

استانداردهای ملی فناوری نانو در حوزه فناوری نانوحباب



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهریژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزابلو		
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳		
تهیه کننده:	شرکت پیشگامان فناوری دریچه	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

محتوای صنعتی و فناورانه خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

۳	مقدمه
۳	معرفی و کاربرد نانوحجاب
۶	اهمیت مشخصه یابی نانوحجاب
۷	مفهوم توزیع اندازه مبتنی بر غلظت عددی و غلظت حجمی
۸	مشخصه یابی نانوحجاب با آزمون پراش لیزری
۱۰	خلاصه
۱۱	پی نوشت ها
۱۱	منابع

مقدمه

با کاهش ابعاد حباب، خصوصیات تازه‌ای به آن اضافه می‌شود که می‌توان در کاربردهای مختلف از جمله کشاورزی، پرورش آبزیان، تصفیه آب، تمیز کردن سطوح و... استفاده شود. از جمله این خصوصیت‌ها، توانایی از بین بردن میکروب و افزایش انحلال و ماندگاری یک گاز در آب است. یافتن مشخصات دقیق محلول دارای حباب در ابعاد نانو به تضمین کیفیت و سفارشی‌سازی آن کمک می‌کند. استاندارد ملی، روش پراش لیزری را برای مشخصه‌یابی نانوحباب ارائه کرده است. در گزارش پیش رو، پس از معرفی و شمردن ویژگی‌ها و کاربرد نانوحباب، به مروری بر این استاندارد به همراه تعریف مفاهیم استفاده شده در آن پرداخته شده است. این گزارش همچنین به استفاده بهتر و فهم بیشتر از استاندارد انجام آزمون، کمک خواهد کرد.

معرفی و کاربرد نانوحباب

حباب، یک محیط (عمدتاً کروی) حاوی گاز است که با یک لایه نازک مایع (به صورت محدود جامد) احاطه شده است. از جمله در کاربردهایی که بایستی یک گاز در یک محیط مایع اضافه و حل شود، مشاهده می‌شود. در صورتی که ابعاد حباب کوچک‌تر شود، از میزانی به بعد، صفات آن تغییر می‌کند و خصوصیات دیگری به آن اضافه می‌شود. این موضوع باعث شده در کاربردهای مختلف، استفاده از حباب‌های بسیار کوچک مورد توجه باشد.

در دسته‌بندی ابعاد حباب در استاندارد، حباب ریز^۱ قطر کمتر از ۱۰۰ میکرومتر دارد. حباب فراریز^۲ قطر کمتر از ۱ میکرومتر دارد. میکرو حباب^۳ قطر ۱ تا ۱۰۰ میکرومتر و نانوحباب، قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارد. در شکل ۱ ابعاد نمایش داده شده است [۱].



شکل ۱- گستره ابعاد حباب ریز [۱]

در شکل ۲ کاربردهای حباب در ابعاد میکرو و نانو^۴ نسبت به حباب‌های بزرگ‌تر نشان داده شده است.

جذب و حذف جامدات معلق آب [۳]

به این صورت که بار الکتریکی در سطح نانوحباب، موجب جذب یون های با بار مخالف به آن می شود و می توان یون های فلزی را با این روش از آب جدا کرد یا با آب گریز کردن ذرات جامد، تحت شرایطی به جداسازی ذرات کمک کرد. [۴]

ضد عفونی و از بین بردن میکروب ها [۴، ۲]

به این صورت که باعث آزاد سازی رادیکال های OH^- از آب می شود، این رادیکال ها با آلاینده ها واکنش می دهند و آن را تجزیه می کنند یا با بالا بردن فعالیت میکروارگانیسم ها و باکتری های آب از طریق افزایش انحلال اکسیژن، آلاینده و رسوب را تجزیه می کنند. [۳]

افزایش هوادهی و اکسیژن آب [۴]

موجب افزایش بازده پرورش ماهی و آبزیان خواهد شد.

