



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران  
۱۹۲۵۰  
چاپ اول  
۱۳۹۸

INSO  
19250

1st Edition

2019

Identical with  
ISO/TR 20489:  
2018

فناوری نانو - آماده‌سازی نمونه برای  
مشخصه‌یابی نانواشیاء فلزی و اکسیدفلزی  
در آب

**Nanotechnologies – Sample preparation for  
the characterization of metal and metal-  
oxide nano-objects in water samples**

ICS: 07.120

استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۲۵۰ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (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

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 مؤسسه 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 غیردولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود 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 ذیصلاح 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)<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 استاندارد 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، گواهی نامه 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 عیار فلزات گران بها 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

### «فناوری نانو- آماده سازی نمونه برای مشخصه یابی نانواشیاء فلزی و اکسید فلزی در آب»

#### رئیس:

میرابی، مریم

(دکتری مهندسی محیط زیست)

#### دبیر:

رشیدی مهرآبادی، عبدالله

(دکتری مهندسی محیط زیست)

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

اسلامی پور، الهه

(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

جهان آرای، بابک

(کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر)

زارع زاده مهریزی، منصوره

(دکتری شیمی معدنی)

سهرابی جهرمی، ابوذر

(دکتری فناوری نانو)

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت)

فاضلی کجور، فخرالدین

(کارشناسی مهندسی مواد)

فتحعلی، داود

(دکتری مهندسی محیط زیست)

#### ویراستار:

سیفی، مهوش

(کارشناسی ارشد مدیریت)

#### سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی - دانشگاه شهید بهشتی

عضو هیئت علمی - دانشگاه شهید بهشتی

کارشناس - کمیته استاندارد و ایمنی ستاد توسعه  
فناوری نانو

کارشناس - شرکت پارسا پلیمر شریف

کارشناس - پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

مدیرعامل - شرکت راصد توسعه فناوری های  
پیشرفته

کارشناس استاندارد - نائب رئیس کمیته فنی  
متناظر ISIRI/TC2

کارشناس - ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

کارشناس - دانشگاه شهید بهشتی

کارشناس استاندارد - نایب رئیس کمیته فنی  
متناظر ISIRI/TC229

## پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو – آماده‌سازی نمونه برای مشخصه‌یابی نانواشیاء فلزی و اکسیدفلزی در آب» 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 ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتاد و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۹۸/۰۸/۲۷ 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 ملی 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:

ISO/TR 20489:2016, Nanotechnologies – Sample preparation for the characterization of metal and metal-oxide nano-objects in water sample

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
خ	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها
۳	۵ انواع نانواشیاء پایه فلزی و اکسیدفلزی ساخته شده
۴	۶ انواع منابع آب هدف
۴	۷ جمع‌آوری و انبارش نمونه‌ها
۴	۱-۷ مقدمه
۵	۲-۷ ظروف جمع‌آوری و انبارش نمونه‌ها
۵	۸ پیش‌عمل‌آوری نمونه‌ها
۵	۱-۸ مقدمه
۵	۲-۸ ته‌نشینی و مرکز‌گریزی
۵	۱-۲-۸ ته‌نشینی
۶	۲-۲-۸ مرکز‌گریزی
۶	۳-۲-۸ ته‌نشینی و مرکز‌گریزی مرحله‌ای
۷	۴-۲-۸ عوامل موثر بر مرکز‌گریزی و ته‌نشینی
۸	۵-۲-۸ مزایا و محدودیت‌های مرکز‌گریزی
۸	۳-۸ فیلتراسیون
۹	۹ روش‌های جزء‌جزء کردن براساس اندازه
۹	۱-۹ مقدمه
۹	۲-۹ جزء‌جزء کردن با جریان میدان FFF
۹	۱-۲-۹ مقدمه
۱۰	۲-۲-۹ مزایا و محدودیت‌ها
۱۱	۳-۹ اولترافیلتراسیون
۱۲	۴-۹ رنگ‌نگاری طرد اندازه‌ای (SEC)
۱۳	پیوست الف (اگاهی دهنده) فنون مرتبط با مشخصه‌یابی نانواشیاء
۱۵	کتاب‌نامه

## مقدمه

با کاربرد روزافزون نانواشیاء ساخته شده در محصولات و کاربردهای تجاری، مانند محصولات سلامت‌محور، صفحات خورشیدی، باتری‌ها، پوشش‌های سطح و تصفیه آب، به‌نظر می‌رسد این نانواشیاء سرانجام وارد محیط‌زیست، به‌ویژه محیط‌های آبی خواهند شد. هرچند، اطلاعات فنی محدودی در خصوص نحوه وجود، انتقال و سرنوشت نانواشیاء ساخته شده پس از رها شدن در محیط آبی در دسترس است، این موضوع همراه با در نظر گرفتن وضعیت فعلی کمبود جهانی تأمین آب و افزایش تقاضا برای بازچرخانی آن، نگرانی‌ها در خصوص اثرات بالقوه نانواشیاء ساخته شده در آب روی سلامتی را، افزایش خواهد داد.

در ارتباط با رفتار نانواشیاء در منابع آبی، دانستن پارامترهای زیست‌محیطی مانند میزان مواد آلی طبیعی، pH، قدرت یونی<sup>۱</sup> (IS) و موارد مشابه در آب بسیار مهم است، زیرا ممکن است این پارامترها بر اندازه نانوذرات، سرنوشت، پایداری و ترکیب‌بندی آن‌ها تاثیرگذار باشند. یک نمونه آبی می‌تواند مخلوط پیچیده‌ای از ذراتی با ماهیت، اندازه، واکنش‌پذیری، ترکیب‌بندی، حالت کلوخه‌ای و شکل‌های مختلف باشد. بنابراین مراحل آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها، مانند پیش‌عمل‌آوری و جزء‌جزء کردن براساس اندازه، برای هرگونه آنالیز بعدی نانواشیاء بسیار مهم است. فهرستی از فنون متداول جزء‌جزء‌سازی توسط سیمونت و همکاران [1] و هاسلوف و همکاران [2] ارائه گردیده است.

