



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۹۷۵۸-۴-۷

چاپ اول

۱۳۹۸

INSO  
19758-4-7  
1st Edition  
2019

Identical with  
IEC TS  
62607-4-7:  
2018

فناوری نانو- نانوساخت-  
مشخصات کنترلی کلیدی-  
قسمت ۴-۷: ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی  
نانوپدید- تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی  
در نانومواد آند، روش ICP-OES

Nanotechnology— Nanomanufacturing—  
Key control characteristics—  
Part 4-7: Nano-enabled electrical energy  
storage— Determination of magnetic  
impurities in anode nanomaterials,  
ICP-OES method

ICS: 07.120; 07.030



دارای محتوای رنگی

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۱۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: [standard@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد 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.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود 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، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به‌عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی 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 Electrotechnical Commission

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

4-Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو- نانوساخت- مشخصات کنترلی کلیدی- قسمت ۷-۴: ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی نانوپدید- تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی در نانومواد آند، روش ICP-OES»

### رئیس:

نجدی، اردشیر

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

### سمت و/یا محل اشتغال:

معاون مدیرعامل- شرکت صنعتی پارس خزر

### دبیر:

نقوی جورشری، فسانه

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

کارشناس مسئول- اداره کل استاندارد استان گیلان

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ارجمندی، نیما

(دکتری مهندسی برق)

مدرس- دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی

اسلامی‌پور، الهه

(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

کارشناس مسئول- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

راجی پور، مهدی

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

کارشناس- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

رجبی جورشری، حامد

(دکتری مهندسی مکانیک)

عضو مستقل

رجبی جورشری، علی

(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)

کارشناس استاندارد و مدرس- دانشگاه احرار

رضوی، سید فرخ

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

کارشناس سیستم- شرکت ارتباطات بارقه پردیس

علیخانی، مصطفی

(دکتری فیزیک)

کارشناس- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

صدیق ضیابری، سید علی

(دکتری مهندسی برق)

عضو هیئت علمی- دانشگاه آزاد اسلامی رشت

قاسم‌پور، رقیه

(دکتری نانوفناوری)

عضو هیئت علمی- دانشگاه تهران

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کاوهوش، زهرا

(دکتری مهندسی برق)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی شریف

ویراستار:

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

نایب رئیس - کمیته فنی متناظر فناوری نانو

ISIRI/TC 229

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ط	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ بررسی اندازه‌گیری
۲	۵ واکنشگرها
۲	۱-۵ نیتریک‌اسید
۲	۲-۵ هیدروکلریک‌اسید
۲	۳-۵ نیترو هیدروکلریک‌اسید
۲	۴-۵ اتانول
۲	۵-۵ گاز آرگون
۳	۶-۵ محلول‌های استاندارد
۳	۱-۶-۵ محلول استاندارد آهن
۳	۲-۶-۵ محلول استاندارد کبالت
۳	۳-۶-۵ محلول استاندارد کروم
۳	۴-۶-۵ محلول استاندارد نیکل
۳	۶ دستگاه
۳	۱-۶ ICP-OES
۳	۲-۶ فلاسک (دمابان) مخروطی
۴	۳-۶ مخزن نمونه
۴	۴-۶ آهن‌ربا
۴	۵-۶ ترازوی الکتریکی
۴	۶-۶ تجهیزات نور
۴	۷-۶ تجهیزات پاک‌سازی فراصوتی
۴	۸-۶ افزاره گرمایش
۴	۷ آماده‌سازی مجموعه محلول‌های استاندارد

صفحه	عنوان
۵	۸ روش‌های اجرای آزمون
۵	۱-۸ پاک‌سازی آهن‌ربا
۵	۲-۸ آزمون نمونه
۵	۳-۸ جذب ناخالصی‌های مغناطیسی
۶	۴-۸ حذف ناخالصی‌های غیرمغناطیسی
۶	۵-۸ استخراج ناخالصی‌های مغناطیسی
۶	۶-۸ آماده‌سازی نمونه شاهد
۷	۷-۸ آزمون
۷	۹ تحلیل داده‌ها و محاسبه نتایج
۸	۱۰ گزارش آزمون
۹	پیوست الف (آگاهی دهنده) نمای افزاره نورد
۱۰	پیوست ب (آگاهی دهنده) روش حذف آهن‌ربا
۱۱	پیوست پ (آگاهی دهنده) مطالعه موردی
۱۶	پیوست ت (آگاهی دهنده) اعتبارسنجی روش اجرایی جذب
۱۷	کتاب‌نامه

## پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- نانو ساخت- مشخصات کنترلی کلیدی- قسمت ۷-۴: ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی نانوپدید- تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی در نانومواد آند، روش ICP-OES» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتاد و دومین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

IEC/TS 62607-4-7: 2018, Nanotechnology— Nanomanufacturing— Key control characteristics-Part 4-7: Nano-enabled electrical energy storage- Determination of magnetic impurities in anode nanomaterials, ICP-OES method



## مقدمه

ناخالصی‌های مغناطیسی اغلب تأثیر قابل توجهی در عملکرد نانومواد آند برای ذخیره انرژی الکتریکی نانوپدید دارند. اگر نانومواد آند از ناخالصی مغناطیسی بالایی برخوردار باشند، ممکن است منجر به تخلیه شدید خود و کاهش عملکرد و چرخه عمر شوند. همچنین ناخالصی‌های مغناطیسی به آسانی انبوه می‌شوند که این موضوع می‌تواند باعث ایجاد مشکلات ایمنی مانند آتش سوزی با اتصال کوتاه داخلی یا حتی انفجار شود. بنابراین، ارزیابی دقیق محتوای ناخالصی مغناطیسی برای ایمنی و عملکرد دستگاه‌های ذخیره انرژی بسیار مهم است. [1,2,3]

روش طیف‌سنجی نشر نوری- پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)<sup>۲</sup> روشی کامل و دقیق برای اندازه‌گیری غلظت عناصر فلزی در مواد آزمودنی است، اما روشی استاندارد شده برای جمع‌شدن ماده مغناطیسی نیست. این استاندارد روشی قابل اعتماد را برای جمع‌آوری و تعیین مقدار ناخالصی مغناطیسی در نانومواد آند یک افزاره ذخیره انرژی، ارائه می‌دهد. این موضوع به کنترل بهتر کیفیت نانومواد الکتروود کمک خواهد کرد.

