
نواحی خاکستری: نتیجه تفاوت معنی داری با مقدار گواهی شده ندارد.							

جدول ت ۲-بازیابی فلزات از مواد مرجع - روش ت

Cd μg/g	Pb μg/g	Zn μg/g	Ni μg/g	Cu μg/g	Cr μg/g	
۳,۴۳	۴۹۲	۳۰۰۷	۹۳۸	۶۷۵	۵۲۳	CRM 144 میانگین
۰,۱۵	۱۳	۱۰۴	۵۵	۲۷	۴۴	بازة اطمینان ۹۵ %
۳,۴۱	۴۹۵	۳۱۴۳	۹۴۲	۷۱۳	۴۸۵	مقدار گواهی شده کل محتوا
۰,۲۵	۱۹	۱۰۳	۲۲	۲۶	۲۰	بازة اطمینان ۹۵ %
۳,۳۸	۲۸۵	۲۰۹۵	۲۵۷	۶۸۰	۳۳۱	CRM 145 R میانگین
۰,۱	۵	۵۷	۶	۱۹	۶	بازة اطمینان ۹۵ %
^a ۳,۵۰	۲۸۲	۲۱۳۷	۲۵۱	۷۰۷	۳۰۷	مقدار گواهی شده براساس
۰,۱۵	۹	۵۰	۶	۹	۱۳	تیزاب سلطانی دامنه اطمینان ۹۵ %
۷۰	۱۸۲	۱۰۲۷	۲۹۷	۱۲۴	۴۲۲	CRM 143R میانگین
۱,۸	۴	۲۷	۱۲,۸	۷,۵	۱۶	بازة اطمینان ۹۵ %
۷۲	۱۷۴	۱۰۶۳	۲۹۶	^a ۱۳۰,۶	۴۲۶	محلول در تیزاب سلطانی
۱,۸	۵	۱۶	۴	۱,۴	۱۲	بازة اطمینان ۹۵ %
^a مقدار کل موجود						
نواحی خاکستری: نتیجه تفاوت معنی داری با مقدار گواهی شده ندارد.						

یادآوری - سایر مطالعات روی Cd, Cr, Cu, Ni, P, Pb, Zn وجود توافق خوبی را بین محلول هضم تام (HF/HClO₄) و هضم با تیزاب سلطانی نشان داده‌اند. مقایسه بین روش‌ها ضریب همبستگی بین ۰,۹۵ و ۱,۰۵ را نتیجه می‌دهد که نشان می‌دهد که هر دو تکنیک هضم می‌تواند برای تعیین مقدار کل به کار رود.

پیوست ث

(اطلاعاتی)

داده‌های مربوط به دقت

در مطالعه بین‌آزمایشگاهی انجام شده در سال ۱۹۹۷ در اروپا (۵۵ آزمایشگاه از ۱۲ کشور) مقادیری به دست آمد که در جدول ث ۱ تا ث ۱۰ نشان داده شده است.

یادآوری - علایم اختصاری به کار رفته در جداول به شرح زیر است:

l ، تعداد آزمایشگاه‌ها؛

n ، تعداد مقادیر؛

NAP، درصد موارد دورافتاده؛

\bar{x} ، میانگین کل؛

σ_R ، انحراف استاندارد تجدیدپذیری؛

VC_R ، ضریب تغییرات تجدیدپذیری؛

σ_T ، انحراف استاندارد تکرارپذیری؛

VC_T ، ضریب تغییرات تکرارپذیری؛

جدول ث ۱- داده‌های دقت مربوط به AS

نمونه	روش	l	n	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۳۱	۱۲۴	۶٫۴	۱٫۹۴	۱٫۲۹	۶۶٫۷	۰٫۲۹	۱۵٫۰
	ب	۸	۳۲	۰	۱٫۸۳	۰٫۸۱	۴۴٫۲	۰٫۲۶	۱۴٫۲
	پ	۲۰	۸۰	۵	۱٫۷۱	۰٫۶۹	۴۰٫۱	۰٫۲۳	۱۳٫۷
	ت	۵	۲۰	۰	۲٫۶۳	۱٫۵۵	۵۸٫۹	۰٫۳۹	۱۴٫۷
لجن ۲	الف	۳۱	۱۲۴	۶٫۴	۲٫۴۵	۱٫۳۲	۵۳٫۲	۰٫۱۶	۶٫۴
	ب	۹	۳۶	۰	۲٫۴۳	۰٫۶۲	۲۵٫۴	۰٫۵۳	۲۱٫۷
	پ	۲۰	۸۰	۵	۲٫۲۸	۰٫۷۷	۳۳٫۶	۰٫۳۲	۱۳٫۹
	ت	۵	۲۰	۰	۲٫۲۹	۰٫۵۹	۲۵٫۷	۰٫۱۷	۷٫۳