هرچند روش‌های متعددی برای آشکارسازی و مشخصه‌یابی نانواشیاء ساخته شده در منابع آبی، در استاندارد ISO/TR 18196:2016 تشریح شده است، این روش‌ها در مراحل مختلف تدوین تا تبدیل شدن به یک ویژگی فنی یا یک استاندارد ایزو قرار دارند. از همه مهم‌تر این‌که، هنوز استاندارد مصوبی برای پیش‌عمل‌آوری نمونه‌ها (مانند جمع‌آوری، انبارش و جزء‌جزء کردن براساس اندازه) قبل از آزمایش نانواشیاء در آب، وجود ندارد. این استاندارد می‌تواند در تدوین استاندارد آتی برای مشخصه‌یابی نانوذرات فلزی و اکسیدفلزی در منابع آب مورد استفاده قرارگیرد. چنین استانداردی امکان مقایسه نتایج بین آزمایشگاه‌های مختلف را فراهم می‌سازد و با کمک به مطالعات آتی روی محصولات تجاری حاوی نانواشیاء ساخته شده، در نهایت از رشد صنایع مرتبط با نانوفناوری حمایت خواهد کرد.

---

1- Ionic strength

## «فناوری نانو- آماده‌سازی نمونه برای مشخصه‌یابی نانوشیاء فلزی و اکسیدفلزی در آب»

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه دیدگاهی اجمالی از روش‌های مختلف آماده‌سازی نمونه (مانند پیش‌عمل‌آوری و جزء‌جزء کردن براساس اندازه) برای کاربرد در اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی آب سطحی و شرب است که بالقوه حاوی نانوشیاء فلزی و اکسیدفلزی در مقادیر و انواع مختلف هستند. این روش‌ها، شامل جمع‌آوری نمونه از منبع آب، انبارش، پیش‌تغلیظ و جزء‌جزء کردن مواد مورد آزمون، می‌باشند.

### ۲ مراجع الزامی

این استاندارد مراجع الزامی ندارد.

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات با تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

نانومواد ساخته شده

**manufactured nanomaterial**

نانوماده‌ای که برای داشتن خواص یا ترکیبی خاص به‌طور هدفمند تهیه شده است.

[منبع: طبق زیربند ۲-۹، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵]

۲-۳

اندازه‌ده

**measurand**

کمیتی که قرار است اندازه‌گیری شود.



۳-۳

نانو شیء

**nano-object**

هر قطعه مجزا از ماده با یک، دو یا سه بعد خارجی در نانومقیاس است.  
یادآوری- بعد خارجی دوم و سوم با بعد اول، و همچنین عمود بر یکدیگر هستند.

[منبع: طبق زیربند ۲-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵]

۴-۳

ماده نانوساختاریافته

**nanostuctured material**

موادی که دارای نانوساختار داخلی و یا نانوساختار سطحی هستند.

یادآوری- اگر ابعاد خارجی نانومقیاس باشد، استفاده از واژه *نانوشیء* (۳-۳) توصیه می شود.

[منبع: طبق زیربند ۲-۷، تغییر یافته، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ : سال ۱۳۹۵]

۵-۳

آب سطحی

**surface water**

آبی که روی سطح زمین جریان دارد و یا روی آن راکد است.

[منبع: طبق زیربند ۳-۱-۲۰، استاندارد ISO 13164-1:2013]

۶-۳

آب شرب

**drinking water**

آبی است که صرف نظر از منشأ آن، در وضعیت اصلی خود و یا پس از تصفیه، برای آشامیدن، آماده سازی غذا، پخت و پز و یا سایر مصارف خانگی، در نظر گرفته شود.

[منبع: طبق زیربند ۲-۲، استاندارد ISO 5667-5:2006، تغییر یافته]

یادآوری- به این آب، آب آشامیدنی نیز گفته می شود.

#### ۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها

معادل فارسی	کوتاه‌نوشت	معادل انگلیسی
پلی‌اتیلن چگالی بالا	HDPE	high density polyethylene
جزء جزء کردن با جریان میدان	FFF	field-flow fractionation
جزء جزء کردن جریان سیال با جریان میدان	Flow FFF	flow field-flow fractionation
اولترافیلتراسیون	UF	ultrafiltration
رنگ‌نگاری طرد اندازه ای	SEC	size exclusion chromatography
رنگ‌نگاری ژل تراوا	GPC	gel permeation chromatography
سدیم دودسیل سولفات	SDS	sodium dodecyl sulfate
پراکندگی نور پویا	DLS	dynamic light scattering
طیف‌سنجی فرابنفش - مرئی	UV-vis	ultraviolet-visible spectroscopy
سلولز بازتولید شده	RC	regenerated cellulose
پلی‌اترسولفون	PES	polyethersulfone

#### ۵ انواع نانوآشپاء پایه فلزی و اکسید فلزی ساخته شده

با در نظر گرفتن محصولات تجاری موجود در بازار، نانوآشپاء فلزی و اکسید فلزی زیر در تدوین این استاندارد مورد توجه قرار گرفته است:

-دی‌اکسید تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ ): یکی از متداول‌ترین ترکیبات نانومواد مورد استفاده در محصولات پرمصرف (مانند ضدآفتاب‌ها، رنگ‌های ضدقارچ و محصولات پزشکی)؛

-اکسید روی ( $\text{ZnO}$ ): یکی دیگر از ترکیبات با کاربرد وسیع در ضدآفتاب‌ها و محصولات پزشکی؛

-نقره ( $\text{Ag}$ ): عامل ضدباکتری پر کاربرد در منسوجات و محصولات پزشکی؛

-طلا (Au): با کاربرد وسیع در زیست‌پزشکی<sup>۱</sup>، شامل زیست‌سنجش<sup>۲</sup>، دارورسانی و درمان فزون‌گرمایی<sup>۳</sup>

## ۶ انواع منابع آب هدف

در این استاندارد دو نوع آب، شامل آب‌های سطحی و آب شرب مورد توجه قرار گرفته است. آب‌های سطحی، نخستین دریافت‌کننده جریان‌های فاضلاب و بنابراین مستعد ورود نانوآشپاها ساخته‌شده مورد استفاده در محصولات تجاری مختلف هستند. بخش عمده‌ای از آب شرب شهرها، در تصفیه‌خانه‌های آب و به‌منظور حذف تمام ذرات معلق، از جمله نانوآشپاها، تصفیه می‌شوند. با این حال کائگی و همکاران [13] مقادیر جزئی از نانوآشپاها را در نمونه‌های آب تصفیه‌شده یافته‌اند. بنابراین با توجه به افزایش استفاده از نانوآشپاها ساخته‌شده در محصولات تجاری، به‌نظر می‌رسد، در آینده پایش نانوآشپاها در آب شرب دارای اهمیت زیادی خواهد بود.