این استاندارد تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی را با استفاده از روش ICP-OES برای مشخصه‌یابی الکتروشیمیایی نانومواد نانوپدید برای افزاره‌های ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی، معرفی می‌کند.

این روش استاندارد شده برای استفاده در مقایسه مشخصات نانومواد آند در مرحله مطالعه در نظر گرفته شده است، نه برای ارزیابی الکتروود در محصولات نهایی.

این روش برای موادی قابل استفاده است که عملکرد یا کارایی آن‌ها فقط با فناوری نانو امکان‌پذیر باشد، که عمدهً به مواد فعال اضافه شده باشند تا قابلیت اطمینان یک یا چند خاصیت فیزیکی افزاره‌های ذخیره انرژی الکتریکی را به صورت قابل اندازه‌گیری و به طور قابل توجهی تغییر دهد.

در این زمینه توجه به این نکته حائز اهمیت است که درصد محتوای نانومواد افزاره مورد نظر هیچ ارتباط مستقیمی با کاربرد این استاندارد ندارد، زیرا مقادیر جزئی نانومواد غالباً برای بهبود قابل توجهی در عملکرد کافی هستند.

آن قسمت از نانومواد که در الکتروودها یا روکش‌های الکتروود موجود است، ارتباطی به استفاده از این روش ندارد.

۱- اعداد داخل قلاب‌ها به کتاب‌نامه ارجاع داده شده است.

## فناوری نانو- نانوساخت- مشخصات کنترلی کلیدی- قسمت ۷-۴: ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی نانوپدید- تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی در نانومواد آند، روش ICP-OES

هشدار- توصیه می‌شود افرادی که از این روش استفاده می‌کنند با کار معمول آزمایشگاهی آشنا باشند. این استاندارد به معنای اظهارنظر در خصوص تمام مشکلات ایمنی، در صورت وجود، مرتبط با استفاده از آن نیست. برقراری ایمنی مناسب و فعالیت‌های بهداشتی و اطمینان از انطباق با هر نوع شرایط ملی تنظیم شده جزو مسئولیت کاربر می‌باشد.

مهم- کاملاً ضروری است که آزمون‌های انجام شده بر مبنای این استاندارد، توسط کارکنانی که به نحو مناسب آموزش دیده‌اند، انجام شود.

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این قسمت از مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۷۵۸، ارائه روشی برای تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی در نانومواد آند برای افزاره‌های ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از یک طیف‌سنج نشر نوری- پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES)، شامل بررسی کلی آزمون، واکنشگرها، دستگاه، روش‌های اجرایی آزمون، نتایج آزمون و گزارش آزمون است.

این استاندارد در مورد تعیین محتوای کل ناخالصی‌های مغناطیسی (آهن، کبالت، کروم و نیکل)  $\leq 0.02 \text{ mg/kg}$  که می‌تواند به وسیله آهن‌ربا جذب شود، کاربرد دارد.

### ۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی 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 کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 3696: 1987, Water for analytical laboratory use- Specification and test methods

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۲۸: سال ۱۳۸۱، آب- مورد مصرف در آزمایشگاه تجزیه- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون با استفاده از ISO 3696: 1987 ملی شده است.

- 2-2 ISO 6353-1:1982: Reagents for chemical analysis- General test methods  
2-3 ISO 18842:2015: Aluminium oxide primarily used for the production of aluminium – Method for the determination of tapped and untapped density

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

اصطلاحات و تعاریفی در این استاندارد فهرست نشده است.<sup>۱</sup>

### ۴ بررسی کلی اندازه گیری

در ابتدا، ناخالصی‌های مغناطیسی نمونه‌ها با یک آهن‌ربا جذب می‌شوند. و سپس ناخالصی‌های مغناطیسی در محلول اسیدی حل می‌شوند. در نهایت روش ICP-OES برای تعیین محتوای آهن، کبالت، کروم، و نیکل استفاده می‌شود.

### ۵ واکنشگرها

#### ۱-۵ نیتریک اسید

$c(HNO_3) = 15 \text{ mol/L}$ ,  $\rho \approx 1.40 \text{ g/mL}$ . این واکنشگر باید درجه خلوص آزمایشگاهی<sup>۲</sup> داشته باشد.

#### ۲-۵ هیدروکلریک اسید

$c(HCl) = 12 \text{ mol/L}$ ,  $\rho \approx 1.18 \text{ g/mL}$ . این واکنشگر باید درجه خلوص آزمایشگاهی داشته باشد.

#### ۳-۵ نیترو هیدروکلریک اسید

محلولی که با مخلوط یک حجم از نیتریک اسید با سه حجم از هیدروکلریک اسید حاصل می‌شود.

#### ۴-۵ اتانول

$w(C_2H_6O) \geq 99.7\%$ . این واکنشگر باید درجه خلوص آزمایشگاهی داشته باشد.

#### ۵-۵ گاز آرگون

باید کسر حجمی کمتر از  $99.99\%$  نداشته باشد.

۱- اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وب‌گاه‌های <http://www.iso.org/obp> و <http://www.electropedia.org/> در دسترس است.

2 - Analytical reagent grade

۶-۵ محلول‌های استاندارد

۵-۶-۱ محلول استاندارد آهن،

مطابق با استاندارد ISO 6353-1: 1982، غلظت ۰.۱۰۰۱ g/mL.

۵-۶-۲ محلول استاندارد کبالت،

مطابق با استاندارد ISO 6353-1: 1982، غلظت ۰.۱۰۰۱ g/mL.

۵-۶-۳ محلول استاندارد کروم،

مطابق با استاندارد ISO 6353-1: 1982، غلظت ۰.۱۰۰۱ g/mL.

۵-۶-۴ محلول استاندارد نیکل،

مطابق با استاندارد ISO 6353-1: 1982، غلظت ۰.۱۰۰۱ g/mL.

در فرآیند کار باید با توجه به دستورالعمل‌های ویژه، واکنشگرهای خالص و آب درجه سه<sup>۱</sup> به شرحی که در استاندارد ISO 6353-1 مشخص شده است، استفاده شوند.

۶ دستگاه

۱-۶ ICP-OES

روش ICP-OES بر پایه اندازه‌گیری نشر در یک طول موج بلند انتخابی برای یک عنصر خاص است. بنابراین، برای تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی، طول موج آزمون براساس مندرجات جدول ۱ انتخاب می‌شود.

