

ضرورت استاندارد سازی نانولوله های کربنی و چالشهای آن

ابوذر سهرابی جهرمی

چکیده

استاندارد سازی فناوری نانو در حال حاضر یکی از رویکردهایی است که صنایع مرتبط با این فناوری آنرا جزء یکی از رویکردهای کلیدی خود قرار داده اند. بخشی از سهم استاندارد سازی فناوری نانو به استاندارد سازی نانو مواد مرتبط است که نانولوله های کربنی بخشی از این گستره وسیع می باشند. این مقاله، مروری بر فعالیت های انجام شده بر روی استاندارد سازی نانولوله های کربنی و چالشهایی که در این حوزه وجود دارد می پردازد.

مقدمه

به طور کلی واژه استاندارد در دو مفهوم عمده بکار برده می شود. در مفهوم اول منظور از استاندارد، یکاها و مقیاس های اندازه گیری است. این مفهوم می تواند به معنای یکاهای اندازه گیری مانند متر، کیلوگرم، ثانیه و نظایر آن باشد و یا مقیاس های فیزیکی از قبیل میله یک متری، وزنه یک کیلوگرمی و امثال آن را در برگیرد. در مفهوم دوم، استاندارد کتابچه یا مجموعه مکتوبی است که در برگیرنده مقررات و اصولی برای تنظیم امور فنی، صنعتی، علمی و تجاری می باشد.

با توجه به برنامه ۱۳ در سند راهبرد آینده مبنی بر استاندارد سازی فناوری نانو برای رسیدن به سهم مناسبی از تجارت جهانی اهداف شناخته شده در استاندارد سازی فناوری نانو عبارت است از ” بررسی اثرات عدم وجود استاندارد بر رشد بازار نانو “ و ” شناسایی نیازهای استاندارد سازی جهت توسعه بازار این تولیدات “.

بخشی از سهم استاندارد سازی فناوری نانو به استاندارد سازی نانو مواد می گردد که این نانولوله های کربنی بخشی از این گستره وسیع می باشند. لغت «نانولوله کربنی»، در مورد کلیه نانو ساختارهای لوله ای که شامل سه دسته نانو لوله های تک لایه (SWNT)، نانو لوله های چند لایه (MWNT) و نانو الیاف کربن (گرافیت و آمورفین) هستند، بکار می رود.

در حال حاضر در دنیا فعالیت بسیار گسترده ای روی استاندارد سازی فناوری نانو در حال انجام است. گوشه ای از زمینه فعالیت های کمیته های استاندارد سازی و استراتژی های پیشنهادی و برنامه های مختلف بین المللی برای استاندارد سازی فناوری نانو عبارتند از:

- فرهنگ اصطلاحات و عبارات نانوذرات که در ماه می سال ۲۰۰۵ در انگلستان توسط BSI تهیه گشته است (UK PAS Vocabulary).
- کمیته فناوری نانو ایزو تاسیس شده است. (ISO/TC229)
- موسسه IEEE مستندات استاندارد P 1650 را تهیه کرده است. به نقل از رئیس این گروه کاری، دکتر دان گاموتا^۱ از شرکت موتورولا، نسخه پیش نویس این استاندارد به منظور

