

فناوری نانو، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای

نویسندگان:

سعید یوسفی نژاد، مهدی جهادی، ی. اسماعیل سلیمانی و سعید جعفری

اعضاء هیئت علمی دانشگاه شیراز، پزشکی شیراز

زهرا شایقی فرد

دکترای تخصصی بی‌تاریخ

مجید حبیبی محرز

عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی همدا

سمیه فرهنگ دهقان

عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

ویراستار علمی و هماهنگ کننده:

مهدی جهانگیری

(دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی شیراز)

انتشارات دانشگاه علوم پزشکی شیراز



عنوان و نام پدیدآور	: فناوری نانو، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای/ نویسندگان سعید یوسفی... و دیگران]؛ ویراستار علمی و هماهنگ‌کننده مهدی جهانگیری.
مشخصات نشر	: شیراز: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شیراز، اداره انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۲۶۳ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-6391-91-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: نویسندگان سعید یوسفی‌نژاد، مهدی جهانگیری، اسماعیل سلیمانی سعید جعفری، زهرا شجاعی‌فرد، مجید حبیبی‌محرز، سمیه فرهنگ‌دهقان.
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: نانو تکنولوژی
موضوع	: Nanotechnology
موضوع	: مواد نانو ساختار
موضوع	: Nanostructured material
موضوع	: بهداشت صنعتی
موضوع	: Industrial hygiene
شناسه افزوده	: یوسفی‌نژاد، سعید، ۱۳۶۱-
شناسه افزوده	: جهانگیری، مهدی، ۱۳۵۹-، ویراستار
شناسه افزوده	: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شیراز. اداره انتشارات
رده بندی کنگره	: T1۷۴/۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۸۲۵۵۸

فناوری نانو، ایمنی و بهداشت حرفه ای

نویسندگان:

سعید یوسفی نژاد، مهدی جهانگیری، اسماعیل سلیمانی،

سعید جعفری، زهرا شجاعی فرد، مجید حبیبی محرز، سمیه فرهنگ دهقان

ویراستاران ادبی: دکتر منیژه عبدالحی، دکتر ساناز مجرد، دکتر سعید نعمتی

ناشر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی شیراز

امور اجرایی نشر: فاطمه علیشاهیان - ساراهاشمی

صفحه آرایی: اطلس دهقانی چاپخانه: خلیج فارس

چاپ اول: ۱۳۹۹ شمارگان: ۲۰۰ جلد قیمت: ۱۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۵-۹۱-۶۳۹۱-۶۰۰-۹۷۸ ISBN:978-600-6391-91-5

تمام حقوق مادی و معنوی این اثر، متعلق به ناشر است. تکثیر یا بازنویسی یا خلاصه برداری یا برداشت از مطالب این کتاب، بدون اجازه کتبی از ناشر، غیر مجاز است و پیگرد قانونی دارد.

آدرس: شیراز - بلوار کریمخان زند - ساختمان مرکزی دانشگاه علوم پزشکی شیراز - اداره انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۷۱-۳۲۱۲۲۴۴۳

تلفن و دورنگار: ۰۷۱-۳۲۳۵۱۸۶۵

آدرس اینترنتی: [http:// Pub.sums.ac.ir](http://Pub.sums.ac.ir)

پست الکترونیکی: Pub@sums.ac.ir

مقدمه

فناورن نانو همانند شمشیری دولبه است که در کنار اثرات مفید و منحصربه‌فرد، ممکن است تهدیدی برای سلامت مصرف‌کنندگان و کارکنان درگیر در مراحل مختلف چرخه‌ی عمر نانومواد باشد. شمار کارگرانی که در آزمایشگاه‌ها، تحقیقاتی و واحدهای تولیدی نانومواد و نیز در جاهایی که نانومواد مصرف، دفع یا بازیافت می‌شوند، به کار مشغول در روز به روز در حال افزایش است و سؤال‌هایی از این دست ذهن متخصصان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای را به خود مشغول کرده است:

ایا نانومواد مهندسی‌شده خطرات جدید ایمنی و بهداشتی ایجاد می‌کند؟ آیا فناوری نانو قانون‌های جدیدی به مجموعه‌ی قوانین موجود در زمینه HSE، اجتماع و اخلاق اضافه خواهد کرد یا خیر؟ اگرچه پیشرفت‌های شگرفی در دنیا و نیز کشور عزیزمان، ایران، در خصوص گسترش فناوری نانو در زمینه‌های مختلف به عمل آمده است؛ ولی موضوع ایمنی نانومواد و به‌ویژه سلامت و ایمنی افرادی که در معرض این مواد هستند، مغفول مانده است. در کنار شدت تهدید و مصرف ذرات نانو، نگرانی‌ها در مورد اثرات این فناوری جدید بر بهداشت، ایمنی و محیط زیست¹ (HSE) نیز افزایش یافته است و امروز این موضوع یکی از چالش‌های اصلی بهداشت حرفه‌ای به شمار می‌رود. جان هوارد² مدیر موسسه ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH) در این زمینه معتقد است که در رازمان نانوفناوری ایجادکننده تفکری انقلابی در ایمنی و بهداشت حرفه‌ای می‌شود.