افزایش شفافیت و رنگ زدایی آب [۲]

شکل ۲- بخشی از کاربرد نانو حباب [۲-۴]

این کاربردها به دلیل خصوصیتی است که حباب های نانو و میکرو نسبت به حباب های بزرگ تر دارند. در شکل ۳ این خصوصیات ذکر شده است.

در هنگام ورود حباب به آب، یون های H^+ و OH^- آب به دلایلی پیرامون حباب تجمع می کنند. به بار الکتریکی ایجاد شده در لایه پیرامون حباب، پتانسیل زتا می گویند. اگر مقدار بار، مثبت بالا یا منفی بالا باشد، حباب، پایدارتر می ماند و دیرتر می ترکد [۳، ۶]. همچنین حباب ها از هم دافعه بیشتری داشته و به هم برخورد نمی کنند. با افزایش این یون ها در سطح حباب، پیوند هیدروژنی قوی در سطح شکل می گیرد که باعث افزایش ماندگاری حباب می شود [۵]. در نهایت وقتی لایه حباب ناپدید می شود با توجه به فشار بالای داخل نانوحباب، تغییرات شدیدی ایجاد شده که انرژی یون های پیرامون حباب را آزاد کرده و رادیکال های هیدروکسیل OH^* تولید می کند [۳]. این رادیکال به راحتی با ترکیبات آلی مختلف واکنش می دهد و آن ها را تجزیه می کند [۲، ۵].

با کاهش شعاع حباب، فشار داخل حباب حتی تا چهار برابر اتمسفر افزایش یافته و مولکول های گاز بدون فروپاشی حباب، بیشتر تمایل دارند از داخل حباب خارج شده و به میان مولکول های مایع رفته و در فشار کمتر قرار گیرند، در نتیجه انتقال جرم گاز به میان مایع و انحلال آن، افزایش می یابد [۳].

پایین ماندن در اعماق آب و عدم تمایل به رفتن روی سطح آب به دلیل نداشتن نیروی شناوری که حباب را به بالا می کشاند. قطر حباب کمتر از ۵ میکرومتر، در محلول بالا نمی آید. حباب هایی با قطر بیش از ۱ میلی متر به سرعت بالا می روند و روی سطح می ترکند [۵].

نسبت سطح به حجم بالاتر

بنا بر رابطه تقسیم سطح حباب کروی به حجم آن

$$\left(\frac{S}{V} = \frac{3}{r}\right)$$
 با کاهش شعاع، نسبت سطح به حجم افزایش می یابد [۳، ۵]

طول عمر بالاتر و فروپاشی دیرتر (حتی تا چندماه) نسبت به حباب های بزرگتر (تا چند دقیقه) که افزایش حلالیت یک گاز در آب را در پی دارد [۲، ۵]

➡ شکل ۳- خصوصیات نانوحباب [۲ و ۳ و ۵ و ۶]

اهمیت مشخصه یابی نانو حباب

فناوری نانو حباب^۵ در حوزه های آبی پروری، کشاورزی، تصفیه آب، تمیزکاری و زیست پزشکی کاربرد دارد. در هر حوزه، محلول با مشخصات متفاوت، مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله مشخصات یک محلول دارای حباب ریز این است که چه بازه ای از قطرهای مختلف از حباب در آن حضور دارد و فراوانی هر قطر، چقدر است. به عنوان مثال، در یک محلول، مشخص می شود که حباب با قطرهایی در بازه ۰/۱ تا ۱ میکرومتر حضور دارد و در این بین، فراوانی قطر ۰/۲ از مابقی قطرها بیشتر است و ۷۰ درصد حباب ها را به خود اختصاص داده است.

برای یافتن این مشخصات، بایستی آزمون ها و معیارهای علمی و ثابتی ارائه شود که توسط استاندارد ملی، معرفی شده است [۷]. از مزیت های دیگر این آزمون ها، طراحی سفارشی است. به این صورت که با داشتن مشخصات محلول دارای حباب ریز، می توان آن ویژگی ها را برای داشتن عملکرد خاصی تنظیم کرد. مزیت دیگر این آزمون ها، کنترل کیفیت و استاندارد سازی است. برای تضمین کیفیت، ایمنی و عملکرد ثابت تولید فروشندگان مختلف، تعیین دقیق مشخصات ضروری است [۸].

