

# آشنایی مقدماتی با نانوتکنولوژی و کاربرد

## آن در صنایع

شهرزاد محسن بیلی

دکتر مسعود مدنی

سرشناسه : محسنی‌میبدی، شهرزاد، ۱۳۴۹ -  
 عنوان و نام پدیدآور : آشنایی مقدماتی با نانوتکنولوژی و کاربرد آن در صنایع / شهرزاد محسنی‌میبدی و مسعود مدنی.  
 مشخصات نشر : میبد: دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، ۱۳۹۶.  
 مشخصات ظاهری : ۲۴۰ ص: مصور (بخش رنگی)، جدول، نمودار (بخش رنگی)، وزیری.  
 شابک : ۱۵۰,۰۰۰ ریال: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۴۹۵۳-۱  
 وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا.  
 موضوع : نانوتکنولوژی.  
 موضوع : Nanotechnology  
 موضوع : نانوتکنولوژی -- کاربردهای صنعتی.  
 موضوع : Nanotechnology -- Industrial Applications  
 شناسه افزوده : مدنی، مسعود، ۱۳۴۵ -  
 شناسه افزوده : دانشگاه آزاد اسلامی. واحد میبد.  
 رده‌بندی کنگره : ۵۱۲۵/۱.۷T : ۱۳۹۶  
 رده‌بندی دیویی : ۶۲۰.  
 شماره کتابشناسی ملی : ۲۱۰۰۳۱



نام اثر: آشنایی مقدماتی با نانوتکنولوژی و کاربرد آن در صنایع  
 مؤلفان: شهرزاد محسنی‌میبدی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد  
 و دکتر مسعود مدنی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین (اشوا)  
 ناظر چاپ: سعید فلاح  
 ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد  
 ویراستار علمی: دکتر فاطمه میرجلیلی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد  
 ویراستار و صفحه‌آرا: بتول خاتمه‌زاده  
 نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۷  
 شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه  
 قیمت: ۱۵۰,۰۰۰ ریال  
 شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۴۹۵۳-۱  
 شماره ثبت کتاب: ۱۳۵-۹۷

## فهرست مطالب

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| ❖ پیشگفتار و نقش                                                            | ۱۷ |
| ❖ فصل اول: تاریخچه نانو تکنولوژی در جهان و ایران                            | ۱۹ |
| ۱-۱- مقدمه                                                                  | ۲۱ |
| ۲-۱- تاریخچه نانو تکنولوژی                                                  | ۲۲ |
| ۳-۱- فناوری نانو از آغاز تا کنون                                            | ۲۲ |
| ۴-۱- تاریخچه نانو در ایران                                                  | ۲۹ |
| ۱-۴-۱- سیر فناوری نانو در ایران                                             | ۳۰ |
| ۲-۴-۱- اهداف سند ده ساله دوم پیشرفت فناوری نانو در ایران (۱۳۹۴-۱۴۰۴)        | ۳۲ |
| ۱-۴-۱- اثرگذاری فناوری نانو در بهبود کیفیت زندگی مردم                       | ۳۴ |
| ۱-۲-۴-۱- دستیابی کشور به جایگاه مناسب در علم و فناوری نانو بین کشورهای جهان | ۳۵ |
| ۱-۳-۴-۱- کسب سهم مناسبی از بازار جهانی فناوری نانو                          | ۳۹ |
| ۱-۳-۴-۱- عضویت ایران در نانوفروم آسیا                                       | ۴۴ |
| ۱-۵-۱- محصولات ایران مبتنی بر فناوری نانو                                   | ۴۵ |
| ۱-۶-۱- فناوری نانو در آینده نه چندان دور                                    | ۴۶ |
| ❖ فصل دوم: آشنایی با فناوری نانو و نانوذرات                                 | ۴۹ |
| ۱-۲- تعریف علم و فناوری نانو                                                | ۵۱ |
| ۲-۲- یک نانومتر چقدر کوچک است؟                                              | ۵۲ |
| ۳-۲- ساختار مواد چگونه است؟                                                 | ۵۳ |
| ۲-۳-۱- بررسی ساختار الماس و گرافیت                                          | ۵۴ |
| ۲-۴- در مقیاس نانو چه روی می دهد؟                                           | ۵۶ |
| ۲-۵- فیزیک در مقیاس نانو                                                    | ۵۷ |