کتاب فناوری نانو، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای به همت جمعی از اعضای هیأت علمی دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور و با هدف معرفی جنبه‌های ایمنی و سلامت شغلی فناوری نانو به فعالان این حوزه و متخصصان ایمنی و بهداشت حرفه‌ای نگاشته شده است. این کتاب شامل نه فصل است. با توجه به اینکه درک عوارض بهداشتی و مخاطرات ایمنی مواد نانو و نیز کاربردهای آن بدون آگاهی و اطلاع از ویژگی‌ها و روش‌های ساخت این مواد، ممکن نیست، بخش اول کتاب (فصل‌های اول تا پنجم) به بیان روش‌های ساخت و مشخصات نانومواد و همچنین کاربردهای آن‌ها پرداخته است. در بخش دوم (فصل‌های ششم تا نهم) به ترتیب درباره‌ی اثرات سم‌شناسی، روش‌های ارزیابی مواجهه‌ی شغلی با نانومواد، روش‌های ارزیابی خطر

¹ Health, Safety and Environment

² John Howard, MD, NIOSH

مواجهه با نانومواد و ایمنی و حفاظت در کار با نانومواد بحث شده است.

بدیهی است نگارندگان، محتوای کتاب را به‌ویژه در چاپ اول، مصون از اشتباه نمی‌دانند و از خوانندگان محترم صمیمانه استدعا دارند، نکته‌ها و پیشنهادهای اصلاحی خود را برای بازبینی چاپ‌های بعدی به jahangiri_m@sums.ac.ir بفرستند تا شاهد بهبود این اثر در گام‌های بعدی باشیم.

دکتر مهدی جهانگیری

هماهنگ‌کننده و ویراستار علمی کتاب

بهار ۱۳۹۹

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۵
فصل اول: مقدمه‌ای بر نانومواد و نانوفناوری	۱
۱-۱ چرا نانومواد؟	۱
۲-۱ مقیاس، ساختار و رفتار	۱۳
فصل دوم: طبقه‌بندی انواع نانومواد و روش‌های ساخت آن‌ها	۱۹
۱-۲ طبقه‌بندی مواد	۱۹
۱-۱-۲ مواد فلزی	۱۹
۲-۱-۲ مواد سرامیکی	۲۰
۳-۱-۲ مواد پلیمری	۲۰
۴-۱-۲ مواد کامپوزیتی	۲۰
۵-۱-۲ مواد الکترونیک	۲۰
۶-۱-۲ مواد زیستی	۲۱
۷-۱-۲ نانومواد	۲۱
۲-۲ روش‌های سنتز نانومواد	۲۱
۱-۲-۲ روش‌های ساخت نانومواد صفربعدی (0-D)	۲۲
۲-۲-۲ روش‌های تولید نانوذرات یک‌بعدی و دوبعدی	۳۷
۳-۲-۲ روش‌های تولید نانومواد سه‌بعدی (3D)	۴۱
۱-۳-۲-۲ فرایندهای بالا به پایین تولید نانومواد سه بعدی	۴۲
۲-۳-۲-۲ فرایندهای میانی تولید نانومواد سه بعدی	۴۶
۳-۳-۲-۲ فرایندهای پایین به بالا تولید نانومواد سه بعدی	۴۸
۳-۲ نتیجه‌گیری	۵۴
فصل سوم: روش‌های تعیین مشخصات نانومواد	۵۷
۱-۳ مقدمه	۵۷
۲-۳ روش‌های میکروسکوپی	۵۸
۱-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)	۶۰
۲-۲-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	۶۲
۳-۲-۳ میکروسکوپ تونلی روبشی (STM)	۶۵
۴-۲-۳ میکروسکوپ روبشی نیروی اتمی (AFM)	۶۷
۳-۳ روش‌های طیف‌سنجی	۷۰