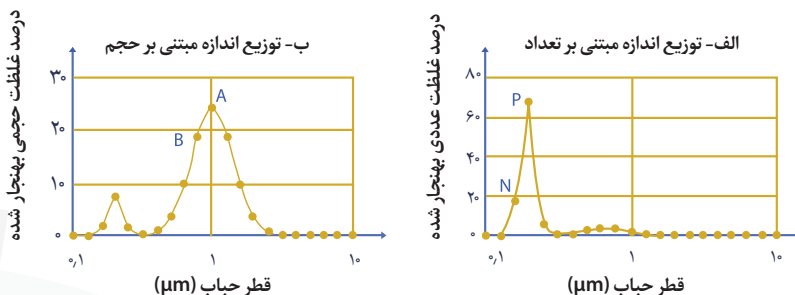
سازمان جهانی استاندارد^۶ در حوزه فناوری حباب های ریز^۷ (شامل میکرو حباب و نانو حباب)، ۳۴ استاندارد منتشر کرده است و ۶ استاندارد در دست تدوین دارد. گستره موضوعات این استانداردها، بررسی حباب ریز در کاربردهای کشاورزی، صنعتی، تصفیه آب، محیط زیستی، تمیز کردن سطوح و... را شامل می شود. از این تعداد، دو استاندارد تعاریف و مشخصه یابی حباب ریز با آزمون پراش لیزر توسط ستاد توسعه فناوری های نانو و میکرو ارائه شده و یک استاندارد در حوزه آزمون ارزیابی کاربرد فناوری حباب ریز در شستشوی سطوح آلوده در دست تدوین است [۱ و ۹ و ۱۰]. استانداردهای ملی فناوری حباب ریز منطبق بر استاندارد بین المللی جدول ۱ است.

جدول ۱- استانداردهای ملی فناوری حباب های ریز [۹][۱۰][۱۱]

شماره	عنوان	مرجع استاندارد: ستاد توسعه فناوری های نانو و میکرو	مرجع استاندارد: سازمان جهانی استاندارد
۱	فناوری حباب های ریز - اصول کلی برای استفاده و اندازه گیری حباب های ریز - قسمت ۱: واژگان	ISO ۱۵۵۸۸-۱ (1st Edition: ۲۰۱۸)	ISO ۲۰۴۸۰-۱: ۲۰۱۷
۲	فناوری حباب ریز - مشخصه سازی حباب های ریز - قسمت ۱: ارزشیابی شاخص های اندازه و غلظت با روش پراش لیزری	ISO ۲۳۴۴۱-۱ (1st Edition: ۲۰۲۴)	ISO ۲۴۲۱۸-۱: ۲۰۲۳

مفهوم توزیع اندازه مبتنی بر غلظت عددی و غلظت حجمی

همان‌طور که ذکر شد، از مشخصات مهم محلول دارای حباب ریز، توزیع قطرهای مختلف حباب در محلول است. در استاندارد، این مشخصه با دو عبارت توزیع اندازه (قطر) حباب مبتنی بر تعداد و حجم تعریف شده است. توزیع اندازه حباب مبتنی بر تعداد، یعنی در یک میلی لیتر مایع، تعداد حباب‌ها با هر قطر مشخص، چقدر است. توزیع اندازه (قطر) حباب مبتنی بر حجم نیز به این معنی است که در یک میلی لیتر مایع، مجموع حجم حباب‌ها با هر قطر مشخص، چقدر است [۷]. به عنوان مثال در شکل ۴ برای یک نمونه محلول دارای حباب ریز، این دو مشخصه گزارش شده است.