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۲- داده‌های دقت مربوط به Cd

نمونه	روش	l	n	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_F mg/kg	VC_F %
لجن ۱	الف	۳۳	۱۳۲	۳	۰٫۹	۰٫۲۲	۲۴٫۶	۰٫۰۵	۵٫۹
	ب	۱۲	۴۸	۸٫۳	۱٫۰۹	۰٫۶۵	۵۹٫۲	۰٫۰۵	۴٫۸
	پ	۲۲	۸۸	۴٫۵	۱٫۰۶	۰٫۵۳	۴۹٫۶	۰٫۱	۹٫۵
	ت	۷	۲۸	۰	۰٫۹۱	۰٫۲	۲۱٫۵	۰٫۰۶	۶٫۷
لجن ۲	الف	۳۲	۱۲۸	۳٫۱	۱٫۱۹	۰٫۶۸	۵۷٫۱	۰٫۱	۸٫۳
	ب	۱۳	۵۲	۷٫۷	۱٫۸۶	۲٫۱۶	۱۱۶	۰٫۴۴	۲۳٫۶
	پ	۲۳	۹۲	۴٫۳	۱٫۹	۲٫۱۸	۱۱۴	۰٫۴۶	۲۴٫۴
	ت	۷	۲۸	۱۴٫۳	۱٫۰۷	۰٫۴۸	۴۴٫۳	۰٫۰۹	۸٫۳

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۳- داده‌های دقت مربوط به Cr

نمونه	روش	l	n	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_F mg/kg	VC_F %
لجن ۱	الف	۳۵	۱۴۰	۲٫۸	۱۸٫۹۶	۲٫۹۰	۱۵٫۳	۲٫۳۴	۱۲٫۳
	ب	۹	۳۶	۰	۱۸٫۷۶	۲٫۹۸	۱۵٫۹	۱٫۴۱	۷٫۵
	پ	۲۴	۹۶	۰	۲۰٫۶۷	۳٫۲۳	۱۵٫۶	۱٫۱۰	۵٫۳
	ت	۸	۳۲	۰	۱۷٫۷۳	۲٫۰۶	۱۱٫۶	۱٫۱۸	۶٫۷
لجن ۲	الف	۳۵	۱۴۰	۲٫۸	۴۰٫۷۹	۶٫۱۵	۱۵٫۱	۱٫۵۵	۳٫۸
	ب	۱۰	۴۰	۰	۴۰٫۶۳	۷٫۰۸	۱۷٫۴	۱٫۳۴	۳٫۳
	پ	۲۵	۱۰۰	۰	۴۳٫۹۰	۵٫۶۱	۱۲٫۸	۲٫۵۱	۵٫۷
	ت	۸	۳۲	۰	۳۹٫۲۶	۶٫۵۸	۱۶٫۸	۱٫۳۵	۳٫۵

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ت ۴- داده‌های دقت مربوط به Cu

نمونه	روش	<i>l</i>	<i>n</i>	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۳۵	۱۴۰	۲٫۸	۹۲٫۳۴	۴٫۹۹	۵٫۴	۱٫۵۹	۱٫۷
	ب	۱۳	۵۲	۷٫۷	۹۱٫۰۸	۱۷٫۰۲	۱۸٫۷	۴٫۱۵	۴٫۶
	پ	۲۷	۱۰۸	۳٫۷	۹۲٫۸۴	۶٫۸۹	۷٫۴	۲٫۸۸	۳٫۱
	ت	۹	۳۶	۱۱٫۱	۹۳٫۴۸	۶٫۹۸	۷٫۵	۲٫۹۴	۳٫۱
لجن ۲	الف	۳۵	۱۴۰	۲٫۸	۲۳۴٫۲۰	۱۴۰٫۷	۶٫۰	۸٫۹۴	۳٫۸
	ب	۱۴	۵۶	۷٫۱	۲۳۱٫۴۰	۲۶٫۲۳	۱۱٫۳	۴٫۹۴	۲٫۱
	پ	۲۸	۱۱۲	۳٫۶	۲۳۳٫۰۰	۱۶٫۳۲	۷٫۰	۱۰٫۴۶	۴٫۵
	ت	۹	۳۶	۱۱٫۱	۲۳۶٫۷۰	۱۷٫۴۴	۷٫۴	۸٫۲۸	۳٫۵

