

# Iranian National Standards Regarding Safety, Health, and Environmental Aspects of Nanotechnology: A Review

Soqrat Omari Shekaftik<sup>1</sup> , Nafiseh Nasirzadeh<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> MSc, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> PhD Student of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\* **Corresponding Author:** Nafiseh Nasirzadeh, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: Nasirzadeh.n@Tbzmed.ac.ir

## Abstract

**Received:** 04/03/2020

**Accepted:** 12/07/2020

### How to Cite this Article:

Omari Shekaftik S, Nasirzadeh N. Iranian National Standards Regarding Safety, Health, and Environmental Aspects of Nanotechnology: A Review. *J Occup Hyg Eng*. 2022; 8(4): 1-13. DOI: 10.52547/johe.8.4.1

**Background and Objective:** In recent years, the rapid growth of nanotechnology has posed challenges to the health and safety of nanomaterials. Standardization is one of the first steps in assessing and controlling the risks presented by nanotechnology. Therefore, the current study aimed to review the national standards of Iran regarding the safety, health, and environmental aspects of nanotechnology.

**Materials and Methods:** The present study was conducted in 2021 by searching in the portal of the Iranian National Standards Organization (INSO) using the keywords "nano" and "nanotechnology". The inclusion criteria were the standards related to the safety, health, and environmental aspects of nanotechnology. A validated checklist was used to assess the quality of the standards. Statistical analysis was performed in SPSS software (version 22).

**Results:** Out of 104 standards, 14 standards were related to safety, health, and the environment. The majority of the standards were translations of ISO and ASTM standards. The content analysis demonstrated that the standards, in the first years, pertained to the characteristics of nanomaterials; nonetheless, in recent years, they have shifted towards the prevention of exposure to nanomaterials and risk management. Statistical analysis indicated that most of the quality evaluation criteria were at the "good" level.

**Conclusion:** The existence of more than 100 standards highlights the critical importance of the standardization of nanotechnology in the country. Although most of the standards are related to nanotechnology safety in workplaces, we need to raise public and specialized awareness to implement and apply them at the national level.

**Keywords:** Nanotechnology; National Standard; Standardization; Safety; Health and Environmental

# مروری بر استانداردهای ملی ایران در ارتباط با جنبه‌های ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی فناوری نانو

سقراط عمری شکفتیک<sup>۱</sup>، نفیسه نصیرزاده<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: نفیسه نصیرزاده، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. ایمیل: Nasirzadeh.n@Tbmed.ac.ir

## چکیده

**سابقه و هدف:** در سال‌های اخیر، رشد سریع فناوری نانو چالش‌هایی را در زمینه بهداشت و ایمنی نانومواد مطرح کرده است. استانداردسازی یکی از اولین گام‌ها برای ارزیابی و کنترل مخاطرات حاصل از فناوری نانو است. این مطالعه با هدف مرور استانداردهای ملی ایران در ارتباط با جنبه‌های ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی فناوری نانو انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه در سال ۱۳۹۹، با جست‌وجو در پورتال سازمان ملی استاندارد انجام شد. جست‌وجو با کلیدواژه‌های «نانو»، «نانوفناوری» و «فناوری نانو» انجام شد. معیار ورود به مطالعه استانداردهای مربوط به ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست بود. به‌منظور ارزیابی کیفیت استانداردها از چک‌لیستی با روایی تأییدشده استفاده شد. تحلیل آماری با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

**یافته‌ها:** چهارده مورد از ۱۰۴ استاندارد موجود در زمینه نانوفناوری، در ارتباط با جنبه‌های ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست بود. بیشتر استانداردها ترجمه استانداردهای ISO یا ASTM بودند. تحلیل محتوا نشان داد استانداردهای تدوین‌شده در سال‌های اول در زمینه ارزیابی ویژگی‌های نانومواد بوده که در سال‌های اخیر به سمت پیشگیری از مواجهه و مدیریت خطر تمایل پیدا کرده است. تحلیل آماری نشان داد بیشتر معیارهای ارزیابی کیفیت در سطح «خوب» بوده است.

**نتیجه‌گیری:** وجود بیش از ۱۰۰ استاندارد منتشرشده، نشان‌دهنده توجه به اهمیت موضوع استانداردسازی نانوفناوری در کشور است. اگرچه بیشتر استانداردهای موجود درخصوص ایمنی محیط‌های کاری نانو است، نیازمند افزایش آگاهی‌های عمومی و تخصصی در زمینه پیاده‌سازی آن‌ها در سطوح ملی هستیم.

**واژگان کلیدی:** استانداردسازی؛ استاندارد ملی؛ بهداشت و محیط‌زیست؛ جنبه‌های ایمنی؛ نانوفناوری

## مقدمه

استفاده از نانومواد را در مهندسی ساختار (Structural engineering)، الکترونیک، اپتیک، کالاهای مصرفی، تولید و ذخیره انرژی، حفظ خاک و آب و همچنین در پزشکی به‌منظور اهداف درمانی و تشخیصی فراهم کرده است [۵].

با ظهور نانوفناوری، نانومادی که در صنایع یا آزمایشگاه‌ها تولید یا مصرف می‌شوند، کارکنان، مصرف‌کنندگان و محیط‌زیست را در معرض نسل جدیدی از مخاطرات هواپرد قرار داده‌اند [۶]. نگرانی‌ها درباره نانومواد زمانی بیشتر شد که مطالعات in vitro و in vivo اثرات بیولوژیکی و سمی آن‌ها را برای موجودات زنده تأیید کردند [۷-۱۰]. مطالعات یکی از پژوهشگران در محیط In-vitro نشان می‌دهد نانومادی نظیر نانومواد پایه

نانوفناوری (Nanotechnology) عبارت است از: به‌کارگیری دانسته‌های علمی برای ساخت، دستکاری و کنترل مواد نانومقیاس (Nanoscale) [۱]. نانوفناوری مقوله‌ای است که در چندین دهه اخیر به وجود آمده، شکل گرفته و همچنان با سرعت زیادی در حال گسترش است [۲]. در یک مقایسه کلی با میکرومواد، نانومواد سطح اختصاصی (Specific surface area) بیشتر و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی، مغناطیسی، مکانیکی، گرمایی و نوری خاصی دارند که آن‌ها را از مواد در اندازه‌های بزرگ‌تر متمایز می‌کند [۳، ۴]. پیشرفت‌های دهه‌های اخیر در زمینه نانوفناوری، نویدبخش تولید نانومواد جدید با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص است. این پیشرفت‌ها امکان

کربن ممکن است به مرگ سلولی سلول‌های اپیتلیال ریه انسان منجر شوند [۸،۱۱]. مطالعات اپیدمیولوژیک تأیید می‌کنند عمده مواجهه‌های شغلی با نانومواد به واسطه تجمع آن‌ها در هوا و استنشاق آن‌ها رخ می‌دهد. در این راستا مطالعات اخیر پژوهشگران همین مطالعه، وجود گونه‌های فعال اکسیژن را به‌عنوان بیوماکر آسیب اکسیداتیو در نمونه‌های هوای کارگران مواجهه‌یافته با نانومواد تأیید می‌کند [۹،۱۲].

همچنین نتایج پایان‌نامه یکی از پژوهشگران این مطالعه روی کارکنان شرکت‌های نانوفناوری در شهر تهران نشان می‌دهد فراوانی علائم پوستی (مانند زبری، خارش و قرمزی)، تنفسی (مانند سرفه، عطسه و سوزش گلو) و چشمی (مانند سوزش، خارش و قرمزی) در میان کارکنان شرکت‌های نانوفناوری نسبتاً زیاد است [۱۳]. از سوی دیگر، نانومواد ممکن است با سایر آلاینده‌های هوا ترکیب و به آلودگی‌های ثانویه منجر شوند [۱۴]. همچنین نانومواد در فاضلاب صنایع، بخصوص صنایع مرتبط به نانوفناوری انباشه می‌شوند و پس از ورود به اکوسیستم، به واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن، سبب مرگ حیوانات آبی می‌شوند [۱۵]. وجود نانومواد در آب احتمال حضور ترکیبات آلی را افزایش می‌دهد؛ لذا نگرانی‌های مرتبط به سمیت را دوچندان می‌کند [۱۶].