شکل ۴- توزیع اندازه حباب مبتنی بر تعداد و حجم برای یک نمونه* [۷]

* در محور عمودی، غلظت عددی، تعداد ذرات در محلول یا تعداد حباب در واحد حجم مایع ($\frac{\text{حباب}}{\text{میلی لیتر}}$) است. غلظت حجمی، مجموع حجم حباب‌ها در یک واحد حجم مایع ($\frac{\text{حباب}}{\text{میلی لیتر}}$) است [۱۱]. غلظت بهنجار (Normalized concentration) در محور عمودی نمودار، در زمانی که واحد غلظت مشخص نیست، محاسبه می‌شود.

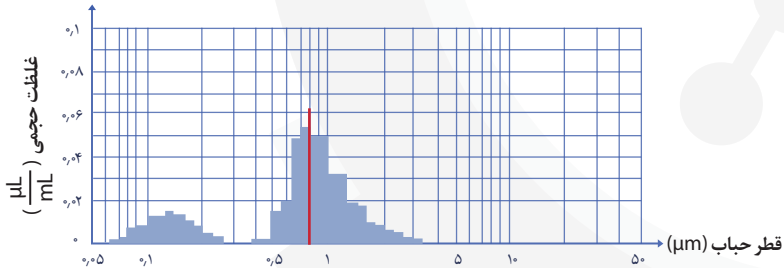
در شکل ۴، قسمت الف، نمودار توزیع اندازه مبتنی بر تعداد، نقطه P به این معنی است که در یک میلی لیتر مایع از ۱۰۰ عدد حباب، ۷۰ حباب، قطر ۰.۲ میکرومتر دارند و نقطه N یعنی ۲۰ عدد حباب، قطر ۰.۱۵ را دارد. مابقی قطرها، به تعداد کمتری از حباب‌ها اختصاص دارند.

در شکل ۴، قسمت ب، نمودار توزیع اندازه مبتنی بر حجم، نقطه A بدین معنی است که در یک میلی لیتر مایع، ۲۵ درصد حجم کل حباب‌ها، قطر ۱ میکرومتر دارند. نقطه B یعنی ۲۰ درصد حجم حباب‌ها، قطر ۰.۸ میکرومتر را دارند. مابقی قطرها، درصد کمتری از حجم کل حباب‌ها را شامل می‌شوند. این دو نمودار در تطابق با یکدیگر بیان می‌کند که حباب با قطرهای کوچک‌تر از ۰.۲ میکرومتر، تعداد بالایی درصد حجمی کمی از مخلوط را دارد. در عوض حباب‌های بزرگ‌تر نزدیک ۱ میکرومتر، تعداد کمتری در مخلوط دارد با این حال درصد حجمی بالاتری از مخلوط را اشغال کرده است.

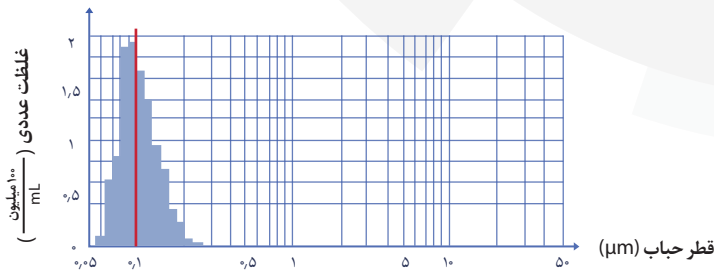
به عبارتی مطابق شکل ۴، نمودار توزیع اندازه حباب مبتنی بر تعداد، تأکید بر حباب‌های کوچک‌تر دارد و نمودار مبتنی بر حجم، تأکید بر حباب‌های بزرگ‌تر دارد.

این نمودارها می‌توانند دوقله‌ای^۸ یا چندقله‌ای^۹ باشند. دو قله به این معنی است که حباب با دو قطر مشخص در محلول بیشتر است. این دو نمودار نتیجه آزمون به نام آزمون پراش لیزری است که بر روی نمونه محلول، انجام شده است.