## ۷ جمع‌آوری و انبارش نمونه‌ها

### ۷-۱ مقدمه

به منظور کمینه کردن تغییرات احتمالی در وضعیت نمونه‌ها از نقطه جمع‌آوری تا محل آنالیز، اقدامات احتیاطی لازم طی نمونه‌برداری، انتقال و انبارش آن‌ها انجام می‌شود. در حال حاضر، استاندارد در خصوص جمع‌آوری، انتقال و انبارش نمونه‌های آب سطحی حاوی نانوآشپاها وجود ندارد، ولی می‌توان از استانداردهای اشاره شده در زیر، به‌عنوان شروعی برای توسعه و تدوین روش‌های ویژه نمونه‌برداری آب‌های حاوی نانوآشپاها استفاده کرد:

- ISO 5667-1 on guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques;

**یادآوری** - استاندارد ملی شماره ۱۱۶۱۱: سال ۱۳۸۷ - کیفیت آب - نمونه برداری - راهنمای طراحی برنامه‌های نمونه‌برداری، با استفاده از استاندارد ISO 5667-1 تدوین شده است.

- ISO 5667-3 on preservation and handling of water samples as well as the use of sample containers;

**یادآوری** - استاندارد ملی شماره ۱۱۶۱۱-۳: سال ۱۳۹۳: کیفیت آب - نمونه برداری - نگهداری و انتقال نمونه‌های آب؛ با استفاده از استاندارد ISO 5667-3 تدوین شده است.

- ISO 5667-4 on guidance on sampling from lakes;

**یادآوری** - استاندارد ملی شماره ۱۱۶۱۱-۴: سال ۱۳۹۵: کیفیت آب - نمونه برداری - قسمت ۴: نمونه‌برداری از دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی - راهنما؛ با استفاده از استاندارد ISO 5667-4 تدوین شده است.

1 - Biomedical  
2 - Bioassay  
3 - Hyperthermia therapy

- ISO 5667-5 on guidance on sampling of drinking water from treatment works and piped distribution systems;

- ISO 5667-6 on guidance on sampling of rivers and streams

از آن جا که خصوصیات نانوآشپاء در آب‌های سطحی می‌تواند تحت‌تاثیر تغییرات پیوسته فیزیکوشیمیایی قرار گیرد، آنالیز سریع و بدون درنگ نمونه‌ها بسیار مفید خواهد بود.

## ۷-۲ ظروف جمع‌آوری و انبارش نمونه‌ها

علاوه بر اطلاعات موجود در استاندارد ملی ۳-۱۱۶۱۱، انواع دیگر ظروف متداول مورد استفاده در نمونه‌برداری آب‌های شیرین، مشتمل بر ظروف پلی‌اتیلن چگالی بالا (HDPE) [8] [9] [10] و شیشه بوروسیلیکات می‌باشد [11]. این ظروف، به‌ویژه ظروف HDPE، معمولاً قبل از استفاده، توسط اسید رقیق شسته می‌شوند. برای آنالیزهای فیزیکوشیمیایی نانوآشپاء، نمونه‌ها معمولاً در دمای محیط و یا در دمای کمتر از دمای محیط، البته بدون انجماد، نگهداری می‌شوند. در اغلب موارد، برای انبارش نمونه‌های آب نیاز به تثبیت و اضافه کردن مواد ضد میکروب است.

## ۸ پیش‌عمل‌آوری نمونه‌ها

### ۸-۱ مقدمه

آب خام جمع‌آوری شده از یک منبع صنعتی و یا محیطی، اغلب برای (۱) حذف ذرات درشت و (۲) تغلیظ نانوآشپاء مورد نظر، نیاز به پیش‌عمل‌آوری دارد. این روش‌ها به علاوه روش رقیق‌سازی (که در این جا مورد بحث قرار نگرفته است)، روش‌های اصلی پیش‌عمل‌آوری، قبل از جزء‌جزء کردن براساس اندازه و یا آنالیز نمونه هستند. هشدار- از آن جا که نانوآشپاء می‌توانند جذب ذرات درشت شوند، روش‌های پیش‌عمل‌آوری مورد اشاره ممکن است به‌صورت بالقوه باعث از دست رفتن مقادیری از نانوآشپاء شوند.

### ۸-۲ ته‌نشینی و مرکز‌گریزی<sup>۱</sup>

#### ۸-۲-۱ ته‌نشینی

ته‌نشینی را می‌توان به‌عنوان یک روش پیش‌عمل‌آوری برای کاهش ذرات درشت از آب خام به‌کار برد. در این صورت، عمل‌آوری یا آنالیز بعدی روی نانوآشپاء باقیمانده در تعلیق آبی<sup>۲</sup> عملکرد موثری دارد.

ته‌نشینی ثقلی، عملیاتی است که طی آن ذرات درشت‌تر یا چگال‌تر توسط نیروی ثقل با ته‌نشین شدن، از ستون

---

1- Centrifugation  
2- Water suspensions

آب حذف می‌شود. ته‌نشینی عملیاتی ساده و مناسب برای عمل‌آوری نمونه‌های با مقادیر کم تا زیاد (برای مثال ۱ میلی‌لیتر تا ۲۰ لیتر) است. این عملیات معمولاً در چند ساعت تکمیل می‌شود و می‌تواند ذرات با قطر بزرگ‌تر از ۵ میکرومتر را به راحتی از نمونه‌ها حذف کند [12]. مزیت این روش، سادگی آن و عدم نیاز به تجهیزات گران‌قیمت است. ته‌نشینی ثقلی را می‌توان به عنوان مرحله اول عمل‌آوری، برای حذف سریع و راحت مواد درشت و سنگین به کار برد و برای حذف ذرات کوچک‌تر از میکرون در نظر گرفته نمی‌شود.

#### ۸-۲-۲ مرکزگریزی

در کنار ته‌نشینی، مرکزگریزی راه دیگری برای حذف ذرات درشت از آب خام است. علاوه بر این، در مواردی که تعداد نانوآشپاء، برای آنالیز نمونه‌های آب در مراحل بعدی بسیار کم باشد، مرکزگریزی می‌تواند سبب تغلیظ آن‌ها شود.

مرکزگریزی عملیاتی است که با کمک نیروی گریز از مرکز، اجزای یک مخلوط ناهمگن را براساس جرم مؤثرشان (چگالی و اندازه) تفکیک می‌کند، به طوری که اجزای چگال‌تر یا بزرگ‌تر، سریع‌تر و در فاصله دورتری از محور مرکزگریز، ته‌نشین می‌شوند. آهنگ ته‌نشینی در مرکزگریز، براساس سرعت زاویه‌ای مشخص می‌شود. این سرعت معمولاً برحسب دور در دقیقه (RPM)<sup>۱</sup> و یا شتاب  $g$ <sup>۲</sup> گزارش می‌شود. ضریب تبدیل بین RPM و شتاب  $g$  بستگی به شعاع چرخانه<sup>۳</sup> مرکزگریز دارد. سرعت ته‌نشینی ذره، تابعی از اندازه و شکل آن، شتاب مرکزگریزی، جزء حجمی بخش جامد، اختلاف چگالی بین ذرات و سیال و گرانیروی سیال است. در صورتی که چگالی سیال و ذرات یکی باشد، آهنگ ته‌نشینی صفر خواهد بود (این بدان معناست که تمایز چگالی وجود ندارد).