- ۶-۲. گسسته شدن ترازهای انرژی در مقیاس نانو ..... ۵۸.
- ۷-۲. تقسیم‌بندی نانومواد ..... ۶۱.
- ۷-۲-۱. نانومواد صفر بُعدی (۰D) ..... ۶۴.
- ۷-۲-۲. نانومواد تک بُعدی (۱D) ..... ۷۱.
- ۷-۲-۳. نانومواد دو بُعدی (۲D) ..... ۷۳.
- ۷-۲-۴. نانومواد سه بُعدی (۳D) ..... ۷۵.
- ۷-۲-۴-۱. نانوکامپوزیت تحول بزرگ در مقیاس کوچک ..... ۷۶.
- ۷-۲-۴-۲. نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای ..... ۷۷.
- ۷-۲-۴-۳. نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای کربنی ..... ۷۷.
- ۷-۲-۴-۴. کامپوزیت‌های دارای ذرات ریز ..... ۷۷.
- ۷-۲-۴-۵. کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف (فایبرها) ..... ۷۷.
- ۷-۲-۴-۶. پوزیت‌های لایه‌ای ..... ۷۸.
- ❖ فصل سوم: مروری بر روش‌های سنتز و خواص نانوذرات ..... ۷۹.
- ۳-۱. مقدمه ..... ۸۱.
- ۳-۲. معروف‌ترین روش‌های سنتز نانومواد ..... ۸۲.
- ۳-۲-۱. تولید نانوذرات به روش مکانیکی ..... ۸۳.
- ۳-۲-۱-۱. فرآیند تولید پودر و پارا رهای اصلی فرآیند ..... ۸۳.
- ۳-۲-۱-۲. مزایا و معایب روش مکانیکی تولید نانوذرات ..... ۸۶.
- ۳-۲-۱-۳. انواع آسیاب ..... ۸۶.
- ۳-۲-۱-۴. مواد کنترل‌کننده (Process Control Agent) ..... ۹۶.
- ۳-۲-۲. تولید نانوذرات به روش رسوب‌دهی شیمیایی (CVD) ..... ۹۷.
- ۳-۲-۲-۱. تاریخچه روش CVD ..... ۹۸.
- ۳-۲-۲-۲. اساس روش CVD ..... ۹۹.
- ۳-۲-۲-۳. مزایا و معایب روش CVD ..... ۱۰۰.
- ۳-۲-۲-۴. کاربردهای فرآیند CVD ..... ۱۰۱.
- ۳-۲-۲-۵. انواع روش‌های CVD بر اساس پیش‌ماده ..... ۱۰۱.
- ۳-۲-۲-۶. انواع روش‌های CVD بر اساس خصوصیات فیزیکی بخار ..... ۱۰۳.
- ۳-۲-۲-۷. انواع روش‌های CVD بر اساس فشار ..... ۱۰۵.
- ۳-۲-۳. تولید نانوذرات به روش لایه‌نشانی فیزیکی بخار (Physical Vapor Deposition) (PVD) ..... ۱۰۵.
- ۳-۲-۳-۱. لایه‌نشانی به روش تبخیر حرارتی ..... ۱۰۵.
- ۳-۲-۳-۲. تولید نانوذرات به روش لایه‌نشانی کندوپاش (Sputtering) ..... ۱۱۲.
- ۳-۲-۴. تولید نانوذرات به روش هیدروترمال (Hydrothermal synthesis) ..... ۱۲۰.