در مثال دیگری در شکل ۵، توزیع اندازه مبتنی بر حجم و شکل ۶ توزیع اندازه مبتنی بر تعداد را برای یک نمونه از خروجی آزمون پراش لیزری نمایش می‌دهد [۷]. در شکل ۵، بیشترین غلظت حجمی مربوط به حباب‌های بزرگ‌تر (۸۰ میکرومتر) است و در شکل ۶، بیشترین غلظت عددی (تعداد حباب) مربوط به حباب‌های کوچک‌تر (۱۰ میکرومتر) است.



شکل ۵- نمونه‌ای از توزیع اندازه مبتنی بر حجم به صورت رابطه بین اندازه و غلظت حجمی [۷]



شکل ۶- نمونه‌ای از توزیع اندازه مبتنی بر تعداد به صورت رابطه بین اندازه و غلظت عددی [۷]

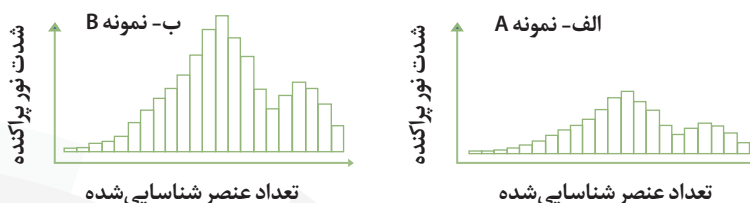
مشخصه‌یابی نانوحباب با آزمون پراش لیزری

برای اندازه‌گیری مشخصات محلول دارای حباب ریز، روش‌های مختلفی وجود دارد که در ادامه به برخی از روش‌ها اشاره شده است:

- روش پراش لیزری^{۱۰}؛
- روش پراکندگی نور دینامیکی^{۱۱}؛
- روش ردیابی مسیر ذرات^{۱۲}؛
- روش تشدید جرم^{۱۳}؛
- روش نیروی تعاملی در میدان الکتریکی^{۱۴}؛
- روش سیگنال الکتریکی^{۱۵}؛
- روش تحلیل تصویر دوربین پرسرعت^{۱۶} [۱۲].

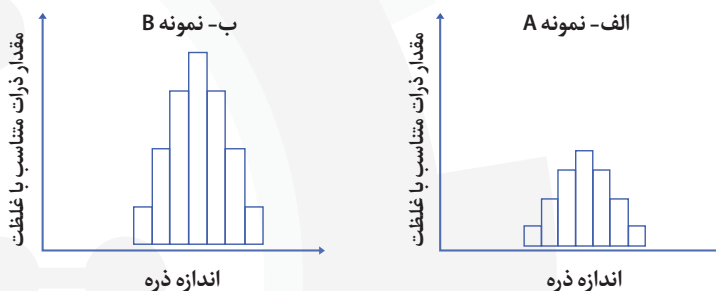
از میان این روش‌ها، روش پراش لیزری توسط استاندارد ملی، ارائه شده است. این روش می‌تواند توزیع اندازه (قطر) ذرات از گستره‌ی حباب فراریز تا میکرو حباب را تعیین کند. روش آزمون پراش لیزری، مطابق استاندارد ملی ۲۳۴۴۱ (جدول ۱) انجام می‌شود که برای حباب‌های ریز با پوسته و بدون پوسته و بازه‌ی بزرگی از قطر حباب (ده نانومتر تا صد میکرومتر) قابل استفاده است. در این آزمون، از الگوی به دست آمده از نور بازتاب شده از محلول، توزیع قطر حباب از دستگاه اندازه‌گیری مطابق با شکل ۷ به دست می‌آید. توزیع مبتنی بر قطر و مبتنی بر حجم از روابط موجود در استاندارد، قابل تبدیل به یکدیگر است.

شکل ۷، نمونه‌ای از الگوی توزیع شدت نور را که خروجی آزمون پراش لیزری است، نشان می‌دهد. دو نمونه محلول A و B تحت آزمون قرار گرفتند. غلظت گاز در مایع در نمونه B دو برابر غلظت نمونه A است. بنابراین شدت شکست نور از نمونه B نیز دو برابر است. روند تغییرات نمودار در هر دو نمونه یکسان است به این معنی که روند توزیع اندازه ذرات در هر دو نمونه یکسان است.