#### ۸-۲-۳ ته‌نشینی و مرکزگریزی مرحله‌ای

کائیگی و همکاران این روش را برای نمونه‌های آب حاوی نانوآشپاء با اندازه‌های مختلف توسعه دادند [13]. ابتدا نمونه‌های آب (سطحی و شرب) ۲ ساعت برای حذف ذرات درشت، راکد نگه داشته می‌شوند، سپس لایه رویی (۲ سانتی‌متر رویی، معادل ۱ لیتر یا ۱۵ درصد حجمی  $v/v$ ) نمونه آب، برداشته شده و به منظور ته‌نشینی ذرات میکرونی، در شتاب  $g$  ۳۳۰ و به مدت ۳۰ دقیقه مرکزگریز می‌شود. مجدداً لایه رویی (۲ سانتی‌متر بالا یا ۱۵ درصد حجمی  $v/v$ ) از نمونه مرکزگریز شده، برای حذف ذرات بزرگ‌تر از ۲۰۰ نانومتر، در شتاب  $g$  ۲۷۰۰ و به مدت یک ساعت، مرکزگریز می‌شود. بعد از مرکزگریزی دوم، میزان نانوآشپاء در روآبه<sup>۴</sup> باید به مقدار زیادی

1- RPM  
2- G-force  
3- Rotor  
4- Supernatant

افزایش یافته باشد و با مرکزگریزی بعدی با سرعت بالاتر، می‌توان آن‌ها را بیشتر تغلیظ نمود.

#### ۸-۲-۴ عوامل موثر بر مرکزگریزی و ته‌نشینی

##### ۸-۲-۴-۱ آهنگ<sup>۱</sup> ته‌نشینی

نانواشیاء پایه فلزی جداشده به‌وسیله مرکزگریزی، می‌تواند هم در روآبه و هم در رسوب یافت شود. از آن‌جا که نانواشیای مورد توجه در نمونه‌های آب، می‌توانند به‌صورت رسوب از محلول جدا شوند، جمع‌آوری آن‌ها بیشتر به‌صورت رسوب انجام شده است. به‌طور کلی، جداسازی نانواشیای ریزتر، نیاز به شتاب بیشتر (نیروی  $g$  بزرگ‌تر) یا سرعت چرخش بیشتر و زمان مرکزگریزی طولانی‌تر دارد. برای مثال، مرکزگریزی با شتاب بین  $g$  ۷۰۰۰ تا  $g$  ۱۰,۰۰۰ برای مدت ۲۰ دقیقه تا ۳۰ دقیقه به منظور ته‌نشین کردن نانواشیاء طلا با قطر ۱۵ نانومتر تا ۲۰ نانومتر، و با شتاب  $g$  ۱۵,۰۰۰ تا  $g$  ۱۸,۰۰۰ طی ۳۰ دقیقه، برای نانواشیای طلا با قطر ۵ نانومتر تا ۱۰ نانومتر به‌صورت موفقیت‌آمیزی به‌کار رفته است [14] [15]. جمع‌آوری نانواشیاء از روآبه وقتی مفید است که ذرات درشت ناخواسته در نمونه وجود داشته باشد. برای نانواشیاء پایه فلزی با قطر کمتر از ۲۰ نانومتر، مرکزگریزی با شتاب کمتر از  $g$  ۵۰۰۰ به مدت کمتر از ۱۵ دقیقه، متداول است. برای حذف کامل نانواشیاء کوچک‌تر از ۵ نانومتر از آب، ممکن است نیاز به فرامرکزگریزی<sup>۲</sup> طولانی مدت باشد. آزمون‌های مختلفی برای مطالعه تجمع و نامحلول شدن نانواشیائی مانند ZnO در آب‌های سطحی و در مدت زمان‌های مرکزگریزی مختلف، انجام شده است [16] [17]. این آنالیزها نشان داد که اندازه انبوهه‌های نانواشیاء ZnO، در بازه زمانی ۲ ساعت تا ۸ ساعت، افزایش و سپس به یک اندازه ثابت و پایدار می‌رسد.

##### ۸-۲-۴-۲ دما

دمای عملکرد دستگاه‌های مرکزگریز تجاری دارای سردکن، بین ۴ درجه سلسیوس تا ۲۵ درجه سلسیوس است. دمای عملکرد، تاثیر کمی بر جمع‌آوری رسوبات نانواشیاء پایه فلزی با قطر بزرگ‌تر از ۲۰ نانومتر دارد. در مورد نانواشیاء کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر، دمای عملکرد پایین‌تر به دلیل کاهش حرکت براونی و در نتیجه کاهش انتشار مرتبط با آن، برای مثال کاهش انتشار مجدد رسوبات، عموماً سبب پایداری بیشتر رسوبات می‌شود.

##### ۸-۲-۴-۳ مرکزگریز با گرادیان چگالی

گرادیان چگالی را می‌توان برای جدا کردن نانواشیاء دارای اندازه و شکل‌های مختلف به‌کار برد. در این روش، پس از مرکزگریزی، نانواشیاء بزرگ ته‌نشین می‌شوند، درحالی‌که نانواشیاء کوچک‌تر، نزدیک سطح محیط باقی

1 - Rate

2 - Ultracentrifugation

می‌مانند. معمولاً برای ایجاد گرادیان چگالی از گلیسیرول استفاده می‌شود [18]، هرچند برای جداسازی نانواشیاء با اندازه و شکل‌های مختلف، محیط‌های با چگالی غیرپیوسته که با استفاده از محیط چندفازی ساخته می‌شوند نیز، به کار رفته‌اند. برای مثال، وایت ساید و همکاران، از محیط سه‌فازی پایه مواد سطح فعال (Brg-35 / ۸/۷)، ۱۰ گرم بر لیتر (2-ethyl 2-oxazoline) Poly و ۱۱/۷ گرم بر لیتر (Ficoll) برای جداکردن نانواشیاء میله‌ای طلا از ذرات درشت‌تر، استفاده کرده‌اند [19].