¹ . Dan Gamota

- ارائه در رای‌گیری ماه جون سال ۲۰۰۵ آماده شد. این استاندارد شامل رویه‌ای برای تعیین ویژگی‌های الکتریکی یک نانولوله کربنی دو جهته است.
- چین ۷ استاندارد ملی در زمینه فناوری نانو تهیه کرده است.
 - در کشورهای انگلستان، ژاپن و آمریکا نیز کمیته‌های ملی استانداردسازی فناوری نانو تاسیس شده‌اند.
 - در کشور کره گروه کاری در زمینه نانولوله‌های کربن تشکیل شده است که در زمینه استانداردسازی اندازه‌گیری خلوص نانولوله‌ها و پایداری نانولوله‌ها در محلول‌ها مطالعه می‌کند. این گروه همچنین در حال برنامه‌ریزی به منظور استانداردسازی اندازه‌گیری میزان انتشار نانولوله‌های کربنی است.
 - کمیته اروپایی استراتژی برای استانداردسازی فناوری‌های نانو تا سال ۲۰۰۷ تهیه خواهد کرد.
 - کره نیز کمیته تخصصی را در ارتباط با نانولوله‌های کربنی تشکیل داده است که در حال حاضر در حال بررسی خواص هستند.
 - کمیته E56 سازمان ASTM توسط ۱۲ کشور تاسیس شده و دارای گروه‌های کاری به شرح زیر است:
 - اصطلاحات
 - تعیین ویژگی‌ها
 - ایمنی و بهداشت محیط زیست و محیط کار
 - قوانین حقوق معنوی
 - همکاری‌های بین‌المللی
 - استانداردهای تولید

بررسی چالشهای استاندارد سازی نانولوله های کربنی

با توجه به تاریخچه نانوالیاف و نانولوله‌های کربنی، عوامل تاثیر گذار بر کاربرد نانولوله‌ها و نانوالیاف به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- ۱ مباحث اقتصادی و قانونی
- ۲ مباحث ایمنی و بهداشت
- ۳ مباحث نقل و انتقال و بسته‌بندی
- ۴ اطلاعات فنی

از لحاظ تاریخچه بررسی نانوالیاف و نانولوله‌های کربنی، می‌توان به این جمع‌بندی رسید که استاندارد سازی نانو لوله های کربنی باید در چارچوب حوزه‌های فعالیت فوق بررسی گردد که به صورت

عملیاتی می توان درک کرد که موانع زیر از جمله موانع سر راه تجاری سازی نانوالیاف و نانولوله های کربنی می باشند:

- ۱) ریسک ها، سلامتی و ایمنی
- ۲) قراردادهای نقل و انتقال و فرآیند مواد جدید
- ۳) پایداری در کیفیت تولیدات (درجه خلوص، ناخالصی، کنترل، پایداری و غیره)
- ۴) عدم آشنایی با طراحی و تولید
- ۵) عدم وجود ابزار و قوانین طراحی
- ۶) در دسترس بودن مواد در حجم انبوه و با قیمت مناسب
- ۷) ابزار و قوانین تحلیلی جهت شناسایی ترکیب نانومواد موجود در مواد کامپوزیت
- ۸) قوانین حقوق معنوی

مشکلات شناسایی شده در مورد کیفیت را نیز می توان به شرح زیر طبقه بندی کرد:

- ۱) عدم وجود استاندارد مشخص برای نانولوله های کربنی
 - ۲) وجود تفاوت های زیاد در انواع نانولوله های کربنی تولیدی
 - ۳) عدم امکان تجاری سازی به علت وجود همین تفاوت ها
- ضرورت تدوین یک برنامه کنترل کیفیت نیز از جهات مختلف احساس می شود که مزایای آن را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. ایجاد ثبات و اطمینان در فرآیندهای جدید
۲. ایجاد ثبات و اطمینان در تولیدات جدید
۳. بهبود قابلیت اطمینان تولیدات
۴. افزایش کنترل بر روی فرآیندها و محصولات

در کل می توان نتیجه گیری نمود که مشکل عدم استفاده انبوه نانولوله های کربنی در صنعت، به دلیل ظرفیت پایین تولید آنها نیست بلکه بخاطر عدم توانایی در ارزیابی کیفیت یکسان می باشد و این اصلی ترین چالش صنعت است. علت دیگر موجود این است که به هر جهت این امکان وجود دارد که با تدوین قوانین جدید و با توجه به حساسیت های ایجاد شده در مورد تاثیر این مواد بر سلامت انسان و محیط زیست، محدودیت های جدی برای تولید کنندگان و عرضه کنندگان این مواد به وجود آید (به ویژه در مورد نانوذرات آزاد، یعنی ذراتی که توسط شبکه های مولکولی به دام نیفتاده باشند).