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ت ۵- داده‌های دقت مربوط به Hg

نمونه	روش	<i>l</i>	<i>n</i>	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۲۸	۱۱۲	۰	۰٫۴۹	۰٫۰۷	۱۴٫۵	۰٫۰۴	۸٫۸
	ب	۹	۳۶	۲۲٫۲	۰٫۵۰	۰٫۰۹	۱۸٫۷	۰٫۰۵	۹٫۳
	پ	۲۰	۸۰	۵	۰٫۵۱	۰٫۱۲	۲۳٫۶	۰٫۰۸	۱۶٫۱
	ت	۵	۲۰	۰	۰٫۵۵	۰٫۱۰	۱۷٫۴	۰٫۰۵	۸٫۸
لجن ۲	الف	۲۸	۱۱۲	۰	۱٫۰۵	۰٫۱۵	۱۴٫۲	۰٫۰۶	۶٫۰
	ب	۱۰	۴۰	۲۰	۱٫۰۵	۰٫۱۶	۱۴٫۹	۰٫۰۷	۶٫۸
	پ	۲۱	۸۴	۰	۱٫۰۸	۰٫۱۸	۱۶٫۹	۰٫۰۸	۷٫۴
	ت	۵	۲۰	۰	۱٫۱۴	۰٫۲۰	۱۷٫۶	۰٫۱۲	۱۰٫۵

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۶- داده‌های دقت مربوط به Ni

نمونه	روش	<i>l</i>	<i>n</i>	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۳۴	۱۳۶	۱۳/۱۱	۱۳/۲۸	۲/۹۰	۲۲/۲	۱/۵۳	۱۱/۷
	ب	۱۱	۴۴	۰	۱۳/۲۸	۲/۵۳	۱۹/۱	۰/۷۶	۵/۷
	پ	۲۶	۱۰۴	۳/۸	۱۲/۷۴	۲/۷۳	۲۱/۴	۰/۹۲	۷/۲
	ت	۹	۳۶	۰	۱۳/۰۹	۱/۷۹	۱۳/۷	۰/۷۸	۶/۰
لجن ۲	الف	۳۵	۱۴۰	۰	۲۱/۹۹	۴/۴۱	۲۰/۰	۱/۲۷	۵/۸
	ب	۱۲	۴۸	۰	۲۲/۰۱	۴/۱۸	۱۹/۰	۰/۷۹	۳/۶
	پ	۲۴	۹۶	۰	۲۲/۳۳	۵/۳۰	۲۳/۷	۱/۸۰	۸/۱
	ت	۹	۳۶	۰	۲۲/۹۰	۲/۵۰	۱۰/۹	۰/۹۱	۴/۰

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۷- داده‌های دقت مربوط به Pb

نمونه	روش	<i>l</i>	<i>n</i>	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۳۳	۱۳۲	۰	۱۳/۱۷	۴/۲۶	۳۲/۳	۱/۵۲	۱۱/۵
	ب	۱۱	۴۴	۰	۱۲/۵۹	۵/۰۷	۴۰/۲	۰/۹۲	۷/۳
	پ	۲۴	۹۶	۴/۲	۱۳/۰۴	۴/۰۴	۳۱/۰	۱/۲۸	۹/۸
	ت	۱۰	۴۰	۰	۱۳/۱۶	۱۰/۰۵	۷۶/۳	۰/۷۶	۵/۸
لجن ۲	الف	۳۴	۱۳۶	۰	۳۱/۴۸	۵/۴۶	۱۷/۴	۱/۲۶	۴/۰
	ب	۱۳	۵۲	۰	۲۹/۱۵	۱۲/۳۸	۴۲/۵	۱/۹۲	۶/۶
	پ	۲۵	۱۰۰	۰	۳۳/۹۴	۱۰/۰۵	۲۹/۶	۳/۱۲	۹/۲
	ت	۱۰	۴۰	۰	۲۹/۶۳	۱۵/۲۴	۵۱/۴	۱/۷۷	۶/۰