|          |                                                                  |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۲..... | ۳-۲-۱. انواع روش های هیدروترمال                                  |
| ۱۲۴..... | ۳-۲-۲. روش های مبتنی بر استفاده از زیرلایه در روش های هیدروترمال |
| ۱۲۵..... | ۳-۲-۳. شیوه های حرارت دهی در روش هیدروترمال                      |
| ۱۲۶..... | ۳-۲-۵. تولید نانوذرات به روش روش سل ژل                           |
| ۱۳۰..... | ۳-۲-۶. تولید نانوساختارها با روش های لیتوگرافی                   |
| ۱۳۰..... | ۳-۲-۶-۱. لیتوگرافی نوری چیست                                     |
| ۱۳۱..... | ۳-۲-۶-۲. ایجاد و تکثیر نانوساختارها با لیتوگرافی نرم             |
| ۱۳۲..... | ۳-۲-۷. تولید نانوذرات به روش های سونوشیمیایی (فراصوت)            |
| ۱۳۲..... | ۳-۲-۷-۱. سونوشیمی چیست                                           |
| ۱۳۶..... | ۳-۲-۷-۲. سنتز نانومواد با واکنش های سونوشیمی                     |
| ۱۳۷..... | ۳-۲-۷-۳. مواردی از کاربردهای خاص روش سونوشیمی                    |
| ۱۳۸..... | ۳-۳. خواص نانوذرات                                               |
| ۱۳۸..... | ۳-۳-۱. خواص حرارتی                                               |
| ۱۳۸..... | ۳-۳-۱-۱. ناپایداری حرارتی                                        |
| ۱۳۹..... | ۳-۳-۲. نقطه ذوب                                                  |
| ۱۴۱..... | ۳-۳-۳. ظرفیت گرمایی ویژه، پایداری گرمایی و ضریب انبساط حرارتی    |
| ۱۴۱..... | ۳-۳-۲. خواص نوری                                                 |
| ۱۴۲..... | ۳-۳-۲-۱. برهم کنش نور با ماده                                    |
| ۱۴۳..... | ۳-۳-۲. خواص نوری نانومواد                                        |
| ۱۴۶..... | ۳-۳-۳. خواص مکانیکی                                              |
| ۱۵۰..... | ۳-۳-۳-۱. مواد توده ای نانوساختار و خواص مکانیکی آنها             |
| ۱۵۵..... | ۳-۳-۲. نانوساختارهای با خواص مکانیکی فوق العاده ذرات             |
| ۱۵۶..... | ۳-۳-۴. خواص مغناطیسی                                             |
| ۱۶۳..... | ۳-۳-۴-۱. خواص مغناطیسی نانوساختارها                              |
| ۱۶۴..... | ۳-۳-۴-۲. خاصیت ابرپارامغناطیسی نانوذرات                          |
| ۱۶۵..... | ۳-۳-۵. خواص آنتی باکتریال                                        |
| ۱۶۵..... | ۳-۳-۶. خواص کاتالیزگری                                           |
| ۱۶۷..... | ❖ فصل چهارم: کاربرد نانو تکنولوژی در صنایع                       |
| ۱۶۹..... | ۴-۱. مقدمه                                                       |
| ۱۷۰..... | ۴-۲. کاربرد فناوری نانو در صنایع                                 |
| ۱۷۰..... | ۴-۲-۱. کاربرد فناوری نانو در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی           |

- ۱۷۱-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در اکتشاف..... ۱۷۱
- ۱۷۱-۲-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در حفاری..... ۱۷۱
- ۱۷۳-۳-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در بهره‌برداری از چاه‌ها..... ۱۷۳
- ۱۷۵-۴-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در مهندسی و مدیریت مخازن..... ۱۷۵
- ۱۷۶-۵-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در غشاء‌های مورد استفاده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی..... ۱۷۶
- ۱۷۷-۶-۱-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در ذخیره‌سازی و جذب گازها..... ۱۷۷
- ۱۷۸-۲-۲-۴. کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان..... ۱۷۸
- ۱۸۰-۱-۲-۲-۴. کاربرد نانوفناوری در صنعت بتن..... ۱۸۰
- ۱۸۴-۲-۲-۲-۴. نمای بیرونی و بام ساختمان..... ۱۸۴
- ۱۸۴-۳-۲-۲-۴. عایق حرارتی ساختمان..... ۱۸۴
- ۱۸۵-۴-۲-۲-۴. پنجره‌ها و جداره‌ها..... ۱۸۵
- ۱۸۷-۵-۲-۲-۴. انرژی و تکنیک‌های نورپردازی..... ۱۸۷
- ۱۸۸-۶-۲-۲-۴. حفاظت در برابر آتش..... ۱۸۸
- ۱۸۸-۷-۲-۲-۴. دیواره‌های سنگ و چوب..... ۱۸۸
- ۱۸۹-۸-۲-۲-۴. فولاد..... ۱۸۹
- ۱۹۰-۹-۲-۲-۴. دکوراسیون داخلی..... ۱۹۰
- ۱۹۰-۳-۲-۴. کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی..... ۱۹۰
- ۱۹۱-۱-۳-۲-۴. حوزه‌های مختلف کاربرد فناوری نانو در غذا و صنایع غذایی..... ۱۹۱
- ۱۹۴-۲-۳-۲-۴. محصولات بر پایه فناوری نانو - هت محصولات غذایی موجود در بازار..... ۱۹۴
- ۱۹۵-۳-۳-۲-۴. شرکت‌های فعال در زمینه نانو..... ۱۹۵
- ۱۹۸-۴-۳-۲-۴. بازار نانو غذا..... ۱۹۸
- ۱۹۹-۵-۳-۲-۴. محرک‌ها و چالش‌های رشد و توسعه نانو غذا..... ۱۹۹
- ۲۰۱-۶-۳-۲-۴. حفاظت آنتی اکسیدان‌ها..... ۲۰۱
- ۲۰۱-۷-۳-۲-۴. کنترل فعالیت آنزیم‌ها..... ۲۰۱
- ۲۰۲-۸-۳-۲-۴. سایر کاربردها..... ۲۰۲
- ۲۰۳-۴-۲-۴. کاربرد نانو در پزشکی و داروسازی (مهندسی پزشکی)..... ۲۰۳
- ۲۰۳-۱-۴-۲-۴. بهبود فرآیند کاشت..... ۲۰۳
- ۲۰۵-۲-۴-۲-۴. پوشش‌های ضد میکروبی..... ۲۰۵
- ۲۰۵-۳-۴-۲-۴. بهبود کارایی ادوات و تجهیزات پزشکی..... ۲۰۵
- ۲۰۶-۴-۴-۲-۴. ساخت ابزار جراحی هوشمند..... ۲۰۶
- ۲۰۶-۵-۴-۲-۴. ساخت ابزارهای تشخیصی بهبود یافته..... ۲۰۶
- ۲۰۷-۶-۴-۲-۴. فناوری نانو در پیشگیری از بیماری..... ۲۰۷