شکل ۷- الگوی توزیع شدت نور پراکنده [۷]

با استفاده از نمودار توزیع شدت نور که خروجی آزمون پراش لیزری است، توزیع قطر حباب مبتنی بر غلظت حجمی محاسبه می‌شود. شکل ۸، نمودار محاسبه شده‌ی توزیع قطر ذرات است. از نمودار مبتنی بر غلظت حجمی نیز نمودار مبتنی بر غلظت عددی محاسبه خواهد شد.



شکل ۸- توزیع اندازه ذرات (قطر) متناسب با غلظت حجمی [۷]

- در آزمون پراش لیزری، بایستی ملاحظات زیر را در نظر گرفت:
- احتمال اثر ناشی از حجم حباب های بزرگ تر که به معنی زیاد بودن مقدار گاز است، بایستی در نظر گرفته شود. اگر در خروجی آزمون، حجم حباب ها یا آلاینده های بزرگ تر از ۱۰۰ میکرومتر، بیش از ۱۰ درصد کل حجم حباب های کوچک تر از ۱۰۰ میکرومتر به دست آمد، در نمونه برداری و آماده سازی نمونه باید بازنگری شود. در حین آماده سازی مجدد نمونه، حباب های بزرگ تر را می توان در طول زمان حذف کرد.
 - در نظر گرفته شود که میکرو حباب ها نیز ممکن است اثر حباب های کوچک تر مانند حباب فراریز (و نانوحباب) را از بین ببرند.
 - توزیع قطر فراریز حباب (و نانوحباب)، می تواند پایدار باشد اما برای ریزحباب (که بزرگ تر است) می تواند ناپایدار باشد و تغییر کند.^{۱۷}
 - احتمال اثر هم افزایی ناشی از تعداد زیاد حباب های کوچک تر و حجم زیاد حباب های بزرگ تر در نظر گرفته شود.
 - اگر در دستگاه اندازه گیری، اجزای همزن، پمپ و یا دستگاه فراصوت استفاده شده است، اثراتی که ممکن است در مقدار اندازه گیری شده بگذارد، با تکرار فرایند و تغییر شرایط متعدد قبل از اندازه گیری واقعی، باید به حداقل برسد.
 - درباره حباب های ریز با پوسته، ضریب شکست پوسته را می توان نادیده گرفت.
 - دمای محیط و فشار اتمسفر باید پایدار باشد تا از تغییر مشخصات محلول دارای حباب های ریز جلوگیری شود.
 - در خروجی آزمون بایستی خلوص آب و گاز مورد استفاده برای آماده سازی محلول دارای حباب ریز گزارش شود. همچنین نمودار توزیع اندازه مبتنی بر حجم، نمودار توزیع اندازه مبتنی بر تعداد، قطر میانگین حباب در نمودار توزیع، قطر کیفی حباب در نمودار توزیع، حداقل و حداکثر قطر حباب، غلظت کل گاز در آب یا غلظت بهنجار شده گزارش می شود [۷].

خلاصه

فناوری نانوحباب، روشی کاربردی برای میکرو بزدایی و تصفیه منابع آب است. از طرفی استفاده از نانوحباب برای افزایش بازدهی پرورش آبزیان و کشاورزی نیز مفید بوده است. برای اینکه اطمینان حاصل شود که یک محلول دارای حباب هایی در ابعاد نانو است، می توان از روش پراش لیزری استفاده کرد که در استاندارد ملی ۲۳۴۴۱-۱ شرح داده شده است. هر حباب با قطر مشخص، الگوی توزیع نور متفاوتی از این آزمون به دست خواهد داد. در نهایت در این آزمون قطر حباب ها و فراوانی هر قطر در محلول به دست می آید.