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۸- داده‌های دقت مربوط به Se

نمونه	روش	l	n	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۱۹	۷۶	۵٫۳	۰٫۶۶	۰٫۴۷	۷۰٫۸	۰٫۱۱	۱۶٫۰
	ب	۶	۲۴	۱۶٫۷	۰٫۵۱	۰٫۱۶	۳۲٫۴	۰٫۰۲	۳٫۰
	پ	۱۳	۵۲	۰	۰٫۹۰	۰٫۸۴	۹۳٫۶	۰٫۱۷	۱۸٫۵
	ت	۳	۱۲	۰	۰٫۴۷	۰٫۲۶	۵۴٫۸	۰٫۰۵	۱۱٫۰
لجن ۲	الف	۱۹	۷۶	۵٫۳	۱٫۲۷	۰٫۷۴	۵۸٫۳	۰٫۱۸	۱۴٫۰
	ب	۷	۲۸	۰	۱٫۲۵	۰٫۴۲	۳۳٫۳	۰٫۰۳	۲٫۶
	پ	۱۳	۵۲	۰	۱٫۲۳	۰٫۶۲	۵۰٫۵	۰٫۱۷	۱۳٫۵
	ت	۳	۱۲	۰	۰٫۹۶	۰٫۵۳	۵۴٫۸	۰٫۰۵	۵٫۷

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ث ۹- داده‌های دقت مربوط به Zn

نمونه	روش	l	n	NAP %	\bar{x} mg/kg	σ_R mg/kg	VC_R %	σ_T mg/kg	VC_T %
لجن ۱	الف	۳۷	۱۴۸	۵٫۴	۶۰۶٫۷	۴۵٫۳	۷٫۵	۱۴٫۵	۲٫۴
	ب	۱۱	۴۴	۱۸٫۲	۶۳۷٫۲	۴۲٫۳	۶٫۶	۲۰٫۷	۳٫۳
	پ	۲۷	۱۰۸	۳٫۷	۶۱۷٫۸	۵۴٫۲	۸٫۸	۱۸٫۸	۳٫۰
	ت	۸	۳۲	۰	۵۹۶٫۷	۴۴٫۹	۷٫۵	۱۱٫۲	۱٫۹
لجن ۲	الف	۳۷	۱۴۸	۲٫۷	۳۳۸٫۴	۲۹٫۷	۸٫۸	۱۰٫۶	۳٫۱
	ب	۱۲	۴۸	۰	۳۴۳٫۳	۵۲٫۰	۱۵٫۱	۱۳٫۶	۴٫۰
	پ	۲۷	۱۰۸	۳٫۷	۳۴۸٫۲	۳۶٫۷	۱۰٫۵	۱۸٫۴	۵٫۳
	ت	۸	۳۲	۰	۳۴۰٫۶	۴۲٫۰	۱۲٫۳	۱۷٫۲	۵٫۱

لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب
لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی

جدول ۱۰- داده‌های دقت مربوط به P

VC _r %	σ _r mg/kg	VC _R %	σ _R mg/kg	\bar{x} mg/kg	NAP %	n	l	روش	نمونه
۳٫۲	۰٫۳۳	۷٫۵	۰٫۷۸	۱۰٫۴۹	۸٫۷	۹۲	۲۳	الف	لجن ۱
۲٫۰	۰٫۲۲	۱۲٫۰	۱٫۳۰	۱۰٫۸۲	۰	۲۸	۷	ب	
۳٫۴	۰٫۳۶	۷٫۰	۰٫۷۵	۱۰٫۶۳	۰	۷۶	۱۹	پ	
۴٫۴	۰٫۵۱	۱۴٫۳	۱٫۶۳	۱۱٫۴۱	۰	۲۸	۷	ت	
۳٫۰	۰٫۳۱	۶٫۵	۰٫۶۶	۱۰٫۱۰	۰	۲۴	۶	H ₂ SO ₄ /HNO ₃	
۲٫۱	۰٫۳۶	۷٫۸	۱٫۳۵	۱۷٫۲۷	۴٫۳	۹۲	۲۳	الف	لجن ۲
۳٫۶	۰٫۵۸	۱۴٫۱	۲٫۲۹	۱۶٫۲۱	۰	۳۲	۸	ب	
۳٫۱	۰٫۵۶	۷٫۳	۱٫۳۲	۱۸٫۰۴	۵٫۳	۷۶	۱۹	پ	
۳٫۶	۰٫۶۱	۸٫۳	۱٫۴۱	۱۶٫۹۹	۱۴٫۳	۲۸	۷	ت	
۳٫۳	۰٫۵۷	۴٫۷	۰٫۸۱	۱۷٫۳۹	۰	۲۴	۶	H ₂ SO ₄ /HNO ₃	
<p>لجن ۱، مخلوطی از لجن آب آشامیدنی و لجن فاضلاب لجن ۲، مخلوطی از لجن صنعتی و لجن آب آشامیدنی</p>									