### ۸-۲-۵ مزایا و محدودیت‌های مرکزگریزی

مرکزگریزی، روشی آسان برای جدا کردن نانواشیاء از نمونه‌های آبی است. این روش، نسبتاً مستقل از ترکیب محلول واسط و سازگار با ویژگی‌های تمام روش‌های بعدی مشخصه‌یابی است. با در نظر گرفتن محدوده عملکرد فعلی دستگاه‌های مرکزگریز تجاری، هر بار می‌توان بین ۳۰۰ میلی‌لیتر تا ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه را مرکزگریز کرد. همچنین برای بهره‌برداری از آنها نیز، نیاز به آموزش حداقلی می‌باشد. اصلی‌ترین عیب مرکزگریزی، کلوخه‌شدن نانواشیاء جمع‌آوری شده به صورت رسوب، به‌ویژه در صورت استفاده از شتاب  $g$  بالا، است. همچنین در این روش امکان جداسازی راحت نانواشیاء با اندازه یا چگالی مشابه وجود ندارد.

### ۸-۳ فیلتراسیون<sup>۱</sup>

فیلتراسون عملیاتی است که برای حذف ذرات جامد از سیال با به‌کارگیری مانعی نیمه‌تراوا<sup>۲</sup> (معمولاً یک فیلتر غشایی) که فقط مایعات و مواد محلول کوچک می‌توانند از آن عبور کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. وجود طیف وسیعی از اندازه روزنه‌ها (از کمتر از میکرومتر تا میکرومتر) و مواد غشایی با کاربردهای گوناگون (مانند PTFE، سلولز بازتولیدشده، نایلون، نیترات سلولز، پلی‌کربنات و غیره)، این روش را به یک روش متداول برای پیش‌عمل‌آوری نمونه‌های آب خام تبدیل کرده است. قطر روزنه‌های فیلترها معمولاً متناسب با کاربرد و هدف انتخاب می‌شود. فیلتر با قطر روزنه ۰/۱ میکرومتر قادر به حذف مایکوپلازما<sup>۳</sup> است درحالی‌که برای حذف باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌توان از فیلتر غشایی با قطر روزنه ۰/۲~ میکرومتر استفاده کرد. حذف ذرات درشت یا پیش‌فیلتراسیون، معمولاً با فیلترهای غشایی ۰/۴۵ میکرومتر یا بزرگ‌تر انجام می‌شود. پیش‌عمل‌آوری نمونه‌های آب خام با فیلتراسیون، مرحله‌ای سازگار در آنالیز نانواشیاء، مانند بررسی اولیه حضور نانواشیاء در نمونه آب فیلترشده [10] [20] و یا آنالیزهای بعدی در مورد ورود نانو مواد ساخته شده یک‌دست، می‌باشد [21] [22].

1- Filtration  
2- Semipermeable  
3- Mycoplasma

## ۹ روش‌های جزء جزء کردن براساس اندازه

### ۱-۹ مقدمه

پس از پیش‌عمل‌آوری، نمونه‌های آب حاوی نانوشیاء می‌توانند مورد عمل‌آوری یا آنالیز بعدی قرار گیرند. جزء جزء کردن براساس اندازه، یکی از روش‌های متداول مورد استفاده برای جداسازی نانوشیاء به گروه‌های مختلف اندازه‌ای است و سایر مشخصات هر گروه در نمونه‌های آب، پس از جزء جزء کردن نهایی تعیین می‌شود. گروه‌های اندازه‌ای جداسازی و جمع‌آوری شده توسط این روش‌ها را می‌توان برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر، مانند شکل، ساختار، ترکیب شیمیایی و غیره، با تلفیق با سایر روش‌ها، مورد آنالیزهای بعدی قرار داد.

در این بخش سه روش متداول مورد استفاده برای جزء جزء کردن براساس اندازه ذرات، شامل روش جزء جزء کردن با جریان میدان (FFF)، اولترافیلتراسیون و رنگ‌نگاری طرد اندازه‌ای، مورد بحث قرار گرفته است. در پیوست الف، فهرستی از فنون قابل کاربرد برای مشخصه‌یابی و آنالیز نانوشیاء، پس از جزء جزء کردن آن‌ها براساس اندازه، گردآوری شده است. استاندارد ISO-21362 با عنوان «فناوری نانو- آنالیز نانوشیاء با استفاده از جریان نامتقارن و جزء جزء کردن با جریان میدان مرکزگیز برای شناسایی و تشخیص نانوشیاء در محیط‌های آبی» منتشر شده و قابل استفاده است.

### ۲-۹ جزء جزء کردن با جریان میدان FFF

#### ۱-۲-۹ مقدمه

روش FFF روشی مشابه رنگ‌نگاری است که نیاز به فاز ثابت ندارد. در این روش جریان حاوی نمونه از کانالی باریک عبور داده می‌شود و یک میدان خارجی عمود بر جهت جریان به آن اعمال و فرایند جداسازی از موازنه (برآیند) این نیروها حاصل می‌شود. در کانال مورد اشاره، پروفیلی هذلولی از جریان لایه‌ای شکل می‌گیرد که سرعت جریان در آن، از نزدیک صفر در کنار دیواره‌های کانال شروع و در مرکز به حداکثر مقدار خود می‌رسد. نیروی عمودی اعمال شده توسط میدان، ذرات را به سمت تجمع در کنار دیواره سوق می‌دهد. در مقابل، انتشار بر اثر حرکت براونی، موجب ایجاد جریان عکس برای نانوشیاء می‌شود. ذرات ریزتر، با آهنگ انتشار بیشتر، به سمت تعادل در خطوط جریان بالاتر (با حرکت سریع‌تر) در کانال پیش می‌روند. بنابراین ذرات با اندازه‌های مختلف متناسب با گرادیان سرعت در کانال جزء جزء کردن، جدا می‌شوند که ذرات ریزتر، زودتر جدا می‌گردند. روش FFF در شرایط عادی، برای جزء جزء کردن براساس اندازه نانوشیاء در محدوده اندازه ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر و مواد کلوئیدی تا حدود یک میکرومتر و در انواع مختلفی از نمونه‌ها مناسب می‌باشد.