۷۰	۱-۳-۳ طیف‌سنجی مری و فرابنفش (UV-Vis Spec)
۷۲	۲-۳-۳ طیف‌سنجی فوتولومینسنس
۷۳	۳-۳-۳ طیف‌سنجی مادون قرمز
۷۵	۴-۳-۳ طیف‌سنجی رامان
۷۷	۵-۳-۳ طیف‌سنج پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)
۸۱	۴-۳-۳ روش‌های غیرتابشی و غیرالکترونی
۸۱	۱-۴-۳ روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS)
۸۳	۲-۴-۳ اندازه‌گیری میزان تخلخل و سطوح موثر (BET)
۸۵	۵-۳-۳ نتیجه‌گیری

۸۷ فصل چهارم: کاربردهای نانو فناوری

۸۷	۱-۴ مقدمه
۸۸	۲-۴ کاربرد کانیست‌های نانو ساختاری به منظور حذف آلاینده‌های هوا
۸۹	۱-۲-۴ خصوصیات واکنش‌های کاتالیستی
۹۰	۲-۲-۴ نانوذرات فلزی به عنوان کاتالیزورها
۹۱	۳-۲-۴ آماده‌سازی و تبدیل خصوصیات نانوذرات فلزی
۹۲	۴-۲-۴ مهمترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت کاتالیست‌ها
۹۲	۵-۲-۴ تعیین خصوصیات
۹۳	۳-۴ نانوکریستال‌های اکسید فلزی به عنوان حسگرها
۹۳	۱-۳-۴ مقدمه
۹۳	۲-۳-۴ عملکرد حسگر اکسید فلزی نیمه‌رسانا
۹۳	۱-۲-۳-۴ تئوری باند
۹۴	۲-۲-۳-۴ کاربرد تئوری باند در حسگرها
۹۶	۳-۳-۴ مشخصات حسگرهای گازی از جنس اکسید فلزی
۹۷	۴-۳-۴ حسگرهای گازی اکسید فلزی با ساختار نانوسیمی
۹۹	۵-۳-۴ راهکارهای ارتقاء عملکرد حسگرهای گازی
۱۰۰	۴-۴ کاربرد نانوفناوری در روش‌های استخراج میکرونی
۱۰۱	۱-۴-۴ روش تله‌ی سوزنی (NTD)
۱۰۲	۲-۴-۴ نانومواد
۱۰۲	۳-۴-۴ سوزن‌های پر شده با نانولوله‌های کربنی

۱۰۵ فصل پنجم: نانوالیاف و کاربرد آن در بهداشت حرفه‌ای

۱۰۵	۱-۵ مقدمه‌ای بر نانوالیاف
۱۰۶	۲-۵ ویژگی‌های کلی نانوالیاف
۱۰۷	۳-۵ روش‌های تولید نانوالیاف
۱۰۸	۴-۵ نیوری فرایند الکترووریسی
۱۰۹	۱-۴-۵ اصول پایه‌ی الکترووریسی
۱۱۳	۵-۵ انواع روش‌های الکترووریسی
۱۱۴	۶-۵ مشخصه‌های فرایند الکترووریسی محلول

۱۱۴	۱-۶-۵ غلظت و ویسکوزیته‌ی محلول
۱۱۵	۲-۶-۵ کشش سطحی
۱۱۶	۳-۶-۵ ولتاژ اعمالی
۱۱۶	۴-۶-۵ نرخ تغذیه
۱۱۷	۶-۶-۵ قطر داخلی سوزن
۱۱۷	۶-۶-۵ فاصله بین نوک سوزن و جمع‌آوری‌کننده
۱۱۷	۷-۶-۵ مشخصه‌های محیطی هوا
۱۱۹	۷-۵ مشخصات نانوالیاف
۱۲۰	۸-۵ کاربرد نانوالیاف در بهداشت حرفه‌ای
۱۲۰	۹-۵ کاربرد نانوالیاف در فیلتراسیون هوا
۱۲۱	۱-۹-۵ سازوکارهای فیلتراسیون
۱۲۱	۱-۱-۹-۵ خورد مستقیم
۱۲۳	۱-۱-۹-۵ برخورد اینرسی
۱۲۴	۲-۱-۹-۵ انتشار
۱۲۵	۲-۹-۵ شکل‌های اصلی فیلتراسیون
۱۲۶	۳-۹-۵ عوامل موثر بر عملکرد فیلتراسیون
۱۲۶	۱-۳-۹-۵ قطر لیف
۱۲۸	۲-۳-۹-۵ ضخامت فیلتر
۱۲۸	۳-۳-۹-۵ دانسیته‌ی فشردگی فیلتر
۱۲۸	۴-۳-۹-۵ وزن مبنای دانسیته و حجم ویایی ذرات
۱۲۹	۵-۳-۹-۵ اندازه‌ی منافذ و تخلخل
۱۳۰	۱۰-۵ نتیجه‌گیری
۱۳۳	فصل ششم: سم‌شناسی نانومواد
۱۳۳	۱-۶ مقدمه
۱۳۶	۲-۶ جذب، ته‌نشینی و دفع نانوذرات از ریه‌ها
۱۳۶	۱-۲-۶ جذب و ته‌نشینی نانومواد در ریه‌ها
۱۳۸	۲-۲-۶ سایر سازوکارهای جذب نانوذرات
۱۳۸	۳-۲-۶ حذف ذرات ته‌نشین‌شده در ریه‌ها
۱۳۹	۳-۶ سمیت ذرات در مقیاس میکرومتر
۱۳۹	۱-۳-۶ مواجهه‌ی استنشاقی
۱۳۹	۱-۱-۳-۶ اثرات روی دستگاه تنفس
۱۳۹	۲-۱-۳-۶ اثرات سیستمیک
۱۴۰	۲-۳-۶ مواجهه‌ی پوستی
۱۴۰	۱-۲-۳-۶ اثرات موضعی
۱۴۰	۲-۲-۳-۶ اثرات سیستمیک
۱۴۰	۳-۳-۶ اساس سمیت موضعی در ریه‌ها
۱۴۰	۱-۳-۳-۶ ذرات غیرلیف بدون سمیت سلولی