تماس با نانومواد در محیط کاری ممکن است ناشی از رها شدن نانومواد از پودرها، مایعات یا یک ماتریکس جامد باشد که حین تولید، مصرف یا بازیافت آن‌ها اتفاق می‌افتد [۱۷]. کار با پودرهای خشک، بیشترین خطر رها شدن و در نتیجه تماس را دارد [۱۸]. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۲۰، شش میلیون کارگر در سرتاسر جهان با نانومواد در تماس خواهند بود [۱۹]. تدوین استانداردها به‌عنوان گامی اساسی در ارزیابی و کنترل مخاطرات فناوری نانو دانسته می‌شود [۱۳]. هم‌زمان با ظهور و پیشرفت بسیار سریع فناوری نانو، سازمان‌های مختلف در سراسر جهان اقدام به تدوین و انتشار استانداردها (Standards)، راهنماها (Guidelines)، چارچوب‌ها (Frameworks)، روش‌ها (Methods) و شیوه‌های (Approches) جدید برای کار با نانومواد کرده‌اند [۲۰]. یکی از مهم‌ترین سازمان‌های فعال در این زمینه، سازمان جهانی استاندارد (ISO) است. در این سازمان یک کمیته فنی با عنوان «کمیته فنی فناوری‌های نانو» (ISO/TC 229: Nanotechnologies) به تدوین و انتشار استانداردهای مربوط به کار با نانومواد می‌پردازد [۲۱]. یکی از کارگروه‌های فعال در این کمیته، کارگروه «جنبه‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی فناوری‌های نانو» (Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies (ISO/TC 229/WG 3)) است [۲۲].

در ایران نیز با توجه به استقبال زیاد محققان و صنعتگران از فناوری نانو و رشد روزافزون شرکت‌های دانش‌بنیان و آزمایشگاه‌های تخصصی نانومواد، نیاز به تدوین استانداردهای ملی

در زمینه نانومواد احساس شده است. به موجب بند یک ماده سه قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ۱۳۷۱، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (با نام جدید سازمان ملی استاندارد) تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد. خوشبختانه، سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) است؛ لذا، 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 نیز بهره‌گیری می‌شود [۲۳].

با توجه به آنچه گفته شد، اهمیت استانداردها در ارزیابی و کنترل مخاطرات نانومواد به‌وضوح مشخص می‌شود. لذا هدف اصلی این مطالعه تحلیل محتوا و مروری بر استانداردهای ملی تدوین‌شده در حوزه فناوری نانو در ارتباط با جنبه‌های ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در ایران است.

### معرفی سازمان استاندارد و کمیته فنی فناوری نانو

سازمان جهانی استاندارد مهم‌ترین سازمان پیشرو در زمینه تدوین استانداردهای نانوفناوری است. در این سازمان یک کمیته فنی با عنوان فناوری‌های نانو (ISO/TC 229: Nanotechnologies) وجود دارد که به تدوین و انتشار استانداردهای مربوط به کار با نانومواد می‌پردازد. این کمیته از هشت کارگروه مختلف تشکیل شده است که هرکدام از آن‌ها در زمینه‌های خاصی فعالیت دارند. تاکنون ۷۳ استاندارد زیر نظر این کمیته تدوین و منتشر شده است. یکی از کارگروه‌های فعال در این کمیته، کارگروه «جنبه‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی فناوری‌های نانو» است. حاصل فعالیت این کارگروه، انتشار ۱۳ استاندارد در این سه زمینه است. اولویت‌های این کارگروه برای تدوین استانداردها عبارت‌اند از:

- ۱) روش‌های استاندارد برای پایش سم‌شناختی نانومواد
- ۲) روش‌های استاندارد برای کنترل مواجهه شغلی با نانومواد
- ۳) روش‌های استاندارد برای تعیین نسبی سمیت/خطر بالقوه نانومواد
- ۴) روش‌های استاندارد برای استفاده درست محیط‌زیستی از نانومواد
- ۵) روش‌های استاندارد برای اطمینان از ایمنی محصولات نانومواد [۲۲].

در ایران کمیته فنی متناظر استانداردسازی فناوری نانو با مشارکت سازمان ملی استاندارد ایران و ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، با عنوان کمیته فنی ISIRI/TC229 در تیرماه ۱۳۸۵ تشکیل شد. این کمیته به صورت متناظر با کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو (ISO/TC229) با هدف تهیه و تدوین استانداردهای مورد نیاز در حوزه فناوری نانو فعالیت می‌کند [۲۴].

منابع تألیفی (منابع داخلی یا خارجی) استفاده شده برای استانداردهای تألیف شده وجود آخرین نسخه استاندارد مرجع برای استانداردهای ترجمه شده زمان تدوین استاندارد در چهار بازه زمانی (۱-۲ سال، ۲-۴ سال، ۵ سال و بیش از ۵ سال) سازمان منتشرکننده (سازمان ملی استاندارد یا مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی) پس از تکمیل چکلیست برای هر استاندارد ملی، داده ها وارد نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ شدند و درصد فراوانی برای هر متغیر یا عبارت موجود در چکلیست برآورد شد.

### نتایج

با جستجوی کلی در مجموع ۱۰۴ استاندارد در زمینه فناوری نانو به دست آمد. با بررسی عناوین استانداردها، ۸۰ استاندارد به دلیل اینکه با جنبه های ایمنی، بهداشت و محیط زیست فناوری نانو ارتباطی نداشتند، از مطالعه حذف شدند. بررسی محتوای استانداردها نشان داد از ۲۴ استاندارد باقی مانده، ۱۰ استاندارد دیگر نیز با موضوع مدنظر بی ارتباط هستند، لذا از مطالعه حذف شدند. در نهایت، با توجه به معیارهای ورود به مطالعه، ۱۴ استاندارد باقی مانده بررسی و تحلیل شدند.

۱۴ / استاندارد بررسی شده شامل موارد زیر بودند:

- آیین کار سلامت و ایمنی در محیط های کار با نانومواد
- فناوری نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آیین کار
- فناوری نانو - آموزش نیروی کار برای تعیین مشخصات در فناوری نانو - آیین کار
- فناوری نانو - تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده
- فناوری نانو - آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد - راهنما
- فناوری نانو - آموزش نیروی کار در زمینه زیرساخت فناوری نانو - راهنما
- فناوری نانو - آموزش نیروی کار برای ایجاد الگو - راهنما
- فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار - راهنما
- فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۱: اصول و رهیافت ها
- فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده - قسمت ۲: استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی
- فناوری نانو - بررسی اجمالی چارچوب موجود برای ارائه حدود مجاز مواجهه شغلی و دسته بندی های آن برای نانواشیاء و انبوه ها و کلوخه های آن ها (NOAA)
- مواجهه در محیط کار - ارزیابی مواجهه پوستی با نانواشیاء و انبوه ها و کلوخه های آن ها (NOAA)
- فناوری نانو - راهنمای مشخصه یابی فیزیکو-شیمیایی مواد

کمیته استانداردسازی فناوری نانو ایران ۴ کارگروه تخصصی دارد که به صورت متناظر با کمیته بین المللی فعالیت می کنند. در این کارگروه ها حدود ۴۰ نفر از اساتید دانشگاه ها، پژوهشگران فعال در مؤسسات تحقیقاتی و شرکت های فعال در حوزه نانو عضویت دارند. حوزه فعالیت این کارگروه ها عبارتند از:

- ۱) تعیین تعاریف و اصطلاحات واحد و نام گذاری در ارتباط با فناوری نانو
- ۲) استانداردسازی روش های اندازه گیری و تعیین مشخصات نانومواد، نانو ساختارها، نانوقطعات و محصولات فناوری نانو
- ۳) توسعه و تدوین استانداردها در زمینه مسائل زیست محیطی، ایمنی و سلامت، تعیین تجهیزات حفاظت شخصی و کنترل های مهندسی، تدوین دستورالعمل های ایمنی، بررسی و ارزیابی سمیت و خطرات
- ۴) استانداردسازی ویژگی های نانو مواد.

### روش کار

#### روش بررسی

مطالعه حاضر به صورت مروری در اسفند ۱۳۹۹ انجام شده است. به منظور دسترسی به استانداردهای منتشرشده ملی ایران جست و جو در پورتال سازمان ملی استاندارد ایران (<http://standard.isiri.gov.ir>) با کلیدواژه های «نانو»، «نانوفناوری»، «فناوری نانو» و «نانوتکنولوژی» در قسمت موضوع انجام شد. استانداردهایی واجد شرایط ورود به مطالعه بودند که موضوع آن ها در ارتباط با جنبه های ایمنی، بهداشت و محیط زیست فناوری نانو بود. به منظور کاهش خطا در دسترسی به استانداردها، دو فرد به صورت مستقل جست و جو کردند. در نهایت استانداردها با توجه به عنوان و با کمک نرم افزار Excel جمع بندی شدند و در صورت وجود اختلاف بین پذیرش یک استاندارد با توجه به معیارهای ورود، آن ها با بحث و گفت و گو حل می شد یا از نفر سوم برای اظهار نظر استفاده می شد.