روش جزء جزء کردن جریان سیال با جریان میدان (Flow FFF)، متداول ترین زیرگروه از روش های مورد استفاده برای جداسازی و مشخصه یابی ذرات طبیعی کلئیدی [20] [23] و نانواشیاء ساخته شده [27]-[23] است. این روش برای جزء جزء کردن نانواشیاء در نمونه های مختلف آب سطحی از رودخانه ها [10] [28]، دریاچه ها [9] و نهرا [29] [30] به کار گرفته شده است. در یکی از مطالعات اخیر، بررسی ذرات کلئیدی در سه منبع مختلف آب شیرین، با روش Flow FFF، وجود سه دامنه اندازه: کوچک تر از ۴٫۲ نانومتر، بین ۴٫۲ نانومتر تا ۱۵٫۸ نانومتر و ۱۵٫۸ نانومتر تا ۳۲٫۴ نانومتر را نشان داد [9]. در مطالعه دیگری آنالیز اندازه و ترکیب نانواشیاء موجود در آب یک رودخانه، وجود سه گروه کلئیدی شامل: ۰٫۵ نانومتر تا ۴ نانومتر (متصل شده به عناصر متعدد)، ۳ نانومتر تا ۸ نانومتر (کلئیدهای شبه پروتئینی) و ۵ نانومتر تا ۴۰ نانومتر (کلئیدهای غنی از آهن)، را آشکار کرد [28]. همراه با اطلاعات مربوط به اندازه ذرات می توان به تخمینی از غلظت اجزاء تفکیک شده نیز دست یافت. به هر حال تاکنون، مرجعی برای آزمایش روی نانواشیاء ساخته شده، در نمونه های آب های سطحی رودخانه ها، دریاچه ها و نهرا در دسترس نیست. بخشی از این موضوع ناشی از سخت بودن تمایز نانواشیاء با منشأ طبیعی از نانواشیاء ساخته شده، می باشد.

#### ۹-۲-۲ مزایا و محدودیت ها

Flow FFF، می توان نانواشیاء با دامنه وسیعی از اندازه را جزء جزء کرد. به هر حال در صورت بزرگ بودن دامنه اندازه ها، ممکن است تفکیک پذیری پیک ها از بین برود. طیف وسیعی از روش های آشکارسازی می توانند به صورت همزمان<sup>۱</sup> با روش Flow FFF جفت شوند. همچنین اجزای جمع آوری شده به وسیله روش Flow FFF را می توان بعد از جزء جزء کردن، آنالیز نمود. آشکارسازهای همزمان و غیرهمزمان<sup>۲</sup>، می توانند اطلاعات زیادی را در خصوص ویژگی های ذرات، شامل اندازه، شکل، غلظت، ساختار، ترکیب بندی شیمیایی و ویژگی های نوری در اختیار بگذارند. برای آنالیز نمونه های حاوی غلظت کم ذرات، عمدتاً قبل از فرایند جزء جزء کردن، انجام پیش تغلیظ یا تغلیظ در کانال، ضروری است. روش های همزمان، مانند طیفسنجی فرابنفش - مرئی (UV-Vis) و پراکندگی نور پویا (DLS)، در آنالیز نمونه های حاوی غلظت کم ذرات دارای محدودیت هستند. در حالی که طیفسنجی جرمی - پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)، در مواردی که نانواشیاء حاوی فلزات، غیرفلزات و شبه فلزات باشند، بسیار کارآمد است.

به صورت نظری، هر فاز آبی و غیرآبی با هر قدرت یونی و pH بین ۲ تا ۱۱ می تواند به عنوان حامل، مورد استفاده قرار گیرد. این موضوع قابلیت زیادی در انتخاب نوع ترکیب حامل، به منظور پایداری کلئیدها، ایجاد می کند.

1 - Online  
2 - Offline

بنابراین امکان تغییر در شیمی محیط اطراف نانوشیاء، از نمونه به حامل Flow FFF طی فرایند جزء جزء کردن، حداقل می شود. حامل بهینه، حداقل اثر را بر انبوهه‌ای شدن و باز شدن انبوهه‌ها<sup>۱</sup> یا تغییر شکل نانوشیاء و برهم کنش نمونه - غشاء و بر جذب<sup>۲</sup> دارد. علاوه بر این، برخی محققین گزارش نموده‌اند که غشاء عامل دار می تواند تجمع نانوشیاء روی سطح غشاء را به منظور بهبود بازیافت نانوشیاء، کمینه نماید.

زمان ماند/سسته شدن نانوشیاء با اندازه مشابه ولی پوشش‌های مختلف، می تواند به دلیل تفاوت در برهم کنش بین ذرات و غشاء در کانال، متفاوت باشد. حتی اگر خصوصیات سطحی نانوشیاء یکسان باشد، زمان ماند آن‌ها می تواند براساس نوع مواد هسته اصلی آن‌ها، متفاوت باشد [31]. توانایی جدا کردن ذرات مشابه، با پوشش‌های مختلف، از مزایای جزء جزء کردن نانوشیاء با Flow FFF است. میزان صحت نتایج اندازه ذرات، می تواند تحت تاثیر زمان ماند مورد استفاده در آنالیز اندازه قرار گیرد [32]. با این حال، می توان به جای وابستگی به اطلاعات نظری یا کالیبراسیون اندازه، با اندازه گیری مستقیم و همزمان اندازه ذرات، بر این مشکل فائق آمد.

### ۹-۳ اولترافیلتراسیون

اولترافیلتراسیون (UF) یک روش مورد استفاده برای جداسازی نانوشیاء از مولکول‌های حل شده کوچک است. اساس جداسازی توسط این روش، اندازه روزه‌های مولکولی<sup>۳</sup> می باشد. مزیت اصلی اولترافیلتراسیون این است که بدون نیاز به پیش تغلیظ نانوشیاء و به طور مستقیم، برای نمونه‌های برداشت شده از محیط به کار می رود. اولترافیلتراسیون، در نمونه‌های مختلف آبی، برای بررسی اثر ذرات کلوئیدی، در تقسیم بندی مقادیر جزئی فلزات، به کار رفته است. به هر حال، محدودیت‌های احتمالی این روش شامل انعقاد و گرفتگی در سطح غشاء بوده و بنابراین انتخاب غشاء با بازده بالا، مهم است.

برخلاف روش‌هایی مانند FFF و رنگ نگاری طرد اندازه‌ای، که نیازمند محلول شیمیایی واسط، یا فاز متحرک می باشند و احتمال حل شدن مجدد یا کلوخه شدن نانوشیاء در آن وجود دارد، اولترافیلتراسیون، مواد مورد نظر را بدون نیاز به محلول واسط، تغلیظ می کند. همچنین این روش می تواند برای حجم زیادی از نمونه به کار رود. به هر حال، ابزارهای مورد استفاده به دلیل این که می توانند اثرات زیادی روی نتیجه آنالیز بگذارند، توصیه می شود با دقت ارزیابی شوند. آرمسترانگ و همکارانش، با استفاده از دو نوع غشاء تجاری پلی اترسولفون (PES) و سلولز باز تولید شده (RC)، کلوئیدهای فلزی جزئی را در آب شیرین آنالیز کردند [33]. انجام این مطالعه روی غشاهای، به تعیین کارایی اولترافیلتراسیون کمک کرد و نتیجه حاصله نشان داد عملکرد غشاء RC در آب‌های با قدرت یونی

---

1- Disaggregation  
2- Adsorption  
3 - Molecular pore size

کم، بهتر از غشاء PES است و برای تقسیم‌بندی جیوه در شرایط محیطی آب شیرین، ارجحیت دارد.