۱۴۱.....	۶-۳-۳ ذرات غیرلیفی با سمیت سلولی.....
۱۴۲.....	۶-۳-۳ ذرات لیفی.....
۱۴۲.....	۶-۴ تفاوت بین گونه‌ها.....
۱۴۲.....	۶-۵ مقایسه‌ی سمیت ذرات یک ماده‌ی مشابه در دو مقیاس میکرومتر و نانومتر.....
۱۴۳.....	۶-۵-۱ مشخصه‌های ته‌نشینی ذرات.....
۱۴۴.....	۶-۵-۲ مساحت سطح ذره.....
۱۴۵.....	۶-۵-۳ مشخصه‌های سطح ذره.....
۱۴۵.....	۶-۵-۴ مواجهه‌ی استنشاقی.....
۱۴۵.....	۶-۵-۴-۱ اثرات روی دستگاه تنفس.....
۱۴۷.....	۶-۵-۴-۲ اثرات سیستمیک.....
۱۴۹.....	۶-۵-۵ مواجهه‌ی پوستی.....
۱۴۹.....	۶-۵-۵-۱ اثرات موضعی.....
۱۵۰.....	۶-۵-۵-۲ اثرات سیستمیک.....
۱۵۱.....	۶-۶ تفاوت‌ها و شباهت بر سمیت بین نانوذرات مواد گوناگون.....
۱۵۱.....	۶-۶-۱ مواجهه‌ی استنشاقی.....
۱۵۱.....	۶-۶-۱-۱ اثرات روی دستگاه تنفس.....
۱۵۱.....	۶-۶-۱-۲ تفاوت در فعالیت‌های سطح ذره.....
۱۵۲.....	۶-۶-۱-۳ تفاوت‌ها در خارج‌شدن از حالت ته‌ده.....
۱۵۳.....	۶-۷ اثرات نانوذرات بر سلامت.....
۱۵۳.....	۶-۷-۱ فولرن‌ها.....
۱۵۴.....	۶-۷-۱-۱ توکسیکوکینتیک.....
۱۵۴.....	۶-۷-۱-۲ اثرات فولرن بر سلامت.....
۱۵۵.....	۶-۷-۲ نانولوله‌های کربنی.....
۱۵۵.....	۶-۷-۲-۱ اثرات سوء بر دستگاه تنفس.....
۱۵۶.....	۶-۷-۲-۲ اثرات بر سایر ارگان‌های بدن.....
۱۵۷.....	۶-۷-۲-۳ اثرات روی قلب و گردش خون.....
۱۵۷.....	۶-۷-۳ نانوذرات غیرآلی.....
۱۵۸.....	۶-۷-۳-۱ توکسیکوکینتیک.....
۱۶۰.....	۶-۷-۳-۲ اثرات سوء بر سلامت.....
۱۶۳.....	۶-۷-۴ نانوذرات آلی.....
۱۶۳.....	۶-۷-۴-۱ توکسیکوکینتیک.....
۱۶۴.....	۶-۷-۴-۲ اثرات سوء بر سلامت.....
۱۶۵.....	۶-۸ نتیجه‌گیری.....
۱۷۳.....	فصل هفتم: روش‌های سنجش مواجهه با نانومواد
۱۷۳.....	۷-۱ مقدمه.....
۱۷۶.....	۷-۲ شاخص‌های ارزیابی مواجهه با نانوذرات.....
۱۷۹.....	۷-۲-۱ اندازه‌گیری غلظت جرمی.....