پس از جمع بندی، به منظور بررسی محتوا و کیفیت استانداردها، از چکلیست تدوین شده بر اساس استاندارد سازمان های ISO و IEC استفاده شد [۲۵]. روایی محتوایی چکلیست به صورت کیفی و با کمک گرفتن از نظرات پنج نفر متخصص بهداشت حرفه ای و نانوفناوری پزشکی انجام شد. برای بررسی هر استاندارد چکلیست مذکور تکمیل شد. این چک لیست ۱۱ عبارت اصلی (عنوان، فهرست مطالب، پیشگفتار، مقدمه، دامنه کاربرد، اصطلاحات و تعاریف، شکل ها، نمادها و اختصارات، جداول، متن و منابع) و ۲۸ عنوان فرعی را در سه سطح خوب، متوسط و ضعیف ارزیابی می کرد. همچنین ۵ عبارت در انتهای چکلیست نیز موارد زیر را ارزیابی می کردند: حضور یا غیبت متخصص ایمنی، بهداشت و محیط زیست در کمیسیون تدوین استاندارد

نانومقیاس مهندسی شده برای ارزیابی توکسیکولوژیک فناوری نانو - گردآوری و شرح روش‌های غربالگری توکسیکولوژیک برای نانومواد ساخته شده

جدول ۱ فراوانی و درصد فراوانی را برای هر متغیر یا عبارت بررسی شده در استانداردهای ملی نشان می‌دهد. مطابق با این جدول، سیر عنوان از کلیات موضوع مدنظر به سمت دامنه کاربرد در همه استانداردها خوب بوده است. همچنین معیارهای فهرست برای صد درصد استانداردها نیز خوب بود. هیچ کدام از استانداردها پیشگفتار نداشتند. ۷۸/۶ درصد (۱۱ مورد) از استانداردها مقدمه خوبی داشتند و تنها یک مورد از استانداردها مقدمه نداشت که این مورد مربوط به استاندارد «فناوری نانو - آموزش نیروی کار برای تعیین مشخصات در فناوری نانو - آیین کار» بود.

هدف از کاربرد در تمام استانداردها به خوبی ذکر شده است. در ۸۵/۷ درصد (۱۲ مورد) اصطلاحات و تعاریف به اندازه کافی بود و با ذکر منبع معتبر برای تعاریف در متن استانداردها گنجانده شده بود. ۶ مورد از استانداردها (۴۲/۹ درصد) شکل نداشتند و از ۸ مورد باقی مانده، ۵ مورد (۳۵/۷ درصد) کیفیت متوسط در اشکال داشتند. ضمن اینکه در همه آن‌ها شکل‌ها به درستی شماره گذاری شده و در متن استاندارد به آن‌ها نیز اشاره شده بود. ۶۴/۳ درصد (۹ مورد) از استانداردها جداول تاپی داشتند و عنوان، شماره گذاری و اشاره به جدول در متن برای آن‌ها در سطح خوب بود. ضمن اینکه نگارش متن در بیشتر استانداردها (۷۱/۴ درصد) در سطح متوسط بود. در جدول ۱ جزئیات بیشتری در ارتباط با بررسی هر معیار برای استانداردها آورده شده است.

جدول ۲، بررسی ۵ متغیر یا عبارت انتهایی چکلیست بررسی را برای همه استانداردها با جزئیات بیشتر نشان می‌دهد. مطابق با این جدول، به غیر از دو استاندارد، بقیه استانداردها ترجمه شده استانداردهای ISO و ASTM هستند. از زمان تدوین بیشتر استانداردها (۴۲/۹ درصد، ۶ مورد)، ۵ سال می‌گذرد و همگی بدون تجدید نظر هستند. به طوری که در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ تعداد تدوین استانداردهای نانو بیشتر از سایر سال‌ها بوده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد انتشار اولین استاندارد ملی مربوط به حوزه ایمنی، بهداشت و محیط زیست نانوفناوری، مربوط به سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) بوده است. به غیر از ۳ مورد، سازمان ملی استاندارد ایران انتشار بیشتر استانداردها را برعهده داشته است. این سه استاندارد شامل استاندارد «آیین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد»، «فناوری نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آیین کار» و «فناوری نانو - آموزش نیروی کار در زمینه زیرساخت فناوری نانو - راهنما» هستند.

تحلیل محتوا نشان می‌دهد استانداردهای تدوین شده در سال‌های اولیه به مبحث بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد، تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده و مدیریت ریسک نانو مواد پرداخته‌اند. استانداردهای تدوین شده در سال ۱۳۹۵، بیشتر به موضوعات مرتبط

به حوزه سم شناسی و ارزیابی ویژگی‌های نانومواد اشاره دارند. همچنین استانداردهای تدوین شده در دو سال اخیر (۱۳۹۷ به بعد) بر جنبه‌های آموزش نیروی کار در راستای پیشگیری از مواجهه هنگام تعیین مشخصات ماده، سنتز و نیز مدیریت ریسک و حدود مجاز مواجهه با نانومواد اشاره داشتند. ضمن اینکه بیشتر آن‌ها ترجمه استاندارد ISO و ASTM هستند [۲۶، ۲۷]. تحلیل محتوا نشان می‌دهد عمده استانداردها مبحث کار با نانومواد را در محیط‌های شغلی پوشش می‌دهند و بیشتر آن‌ها به جنبه‌های بهداشتی نانوفناوری اشاره دارند و مبحث محیط زیست کمتر بررسی شده است.

در ادامه به بررسی جزئیات تک تک استانداردها، با در نظر گرفتن متغیرهای بررسی شده در چکلیست ارزیابی پرداخته شده است.

### آیین کار، سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد [۲۸]

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی‌هایی است که بتواند در محیط‌های کاری نانو به ایجاد کنترل‌های اختصاصی و در نتیجه حفظ سلامت و ایمنی کارکنان و محیط زیست کمک کند. در عنوان انگلیسی آن (Nanotechnology - Health and safety in nano (Occupational settings - Code of Practices)، «سیر از کلیات موضوع به سمت دامنه کاربرد» به خوبی رعایت شده است، اما عنوان فارسی آن چندان متناسب نیست. از نکات مثبت این استاندارد می‌توان به کاربردی بودن و نیز متن روان آن اشاره کرد.

### فناوری نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد - آیین کار [۲۹]

این استاندارد در سال ۱۳۹۰ تدوین شده است. عنوان مناسبی دارد و به هدف و دامنه کاربرد آن به خوبی اشاره شده است. هدف از تدوین آن، ایمنی برای عموم، پیشگیری از آلودگی محیط زیست، پیشگیری از ایجاد خسارت و ایجاد امکان حمل و نقل نانومواد عنوان شده است. در رابطه با شکل‌های استفاده شده در این استاندارد می‌شد بهتر عمل کرد؛ اما جداول به صورت تاپی بود و کیفیت مناسبی دارند. از اشکالات این استاندارد می‌توان به کمتر کاربردی بودن آن اشاره کرد و اینکه اجرای این استاندارد در محیط‌های کاری و آزمایشگاهی نانو، نیازمند آشنایی با طیف وسیعی از استانداردهای دیگر است.