جدول ۱- طول موج‌های آزمون توصیه شده برای تعیین ناخالصی‌های مغناطیسی

طول موج nm	عنصر فلزی
۲۳۸,۲۰۴	آهن
۲۲۸,۶۱۶	کبالت
۲۶۷,۷۱۶	کروم
۲۳۱,۶۰۴	نیکل

۱ - بر مبنای این طبقه‌بندی، سه درجه آب (درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳) وجود دارد که آب درجه ۳، خالص‌ترین درجه است.

## ۲-۶ فلاسک (دمابان) مخروطی

فلاسک مخروطی شفاف و دارای حجم ۲۵۰ mL است.

## ۳-۶ مخزن نمونه

مخزن نمونه از ماده پلاستیکی ساخته شده و با پوشش داخلی و خارجی، دارای حجم ۵۰۰ mL است. توصیه می‌شود مخزن نمونه به‌خوبی آب‌بندی شده باشد. گنجایش آن با گنجایش فلاسک‌های مخروطی سازگار است.

## ۴-۶ آهن‌ربا

آهن‌ربا شدت میدان مغناطیسی ۰٫۶ T (انحراف مجاز در محدوده ۵٪) دارد. قطر آن ۱۵ mm تا ۲۰ mm و طول آن ۴۵ mm تا ۵۵ mm است. توصیه می‌شود آهن‌ربا به‌طور کامل با مواد پلی‌تترافلورواتیلن، کپسوله<sup>۱</sup> (محصور) و در برابر اسید و باز قوی مقاوم شده باشد.

یادآوری- شدت میدان مغناطیسی (۰٫۶ T) که در این استاندارد استفاده شده‌است، به بیشینه شدت میدان مغناطیسی آهن‌ربا برمی‌گردد که در سطح آهن‌ربا و به‌وسیله مغناطیس‌سنج روبش شده‌است.

## ۵-۶ ترازوی الکترونیکی

ترازو دارای دقت ۰٫۰۰۱ g است.

## ۶-۶ تجهیزات نورد<sup>۲</sup>

تجهیزات در حالت نورد در پیوست الف نشان داده شده‌است. محدوده سرعت غلطاندن ۶۰ دور بر دقیقه تا ۱۰۰ دور بر دقیقه است.

## ۷-۶ تجهیزات پاک‌سازی فراصوتی<sup>۳</sup>

در این استاندارد، افزاره پاک‌سازی فراصوتی که معمولاً در آزمایشگاه استفاده می‌شود، کاربرد دارد.

## ۸-۶ افزاره گرمایش

افزاره گرمایش توانایی تنظیم درجه گرمایش برای جوش آوردن محلول آبی را دارد، مانند یک صفحه داغ یا کوره الکتریکی.

---

1- Encapsulated  
2- Scroll equipment  
3- Ultrasonic

## ۷ آماده‌سازی مجموعه محلول‌های استاندارد

یک مجموعه محلول‌های استاندارد را آماده کنید و مطمئن شوید که غلظت محلول نمونه در محدوده خطی منحنی کالیبراسیون (واسنجی) قرار دارد. در کنار محلول شاهد، حداقل سه محلول استاندارد کالیبراسیون تهیه شده باشد.

## ۸ روش اجرای آزمون

### ۸-۱ پاک‌سازی آهن‌ربا

آهن‌ربا را داخل یک فلاسک مخروطی تمیز قرار دهید، به اندازه کافی نیتروهیدروکلریک‌اسید و آب برای غوطه‌ورسازی کامل آهن‌ربا اضافه کنید. فلاسک مخروطی را بر روی یک افزاره گرمایش حرارت دهید تا محلول به آرامی به جوش آید. برای مدت حداقل ۳۰ دقیقه در حالت جوش نگه‌دارید، اطمینان حاصل کنید که محلول خشک نشود. در طول فرآیند گرمایش، به منظور جلوگیری از گرمایش موضعی بیش از حد، فلاسک مخروطی باید حداقل سه بار در حرکتی دایره‌ای تکان داده شود. پس از گرمایش، فلاسک مخروطی را در محیط و تا دمای اتاق خنک کنید، و سپس آهن‌ربا را سه بار با آب بشویید. آهن‌ربا را برای مراحل زیر حفظ کنید.

**یادآوری-** در طول فرآیند ریختن محلول پاک‌سازی، یک آهن‌ربای دیگر در انتهای بیرونی پایین فلاسک مخروطی قرار دهید تا آهن‌ربای داخل را جذب کند تا بتواند مانع افتادن آهن‌ربا از فلاسک شود.

**هشدار-** هنگام تکان دادن فلاسک مخروطی، باید اقدامات حفاظتی برای جلوگیری از سوختگی‌های حرارتی روی دست‌ها را پیش‌بینی کرد.

### ۸-۲ آزمون نمونه

مقداری از نمونه را در یک مخزن نمونه تمیز وزن کنید. جرم نمونه آزمون با استفاده از چگالی حجمی خالص نمونه تعیین می‌شود. روش اندازه‌گیری چگالی حجمی خالص باید مطابق با روش «تعیین چگالی حجمی خالص» ارائه شده در استاندارد ISO 18842: 2015 باشد. به جدول ۲ مراجعه شود.

جدول ۲- ارتباط جرم اندازه‌گیری شده به چگالی حجمی خالص نمونه

اندازه‌گیری جرم g	چگالی حجمی خالص g/cm <sup>3</sup>
۵۰ ± ۱,۰۰	< ۰,۵
۱۰۰ ± ۲,۰۰	۰,۵ تا ۱,۰
۲۰۰ ± ۵,۰۰	> ۱,۰

### ۳-۸ جذب ناخالصی‌های مغناطیسی

به مقدار کافی اتانول (حداقل نیمی از حجم مخزن نمونه) را به مخزن نمونه حاوی نمونه‌ها افزوده و آهن‌ربای تمیزی را به آن اضافه کنید. درب را به صورت ایمن ببندید، با شدت تکان دهید و نمونه‌ها را روی یک افزاره نورد قرار دهید (به پیوست الف مراجعه شود). سرعت نورد را در محدوده ۶۰ دور بر دقیقه تا ۸۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید. برای حداقل ۳۰ دقیقه نورد کنید. فرآیند نورد باید نمونه‌هایی را شامل شود که حداقل ۳ بار به طور شدید تکان داده شده‌اند.