|     |                                                                          |          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| ۲۰۸ | ..... فناوری نانو در معاینه بیماری                                       | ۷-۴-۲-۴  |
| ۲۰۹ | ..... فناوری نانو در درمان                                               | ۸-۴-۲-۴  |
| ۲۰۹ | ..... ساخت نانوحسگرها                                                    | ۹-۴-۲-۴  |
| ۲۱۱ | ..... ساخت نانوروبات‌ها                                                  | ۱۰-۴-۲-۴ |
| ۲۱۲ | ..... فناوری نانو در تصویربرداری                                         | ۱۱-۴-۲-۴ |
| ۲۱۳ | ..... فناوری نانو در تغییرات خصوصیات دارویی                              | ۱۲-۴-۲-۴ |
| ۲۱۴ | ..... فناوری نانو در دارورسانی                                           | ۱۳-۴-۲-۴ |
| ۲۱۴ | ..... فناوری نانو در دندانپزشکی                                          | ۱۴-۴-۲-۴ |
| ۲۱۷ | ..... کاربردهای فناوری نانو در شاخه‌های مختلف کشاورزی                    | ۵-۲-۲-۴  |
| ۲۱۸ | ..... کاربردهای فناوری نانو در زراعت                                     | ۱-۵-۲-۴  |
| ۲۱۸ | ..... کاربردهای فناوری نانو در اصلاح نباتات                              | ۲-۵-۲-۴  |
| ۲۱۹ | ..... کاربردهای فناوری نانو در تولید سموم و کودهای مؤثر و کم‌خطر         | ۳-۵-۲-۴  |
| ۲۱۹ | ..... کاربردهای فناوری نانو در گیاهپزشکی                                 | ۴-۵-۲-۴  |
| ۲۲۰ | ..... کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب و ادوات آبیاری                   | ۵-۵-۲-۴  |
| ۲۲۱ | ..... کاربردهای فناوری نانو در آبیاری مزارع کشاورزی                      | ۶-۵-۲-۴  |
| ۲۲۱ | ..... کاربردهای فناوری نانو در ماشین‌های کشاورزی                         | ۷-۵-۲-۴  |
| ۲۲۲ | ..... کاربردهای فناوری نانو در علوفه دامی                                | ۸-۵-۲-۴  |
| ۲۲۲ | ..... فناوری نانو در صنعت برق و انرژی                                    | ۶-۲-۲-۴  |
| ۲۲۳ | ..... فناوری نانو در صنعت برق                                            | ۱-۶-۲-۴  |
| ۲۲۵ | ..... کاربرد فناوری نانو در منابع، تبدیل، توزیع، ذخیره‌سازی و مصرف انرژی | ۲-۶-۲-۴  |
| ۲۲۸ | ..... فناوری نانو در صنعت پوشاک و نساجی                                  | ۷-۲-۲-۴  |
| ۲۲۹ | ..... لباس‌های ضد لک                                                     | ۱-۷-۲-۴  |
| ۲۳۰ | ..... لباس‌های خنک                                                       | ۲-۷-۲-۴  |
| ۲۳۰ | ..... لباس‌های اسکی                                                      | ۳-۷-۲-۴  |
| ۲۳۱ | ..... لباس‌های خودتمیزشونده                                              | ۴-۷-۲-۴  |
| ۲۳۲ | ..... جوراب‌های ضد میکروبی محافظ سرما                                    | ۵-۷-۲-۴  |
| ۲۳۲ | ..... پارچه‌های نخی ضد چروک و ضد لک                                      | ۶-۷-۲-۴  |
| ۲۳۳ | ..... تولید نانوالیاف                                                    | ۷-۷-۲-۴  |
| ۲۳۵ | ..... کنترل رطوبت به کمک نانوالیاف                                       | ۸-۷-۲-۴  |