### فناوری نانو - آموزش نیروی کار برای تعیین مشخصات در فناوری نانو - آیین کار [۳۰]

منظور از تعیین مشخصات (Characterization) در این استاندارد عبارت است از: مشخص کردن ساختار و ترکیب یک ماده و نیز خواص فیزیکی یا شیمیایی آن. این استاندارد در سال ۱۳۹۵ تدوین شده و هدف آن ارائه روش‌های تعیین مشخصات مواد در مقیاس نانو عنوان شده است. این استاندارد فهرستی از مباحث کلیدی در چنین

جدول ۱: فراوانی و درصد فراوانی معیارهای بررسی شده در استانداردهای ملی فناوری نانو در حوزه ایمنی، بهداشت و محیط زیست

قسمت های مختلف استاندارد	نکات بررسی شده	فراوانی (درصد)			ذکر نشده در استاندارد
		خوب	متوسط	ضعیف	
عنوان	سیر عنوان از کلیات موضوع مدنظر به سمت دامنه کاربرد استاندارد	۱۴ (۱۰۰)	-	-	-
	توانایی عنوان در نمایاندن دامنه کاربرد استاندارد	۱۰ (۷۱/۴)	۴ (۲۸/۶)	-	-
	کوتاهی و وضوح عنوان	۱۲ (۸۵/۷)	۲ (۱۴/۳)	-	-
فهرست مطالب	تناسب ترتیب فهرست از بالا به پایین	۱۴ (۱۰۰)	-	-	-
	تناسب تقسیم بندی بخش ها و زیربخش ها	۱۴ (۱۰۰)	-	-	-
پیشگفتار	اشاره به تغییرات و بهبودهای اعمال شده (فقط در زمینه استانداردهای تجدیدنظر شده)	-	-	-	۱۴ (۱۰۰)
	اشاره به دیگر سازمان های درگیر در تدوین استاندارد (در صورت وجود)	-	-	-	۱۴ (۱۰۰)
مقدمه	توانایی مقدمه در آگاه سازی	۱۱ (۷۸/۶)	-	۲ (۱۴/۳)	۱ (۷/۱)
	سیر مقدمه از کلیات موضوع مدنظر، به سمت دامنه کاربرد استاندارد	۱۱ (۷۸/۶)	-	۲ (۱۴/۳)	۱ (۷/۱)
دامنه کاربرد	بیان هدف استاندارد مدنظر	۱۴ (۱۰۰)	-	-	-
	بیان اینکه استاندارد مدنظر کجا کاربرد دارد و کجا ندارد	۱۳ (۹۲/۹)	۱ (۷/۱)	-	-
	تناسب محتویات استاندارد با دامنه کاربرد آن	۱۱ (۷۸/۶)	۳ (۲۱/۴)	-	-
اصطلاحات و تعاریف	کفایت (زیاد نبودن/کم نبودن) اصطلاحات و تعاریف	۱۲ (۸۵/۷)	۱ (۷/۱)	-	۱ (۷/۱)
	تناسب اصطلاحات و تعاریف با محتویات و دامنه کاربرد استاندارد	۱۱ (۷۸/۶)	۳ (۲۱/۴)	-	-
	ذکر منبع معتبر برای تعاریف	۱۲ (۸۵/۷)	۲ (۱۴/۳)	-	-
شکل ها	عنوان شکل ها	۸ (۵۷/۱)	-	-	۶ (۴۲/۹)
	کیفیت شکل ها	۲ (۱۴/۳)	۵ (۳۵/۷)	۱ (۷/۱)	۶ (۴۲/۹)
	شماره گذاری درست شکل ها	۸ (۵۷/۱)	-	-	۶ (۴۲/۹)
	اشاره به شکل ها در متن	۸ (۵۷/۱)	-	-	۶ (۴۲/۹)
نمادها و اختصارات	شرح اختصارات در ابتدای استاندارد	۵ (۳۵/۷)	-	۸ (۵۷/۱)	۱ (۷/۱)
	شرح نمادها در اولین کاربرد و به صورت مناسب	۵ (۳۵/۷)	-	۸ (۵۷/۱)	۱ (۷/۱)
جداول	عنوان جداول	۹ (۶۴/۳)	-	-	۵ (۳۵/۷)
	تایپی بودن جداول (عکس نباشند)	۹ (۶۴/۳)	-	-	۵ (۳۵/۷)
	شماره گذاری صحیح	۹ (۶۴/۳)	-	-	۵ (۳۵/۷)
	اشاره به جداول در متن	۹ (۶۴/۳)	-	-	۵ (۳۵/۷)
متن	وضوح و استفاده از زبان ساده و علمی	۴ (۲۸/۶)	۱۰ (۷۱/۴)	-	-
	کوتاهی جملات	۴ (۲۸/۶)	۱۰ (۷۱/۴)	-	-
	همگنی و تناسب فرمت؟	۴ (۲۸/۶)	۴ (۲۸/۶)	۶ (۴۲/۸)	-
چند سال از زمان تدوین استاندارد می گذرد؟					
		۲-۱ سال	۲-۴ سال	۵ سال	بیش از ۵ سال
آیا متخصص ایمنی، بهداشت و محیط زیست در کمیسیون تدوین استاندارد حضور داشته است؟					
		بله	خیر		
		۱۱ (۷۸/۶)	۳ (۲۱/۴)		
روش تدوین استاندارد به چه شکلی بوده است؟					
		ترجمه	تألیف		
		۱۲ (۸۵/۷)	۲ (۱۴/۳)		
در صورت ترجمه بودن استاندارد، آیا از آخرین نسخه استاندارد مرجع استفاده شده است؟					
		بلی	خیر		
		۱۱ (۷۸/۶)	۱ (۷/۱)		
در صورت تألیفی بودن استاندارد، از چه منابعی برای تألیف آن استفاده شده است؟					
		داخلی	خارجی	هر دو	هیچ کدام
		-	-	۲ (۱۴/۲۹)	۱۲ (۸۵/۷۱)
سازمان منتشرکننده استاندارد کدام است؟					
		ملی استاندارد	تحقیقات صنعتی		
		۱۱ (۷۸/۶)	۳ (۲۱/۴)		



جدول ۲: جزئیات پنج معیار کلی بیان شده در انتهای چک لیست ارزیابی استانداردهای ملی فناوری نانو در حوزه ایمنی، بهداشت و محیط زیست

استاندارد	حضور و عدم حضور			منابع تألیفی	استاندارد مرجع ترجمه	تجدید استاندارد		مدت زمان گذشته از تدوین استاندارد (سال)	سازمان منتشرکننده
	حضور	عدم حضور	داخلی	خارجی		تجدید شده	تجدید نشده		
استاندارد شماره ۱*	*			*		*		>۵	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
استاندارد شماره ۲	*			*		*		>۵	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
استاندارد شماره ۳		*		*	ASTM E3001:2015	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۴	*			*	ISO/TR13329:2012	*		۵	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۵		*		*	ASTM E3071:2016	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۶		*		*	ASTM E3059:2016	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۷		*		*	ASTM E3034:2015	*		۵	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۸	*			*	ASTM E2996:2015	*		۵	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۹				*	ISO/TS 12901 1:2012	*		>۵	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۱۰		*		*	ISO/TS 12901 2:2014	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۱۱	*			*	ISO/TR 18637: 2016	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۱۲	*			*	ISO/TS 21623:2017	*		۴-۲	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۱۳	*			*	ISO/TR 13014:2012/Cor.1:2012	*		۵	سازمان ملی استاندارد ایران
استاندارد شماره ۱۴	*			*	ISO/TR 16197:2014	*		۵	سازمان ملی استاندارد ایران

\*: شماره استانداردها به ترتیب عناوین ذکر شده در بالای جدول است.

برنامه آموزشی ای را فراهم کرده است، ولی محتوای آموزشی خاصی را مطرح نمی کند که این دوره آموزشی را دربر بگیرد. همچنین این استاندارد ملاحظات ایمنی و بهداشتی را هنگام استفاده از روش های تعیین مشخصات مواد نانومقیاس پوشش نمی دهد. استاندارد بخش های مقدمه و توصیف نمادها و اختصارات ندارد.

#### فناوری نانو - تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده [۳۱]

این استاندارد در سال ۱۳۹۴ تدوین شده است. هدف آن

ارائه راهنما به منظور تدوین محتوا، تطابق و ارتباط اطلاعات در زمینه ایمنی، بهداشت و مسائل محیط زیستی در برگه های اطلاعات ایمنی نانومواد مهندسی شده و همچنین محصولات شیمیایی حاوی نانومواد مهندسی شده است. این استاندارد مکملی برای استاندارد ISO 11014:2009 است که به طور کلی به تهیه برگه اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی می پردازد. جداول به صورت تاییپی بود و کیفیت مناسبی داشتند. در متن رفرنس دهی انجام نشده است، ولی منابع در پایان استاندارد به خوبی گزارش شده اند.

متأسفانه این استاندارد همچنان در پرتال سازمان ملی استاندارد ایران معتبر گزارش شده است.

#### فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده

##### - قسمت ۱: اصول و رهیافت ها [۳۶]

این استاندارد در سال ۱۳۹۴ تدوین شده است. هدف آن ارائه راهنما در زمینه معیارهای سلامت و ایمنی شغلی در رابطه با نانومواد مهندسی شده است.