در تدوین چنین قوانینی ضرورت وجود یک "مجموعه اصطلاحات" جهت تسهیل ارتباط میان عرضه کنندگان و مشتریان محصولات فناوری نانو نیز مورد توجه قرار می گیرد. نظریه ای مبنی بر اینکه که کلیه نانومواد کربنی باید در خانواده بزرگ نانوالیاف (CNF's) قرار گیرند، که در این مورد تعریف کلی به صورت الیاف ها، گرافیت ها و مواد کربنی با ابعاد متوسط کمتر از 500 نانومتر می شود. هر چند نکته فوق دارای اهمیت و پشتوانه علمی است ولی به نظر می رسد عبارت نانولوله کربنی از چنان مقبولیتی برخوردار شده که نمی توان از جوامع علمی و صنعتی انتظار داشت تنها از اصطلاح نانوالیاف استفاده نمایند. علاوه

بر این شایان ذکر است که به طور ضمنی این موضوع که عبارت نانو به ابعاد 1 تا 100 نانومتر دلالت دارد مورد پذیرش قرار گرفته و این بر خلاف ابعاد موارد معرفی شده در تعریف فوق است. به همین دلایل نظریه فوق اعتبار خود را از دست می دهد.

استانداردسازی کلید تجاری سازی فناوری نانو

فاکتورهای کلیدی و موانعی که تولیدکنندگان و عرضه کنندگان نانولوله های کربنی باید به منظور موفقیت در تجاری سازی و کاربرد محصولاتشان مدنظر قرار دهند بطور خلاصه عبارتند از:

- تنوع زیاد تولیدات و عدم وجود تعاریف شفاف
- تولید فرآیندهای تولیدی و دسترسی به مواد در حجم بالا
- قیمت هزینه های تولید بالا و در نتیجه قیمت بالا
- نیاز به سرمایه گذاری های مشترک یا همکاری های صنعتی
- حقوق مالکیت معنوی
- کیفیت و قابلیت تولید یکسان نمونه ها
- روش های کالیبراسیون و تعیین ویژگی ها

استانداردسازی هم اکنون در مراحل اولیه رشد فناوری هستیم، بسیاری از کاربردها هنوز در فاز R&D هستند و مباحث ایمنی و بهداشت که نیاز به اطلاعات و قوانین بیشتری دارند.

روش ها و ابزار اندازه گیری برای مشخصه یابی نانولوله های کربنی

بسیاری از روش هایی که امروزه بکار می روند، بین تولیدکنندگان مختلف مشترک بوده و استانداردهای آنها موجود است. صنایع مختلف برای استفاده از روش ها و استانداردهای مشترک باید به اجماع برسند. استاندارد سایر روش ها (از قبیل پارگی الیاف، ابعاد و طول) هنوز تهیه نشده اند. روش های فعلی تعیین ویژگی ها زمان بر و گران بوده و نیاز به ابزار اندازه گیری جدید احساس می شود.

نکات مهم در مقوله مشخصه یابی به شرح زیر است: تکنیک های اندازه گیری و مشخصه یابی که در حال حاضر برای ارزیابی نانولوله های کربنی استفاده می شوند:

روش های استاندارد شده موجود اندازه گیری خواص

دانشیقه بانک فست	استاندارد اصلاح شده ASTM D تکنیک اندازه گیری یابی	توزیع / هدایت الکتریکی پارامتر مورد اندازه گیری
درصد رطوبت استخراج PAH درصد کاتالیست	ASTM E 394-00/DIN 3586 استاندارد اصلاح شده ASTM DI618-99	چسبندگی / تخلخل چسبندگی / تخلخل خلوص / شیمی
مقاومت الکتریکی	ASTM D257-99	هدایت الکتریکی