پی‌نوشت‌ها

- ۱ Fine Bubble
- ۲ Ultrafine Bubble (UFB)
- ۳ MB
- ۴ MNB - MNBT (Micro-Nano Bubbles technology)
- ۵ در استاندارد، فناوری حباب ریز نام دارد.
- ۶ ISO
- ۷ Fine Bubble Technology (FBT)
- ۸ bimodal
- ۹ multimodal
- ۱۰ laser diffraction
- ۱۱ dynamic light scattering (DLS)
- ۱۲ Particle trajectory (Nanoparticle Tracking Analysis (NTA))
- ۱۳ Resonance mass
- ۱۴ Interactive force apparatus under an electric field
- ۱۵ Electrical signal (Coulter counter)
- ۱۶ High-speed camera image analysis
- ۱۷ ناپایداری زمانی در نظر گرفته می‌شود که حجم کل حباب‌ها در شرایط دما و فشار معین در پراکندگی به دو برابر افزایش و یا به نصف کاهش یابد، محلول تا قبل از این زمان، پایدار در نظر گرفته می‌شود [۱].

منابع

- ۱ گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، استاندارد فناوری حباب ریز - اصول کلی برای استفاده و اندازه‌گیری حباب‌های ریز - قسمت ۱: واژگان، ۱۳۹۷، (www.nanostandard.ir)
- ۲ Tekile Andinet, et al., "Applications of Ozone Micro- and Nanobubble Technologies in Water and Wastewater Treatment: Review," Journal of Korean Society of Water and Wastewater, vol. 31, no. 6, pp. 481-490, 2017.
- ۳ Zhengguo Xiao, Tallal Bin Aftab, Dengxin Li, "Applications of micro-nano bubble technology in environmental pollution control," Micro & Nano Letters, vol. 14, no. 7, p. 782-787, 2019.
- ۴ Baljinder Singh, et al., "Effect and application of micro and nanobubbles in water purification," Toxicology and Environmental Health Sciences, vol. 13, p. 9-16, 2021.
- ۵ Anup Gurung, Olli Dahl & Kaj Jansson, "The fundamental phenomena of nanobubbles and their behavior in wastewater treatment technologies," geosystem Engineering,, 2016.
- ۶ www.acniti.com/fa/technology/zeta-potential-ultrafine-bubbles
- ۷ گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، استاندارد فناوری حباب ریز - مشخصه‌یابی حباب‌های ریز - قسمت ۱: ارزشیابی شاخص‌های اندازه و غلظت با روش پراش لیزری، ۱۴۰۲، (www.nanostandard.ir)
- ۸ Arpita Singh et al., "Chapter: 2 - NANOMATERIAL CHARACTERIZATION TECHNIQUES," in Futuristic Trends in Chemical, Material Sciences & Nano Technology, Iterative International Publisher (IIP), 2024, pp. 28-55.
- ۹ www.iso.org/committee/4856666/x/catalogue
- ۱۰ گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، استاندارد فناوری حباب ریز - مشخصه‌یابی حباب‌های ریز - قسمت ۱: ارزشیابی شاخص‌های اندازه و غلظت با روش پراش لیزری، ۱۴۰۲، (www.nanostandard.ir)
- ۱۱ Zhenyao Han, Hao Chen, Chunlin He, Gjergj Dodbiba, Akira Otsuki, Yuezhou Wei & Toyohisa Fujita, "Nanobubble size distribution measurement by interactive force apparatus under an electric field," Scientific Reports 13(1):3663, 2023.
- ۱۲ گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، استاندارد فناوری حباب ریز - اصول کلی برای استفاده و اندازه‌گیری حباب‌های ریز - قسمت ۱: واژگان، ۱۳۹۷، (www.nanostandard.ir)
- ۱۳ www.iso.org/committee/4856666/x/catalogue

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو که در حوزه نانوحجاب منتشر شده است:



■ کاربردهای صنعتی فناوری نانوحجاب



■ کاربردهای فناوری نانوحجاب در صنایع شیلات و آبی پروری



■ استفاده از فناوری نانوحجاب در تصفیه آب، پساب‌های خانگی و فاضلاب‌های صنعتی



■ کاربردهای فناوری نانوحجاب در تصفیه آب و فاضلاب