این استاندارد مطالبی را در خصوص کنترل ها و تجهیزات حفاظت فردی مناسب کار با نانومواد در اختیار خواننده قرار می دهد. اصطلاحات، اختصارات و نمادهای به کاررفته در آن به خوبی تشریح شده است. جداول به صورت تاییبی هستند و کیفیت مناسبی دارند، گرچه کیفیت شکل ها می توانست بهتر باشد. استاندارد مرجع این استاندارد در حال ارتقا است و به محض انتشار آن توسط سازمان ISO، استاندارد حاضر نیز به ارتقا نیاز خواهد داشت.

#### فناوری نانو - مدیریت ریسک شغلی نانومواد مهندسی شده

##### - قسمت ۲: استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی

[۳۷]

این استاندارد در سال ۱۳۹۷ تدوین شده است. هدف این استاندارد، توصیف استفاده از رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی (Control Banding Approach) برای کنترل خطرات مرتبط با مواجهه شغلی با نانو اشیاء و انبوهه ها و کلوخه های آن هاست.

رویکرد دسته بندی اقدامات کنترلی، در مواردی که اطلاعات سم شناختی و مواجهه ای محدود باشند یا وجود نداشته باشند، کاربرد خوبی دارد. این استاندارد به ویژه برای کنترل مواجهه استنشاقی ایجاد شده است. جداول به صورت تاییبی هستند و کیفیت خوبی دارند. استاندارد مرجع این استاندارد در حال ارتقا است و به محض انتشار آن توسط سازمان ISO، استاندارد حاضر نیز به ارتقا نیاز خواهد داشت.

#### فناوری نانو - بررسی اجمالی چارچوب موجود برای ارائه

##### حدود مجاز مواجهه شغلی و دسته بندی های آن برای

##### نانو اشیاء و انبوهه ها و کلوخه های آن ها (NOAA) [۳۸]

این استاندارد در سال ۱۳۹۷ تدوین شده و به علت ترجمه نامناسب، عنوان آن کمی گنگ است. هدف از تدوین آن، بررسی اجمالی روش ها و فرایندهای در دسترس برای ارائه حدود مواجهه شغلی و دسته بندی های مواجهه شغلی برای نانو اشیای ساخته شده و انبوهه ها و کلوخه های آن ها، به منظور استفاده در مدیریت ریسک بهداشت شغلی عنوان شده است. اصطلاحات، نمادها و اختصارات استفاده شده در این استاندارد،

#### فناوری نانو - آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری

##### مواد - راهنما [۳۲]

این استاندارد در سال ۱۳۹۷ تدوین شده است. عنوان آن به خوبی ترجمه شده است و هدف و دامنه کاربرد آن را به خوبی نشان می دهد. در اهداف و دامنه کاربرد این استاندارد به صراحت عنوان شده که بنا ندارد به همه موارد مربوط به ایمنی و بهداشت هنگام تولید و فرآوری نانومواد بپردازد. هدف آن ارائه چارچوبی برای آموزش پایه ای نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد نانومقیاس است. این استاندارد فهرستی از موضوعات کلیدی را بیان می کند که باید در برنامه آموزشی ارائه شوند، اما هیچ کدام از آن ها را توضیح و بسط نمی دهد.

#### فناوری نانو - آموزش نیروی کار در زمینه زیرساخت

##### فناوری نانو - راهنما [۳۳]

این استاندارد در سال ۱۳۹۷ تدوین شده است. هدف از تدوین آن ارائه دستورالعمل هایی برای آموزش پایه ای نیروی کار در زمینه زیرساخت فناوری نانو است. مباحث به صورت تیتروار بیان شده و توضیح داده نشده اند. با وجود وضوح ناکافی متن، می توان موارد تعیین شده را در اهداف آن استحصال کرد.

#### فناوری نانو - آموزش نیروی کار برای ایجاد الگو - راهنما

##### [۳۴]

این استاندارد در سال ۱۳۹۵ تدوین شده است. هدف از تدوین این استاندارد ارائه راهنمایی هایی به منظور آموزش نیروی کار در زمینه ایجاد الگوی مرتبط با فناوری نانو عنوان شده است. فرد پس از آموزش بر مبنای این راهنمایی ها، می تواند در تبیین الگوی مقیاس نانو مشارکت داشته باشد. این استاندارد تصریح می کند که همه ملاحظات ایمنی را در نظر نگرفته است. همچنین بخش های مقدمه و تشریح نمادها و اختصارات ندارد.

#### فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار -

##### راهنما [۳۵]

این استاندارد در سال ۱۳۹۵ تدوین شده است. هدف آن ارائه دستورالعملی برای آموزش پایه ای نیروی کار در موضوع سلامت و ایمنی مرتبط با فناوری نانو است. این استاندارد فهرستی از موضوعات کلیدی را بیان می کند که توصیه می شود در برنامه آموزش فناوری نانو گنجانده شوند، اما مواد آموزشی خاص دوره را ارائه نمی کند که باید در این قبیل برنامه ها استفاده شود. استاندارد بخش مقدمه و توصیف نماد و اختصارات ندارد. با وجود اینکه استاندارد مرجع این استاندارد (ASTM E2996 - 15) از اعتبار خارج شده و با استاندارد ASTM E2996 - 20 جایگزین شده است،



به‌خوبی تشریح شده‌اند. کیفیت جداول و اشکال استاندارد مناسب است. رفرنس‌دهی داخل متن آن مناسب نیست و هماهنگی ندارد.

#### مواجهه در محیط کار - ارزیابی مواجهه پوستی با نانواشیاء و انبوه‌ها و کلوخه‌های آن‌ها (NOAA) [۳۹]

این استاندارد در سال ۱۳۹۷ تدوین شده است. هدف از تدوین آن ارائه رویکردی نظام‌مند برای ارزیابی قابلیت ریسک‌های شغلی مرتبط با نانواشیاء و انبوه‌ها و کلوخه‌های آن‌ها عنوان شده است. استفاده از محتوای رنگی در صفحه نخست استاندارد به‌خوبی معلوم شده است. شکل‌ها در اصل بزرگ بوده و بعد کوچک شده‌شاند و کیفیت مناسبی ندارند. جداول به صورت تاپی هستند و کیفیت مناسبی دارند. رفرنس‌دهی داخل متن می‌توانست بهتر باشد.

#### فناوری نانو - راهنمای مشخصه‌یابی فیزیکی-شیمیایی مواد نانومقیاس مهندسی‌شده برای ارزیابی توکسیکولوژیک [۴۰]

این استاندارد در سال ۱۳۹۵ تدوین شده است. هدف آن ارائه یک راهنما برای مشخصه‌یابی فیزیکی-شیمیایی نانواشیاء ساخته‌شده و انبوه‌ها و کلوخه‌های آن‌ها برای آزمون‌های سم‌شناسی به‌منظور ارزیابی و تفسیر اثر سمیت نانواشیاء عنوان شده است. این استاندارد برای گروه‌هایی کاربرد دارد که به ارزیابی و تفسیر اثر سمیت احتمالی نانو تولیدی علاقمند هستند. ترکیب «فیزیکی-شیمیایی» که در عنوان و متن این استاندارد استفاده شده است، چندان مصطلح نیست؛ به‌جای آن می‌توان «فیزیکی-شیمیایی، فیزیکی-شیمیایی یا فیزیکی-شیمیایی» به کار برد.

#### فناوری نانو - گردآوری و شرح روش‌های غربالگری توکسیکولوژیک برای نانومواد ساخته‌شده [۴۱]

این استاندارد در سال ۱۳۹۵ تدوین شده است. هدف آن تعیین دو روش برون‌تنی و درون‌تنی است که در آزمون‌های توکسیکولوژیک نانومواد مهندسی‌شده کاربرد دارد. آزمون‌های بیان‌شده در این استاندارد در موارد تصمیم‌گیری سریع در تحقیقات، بازخورد سریع نگرانی‌های ایمنی و سم‌شناختی، توسعه محصول و ارزیابی اولیه نانومواد ساخته‌شده کاربرد دارند.