تست‌هایی غیراستاندارد موجود

تست	تکنیک مشخصه‌یابی	پارامتر مورد اندازه گیری
آنالیز SEM	DIN VS3242-1 (B کربن)	خلوص
آنالیز TEM	TEM	مکان‌ها و ساختارهای مرجح سطحی
بررسی سطح ویژه	DIN 66731/ISO 4652-1 (کربن B)	ویسکوزیته
اندازه‌گیری انرژی سطحی	کروماتوگرافی گازی معکوس	ترشوندگی
شیمی سطح	طیف‌سنجی نوری اشعه X	چسبندگی / ترشوندگی

تکنیک‌های مختلف حاضر برای تست همه محصولات می‌بایست استفاده گردد. استانداردها و تکنیک‌هایی نظیر درصد نانولوله‌های کربنی موجود، طول و قطرها هنوز توسعه نیافته‌اند. روش‌های شناسایی با میکروسکوپ الکترونی حاضر بسیار کند و گران قیمت بوده و غیرقابل استفاده برای نمونه‌های بالک می‌باشد.

برگه اطلاعات فنی مواد

در تهیه استاندارد برای نانولوله‌های کربنی باید مدل واحدی برای برگه‌های اطلاعات فنی ارائه گردد تا مشتریان قادر باشند به راحتی خواص مواد تولیدکنندگان مختلف را بررسی و مقایسه نمایند. فرمت موجود برای مواد دارای چه اشکالاتی بوده و چه اطلاعاتی باید در آنها وجود داشته باشد.

از جمله نکاتی که در مباحث «اندازه‌گیری خواص» باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

(۱) بررسی امکان انطباق روش‌های آزمون‌ی که در حال حاضر در صنعت کربن سیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند با کاربردهای جدید مورد نیاز، روش‌های استاندارد بدست آمده و آزمون‌های غیر استاندارد موجود

تست‌های استاندارد ASTM جهت ارزیابی صنعت کربن سیاه:

☒ هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک^۲ (PAH S)

☒ مقاومت الکتریکی بالک و توده محصول

☒ دانسیته بالک محصول

☒ درصد رطوبت محصول

² - Polyaromatic Hydrocarbors

☒ درصد کاتالیست در محصول

۲) نیاز به دستورالعمل‌های آزمون استاندارد شده

۳) بررسی آزمون‌های غیر استاندارد: تحلیل SEM، تحلیل TEM، مساحت سطح نمونه، انرژی سطح، شیمی سطح

پارامترهای مورد نیاز جهت کنترل کیفیت محصولات حاوی نانولوله‌های کربنی

بررسی‌های ساختاری	بررسی سطحی
دانسیته بالک	سطح ویژه
دانسیته ظاهری	انرژی سطحی
هدایت الکتریکی	PH
هدایت گرمایی	محتوی درصد اتمی C,N,S,O
قطر	محتوی PAH
طول	محتوی آب
مدول یانگ	نوع تخلخل ↙ میکرو ↘ مزو

جهت انجام تست‌های استاندارد و جستجوی روش‌های استاندارد امکان وجود چنین استانداردهایی باید مورد بررسی قرار گیرد:

- ✓ محتوی کاتالیست فلزی (توسط روش شیمی‌تر)
- ✓ دانسیته بالک (ASTM)
- ✓ مقاومت الکتریکی ویژه بالک (ASTM)
- ✓ میزان کربن موجود (با استفاده از TGA)
- ✓ پایداری حرارتی (با استفاده از TGA)
- ✓ محتوی ترکیبات آلی
- ✓ محتوی ترکیبات اکسید فلزی
- ✓ محتوی رطوبت بالک (ASTM)
- ✓ سطح ویژه محصولات
- ✓ ضریب حساسیت مغناطیسی (روش آماده‌سازی نمونه)