یادآوری- برای اعتبارسنجی این روش جذب، به پیوست پ مراجعه شود.

### ۴-۸ حذف ناخالصی‌های غیرمغناطیسی

پس از فرآیند نورد، آهن‌ربا را از مخزن نمونه خارج کنید (این فرآیند خروج در پیوست ب نشان داده شده است) و آن را با آب بشویید. در طول فرآیند حذف، از هرگونه تماس فیزیکی با آهن‌ربا داخل و خارج از فلاسک و شکستگی سطح فلاسک مخروطی در اثر برخورد بین آهن‌ربا و فلاسک مخروطی اجتناب کنید. به اندازه کافی اتانول به فلاسک مخروطی اضافه کنید تا آهن‌ربا کاملاً غوطه‌ور شود و آن‌ها را با تجهیزات پاک‌سازی فراصوتی تمیز کنید تا آهن‌ربا و فلاسک مخروطی تمیز شوند (معمولاً پاک‌سازی فراصوتی به مدت ۱ دقیقه است)، سپس آهن‌ربا و فلاسک مخروطی را ۳ بار با آب بشویید. توصیه می‌شود در این فرآیند، ضایعات و اتانول به درستی دفع شوند (در صورت امکان، بازیافت شوند).

یادآوری- در طول فرآیند بیرون ریختن محلول تمیزکننده، آهن‌ربای دیگری را در انتهای بیرونی پایین فلاسک مخروطی قرار دهید تا آهن‌ربای داخل را جذب کند و بتواند مانع افتادن آهن‌ربا از فلاسک شود.

### ۵-۸ استخراج ناخالصی‌های مغناطیسی

پس از پاک‌سازی، به اندازه کافی نیتروهِیدروکلریک‌اسید و آب اضافه کنید تا کاملاً آهن‌ربا را در داخل فلاسک مخروطی غوطه‌ور سازد. فلاسک مخروطی را بر روی یک دستگاه گرمایش حرارت دهید تا محلول به آرامی به جوش آید. برای مدت حداقل ۳۰ دقیقه آن را در حالت جوش نگه‌دارید (اطمینان حاصل کنید که محلول خشک نشود). در طول فرآیند گرمایش، به منظور جلوگیری از گرمایش موضعی بیش از حد، فلاسک مخروطی باید حداقل سه بار در حرکتی دایره‌ای تکان داده شود، و اسید باید کاملاً سطح آهن‌ربا را بپوشاند. پس از اینکه تمام ذرات حل شد، فلاسک مخروطی را در محیط و تا دمای اتاق خنک کنید. محلول را بعد از خنک شدن به یک فلاسک حجمی ۱۰۰ mL منتقل کنید. با استفاده از مقدار کمی آب، فلاسک مخروطی و آهن‌ربا را برای ۳ تا ۴ بار بشویید، سپس آب را به فلاسک حجمی منتقل کنید، و آن را با آب تا رسیدن به ۱۰۰ mL رقیق کنید.

### ۶-۸ آماده‌سازی نمونه شاهد

روش‌های اجرای توصیف شده در زیربندهای ۱-۸، ۳-۸، ۴-۸ و ۵-۸ را بدون هیچ نمونه‌ای انجام دهید. نتیجه استخراج شده در انتهای مرحله ۵-۸، به عنوان نمونه شاهد ارجاع داده شده است.

## ۷-۸ آزمون

روش ICP-OES برای آزمون محتوای مواد مغناطیسی استفاده شده است. مثالی از تنظیمات مؤلفه ابزار دقیق در جدول ۳ ارائه شده است. مجموعه‌ای از محلول‌های استاندارد را به نوبت آزمون و منحنی کالیبراسیون را رسم کنید. نمونه شاهد و نمونه را به همان شیوه آزمون کنید. نتیجه نمونه‌ها براساس نتیجه نمونه شاهد محاسبه شده است.

جدول ۳- پارامترهای عملیاتی ابزار دقیق

پارامترهای عملیاتی	مقدار تعیین شده
نرخ جریان پلاسما	۱۵ L/min
نرخ جریان کمکی	۰٫۲ L/min
نرخ جریان افشانه <sup>۱</sup>	۰٫۸ L/min
توان ژنراتور RF	۱۳۰۰ W
نرخ جریان آزمون	۱٫۵ mL/min
جهت مشاهده	محوری
1-Nebulizer	

توصیه می‌شود در طی انجام آزمون، برای رسیدن به شرایط مطلوب اندازه‌گیری فلزات، این مؤلفه‌ها به صورت مناسب و مطابق با نیاز دستگاه تنظیم شوند.

یادآوری- مراحل ویژه برای آماده‌سازی یک مجموعه محلول استاندارد و روش آزمون در پیوست پ ارائه شده است.

## ۹ تحلیل داده‌ها و محاسبه نتایج

فرمول (۱) و فرمول (۲) برای محاسبه محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی استفاده شده است:

$$X_i = \frac{(c_i - c_o)v}{m} \quad (1)$$

$$X = X_{Fe} + X_{Co} + X_{Ni} + X_{Cr} \quad (2)$$

که در آن:

$X_i$  محتوای یک عنصر خاص در نمونه است، mg/kg

$c_i$  غلظت یک عنصر از محلول نمونه تعیین شده از منحنی کالیبراسیون است،  $\mu\text{g/ml}$

$c_o$  غلظت یک عنصر از محلول شاهد تعیین شده از منحنی کالیبراسیون است،  $\mu\text{g/ml}$



$v$  حجم محلول نمونه است، ml؛

$m$  جرم نمونه است، g؛

$X$  جرم مجموع ماده مغناطیسی است، mg/kg.

مقدار عناصر پایین تر از حد تشخیص ابزار دقیق نباید در مقدار کل ناخالصی های مغناطیسی محاسبه شود.

## ۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات ذیل باشد ولی محدود به آنها نمی شود:

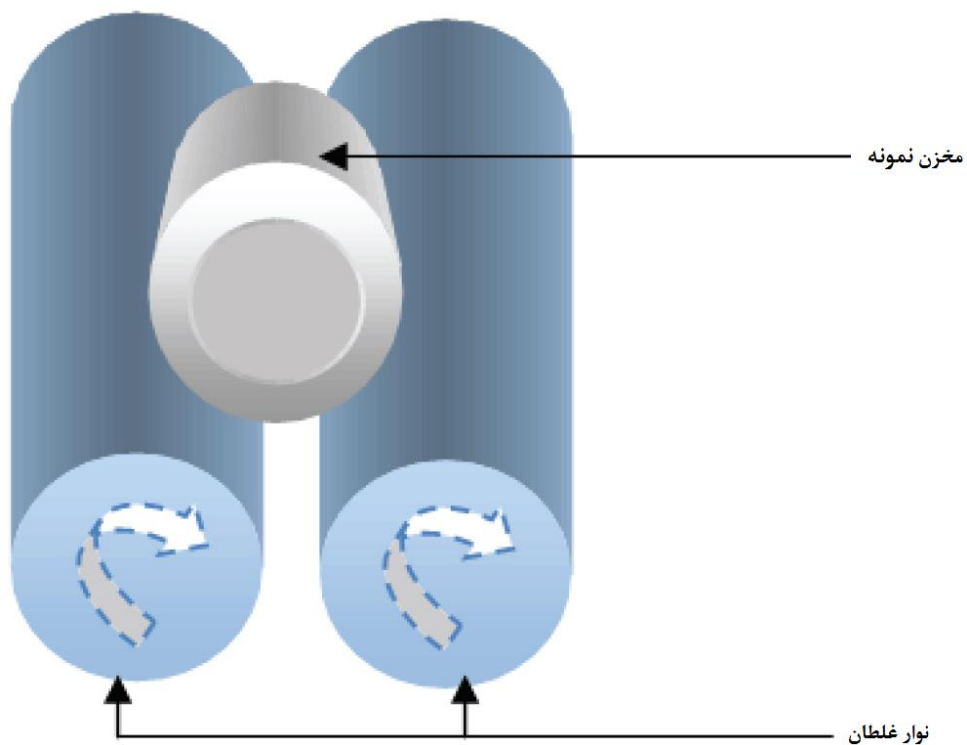
- شماره گزارش؛
- تاریخ آزمون؛
- آزمونگر، بررسی کنندگان؛
- اندازه گیری دما و رطوبت محیط؛
- شرح نمونه، شامل سازنده، نام، مدل و غیره؛
- شرح دستگاه، شامل سازنده، نام، مدل و غیره؛
- نتایج آزمون.

## پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

### نمای افزاره نورد

مطابق با شکل الف-۱، مخزن نمونه بر روی میله غلطان افزاره نورد، که می‌تواند مانع سُرخوردن نمونه شود، قرار می‌گیرد.



شکل الف-۱- نمای مخزن نمونه بر روی افزاره نورد

## پیوست ب

### (آگاهی‌دهنده)

#### روش خارج کردن آهن‌ربا

پس از نورد، نمونه‌ها را به‌صورت تخت بر روی میز آزمون قرار دهید.

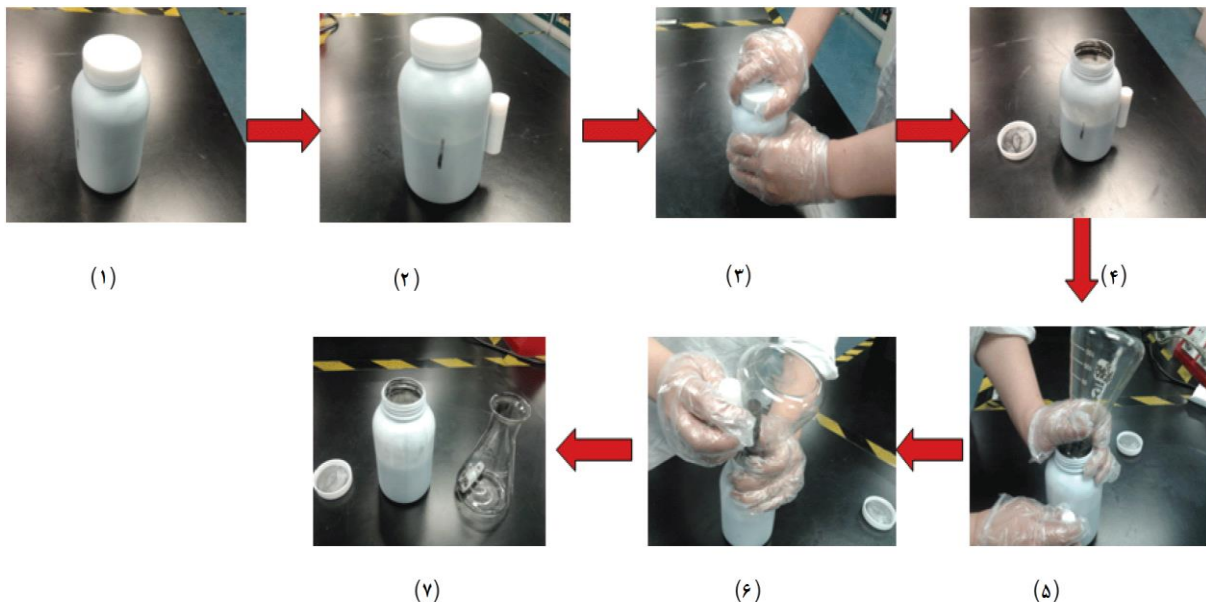
الف- آهن‌ربای داخلی را با استفاده از آهن‌ربای دیگری جذب کنید.

ب- مخزن نمونه را نگاه‌دارید، درپوش مخزن نمونه را باز کنید و درپوش را بر روی میز آزمون قرار دهید.

پ- یک فلاسک مخروطی تمیز را انتخاب کنید، فلاسک را به‌حالت وارونه قرار دهید و همانطور که در قسمت ۵ از شکل ب-۱ نشان‌داده شده‌است، لبه فلاسک را داخل مخزن نمونه بگذارید. فلاسک مخروطی و مخزن نمونه را با یک دست نگاه‌دارید.

ت- با دست دیگر، آهن‌ربا را در خارج از مخزن نمونه نگاه‌دارید تا آهن‌ربای داخلی جذب شود. با استفاده از آهن‌ربای خارج از مخزن نمونه، آهن‌ربای داخلی را به‌آرامی به‌سمت بالا حرکت دهید تا آهن‌ربای داخلی درون فلاسک قرار گیرد.

ث- فلاسک مخروطی را به‌حالت عادی خود برگردانید و آهن‌ربای خارجی را بردارید. حالا آهن‌ربای داخلی از مخزن نمونه به فلاسک مخروطی منتقل شده‌است.



شکل ب-۱- نمای خارج کردن آهن‌ربا

## پیوست پ

### (آگاهی‌دهنده)

### مطالعه موردی

#### پ-۱: آماده‌سازی مجموعه محلول‌های استاندارد

یک مجموعه محلول‌های استاندارد، به‌وسیله رقیق کردن محلول استاندارد به‌روش شرح داده‌شده در بند ۷، آماده شد.

الف- ۵۱۰ mL محلول‌های استاندارد آهن، کبالت، کروم، و نیکل در یک فلاسک حجمی تک‌علامتی ۱۰۰ mL قرار داده شد. سپس ۲۱۰ mL نیتریک‌اسید به فلاسک حجمی افزوده شد.

ب- محلول با آب تا حد علامت رقیق شد. غلظت موجودی محلول استاندارد آهن، کبالت، کروم، نیکل  $50/100 \mu\text{g/mL}$  بوده‌است.

پ- ۰/۱۰۰ mL (کالیبراسیون شاهد)، ۰/۲۰ mL، ۰/۵۰ mL، ۱/۰۰ mL و ۲/۰۰ mL موجودی محلول‌های استاندارد اندازه‌گیری و به‌تعداد ۵ فلاسک حجمی تک‌علامتی ۱۰۰ mL اضافه شد. ۲/۰ mL نیتریک‌اسید به هر فلاسک حجمی افزوده شد.

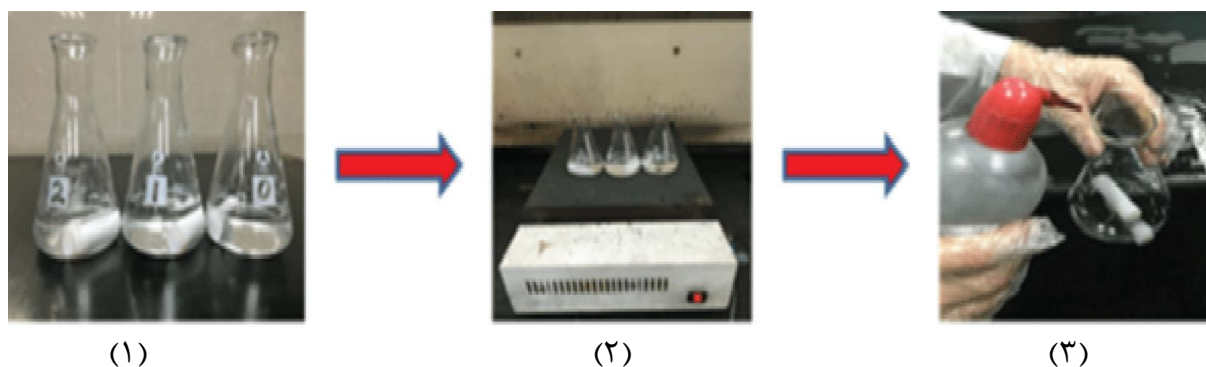
ت- هر محلول با آب تا حد علامت رقیق شد. اکنون یک مجموعه از محلول‌های استاندارد آهن، کبالت، کروم، نیکل با غلظت  $0/100 \mu\text{g/mL}$  (کالیبراسیون شاهد)،  $0/10 \mu\text{g/mL}$ ،  $0/25 \mu\text{g/mL}$ ،  $0/50 \mu\text{g/mL}$  به‌دست آمده‌است.

#### پ-۲: پاک‌سازی آهن‌ربا

الف- تعداد سه آهن‌ربا درون سه فلاسک مخروطی تمیز با شماره‌های ۰، ۱ و ۲ قرار داده و سپس ۸ mL نیتروهِیدروکلریک‌اسید و آب کافی اضافه شد تا آهن‌ربا به‌صورت نشان‌داده شده در قسمت ۱ از شکل پ-۱، کاملاً در هر فلاسک مخروطی غوطه‌ور شود.

ب- فلاسک‌های مخروطی روی یک دستگاه گرمایش به‌صورت نشان داده شده در قسمت ۲ از شکل پ-۱ حرارت داده شدند تا محلول به‌آرامی به‌جوش‌آید. برای مدت ۳۰ دقیقه به‌حالت جوش نگه‌داشته شدند. در طول فرآیند گرمایش، به‌منظور جلوگیری از گرمایش موضعی بیش از حد، حداقل سه بار فلاسک مخروطی در حرکتی دایره‌ای تکان داده شد.

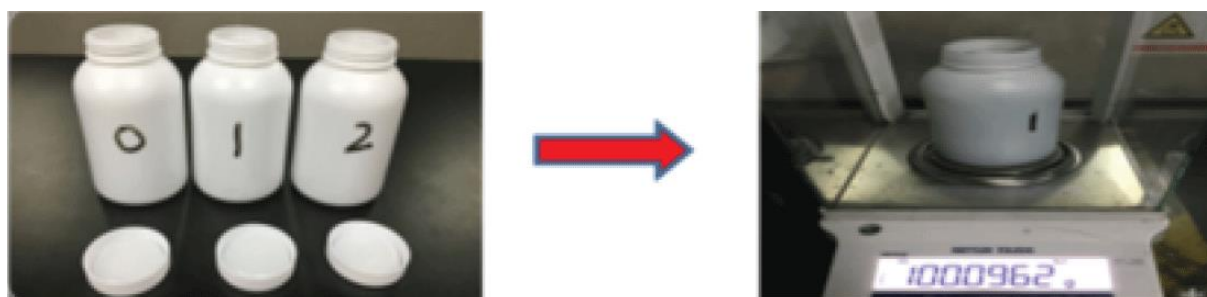
پ- بعد از گرمایش، فلاسک‌های مخروطی در محیط و تا دمای اتاق خنک شدند، و سپس آهن‌رباها همانطور که در قسمت ۳ از شکل پ-۱ نشان‌داده شده‌است، ۳ بار با آب شسته شدند. آهن‌رباها برای مراحل بعدی حفظ شدند.