### بحث

استانداردسازی یکی از گام‌های اولیه در ارزیابی و کنترل مخاطرات حاصل از فناوری نانو در نظر گرفته می‌شود. در ایران تدوین استانداردهای مرتبط به نانوفناوری بر عهده کمیته فناوری نانو - وابسته به سازمان ملی استاندارد - است. یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد تعداد استانداردهای مرتبط به نانوفناوری در

ایران حدود ۱۰۴ عدد است که این تعداد دقیقاً مطابق با تعداد منتشرشده در پایگاه جهانی آمار فناوری نانو است [۴۲]. در این کمیته ۱۴ استاندارد مرتبط به موضوع ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست تدوین شده است که بر اساس جدول ۲، عمده آن‌ها ترجمه استانداردهای ISO و ASTM هستند. نکته جالب توجه این است که مقایسه تعداد استانداردهای ملی تدوین‌شده با ISO نشان می‌دهد تعداد استانداردهای تدوین‌شده مربوط به نانوفناوری در ایران بیشتر از استانداردهای منتشرشده ISO هستند [۴۳]. طبیعتاً وجود استانداردهای تألیفی و بهره‌گیری از استانداردهای سازمان‌هایی غیر از ISO، همچون ASTM دلیل این موضوع بوده است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد از زمان تدوین بیشتر استانداردها حداقل ۵ سال می‌گذرد، به‌طوری‌که در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ تعداد تدوین استانداردهای نانو بیشتر از سایر سال‌ها بوده است. در این راستا مقایسه نتایج ما با آمار پایگاه جهانی نانو نشان می‌دهد در این سال‌ها ایران سومین کشور منتشرکننده استانداردهای نانوفناوری در جهان بوده که تعداد انتشاراتش از ۷۳ عدد در سال ۱۳۹۵، به ۹۵ عدد در سال ۱۳۹۷ رسیده است [۴۲]. این مقایسه آماری بین یافته‌های مطالعه ما و پایگاه جهانی نانو حاکی از آن است که ۲۲ استاندارد اضافه‌شده طی دو سال بیشتر حوزه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست را پوشش می‌دادند که هماهنگ با یافته‌های مطالعه حاضر است.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد انتشار اولین استاندارد ملی مربوط به حوزه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست نانوفناوری مربوط به سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) بوده است. Blind و همکاران گزارش کردند انستیتوی استانداردسازی انگلیس (BSI) اولین مؤسسه‌ای بوده است که استانداردهایی را در ارتباط با نانوفناوری در اروپا منتشر کرد (سال ۲۰۰۳). در سال ۲۰۰۴ در انگلستان، انجمن سلطنتی به تدوین استانداردهای خاصی برای خطرات احتمالی بهداشت و ایمنی فناوری نانو پرداخت. در همان سال کمیسیون اروپا در انتشار استانداردهای خود بر جنبه‌های بهداشت و ایمنی تأکید کرد [۴۴]. چین به‌عنوان یک کشور آسیایی، از اولین کشورهایی بود که در یک بازه زمانی بسیار کوتاه، استانداردهای فناوری نانو را در همان سال منتشر کرد. Zhao و همکاران گزارش دادند استانداردسازی نانو در جنبه‌های سلامت و محیط‌زیست در چین از سال ۲۰۰۶ و توسط مرکز ملی علوم و فناوری نانو (NCST) با تصمیم به ایجاد آزمایشگاه ایمنی زیستی انجام شده است [۴۵]. سوابق انتشار استانداردهای ایران در قیاس با سایر کشورها در مطالعات منتشرشده پژوهشگران نشان می‌دهد با اینکه ایران با اختلاف زمانی حدود ۶ سال نسبت به کشورهای اروپایی و آسیای شرقی به تدوین استانداردهای نانوفناوری مرتبط با ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست پرداخته است، طی سالیان اخیر

در زمینه تدوین استانداردها رشد بسیار خوبی داشته است.

تحلیل محتوا نشان می دهد استانداردهای تدوین شده در سال ۱۳۹۵، بیشتر به موضوعات مرتبط به حوزه سم شناسی و ارزیابی ویژگی های نانومواد پرداخته اند. موضوعات مرتبط به حوزه سم شناسی به صورت کلی مطرح شده اند و به نانوماده خاصی مربوط نیستند. در تضاد با این یافته ها، Park و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند در راهنمای تدوین شده US-EPA، به ۱۳ ماده از جمله نانولوله های کربنی و فولرن ها پرداخته شده است [۴۶]. مقایسه نتایج نشان می دهد در استانداردهای ISO شناسایی ترکیبات خاصی مثل نانولوله های کربنی به صورت استانداردهای جداگانه است [۴۷، ۴۸]. با توجه به این یافته ها، ضرورت تدوین استانداردهای ملی در ارتباط با سمیت نانومواد خاص احساس می شود.

یافته های مطالعه حاضر نشان می دهد استانداردهای تدوین شده در دو سال اخیر (۱۳۹۷ به بعد) بر جنبه های آموزش نیروی کار در راستای پیشگیری از مواجهه هنگام تعیین مشخصات ماده، سنتز و نیز مدیریت ریسک و حدود مجاز مواجهه با نانومواد اشاره داشتند که بیشتر آن ها ترجمه استاندارد ISO و ASTM بوده است [۲۶، ۲۷]. رویکرد مدیریت ریسک نانومواد به وضوح در مطالعه Foladori و همکاران بیان شده است. آن ها گزارش کردند مکزیکی پیش از این چندین آیین نامه را در زمینه فناوری نانو صادر کرده است که مدیریت ریسک نانومواد از جمله مهم ترین مباحث مطرح شده در آن ها است [۴۹]. در یک مطالعه جامع تر در ارتباط با مدیریت ریسک در استانداردهای نانوفناوری، Hatto در مطالعه خود اعلام می کند که رویکرد مدیریت ریسک در استانداردهای نانوفناوری کاملاً مطابق با چیزی است که تقریباً همه سازمان های بین المللی از جمله انستیتوی ملی ایمنی و بهداشت شغلی در آمریکا ترویج کرده اند [۵۰]. این موضوع نشان دهنده قوت استانداردهای ملی تدوین شده است که در راستای رویکرد استانداردهای جهانی توسعه یافته اند.

بیشتر استانداردها مبحث کار با نانومواد را در محیط های شغلی پوشش می دهند و بیشتر آن ها به جنبه های بهداشتی نانوفناوری اشاره دارند و مبحث محیط زیست کمتر بررسی شده است. استانداردهای محیط زیست به کنترل ورود و انتشار نانومواد در محیط زیست، ارزیابی چرخه عمر نانومواد و اثرات آن ها بر محیط زیست و اکوسیستم متمرکز هستند [۵۱]. این استانداردها دو حوزه مهم «محصولات کشاورزی در معرض یا حاوی مواد نانو» و «اکوسیستم های در معرض انتشار و تجمع نانومواد یا پسماندهای آن» را دربر می گیرند [۵۲]. Bundschuh و همکاران بیان می کنند تولید محصولات گوناگون در سراسر جهان نشان دهنده این است که افراد زیادی در جامعه به طور مستقیم یا غیرمستقیم با نانومواد مواجه دارند. مسلماً هرچه محصولات بیشتر و متنوع تر تولید شود، پسماندهای نانو نیز در محیط های

بیشتری منتشر می شوند و تجمع می کنند [۵۳].

این در حالی است که نتایج تحلیل محتوای این مطالعه نشان می دهد استانداردهای جامع و اختصاصی در زمینه ارزیابی مصرف و اثرات نانومواد به طوری که احتمال خطر برای انسان و دیگر اجزای اکوسیستم نداشته باشد، وجود ندارد. هماهنگ با یافته های این مطالعه، انتشارات مطالعات ارتباطات و فناوری های نوین مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی اعلام کرده است میزان توجه به استانداردهای ملی ایمنی زیست محیطی به ویژه در بخش کشاورزی در مواجهه با محصولات نانو کافی نیست. این در حالی است که انواع کودهای حاوی نانوذرات در سطح جهان به صورت تجاری عرضه و مصرف می شوند. [۵۲]. شاید بتوان کم بودن تعداد استانداردهای این بخش را به کوچک بودن دامنه محصولات غذایی نانویی دارای مجوز رسمی (مثل مجوزهای FDA) نسبت داد. به هر حال، نیاز به تدوین استانداردهای ملی فناوری نانو مسلم است تا بتواند حوزه زیست محیطی را به طور اختصاصی پوشش دهد.

نتایج این مطالعه نشان می دهد استانداردهای تدوین شده مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران شامل دو استاندارد «آیین کار سلامت و ایمنی در محیط های کار با نانومواد فناوری» و «نانو - بسته بندی و حمل و نقل ایمن نانومواد» است که به طور اختصاصی در ایران تألیف شده است. این در حالی که ISO استاندارد مربوط به حمل و نقل ایمن نانومواد ارائه نداده است. این موضوع حاکی از اهمیت و اولویت اولیه مبحث حمل و نقل ایمن نانومواد برای کمیته فنی نانو فناوری ایران است.