✓ پاسخ بیولوژیکی

در حالی که مقوله‌های نظیر طول، قطر، جهت‌گیری ویژه نانولوله‌های کربنی در راستای قطر (Chirality)، دانسیته نقایص، تابع کار و دیگر خواص نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

نکات مهم در بررسی طول و قطر (برای نمونه‌های بالک)

- استاندارد های CENTS³
- بهبود تکنیک‌های (SEM و TEM)
- تعریف اندازه نمونه
- نمونه‌برداری صحیح (به عنوان مثال استفاده از تست دانشجو T) دربرگیرنده سطوح اطمینان کافی
- آیا تجهیزات حاضر عملکرد مشابهی و تکرارپذیر تجهیزات
- اتوماسیون صحیح دستگاهها جهت کالیبراسیون استاندارد

موانع استانداردسازی در این حوزه

- جهت‌گیری و خمیدگی نانولوله‌های کربنی
- جداسازی توده‌های نانولوله‌های کربنی از یکدیگر
- تکنیک مورد استفاده جهت مشخصه یابی

نکات مهم در بررسی درصد خلوص (برای نمونه‌های بالک)

درصد وزنی و اتمی آن
چک کردن کارهای انجام شده در آمریکا و ژاپن (تکنیک‌های صحیح) و استانداردهای حاضر در این زمینه

³ - Committee European of Standardization Technical Specification

- تعریف اندازه نمونه
- نمونه برداری صحیح
- تکنیک‌ها (SEM و TEM) یا تکنیک‌های ترکیبی از آنها باید توسعه می‌یابند.
- استفاده از تجهیزات یکسان جهت انجام تست‌ها

موانع استانداردسازی در این حوزه

- تکنیک مورد استفاده
- قدرت تفکیک دستگاهها

امنیت و خطرات محیط زیستی در حوزه استاندارد سازی نانولوله های کربنی

ملاحظات مربوط به تولید و استفاده ایمن از نانولوله‌های کربنی

- مشتریان باید در مورد چگونگی کاربرد مواد آگاه شوند. در این صورت باید برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد تهیه گردند.
 - تولیدکنندگان باید در مورد نانوکامپوزیت‌ها به مشتریان خود باید آزمون‌های آزاد شدن نانولوله‌ها (بعنوان مثال بر اثر سوختن) را از ماده اصلی را انجام دهند، زیرا نتایج این آزمون‌ها بستگی زیادی به نوع مواد و کاربرد آنها دارند.
 - مطالعات میزان سمی بودن، راه‌های انتشار و حدود ایمن انتشار در هوا باید توسط مرجعی بی-طرف انجام شوند. در این زمینه فعالیت‌هایی در حال انجام است. از قبیل پروژه Nanosafe در اروپا و دو پروژه دیگر که تحت حمایت مالی اتحادیه اروپا آغاز شده‌اند.
 - تا زمانی که اطلاعات میزان سمی بودن و ایمنی مواد تهیه نشده‌اند، بخش صنعت مسئول تولید ایمن نانولوله‌های کربنی می‌باشد و باید اقدامات لازم برای به حداقل رساندن ریسک محیط‌های کاری را انجام دهد.
 - همچنین نیاز به استانداردهای زیر وجود دارد:
 - (۱) ممانعت از انتشار ذرات در محیط‌های کاری؛
 - (۲) حفاظت شخصی از کارکنان؛
 - (۳) اندازه‌گیری و کنترل ذرات در محیط کار
- اما با این حال هیچ استاندارد مشخص و متداولی برای کنترل فرآیندهای تولیدی وجود ندارد و به جای آن از استانداردهای کارخانه‌ای استفاده می‌شود.
- مباحث مشابهی نیز در مورد مصرف‌کنندگان مطرح است. به نظر می‌رسد وجود یک شاخص جهت تعیین تراکم مجاز مواد در هوا در محیط‌های صنعتی و اتاق‌های تمیز ضروری به نظر می‌رسد.