## پیشگفتار مؤلفین

علوم فناوری نانو عمیقاً میان‌رشته‌ای بوده و دستاوردهای بس شگرفی برای بشریت خواهند داشت و افق‌های کاملاً جدیدی را برای پیشرفت و بهروزی جوامع و مبارزه مؤثر با بیماری‌ها گشود. رسیدن به مقیاس نانو، از طریق رویکرد از پایین به بالا، یکی از گزینه‌های علم و فناوری نانو است. رویکرد دیگر در علم فناوری نانو، رویکرد از بالا به پایین با بیرون کشیدن نانو‌ساختارها از درون ساختارهای بزرگ‌تر است. این رویکرد به هم برنامه‌های چک‌سازی مشهور گشته است و همراه با رویکرد اول، بسترهای اساسی برای پیوستن برنامه عظیم جهانی علوم فناوری نانو هستند.

علوم فناوری نانو، همراه با فناوری زیستی متکی بر ژنیک مولکولی که در برنامه بزرگ ژنوم انسانی متجلی گشته است و فناوری اطلاعات که پیشرفت عظیم قدرت محاسباتی رایانه‌ها، در شکل ابررایانه‌ها، سگوه‌های گرافیک محاسباتی و رایانه‌های فردی، جهش‌وار به پیش می‌رود، مبانی علم و فناوری قرن بیست و یکم را تشکیل می‌دهند و سیمای پیشرفت جوامع بشری را تا حداقل پنجاه سال آینده ترسیم می‌کنند. لذا فناوری نانو یکی از علوم بسیار جدید و پویا و پیشرفته امروزه در جهان است که تقریباً در تمام رشته‌ها؛ اعم از: پزشکی، نساجی، نظامی، نفت و پتروشیمی، مهندسی و بسیاری دیگر از علوم کاربرد دارد.

یادگیری این علم می‌تواند برای قشر در حال تحصیل و حتی تحصیل‌کرده‌های امروزی بسیار مفید و موجب پیشرفت باشد.

این کتاب به توضیح مختصر و مفید درباره تاریخچه نانو و علم نانوتکنولوژی،

نانومواد، روش‌های سنتز، کاربردها و مثال‌های گوناگون در زندگی روزمره پرداخته است.

خواندن این کتاب به دانشجویان رشته‌های پزشکی و مهندسی و سایر علاقمندان به علم نانو توصیه می‌شود.

مطالب ارائه شده در این کتاب را می‌توان در چهار فصل به صورت زیر خلاصه نمود:

• فصل اول: تاریخچه نانوتکنولوژی در جهان و ایران؛

فصل دوم: آشنایی با فناوری نانو و نانوذرات؛

• فصل سوم: مروری بر روش‌های سنتز و خواص نانوذرات؛

• فصل چهارم: کاربرد نانوتکنولوژی در صنایع.

بر خود لازم می‌دانیم از کسانی که در تهیه و چاپ این کتاب ما را یاری رسانده‌اند، تشکر و قدردانی نماییم.

در خاتمه برآن باوریم که هر کاری عاری از نقص نمی‌باشد و لذا از کلیه اساتید، دانشجویان، دانش‌پژوهان و همکاران محترم این اثر، صمیمانه خواستار بذل توجه و ارائه نقطه نظرات ارزشمند می‌باشیم تا در رفع این معایب به هر طریقی که می‌دانند، ما را مطلع نمایند و ما نیز با دیده منت پذیرای انبادهای و پیشنهادها خواهیم بود.

تشکر

شهرزاد محسنی / دکتر مسعود مدنی