اگرچه عمده استانداردها سطح خوبی در بیشتر معیارهای ارزیابی داشتند، در برخی از موارد کاستی وجود داشت؛ از جمله اینکه در برخی از استانداردهای ترجمه شده دارای اشکال، تصاویر در مقایسه با استاندارد اصلی کیفیت چندانی نداشت [۲۹، ۳۹، ۵۴]. با اینکه اولین چک لیست ارزیابی محتوا و کیفیت استانداردها را ISO ارائه کرده است، اما جست و جویهای پژوهشگران این مطالعه نشان دهنده ارزیابی نشدن استانداردهای مرتبط به نانوفناوری در مطالعات سایر پژوهشگران و نیز خود سازمان ISO است. لذا تحلیل و مقایسه محتوای متغیرها یا عبارات چک لیست ارزیابی برای استانداردهای ملی نانو با استانداردهای سایر کشورها مقدور نبود. از جمله نکات ضعف این مطالعه دسترسی نداشتن به کیفیت استانداردهای سایر کشورها و نیز استانداردهای جهانی در مقایسه با استانداردهای نانوفناوری در ایران است.

از سوی دیگر، هیچ کدام از استانداردها پیشگفتار نداشتند. مطابق با معیارهای ارزیابی در چک لیست، پیشگفتار دو معیار «تغییرات و بهبودها» و «دیگر سازمان های درگیر در تدوین استاندارد» را پوشش می داد. به نظر می رسد با توجه به نبود این بخش در استانداردهای ملی نانو، از ذی نفعانی مثل مؤسسات و

متولی این حوزه به ابعاد زیست‌محیطی و بهداشتی مواجهه با نانومواد است. همچنین به‌کارگیری این استانداردها در محیط‌های کاری نیازمند آگاهی‌های عمومی و تخصصی است. امید است با کاربردی کردن هرچه بیشتر این استانداردها و در آینده نزدیک اجباری کردن رعایت آن‌ها در محیط‌های کاری و آزمایشگاهی نانوفناوری، در راستای کاهش خطرات و کنترل اثرات نامطلوب آن‌ها گام مؤثری برداشته شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس خود را از تلاش و زحمات ارزشمند و صادقانه خانم دکتر اشری‌نژاد، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی ایران، خانم دکتر مهری، مدیر گروه نانوتکنولوژی پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران، آقای دکتر حاج‌آقازاده، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی ارومیه و آقای دکتر ابراهیمی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی ایران به جای آورند.

### تضاد منافع

هیچ نوع تضاد منافع بین نویسندگان وجود نداشت.

### ملاحظات اخلاقی

با توجه به اینکه این مطالعه به صورت مروری بوده است، محدودیت‌های اخلاقی خاصی ندارد.

### سهم نویسندگان

ایده و طراحی مطالعه و تدوین پیش‌نویس: سقراط عمری شگفتیک؛ بازنگری پیش‌نویس: نفیسه نصیرزاده؛ جمع‌آوری استانداردها، تکمیل و تحلیل استانداردهای محتوایی و آماری: هر دو نویسنده به صورت مشترک.

### حمایت مالی

این مطالعه بدون حمایت مالی انجام شده است.

شرکت‌های خصوصی و سازمان‌های دیگر در تدوین استانداردها استفاده نشده است. این مسئله جزء نکات ضعف در تدوین استانداردهای کشوری محسوب می‌شود.

همان‌طور که یافته‌ها نشان می‌دهد، عمده استانداردهای ترجمه‌شده استانداردهای ISO و ASTM هستند. مسلماً ترجمه‌های سلیس در تدوین استانداردهای ترجمه بسیار مهم و حیاتی است. لذا پیشنهاد می‌شود برای استفاده و فهم بهتر استاندارد به این موضوع توجه جدی شود. همچنین در تدوین استانداردهای حاوی اشکال، بهتر است تصاویر و شکل‌ها با کیفیت و کادربندی بهتر در استانداردها درج شوند. به نظر می‌رسد قرار دادن لینک دسترسی آنلاین برای دسترسی به اشکال اصلی به فهم بهتر موضوع کمک کند.

در این راستا متخصصان ایمنی و بهداشت که به استفاده از این استانداردها تمایل دارند، باید در نظر داشته باشند که استفاده از این استانداردها نیازمند دانش اولیه در زمینه نانوفناوری است. توصیه می‌شود قبل از رجوع به این استانداردها، سری استانداردهای ملی ایران را مطالعه کنند که عنوان آن‌ها با «فناوری‌نانو-واژه‌نامه» شروع می‌شود. مراجع الزامی که در ابتدای هر استاندارد معرفی شده‌اند، برای فهم و استفاده از آن استاندارد ضروری هستند. همچنین قبل از استفاده از هر استاندارد، هدف و دامنه کاربرد آن در نظر گرفته شود.

### نتیجه‌گیری

نانوفناوری در کشور با سرعت زیادی در حال گسترش و استانداردسازی است. با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر و با مقایسه آمار منتشرشده جهانی، می‌توان به‌وضوح اهمیت و توجه به حوزه نانوفناوری را در ایران نسبت به سایر کشورهای جهان مشاهده کرد. هم‌اکنون ایران با انتشار ۱۰۴ استاندارد در حوزه نانو، سومین کشور تدوین‌کننده استانداردهای نانو است که ۱۴ استاندارد حوزه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست را پوشش می‌دهد که بیشتر متغیرهای ارزیابی کیفیت آن‌ها در سطح خوب هستند. همچنین عمده استانداردها مربوط به حوزه ایمنی در محیط‌های کار هستند و خلأ استاندارد و شاخص‌های کافی در زمینه ارزیابی محیط‌زیست احساس می‌شود که مؤید لزوم توجه بیشتر نهادهای

## REFERENCES

1. Organization INS. Nanotechnologies –Vocabulary-Part 7 :Diagnostics and therapeutics for healthcare. Tehran, Iran. *Ir Nati Stand Organ*; 2014. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.551889/full>
2. Savolainen K. Chapter 1 - General Introduction. Handbook of Nanosafety. San Diego: Academic Press; 2014. p. 1-16.
3. Horie M, Kato H, Iwahashi H. Cellular effects of manufactured nanoparticles: effect of adsorption ability of nanoparticles. *Arch Toxic*. 2013;87(5):771-81. DOI: [10.1007/s00204-013-1033-5](https://doi.org/10.1007/s00204-013-1033-5)
4. Filon FL. Skin exposure to nanoparticles and possible sensitization risk. *Allergy and Immunotoxicology in Occupational Health*: Springer; 2017. 143-52. DOI: [10.1007/978-981-10-0351-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0351-6_11)
5. Iavicoli I, Leso V, Manno M, Schulte PA. Biomarkers of nanomaterial exposure and effect: current status. *J Nano Res*. 2014;16(3):2302. DOI: [10.1007/s11051-014-2302-9](https://doi.org/10.1007/s11051-014-2302-9)
6. Wu W-T, Liao H-Y, Chung Y-T, Li W-F, Tsou T-C, Li L-A, et al. Effect of nanoparticles exposure on fractional exhaled nitric oxide (FENO) in workers exposed to nanomaterials. *Int J Mole Sci*. 2014;15(1):878-94. PMID: [PMC3907844](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24390784/) DOI: [10.3390/ijms15010878](https://doi.org/10.3390/ijms15010878)
7. Pietrousti A, Magrini A. Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk. *Occup Med*. 2014;64(5):319-30. DOI: [10.1093/occmed/kqu051](https://doi.org/10.1093/occmed/kqu051)
8. Nasirzadeh N, Rasoulzadeh Y, Rezazadeh Azari M, Mohammadian YJJoCHR. *Cell Toxi Multi-wall Car Nan Hu Lung Cel*. 2020;10(2):135-44. DOI: [10.22034/JCHR.2020](https://doi.org/10.22034/JCHR.2020)