#### ۴-۹ رنگ‌نگاری طرد اندازه‌ای (SEC)<sup>۱</sup>

رنگ‌نگاری طرد اندازه‌ای (SEC) که رنگ‌نگاری ژل تراوا (GPC)<sup>۲</sup> نیز نامیده می‌شود، یک روش رنگ‌نگاری است که مولکول‌ها و ذرات را براساس اندازه هیدرودینامیک آن‌ها با عبور از یک فاز متخلخل ثابت، جداسازی می‌کند. ذرات ریزتر قادرند وارد خلل و فرج فاز ثابت شده و بنابراین برای مدت طولانی‌تری در ستون باقی بمانند. در حالی که ذرات درشت‌تر از متوسط اندازه روزه‌های فاز ثابت، طرد شده و همان ابتدا از ستون شسته می‌شوند.

جداسازی توسط روش SEC، شامل انتخاب فاز ثابت مناسب با قطر روزه‌های متناسب، و انتخاب فاز متحرک مناسب و سازگار با نانوآشیاء مورد نظر می‌باشد. به هر حال، جذب برگشت‌ناپذیر نانوآشیاء بر روی فاز ثابت، می‌تواند به دلیل سطح زیاد این فاز و انرژی سطحی زیاد نانوآشیاء اتفاق بیفتد. با اضافه کردن مواد کاهنده کشش سطحی به فاز متحرک، می‌توان به این اثر نامطلوب ناشی از جذب نانوآشیاء فائق آمد، زیرا این مواد نانوآشیاء را تثبیت می‌کنند و از کلوخه‌شدن آن‌ها داخل ستون جلوگیری می‌نمایند. به عنوان مثال، جزء جزء کردن مخلوطی از نانوآشیاء ۵ نانومتری و ۳۸ نانومتری طلا، می‌تواند با استفاده از فاز ثابت پایه پلیمر با اندازه روزه ۱۰۰ نانومتر و یک میلی‌مول بر لیتر تا ۵ میلی‌مول بر لیتر سدیم دودسیل سولفات (SDS)<sup>۳</sup> انجام شود [34].

---

1- Size-Exclusion Chromatography  
2- Gel Permeation Chromatography  
3- Sodium Dodecyl Sulfate

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

فنون مرتبط با مشخصه یابی نانواشیاء

عنوان فارسی	کوتاه نوشت	عنوان انگلیسی
طیف‌سنجی آکوستیک		Acoustic spectroscopy
طیف‌سنجی الکترون اوزنه	AES	Auger electron spectroscopy
شمارشگر ذره چگال	CPC	Condensation particle counter
سامانه آنالیز تحرک تفاضلی	DMAS	Differential mobility analysis system
پراکندگی نورپویا	DLS	Dynamic light scattering
طیف‌سنجی اتلاف انرژی الکترون	EELS	Electron energy loss spectroscopy
میکروسکوپ الکترونی برپایه طیف‌سنجی پرتو ایکس	EDX/EDS/WDS	EM based X-ray spectrometry
طیف‌سنجی فلورسانس	FL	Fluorescence spectroscopy
تصویربرداری / طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه	FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy/Imaging
روش توری القایی	IG	Induced grating method
طیف‌سنجی جرمی - پلاسمای جفت‌شده القایی (پلاجای جرمی) و ICP-MS تک ذره (پلاجای جرمی تک ذره)	ICP-MS	Inductively coupled plasma – mass spectrometry and single particle ICP-MS
پراش لیزری		Laser diffraction
طیف‌سنجی جرمی	MS	Mass spectrometry
آنالیز ردیابی ذره	PTA	Particle tracking analysis
طیف‌سنجی جذب نوری	UV-VIS-NIR	Optical absorption spectroscopy
میکروترازوهای کوارتزی	QCM	Quartz microbalances
طیف‌سنجی / تصویربرداری رامان		Raman spectroscopy/Imaging
اندازه‌گیری تشدید جرم	RMM	Resonant mass measurement
میکروسکوپی الکترون روبشی	SEM	Scanning electron microscopy
میکروسکوپی پروب (کاوند) روبشی	SPM	Scanning probe microscopy
طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه	SIMS	Secondary ion mass spectrometry

Small angle X-ray scattering	SAXS	پراکندگی پرتو ایکس زاویه کوچک
Static light scattering photometer	SLS	نورسنجی پراکندگی نور ایستا
Single particle light interaction methods		روش‌های برهم کنش نور تک‌ذره
Transmission electron microscopy	TEM	میکروسکوپی الکترونی عبوری
X-ray diffraction	XRD	پراش پرتو ایکس
X-ray photoelectron spectroscopy	XPS	طیف‌سنجی فوتوالکترونی پرتو ایکس
Laser-induced breakdown spectroscopy	LIBD	طیف‌سنجی شکست لیزر-القایی

## کتاب نامه

- [1] Simonet B.M., & Valcarcel M. Monitoring nanoparticles in the environment. *Anal Bioanal Chem*, 2009. **393**(1): p. 17-21
- [2] Hasselov M. Nanoparticle analysis and characterization methodologies in environmental risk assessment of engineered nanoparticles. *Ecotoxicology*, 2008. **17**(5): p. 344-61
- [۳] استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴ : فناوری نانو- واژه نامه - اصطلاحات اصلی
- [4] ISO/IEC Guide 99:2007, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [5] ISO/TS 80004-2:2015, Nanotechnologies — Vocabulary — Part 2: Nano-objects
- [6] ISO 13164-1:2013, Water quality — Radon-222 — Part 1: General principles
- [7] ISO 5667-5:2006, Water quality — Sampling — Part 5: Guidance on sampling of drinking water from treatment works and piped distribution systems
- [8] Baalousha M., & Lead J.R. Characterization of natural aquatic colloids (<5 nm) by flow-field flow fractionation and atomic force microscopy. *Environ Sci Technol*, 2007. **41**(4): p. 1111-7
- [9] Baalousha M., & Lead J.R. Size fractionation and characterization of natural aquatic colloids and nanoparticles. *Sci Total Environ*, 2007. **386**(1-3): p. 93-102
- [10] Krachler R. Nanoscale lignin particles as sources of dissolved iron to the ocean. *Global Biogeochem Cy*, 2012. **26**(3): p. GB3024
- [11] Burkowsk a-But A., Sionkowski G., Walczak M. Influence of stabilizers on the antimicrobial properties of silver nanoparticles introduced into natural water. *J Environ Sci*, 2014. **26**(3): p. 542-549
- [12] Bolea E., Laborda F., Castillo J.R. Metal associations to microparticles, nanocolloids and macromolecules in compost leachates: size characterization by asymmetrical flow field-flow fractionation coupled to ICP-MS. *Anal Chim Acta*, 2010. **661**(2): p. 206-14
- [13] Kaegi R. Wagner, T., Hetzer, B., Sinnet, B., Tzvetkov, G. and M. Bollera, Size, number and chemical composition of nanosized particles in drinking water determined by analytical microscopy and LIBD. *Water Res*, 2008. **42**(10-11): p. 2778-2786
- [14] Huang S. (2012). Gold nanoparticles-protein conjugate studies: Centrifugation and binding studies (Master's dissertation, National University of Singapore, Singapore). Retrieved from <http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/35548>
- [15] Seow N., Lai P. S. , Yung L.Y.L. Gold nanostructures for the multiplex detection of glucose-6-phosphate dehydrogenase gene mutations. *Anal Biochem*, 2014. **451**: p. 56-62
- [16] Bhu va ne sh wa r i M. Iswarya, V., Archanaa, S., Madhu, G.M., Kumar, G.K.S., Nagarajan, R., Chandrasekaran, N. and A. Mukherjee, Cytotoxicity of ZnO NPs towards fresh water algae *Scenedesmus obliquus* at low exposure concentrations in UV-C, visible and dark conditions. *Aquat Toxicol*, 2015. **162**: p. 29-38