شکل پ-۱- روش اجرایی برای پاک‌سازی آهن‌ریبا

### پ-۳: توزین نمونه

تعداد سه مخزن نمونه تهیه، به صورت ۰، ۱ و ۲ شماره‌گذاری شدند. مخزن نمونه صفر برای آزمون شاهد آماده شد. مخازن نمونه ۱ و ۲ برای آزمون تکرارپذیری نمونه آماده شدند. نمونه مطابق با مشخصات مندرج در جدول ۲ وزن شد. چگالی توده مواد به‌کاررفته در این آزمون که مصرف نشده‌اند در محدوده  $0.5 \text{ g/cm}^3$  تا  $1.0 \text{ g/cm}^3$  بوده‌است. جرم‌های نمونه ثبت شده، همانطور که در شکل پ-۲ نشان داده شده‌است، برابر با  $0 \text{ g}$ ،  $100.962 \text{ g}$ ،  $100.8618 \text{ g}$  به ترتیب در مخازن نمونه ۰، ۱ و ۲ بوده‌است.



شکل پ-۲- روش اجرایی برای توزین نمونه

### پ-۴: جذب ناخالصی‌های مغناطیسی

الف- همانطور که در قسمت ۱ از شکل پ-۳ نشان داده شده‌است، تعداد سه آهن‌ریبای تمیز اشاره شده در زیربند پ-۲، در هر مخزن نمونه، مطابق با زیربند پ-۳ به صورت یک به یک قرار گرفت.

ب- همانطور که در قسمت ۲ از شکل پ-۳ نشان داده شده‌است،  $300 \text{ mL}$  اتانول به هر مخزن نمونه اضافه شد.

پ- درپوش‌های مخازن نمونه باز شده، سپس به نحوی که در قسمت ۳ از شکل پ-۳ نشان داده شده‌است، مخازن نمونه بر روی دستگاه نورد قرار گرفت. سرعت نورد بر روی  $70$  دور بر دقیقه تنظیم شد و سپس

مخازن نمونه برای مدت ۳۰ دقیقه نورد شد. در طول فرآیند نورد، مخازن نمونه حداقل ۳ بار به شدت تکان داده شدند.



شکل پ-۳- روش اجرایی برای جذب ناخالصی‌های مغناطیسی

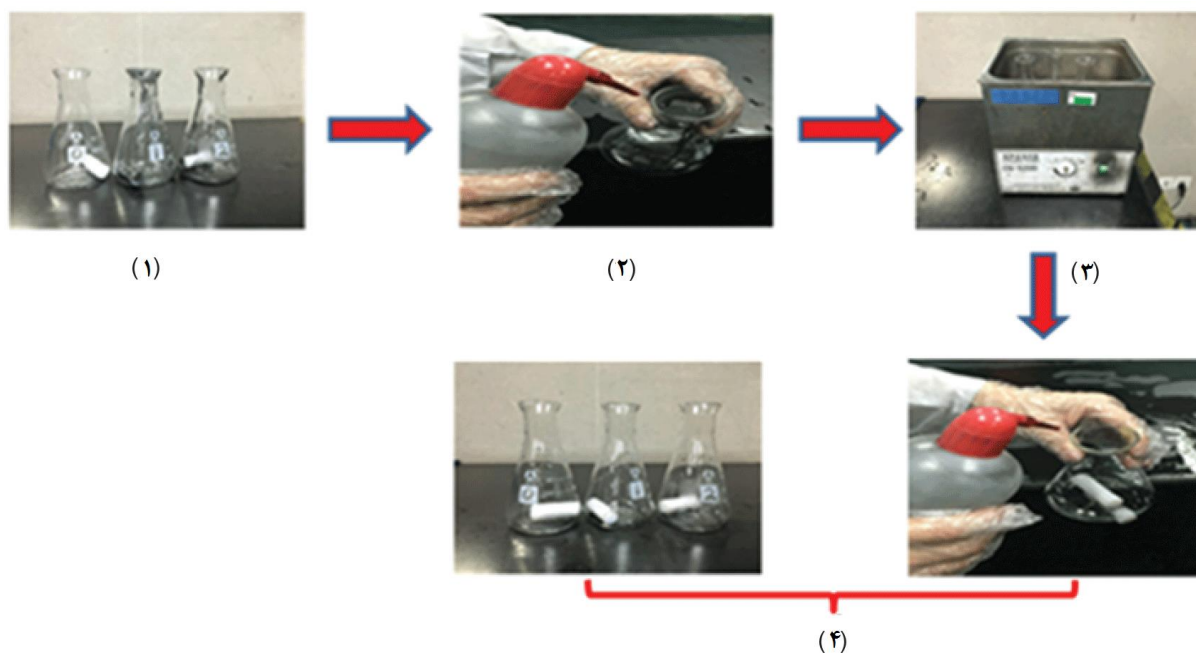
#### پ-۵: حذف ناخالصی‌های غیر مغناطیسی

الف- همان‌طور که در قسمت ۱ از شکل پ-۴ نشان داده شده‌است، آهن‌ربا از مخازن نمونه ۰، ۱ و ۲ به فلاسک‌های مخروطی علامت‌گذاری شده با عدد مربوطه منتقل شد. روش انتقال در پیوست ب مشخص شده‌است.

ب- همان‌طور که در قسمت ۲ از شکل پ-۴ نشان داده شده‌است، پودر روی دیواره‌های فلاسک‌های مخروطی با استفاده از آب تمیز شد.

پ- به‌اندازه کافی اتانول اضافه شد تا آهن‌رباها در فلاسک‌های مخروطی کاملاً غوطه‌ور شوند. همان‌طور که در قسمت ۳ از شکل پ-۴ نشان داده شده‌است، آهن‌رباها و فلاسک‌های مخروطی با استفاده از تجهیزات پاک‌سازی فراصوتی به مدت ۱ دقیقه تمیز شدند. این فرآیند سه بار تکرار شد.

ت- همان‌طور که در قسمت ۴ از شکل پ-۴ نشان داده شده‌است، آهن‌رباها سه بار با آب تمیز شدند.