- 1879194.1051
9. Ghafari J, Moghadasi N, Omari Shekaftik S. Oxidative stress induced by occupational exposure to nanomaterials: a systematic review. *Indu Heal*. 2020;**58**(6):492-502. PMID: [PMC7708742](#) DOI: [10.2486/indhealth.2020-0073](#)
  10. Omari Shekaftik S, H. Shirazi F, Yarahmadi R, Rasouli M, Ashtarinezhad A. Investigating the relationship between occupational exposure to nanomaterials and symptoms of nanotechnology companies' employees. *Arch Envir Occup Heal*. 2020;**1**:1-11. DOI: [10.1080/19338244.2020.1863315](#)
  11. Nasirzadeh N, Azari MR, Rasoulzadeh Y, Mohammadian Y. An assessment of the cytotoxic effects of graphene nanoparticles on the epithelial cells of the human lung. *Toxico Indus Heal*. 2019;**35**(1):79-87. DOI: [10.1177/0748233718817180](#)
  12. Omari-Shekaftik S, Nasirzadeh N. Hydroxy-20-deoxyguanosine (8-OHdG) as a biomarker of oxidative DNA damage induced by occupational exposure to nanomaterials: a systematic review. *Nanotoxi*. 2021;**15**(6):850-864. DOI: [10.1080/17435390.2021.1936254](#)
  13. Omari Shekaftik S, H. Shirazi F, Yarahmadi R, rasouli M, Solaymani Dodaran M, Ashtarinezhad A. Exploratory study of nanoworkers' symptoms & work-relatedness of these symptoms. Tehran, iran. *Ir Uni Med Sci*, 2019. DOI: [10.29252/johe.6.2.8](#)
  14. Shah SNA, Shah Z, Hussain M, Khan M. Hazardous effects of titanium dioxide nanoparticles in ecosystem. *Bioinor Chem Appli*. 2017;**2017**:4101735. [https://doi.org/10.1155/2017/4101735](#)
  15. Park E-J, Yi J, Chung K-H, Ryu D-Y, Choi J, Park K. Oxidative stress and apoptosis induced by titanium dioxide nanoparticles in cultured BEAS-2B cells. *Toxic Lett*. 2008;**180**(3):222-9. DOI: [10.1016/j.toxlet.2008.06.869](#)
  16. Govindasamy R, Rahuman AA. Histopathological studies and oxidative stress of synthesized silver nanoparticles in Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *J Envir Sci*. 2012;**24**(6):1091-8. DOI: [10.1016/s1001-0742\(11\)60845-0](#)
  17. Roco MC. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. 2011;**13**(2). [https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z](#)
  18. Savolainen K, Pietroiusti A. Chapter 5 - Exposure Assessment. Adverse Effects of Engineered Nanomaterials (Second Edition): Academic Press; 2017. p. 103-23.
  19. Roco MC. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. *J Nano Res*. 2011;**13**(2):427-45. [https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z](#)
  20. Hristozov D, Gottardo S, Semenzin E, Oomen A, Bos P, Peijnenburg W, et al. Frameworks and tools for risk assessment of manufactured nanomaterials. *Enviro Int*. 2016;**95**:36-53. [https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.07.016](#)
  21. Standardization IOF. ISO/TC 229. Nanotechnologies 2018. Available from: [https://www.iso.org/committee/381983.html](#)
  22. Fen LB. ISO Standard On Nanomaterials. Seminar on EOCED EHS Programme: Nanotechnology & Catalysis Research Centre, university of malaya, 2016.
  23. Organization INS. Nanotechnologies - Guidance on methods for nano – and microtribology measurements. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2014. [https://www.iso.org/standard/50835.html](#)
  24. Available from: [http://www.nanostandard.ir/fa/page/31](#).
  25. ISO/IEC. Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents. Geneva 2016. [https://www.iso.org/sites/directives/current/part2/index.xhtml](#)
  26. ISO. Nanotechnologies — Occupational risk management applied to engineered nanomaterials — Part 1: Principles and approaches. international standard organization; 2012. [https://www.iso.org/standard/52125.html](#)
  27. ISO. Nanotechnologies — Occupational risk management applied to engineered nanomaterials — Part 2: Use of the control banding approach. international standard organization; 2014. [https://www.iso.org/standard/53375.html](#)
  28. ISIRI. Nano technology - Health and safety in nano occupational settings - Code of Practices. Tehran, Iran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2009. [https://statnano.com/standard/isiri/179/ISIRI-12325](#)
  29. ISIRI. Nanotechnologies - Safe packaging and transport of nanomaterials - Code of practices. Tehran, Iran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2011. [https://www.safenano.org/knowledgebase/resources/faqs/how-should-nanomaterials-be-packaged-for-storage-transport/](#)
  30. INSO. Nanotechnology- Practice for workforce education in nanotechnology characterization. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2016. [https://www.nano.gov/you/standards](#)
  31. INSO. Nanomaterials — Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS). Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2015. [https://www.iso.org/standard/53705.html](#)
  32. INSO. Nanotechnology- workforce education in materials synthesis and processing- Guide. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2018. [https://www.astm.org/Standards/E3071.htm](#)
  33. INSO. Nanotechnology- workforce education infrastructure-Guide. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2018. [https://webstore.ansi.org/industry/nanotech/Workforce](#)
  34. INSO. Nanotechnology- Workforce Education in Nanotechnology for Pattern Generation- Guide. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2017. [https://nano.ir/page/2/410](#)
  35. INSO. Nanotechnologies - Workforce education in nanotechnology health and safety- Guide. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2016. [http://www.sbm.ac.ir/uploads/235\\_6096\\_1601183932617\\_CV\\_-\\_Somayeh\\_Farhang\\_Deighan\\_-9.16.2020.pdf](#)
  36. INSO. Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials - Part 1: Principles and approaches. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2015. [https://www.iso.org/standard/52125.html](#)
  37. INSO. Nanotechnologies — Occupational risk management applied to engineered nanomaterials — Part 2: Use of the control banding approach. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2018. [https://www.iso.org/standard/52125.html](#)
  38. INSO. Nanotechnologies- Overview of available frameworks for the development of occupational exposure limits and bands for nano- objects and their aggregates and agglomerates (NOAAs). Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2018. [https://www.iso.org/standard/63096.html](#)
  39. INSO. Workplace exposure- Assessment of dermal exposure to nano- objects and their aggregates and agglomerates (NOAA). Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2019. [https://www.iso.org/standard/71272.html](#)
  40. INSO. Nanotechnologies — Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2016. [https://www.iso.org/standard/52334.html](#)
  41. INSO. Nanotechnologies — Compilation and description of toxicological screening methods for manufactured nanomaterials. Tehran, Iran: Iranian National Standardization Organization; 2017. [https://www.iso.org/standard/55827.html](#)
  42. Number of national nanotechnology standards (Standard): StatNano; 2021. Available from: [https://statnano.com/report/s105](#).
  43. ISO/TC 229, Nanotechnologies: ISO; 2021. Available from: [https://www.iso.org/committee/381983.html](#).
  44. Blind K, Gauch S. Research and standardisation in nanotechnology: evidence from Germany. *J Tech Trans*. 2009;**34**(3):320-42. DOI: [10.1007/s10961-008-9089-8](#)
  45. Zhao F, Zhao Y, Wang C. Activities related to health, environmental and societal aspects of nanotechnology in China. *J Clea Prod*. 2008;**16**(8-9):1000-2. DOI: [10.1016/j.jclepro.2007.04.010](#)
  46. Park H-G, Yeo M-K. Nanomaterial regulatory policy for human health and environment. *Molec Cell Toxic*. 2016;**12**(3):223-36. [https://doi.org/10.1007/s13273-016-0027-9](#)
  47. ISO. Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy. International standard organization; 2012. [https://www.iso.org/standard/46127.html](#)
  48. ISO. Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis. international standard organization; 2011. [https://www.iso.org/standard/46128.html](#)

49. Foladori G. Occupational and environmental safety standards in nanotechnology: International Organization for Standardization, Latin America and beyond. *Econo Lab Relat Rev.* 2017;**28**(4):538-54. <https://doi.org/10.1177/1035304617719802>
50. Hatto P. International standards for risk management in nanotechnology. *Natu Nanot.* 2009;**4**(4):205-211. <https://doi.org/10.1038/nnano.2009.25>
51. Lead JR, Batley GE, Alvarez PJ, Croteau MN, Handy RD, McLaughlin MJ, et al. Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects—an updated Rev. 2018;**37**(8):2029-63. DOI: [10.1897/08-090.1](https://doi.org/10.1897/08-090.1)
52. kheradmandnia S, ghanad sabzevari A. Considerations on the implementation of biosafety standards in the field of nanotechnology. Tehran, Iran: Islamic Consultative Assembly of Iran; 2017. PMID: [28589558](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28589558/) DOI: [10.1002/jat.3476](https://doi.org/10.1002/jat.3476)
53. Bundschuh M, Filser J, Lüderwald S, McKee MS, Metreveli G, Schaumann GE, et al. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? 2018;**30**(1):1-17. PMID: [PMC5803285](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/305803285/) DOI: [10.1186/s12302-018-0132-6](https://doi.org/10.1186/s12302-018-0132-6)