۱۸۰	۲-۲-۷ اندازه‌گیری کربن عنصری با استفاده از دستگاه تجزیه‌ی کربن
۱۸۱	۳-۲-۷ اندازه‌گیری مساحت سطحی
۱۸۴	۴-۲-۷ اندازه‌گیری غلظت تعدادی ذرات
۱۸۴	۱-۴-۲-۷ شمارشگرهای کنداسیونی نانوذرات (CPC)
۱۹۰	۲-۴-۲-۷ دستگاه اندازه‌گیری اندازه‌ی ذره بر اساس تحرک‌پذیری سریع (FMPS)
۱۹۲	۵-۲-۷ تعیین خصوصیات نانوذرات
۱۹۳	۱-۵-۲-۷ میکروسکوپ الکترونی روشی (SEM)
۱۹۴	۲-۵-۲-۷ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۱۹۶	۳-۲-۷ استراتژی نمونه‌برداری از نانوذرات در محیط‌های شغلی
۱۹۸	۱-۳-۷ شناسایی منابع انتشار احتمالی
۱۹۸	۲-۳-۷ نمونه‌برداری از محیط به‌منظور تعیین غلظت تعدادی ذرات
۱۹۹	۳-۳-۷ جمع‌آوری نمونه بر روی فیلتر
۱۹۹	۱-۳-۳-۷ نمونه‌های محیطی مربوط به منابع انتشار
۲۰۰	۲-۳-۳-۷ ته‌نشی هوای فردی
۲۰۱	۴-۳-۷ حدود تمام شغل بومرنگ
۲۰۷	فصل هشتم: ارزیابی ریسک مواد نانو
۲۰۷	۱-۸ مقدمه
۲۰۹	۲-۸ تاریخچه‌ی روش دسته‌بندی کنترلی
۲۰۹	۳-۸ روش‌های ارزیابی ریسک مواجهه با نانوذرات بر جای دسته‌بندی کنترلی (CB)
۲۰۹	۱-۳-۸ روش ارزیابی ریسک نانومواد معرفی شده به‌وسیله IRSST
۲۱۱	۲-۳-۸ Guidenano (GN)
۲۱۵	۳-۳-۸ Stoffenmanager Nano (SN)
۲۱۶	۴-۳-۸ آزمایشگاه ملی لیورمور لاورنس (LLNL)
۲۲۳	۵-۳-۸ روش انجمن مواد غذایی، ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست فرانسه (ANSES)
۲۲۷	۶-۳-۸ NanoSafer
۲۲۸	۷-۳-۸ ماتریس احتیاط سوییس (SPM)
۲۲۸	۸-۳-۸ IVAM Guidance
۲۳۱	فصل نهم: ایمنی و حفاظت در کار با نانومواد
۲۳۱	۱-۹ مقدمه
۲۳۳	۲-۹ فناوری نانو و بهداشت حرفه‌ای
۲۳۳	۱-۲-۹ مخاطرات نانومواد
۲۳۳	۱-۱-۲-۹ عوارض سمی
۲۳۵	۲-۱-۲-۹ خطرات حریق و انفجار
۲۳۷	۴-۹ ایمنی و حفاظت در کار با نانومواد
۲۳۷	۱-۴-۹ کنترل‌های مهندسی
۲۳۸	۲-۴-۹ کنترل‌های مدیریتی
۲۳۸	۱-۲-۴-۹ مراقبت‌های پزشکی

۲۳۹	 آموزش ۲-۴-۹
۲۳۹	 دستورالعمل‌های کاری ایمن ۳-۴-۹
۲۳۹	 استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) ۳-۴-۹
۲۳۹	 تجهیزات حفاظت تنفسی ۱-۳-۴-۹
۲۴۱	 حفاظت پوستی ۲-۳-۴-۹
۲۴۲	 کنترل خطر حریق و انفجار نانومواد ۴-۴-۹
۲۴۵	 فهرست منابع و مآخذ
۲۴۵	 منابع فارسی
۲۴۶	 منابع لاتین
۲۵۴	 منابع الکترونیکی
۲۵۵	 واژه‌نامه
۲۶۲	 واژه‌یاب