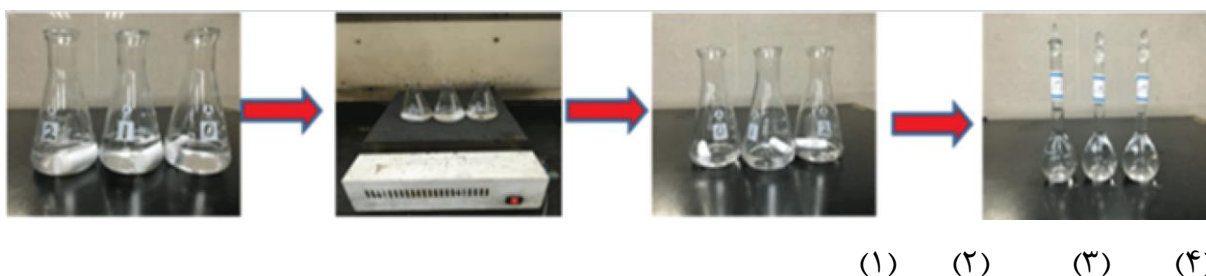
شکل پ-۴- روش اجرایی برای حذف ناخالصی‌های غیر مغناطیسی

#### پ-۶: استخراج ناخالصی‌های مغناطیسی

الف- همان‌طور که در قسمت ۱ از شکل پ-۵ نشان داده شده است، مقدار ۸ mL نیترو هیدروکلریک اسید به هر فلاسک مخروطی و به مقدار کافی آب اضافه شد تا آهن‌رباها کاملاً غوطه‌ور شوند.

ب- همان‌طور که در قسمت ۲ از شکل پ-۵ نشان داده شده است، فلاسک‌های مخروطی بر روی یک دستگاه گرمایش حرارت داده شدند تا محلول به آرامی به جوش آید. برای مدت ۳۰ دقیقه به حالت جوش نگاه داشته شد. در طول فرآیند گرمایش، به منظور جلوگیری از گرمایش موضعی بیش از حد، حداقل سه بار فلاسک مخروطی در حرکتی دایره‌ای تکان داده شدند.

پ- پس از گرمایش، فلاسک‌های مخروطی در محیط و تا دمای اتاق خنک شدند، و سپس محلول به صورت یک‌به‌یک به ۳ فلاسک حجمی تک‌علامتی منتقل شد. سپس همان‌طور که در قسمت ۴ از شکل پ-۵ نشان داده شده است، محلول تا حجم ۱۰۰ mL با آب رقیق شد.



شکل پ-۵- روش اجرایی برای استخراج ناخالصی‌های مغناطیسی

پ-۷: آزمون

همانطور که در زیربند ۷-۸ تشریح شده است، نتایج نمونه‌هایی که براساس نتیجه نمونه شاهد محاسبه شده‌اند، در جدول پ-۱ نشان داده شده است.

جدول پ-۱- نتایج آزمون ناخالصی‌های مغناطیسی

محدوده نسبی	جرم کل ناخالصی‌های مغناطیسی (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Fe (mg/kg)	نمونه
۸,۹ %	۰,۴۸۲	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰,۰۱۸	۰,۴۵۷	۱
	۰,۵۲۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۷	۰,۰۲۲	۰,۴۹۰	۲

پ-۸: شناسایی منابع عدم قطعیت

برخی از منابع احتمالی عدم قطعیت به صورت زیر لیست شده است:

- عدم قطعیت ناشی از یکنواختی نمونه‌ها و فرآیند آماده‌سازی نمونه، که با مجموع تکرارپذیری نمونه‌ها  $u$  (rep) مشخص می‌شود؛
- عدم قطعیت  $u$  ( $m$ ) حاصل از فرآیند توزین نمونه، شامل تکرارپذیری وزن و کالیبراسیون ترازو؛
- عدم قطعیت  $u$  ( $V$ ) حاصل از فرآیند حجم ثابت، شامل کالیبراسیون فلاسک حجمی و تغییرات دما؛
- عدم قطعیت  $u$  (ابزار) حاصل از کالیبراسیون ابزار دقیق ICP-OES؛
- عدم قطعیت  $u$  (استاندارد) حاصل از آماده‌سازی محلول استاندارد، شامل عدم قطعیت خود محلول استاندارد و فرآیند رقیق‌سازی محلول؛
- عدم قطعیت  $u$  (منحنی) حاصل از محاسبه منحنی استاندارد.



پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

اعتبارسنجی روش اجرایی جذب

ت-۱: نمونه‌های تجربی

لیتیم تیتانات، سیلیکون نانومقیاس

ت-۲: روش تجربی

۱- تعیین محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی نمونه لیتیم تیتانات و نمونه سیلیکون نانومقیاس، طبق روش‌های تشریح شده در زیربندهای ۱-۸، ۲-۸، ۳-۸، ۴-۸، ۵-۸، ۶-۸ و ۷-۸ است. نتیجه آزمون را به‌عنوان «محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی از جذب اولیه» علامت‌گذاری کنید. مخازن نمونه همچنان در مراحل زیر استفاده می‌شوند.

۲- یک آهن‌ربای تمیز را به‌هریک از مخازن نمونه، اضافه و روش‌ها را تکرار کنید. نتیجه آزمون را به‌عنوان «محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی از جذب ثانویه» علامت‌گذاری کنید.

ت-۳: نتایج تجربی و نتیجه‌گیری

همانطور که در بند ت-۲ تشریح شده‌است، نتایج نمونه‌ها در جدول ت-۱ نشان‌داده شده‌است.

جدول ت-۱- نتایج آزمون ناخالصی‌های مغناطیسی

درصد جذب اولیه ناخالصی‌های مغناطیسی	محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی (mg/kg)		نمونه
	محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی از جذب ثانویه	محتوای ناخالصی‌های مغناطیسی از جذب اولیه	
۹۱٫۱٪	۰٫۶۷۶	۶٫۹۴	لیتیم تیتانات
۹۲٫۰٪	۰٫۰۲۳	۰٫۲۶۳	سیلیکون نانومقیاس

داده‌های جدول ت-۱ نشان می‌دهد که بیش از ۹۰٪ ناخالصی‌های مغناطیسی می‌تواند در طول روش جذب اولیه جمع‌آوری شود.

### کتابنامه

- [1] Hendricks, C. et al., A failure modes, mechanisms, and effects analysis (FMMEA) of Lithium-Ion batteries. *Journal of Power Sources*, 297 (2015), 113-120
- [2] Tanaka. S. et al., Development of Metallic Contaminant Detection System Using Eight-Channel High Tc SQUIDS. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 23.3 (2013), 1600404-1600404
- [3] Zhang, Z.J, Ramadass, P. and Fang, W., Safety of lithium-ion batteries. *Lithium-Ion Batteries: Advances and applications* (2014), Chapter 18, 409-435