سیاست‌های جلوگیری از ریسک و پیشنهاداتی برای کاربرد ایمن نانومواد

۱. با توجه به اینکه نتایج مطالعات مربوط به خطرات و ریسک‌های نانوذرات هنوز تکمیل نشده‌اند، باید رویه‌هایی برای به حداقل رساندن این مخاطرات ارائه گردند.
۲. مقابله با ریسک‌های تولید نانولوله کربنی باید مشابه هر ماده بالقوه خطرناک دیگر باشد. برای این کار باید فرآیند را در سیستمی بسته محدود کرد تا انتشار مواد در محیط به حداقل برسد.
۳. ابزار حفاظتی که در صنعت کربن سیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند به عنوان مرجع در تولید نانولوله‌های کربن نیز مورد استفاده قرار بگیرند.
۴. میزان کارآمدی ابزار حفاظتی (مثل ماسک‌ها و فیلترها) باید در مورد نانولوله‌ها مورد بررسی قرار گیرند. شرکت انگلیسی Thomas Swan یک سری آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در زمینه تجمع ذرات در محیط‌های کاری انجام داده است. قرار است نتایج این بررسی به زودی منتشر شود و انتظار می‌رود به عنوان مرجعی برای سایر شرکت‌ها مورد استفاده قرار گیرد.
۵. تولیدکنندگان، مانند سایر بخش‌های صنعت، باید آزمایشات پزشکی سالیانه بر روی کارکنان خود به منظور اطمینان از حفظ سلامتی آنها انجام دهند.
۶. پیشنهاد تولیدکنندگان این است که در حین فرآیندهای بکارگیری محصولات آنها (از سوی مشتریان یا سایر تولیدکنندگان) باید توجهات خاصی مبذول داشته شوند، زیرا فرآیندها بسته نبوده و در نتیجه ریسک انتشار آنها در محیط بالاست.
۷. با هدف تضمین کیفیت، تولیدکنندگان باید قالب واحدی برای برگه‌های داده ایمنی مواد تهیه نمایند که در آنها اطلاعات کافی در مورد راه‌های بالقوه انتشار این مواد و روش صحیح حمل و نقل آنها به مشتریان داده شود.

نتیجه گیری

سه نیاز اصلی در روش‌های اندازه‌گیری: طول، قطر و نقطه پارگی الیاف بایستی مبنای ایجاد هماهنگی بین استانداردهای موجود و پروژه‌های استاندارد جدید معرفی شوند. بخش "صنعت" باید اطلاعات مرجعی در مورد تراکم، رطوبت و مقاومت ویژه کلوخه‌های مواد، ترکیبات شیمیایی، و اندازه‌گیری مساحت سطح با استفاده از روش‌های آزمون استاندارد تهیه نماید. این کار شامل تعیین روش استاندارد تهیه نمونه نیز می‌گردد (تهیه اطلاعات مرجع و تعیین روش استاندارد آماده‌سازی نمونه می‌توانند در قالب یک استاندارد صنعتی ارائه گردند). هرچند توانایی در اندازه‌گیری خواص الیاف و لوله‌ها، از قبیل هدایت الکتریکی حرارتی و الکتریکی در هر دو جهت (طول و عرض)، مدول یانگ، مقاومت کششی و برشی مورد نیاز بوده و در مواردی خاص ضروری نیز می‌باشند، بهتر است که توسعه چنین توانایی‌هایی را به دانشگاه‌ها بسپاریم.

منابع و مراجع

1. www.nanoeurope.org
2. www.impart-nanotox.org
3. www.semi.org
4. http://www.msel.nist.gov/Nanotube2/2nd_Joint_Workshop.htm
5. <http://www.compositesworld.com/ct/issues/2005/April/802>
6. www.dke.de/DKE/Aktuelles/Veranstaltungen/ShowEvent.htm?EventGuid=33b2fd10114-467c-8239-c3dc1cbd2eaf