- [17] Xu H., & Ji ang H. Effects of cyanobacterial extracellular polymeric substances on the stability of ZnO nanoparticles in eutrophic shallow lakes. *Environ Pollut*, 2015. **197**: p. 231-9
- [18] Goormaghtigh E., & Scarborough G.A. Density-based separation of liposomes by glycerol gradient centrifugation. *Anal Biochem*, 1986. **159**(1): p. 122-13
- [19] Akbulut O. Separation of Nanoparticles in Aqueous Multiphase Systems through Centrifugation. *Nano Lett*, 2012. **12**(8): p. 4060-4064
- [20] Baalousha M. Kammer, F. v. d., Motelica-Heino, M., Baborowsk, M., Hofmeister, C. and P.L. Coust umer, Size-based speciation of nat ural colloidal particles by f low f ield f low f ractionation, inductively coupled plasma-mass spectroscopy, and transmission electron microscopy/X-ray energy dispersive spectroscopy: Colloids-trace element interaction. *Environ Sci Technol*, 2006. **40**(7): p. 2156-2162
- [21] Li X., & Lenhart J.J. Aggregation and dissolution of silver nanoparticles in natural surface water. *Environ Sci Technol*, 2012. **46**(10): p. 5378-86
- [22] Zhao X. Liu, S., Wang, P., Tang, Z., Niu, H., Cai, Y., Wu, F., Wang, H., Meng, W. and J.P. Giesy, Surfact ant-modif ied f lowerlike layered double hydroxide-coated magnetic nanoparticles for preconcentration of phthalate esters from environmental water samples. *J Chromatogr A*, 2015. **1414**: p. 22-30
- [23] Baalousha M., Stolpe B., Lead J.R. Flow field-flow fractionation for the analysis and characterization of natural colloids and manufactured nanoparticles in environmental systems: a critical review. *J Chromatogr A*, 2011. **1218**(27): p. 4078-103
- [24] Dubascoux S. Le Hécho, I., Hasselly, M., Kammer, F.v.d, Gautiera, M.P., and G. Lespesa, Field-f low fractionation and inductively coupled plasma mass spectrometer coupling: History, development and applications. *J Anal Atom Spectrom*, 2010. **25**(5): p. 613-623
- [25] Fedotov P.S. Vanifatova, N.G., Shkinev, V.M. and B.Y. Spivakov, Fractionation and characterization of nano- and microparticles in liquid media. *Anal Bioanal Chem*, 2011. **400**(6): p. 1787-804
- [26] Gigault J. Pettibone, J.M., Schmitt, C. and V.A Hackley, Rational strategy for characterization of nanoscale particles by asymmetric- f low field f low fractionation: A tutorial. *Anal Chim Acta*, 2014. **809**: p. 9-24
- [27] Kammer F.v.d. Legros, S., Hofmann, T., Larsen, E.H. and K. Loeschner, Separation and characterization of nanoparticles in complex food and environmental samples by field-f low fractionation. *Trac-Trend Anal Chem*, 2011. **30**(3): p. 425-436
- [28] Stolpe B. Guo, L., Shillera, A.M. and M. Hassell, Size and composition of colloidal organic matter and trace elements in the Mississippi River, Pearl River and the northern Gulf of Mexico, as characterized by f low field-f low fractionation. *Mar Chem*, 2010. **118**(3-4): p. 119-128
- [29] Neubauer E., Kammer, F.v. d. , Hofmann, T. Using FLOWFFF and HPSEC to determine trace metal-colloid associations in wetland runoff. *Water Res*, 2013. **47**(8): p. 2757-69

- [30] Neubauer E., & Kammer, F.v.d. , Knorr, K.-H., Peiffer, S., Reichert, M. and Hofmann T. Colloid-associated export of arsenic in stream water during stormf low events. *Chem Geol*, 2013. **352**: p. 81-91
- [31] Gigault J., & Hackley V.A. Observation of size-independent effects in nanoparticle retention behavior during asymmetric-f low f ield-f low f ractionation. *Anal Bioanal Chem*, 2013. **405**(19):p. 6251-6258
- [32] Pornwilard M.-M., & Siripinyanond A. Field-f low f ractionation with inductively coupled plasma mass spectrometry: past, present, and future. *J Anal Atom Spectrom*, 2014. **29**(10):p. 1739-1752
- [33] Babiarz C.L. Hoffmann, S.R., Shafer, M.M., Hurley, J.P., W. Andren, A.W. and D. E. Armstrong, A critical evaluation of tangential-f low ultrafiltration for trace metal studies in freshwater systems. 2. Total mercury and methylmercury. *Environ Sci Technol*, 2000. **34**(16): p. 3428-3434
- [34] Liu F.K. Using SEC for Analyzing the Sizes of Au/Pt Core/Shell Nanoparticles. *Chromatographia*, 2010. **72**(5-6): p. 473-480
- [35] ISO 5667-1, Water quality — Sampling — Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques
- [36] ISO 5667-3, Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples
- [37] ISO 5667-4, Water quality — Sampling — Part 4: Guidance on sampling from lakes, natural and man-made
- [38] ISO 5667-6, Water quality — Sampling — Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams
- [39] ISO/TR 18196:2016, Nanotechnologies — Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects