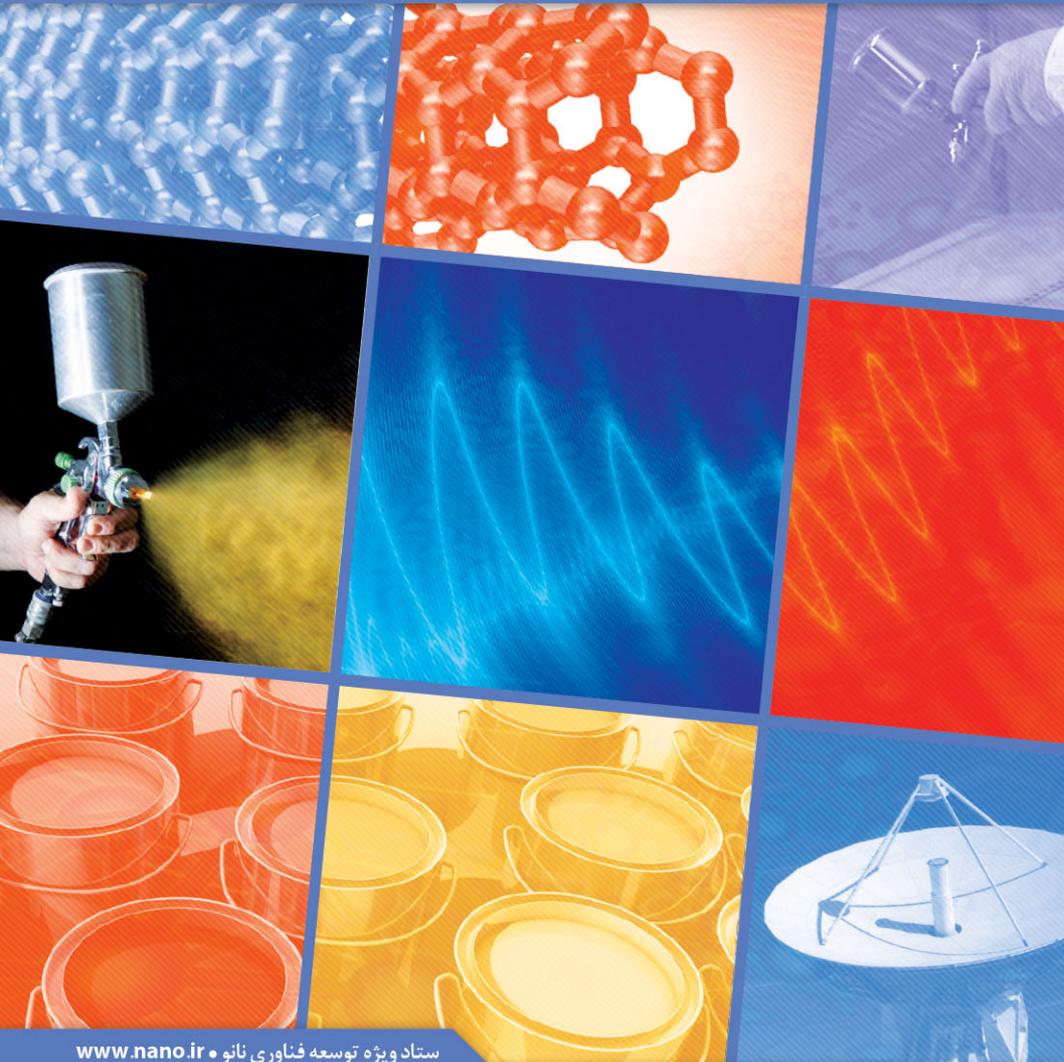


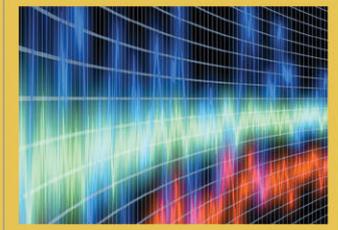
مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۰۵

# کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست





نانو مواد به موادی گفته می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در مقیاس نانومتری (زیر ۱۰۰ نانومتر) باشند. کوچک شدن اندازه ذرات در حد نانومتر سبب تغییراتی در خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها می‌شود. بنابراین نانو فناوری به بحث درباره تغییرات خواص مواد هنگامی که اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر است، می‌پردازد.

از دیرباز تا کنون رنگ‌ها به عنوان پوشش محافظ یا تزئینی بر روی سطوح مختلف به کار رفته‌اند و در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری نانو در صنایع مختلف، از جمله صنعت رنگ شاهد پیشرفت‌های جالبی در این زمینه و تولید انواع رنگ‌ها با کیفیت‌ها و با قابلیت‌های متنوع بوده‌ایم. نمونه‌ای از کاربرد فناوری نانو در صنعت رنگ استفاده از رنگ‌ها به منظور محافظت از محیط پیرامون در برابر امواج الکترومغناطیس و مشکلات ناشی از تداخل این امواج است.

### مشکلات امواج الکترومغناطیس

در طول چند دهه گذشته، به دلیل رشد گسترده الکترونیک و تجهیزات الکترونیکی، ارتباطات راه دور و استفاده از سیستم‌های کنترل در صنایع مختلفی چون هوافضا، سیستم‌های دفاعی، تجهیزات پزشکی و غیره، افزایش کاربرد سیستم‌های الکترومغناطیس و محدوده فرکانسی به کار رفته به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. امواج الکترومغناطیس محدوده وسیعی از امواج رادیویی با انرژی کم تا پرتوهای پر انرژی گاما را شامل می‌شوند و قرار گرفتن طولانی مدت در معرض این امواج مشکلات جدی برای سلامت جسمانی انسان به وجود می‌آورد. همچنین به دلیل گسترده‌گی استفاده از ابزارهای الکترونیکی در زندگی روزمره تداخل امواج الکترومغناطیس نیز همواره مسئله‌ای قابل توجه بوده و یکی از آلودگی‌های مهم زندگی کنونی بشر به شمار می‌رود. به همین دلیل محققان از دیرباز به دنبال یافتن روش‌های موثر و کارآمد به منظور کاهش اثرات مضر این امواج بوده‌اند، اما مشکلاتی نظیر اثربخشی نسبتاً کم مواد محافظ، هزینه بالا و نیز فرایند ساخت پیچیده این مواد همواره پیش رو بوده است.

### حفاظت تداخل الکترومغناطیسی و دلایل استفاده

تداخل امواج الکترومغناطیس (EMI)<sup>۱</sup> به معنای وقفه یا کاهش عملکرد موثر وسایل و تجهیزات، در اثر تابش‌های الکترومغناطیس از یک منبع ناخواسته در محدوده فرکانس‌های مشابه فرکانس کاری است. منظور از حفاظت در برابر امواج الکترومغناطیس رسیدن به حد مطمئن تضعیف این امواج است که این کار به وسیله انعکاس و جذب این امواج توسط مواد حفاظتی صورت می‌گیرد.



حفاظت از تداخل الکترومغناطیسی برای محافظت از وسایل الکترونیکی، مدارهای حساس از اشعه ها و امواج ناشی از کامپیوترها و ابزار مخابراتی، پیشگیری از نظارت غیرمجاز و جلوگیری از اشکال مختلف جاسوسی الکترومغناطیسی لازم است. اختلال در عملکرد ابزار آلات الکترونیکی بسیار خطرناک است؛ زیرا این ابزار در سیستم های استراتژیکی نظیر هواپیما، راکتورهای هسته ای، ترانسفورماتورها، سیستم های کنترل، مخابرات و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. از دیرباز استفاده از مواد متداول حفاظتی پایه فلزی مرسوم بوده است، بعدها استفاده از کامپوزیت های پلیمری هادی الکتروسیسته به دلیل وزن سبک، مقاومت به خوردگی، انعطاف پذیری و مزایای دیگر توجه زیادی را به خود جلب کردند. در دهه گذشته با پیشرفت علوم و فناوری های نوین و رشد چشمگیر کاربرد امواج الکترومغناطیس در صنایع مختلف، توجه محققان به استفاده از فناوری های جدیدی مانند کاربرد فناوری نانو به منظور بهبود خواص پوششی حفاظت در این زمینه معطوف شده است. به عنوان مثال می توان به کاربرد گسترده نانو کامپوزیت های پلیمری در مواد محافظ الکترومغناطیس اشاره کرد. استفاده از نانو کامپوزیت پلیمری به جای سیستم های آلومینیومی، وزن سازه را کاهش داده و خوردگی آن را، که ناشی از سخت افزارهای مورد نیاز برای نگهداری آلومینیوم در محل است، از بین می برد.

### مکانیزم حفاظت تداخل الکترومغناطیس

به طور کلی عملکرد مواد در میدان های الکترومغناطیس، به وسیله جابه جایی الکترون های آزاد و حرکت های اتمی آن ها در میدان مغناطیسی تعیین می شود. سازوکار اصلی حفاظت الکترومغناطیس، شامل تولید میدان مغناطیسی مخالف با میدان مغناطیسی بر خوردی و در نتیجه اتلاف انرژی در محیط محافظ و تضعیف امواج ورودی است (شکل ۱). در استفاده از مواد نانو مقیاس، این حفاظت به دلیل رسانایی بالای نانو کامپوزیت ها بسیار موثرتر از مواد محافظ دیگر است.

شکل ۱. مکانیزم حفاظت الکترومغناطیس (EMI)، با عبور امواج عبوری از پوشش محافظ شدت امواج خروجی به میزان قابل توجهی کاهش می یابد [۱].



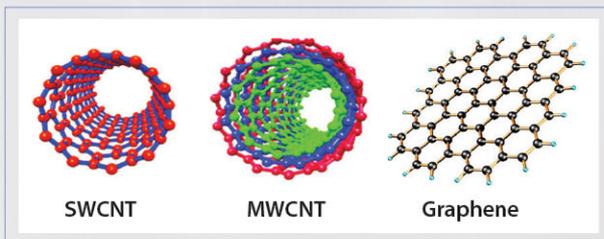
### فناوری نانو و رنگ های محافظ<sup>۲</sup> در تداخل الکترومغناطیسی

در طول دهه گذشته فناوری نانو و دست یابی به مواد نانو مقیاس با ویژگی ها و عملکردهای منحصر به فرد، افق نویدبخشی در زمینه استفاده از رنگ های محافظ الکترومغناطیس برای محققان گشوده است. اساسا نانو مواد گامی نوین در تکامل استفاده از مواد محافظ در برابر اشعه و تداخل الکترومغناطیسی به شمار می روند. عمدتا اثر بخشی حفاظت الکترومغناطیسی یک ماده کامپوزیتی به هدایت ذاتی ماده محافظ و ضریب گذردهی الکتریکی آن

بستگی دارد. در این میان استفاده از نانو موادی نظیر نانوفیبرهای کربنی و لایه‌های گرافیت به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد حرارتی، الکتریکی، مکانیکی و فیزیکی برای استفاده در کامپوزیت‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. قطر کوچک، نسبت ابعادی بالا، رسانش زیاد و استحکام مکانیکی بالای نانولوله‌های کربنی این مواد را به عنوان یک انتخاب عالی برای بکارگیری در کاربردهای حفاظت تداخل الکترومغناطیس با درصد‌های وزنی کم و عمکرد بالا مبدل ساخته است. نانولوله کربن تک دیواره<sup>۱</sup>، چنددیواره<sup>۲</sup> و گرافن (شکل ۲)، دارای کاربرد ویژه‌ای در کامپوزیت‌های مورد استفاده در رنگ‌های حفاظت الکترومغناطیسی هستند.

از طرفی با توجه به گستردگی و تنوع پلیمرها، اپوکسی با داشتن خصوصیات مناسبی چون مقاومت عالی در برابر خوردگی، خصوصیت چسبندگی خوب، دانسیته کم و قیمت ارزان عمدتاً جز اصلی نانو کامپوزیت‌های محافظ به شمار می‌رود. در زیر به برخی از نتایج تحقیقات در زمینه کاربرد نانو کامپوزیت‌های محافظ اشاره شده است.

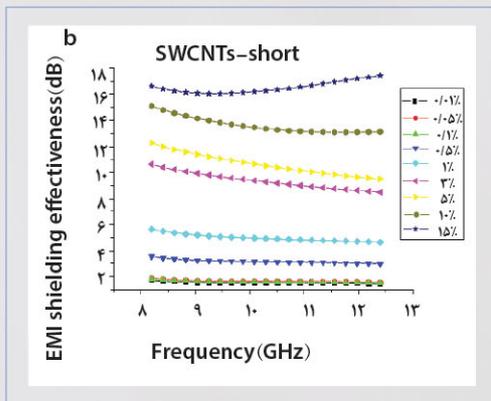
شکل ۲. شمایی از نانولوله‌های کربنی تک دیواره، چند دیواره و گرافن



### ۱ نانو کامپوزیت‌های پروکسی-نانولوله کربنی تک دیواره

در شکل ۳ اثر بخشی حفاظتی الکترومغناطیس بر حسب دسیبل (db) به‌ازای مقادیر وزنی مختلف SWCNT برای کامپوزیت پروکسی- کربن نانو تیوب تک دیواره نشان داده شده است. روند افزایشی حفاظت مغناطیسی با افزایش مقدار SWCNT به‌وضوح در شکل قابل مشاهده است. این اثربخشی حفاظتی برای کامپوزیت‌های

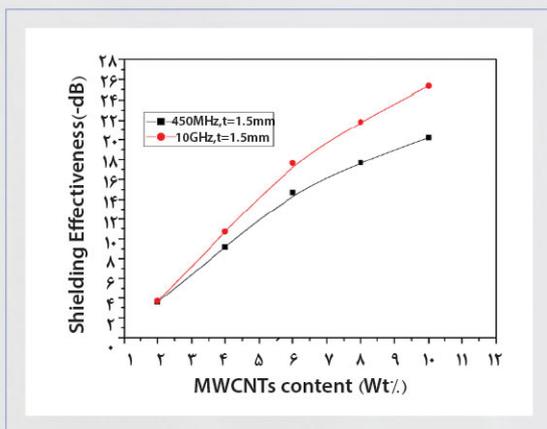
شکل ۳. روند اثربخشی حفاظت EMI به‌ازای درصد‌های وزنی مختلف SWCNTs در نانو کامپوزیت پروکسی-نانولوله کربنی تک دیواره



پروکسی- کربن نانو تیوب تک دیواره با ۱۵٪ وزنی افزودنی SWCNT حدود ۴۹ دسیبل در فرکانس ۱۰ MHz و حدود ۱۵ dB - ۲۰ در محدوده ۵۰۰ MHz تا ۱/۵ GHz به دست آمده است [۳].

### ۲ نانو کامپوزیت پلی آکرلیک-نانو لوله کربنی چند دیواره شکل

مطالعات نشان می‌دهد که به طور کلی اثر بخشی حفاظتی کربن نانو لوله چند دیواره در مقایسه با کربن نانو لوله تک دیواره بیشتر بوده و این محافظت در درصدهای وزنی پایین نیز به خوبی مشاهده می‌شود. اثر بخشی حفاظتی بالا در نانو لوله کربنی چند دیواره اساساً به هدایت بالاتر و تراکم تعداد زیاد این نانو لوله‌ها در شبکه نسبت داده می‌شود. در شکل ۴ روند اثر بخشی حفاظت الکترومغناطیس به ازای درصدهای وزنی مختلف MWCNTs در فرکانس مغناطیسی ۴۵۰ مگاهرتز و ۱۰ گیگاهرتز برای نانو کامپوزیت پلی آکرلیک- کربن نانو تیوب چند دیواره نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان اثر بخشی در فرکانس 10 GHz روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای دارد [۴].

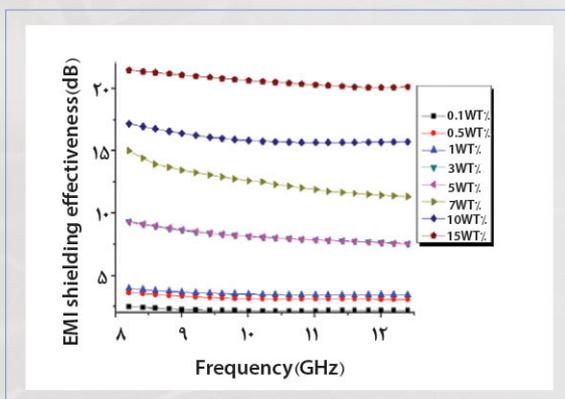


شکل ۴. روند اثر بخشی حفاظت EMI به ازای درصدهای وزنی مختلف MWCNTs در نانو کامپوزیت پلی آکرلیک- نانو لوله کربنی چند دیواره

### ۳ نانو کامپوزیت اپوکسی- گرافن

گرافن نیز از جمله موادی است که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد کاندید مناسبی برای حفاظت EMI به شمار می‌رود. گرافن حتی در درصدهای وزنی پایین تاثیر بسزایی در بهبود خواص حفاظتی کامپوزیت دارد. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که اثر بخشی حفاظت الکترومغناطیس با افزایش مقدار نانو ماده افزایش یافته و برای همه محدوده‌های فرکانسی روند مطلوبی دارد. میزان اثر بخشی حفاظت به ازای ۱۵٪ وزنی گرافن (۸/۸ حجمی) ۲۱ دسیبل به دست آمده است [۵].

➤ شکل ۵. روند  
 اثربخشی حفاظت EMI  
 به ازای درصدهای وزنی  
 مختلف گرافن در نانو  
 کامپوزیت اپوکسی -  
 گرافن



۲ استفاده از نانو مواد هیبریدی که با ترکیب شدن مواد کربنی نانو ساختار با اجزای مغناطیسی نظیر آهن و نیکل تولید می شوند، می توانند به طور مؤثر در رنگ های محافظ، مورد استفاده قرار گیرند.

به طور کلی بهترین روش برای اعمال نانو کامپوزیت های پلیمر - کربن، رنگ و اسپری کردن این محلول بر روی سازه های مورد نظر است. در صورت مناسب بودن ویسکوزیته و غلظت محلول، پوشش یکنواختی روی سازه تشکیل می شود که اثربخشی مورد نیاز را تامین می کند. استفاده از این رنگ ها با قیمت بسیار کمتر و سازگارتر در محافظت از سازه های زمینی، هوانوردی، تجهیزات پزشکی و سیستم های فضایی و ماهواره ها قابل استفاده است.



➤ شکل ۶. اعمال پوشش های حفاظت الکترومغناطیسی به صورت رنگ یا اسپری کردن بر روی سطوح مورد نظر

## پیش‌بینی بازار جهانی

با توجه به گسترش روزافزون فناوری و الکترونیک در صنایع مختلف و گسترش آلودگی‌های الکترومغناطیس و نیاز برای مقابله با این آلودگی‌های زیستی، بازار جهانی، رشد چشمگیری را در استفاده از مواد محافظتی برای چند سال آینده پیش‌بینی می‌کند. از طرفی توجه به در نظر گرفتن مواد محافظتی با کارایی بالا، به‌منظور کاهش هزینه‌های عملی و جلوگیری از نیاز به تجهیزات گران‌قیمت، این بازار را به سمت استفاده از فناوری نانو، خصوصاً استفاده از نانولوله‌های کربنی، نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری و پلیمرهای رسانای ذاتی سوق داده است. این بازار رشد قابل توجهی را برای مواد محافظ الکترومغناطیس در بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ برآورد کرده است، به طوری که بازار ۷/۹ میلیارد دلاری برای مواد محافظ الکترومغناطیس در سال ۲۰۲۰ تخمین زده شده است [۶].



شکل ۷. روند رو به رشد بازار پیش‌بینی شده برای مواد محافظ الکترومغناطیس در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰

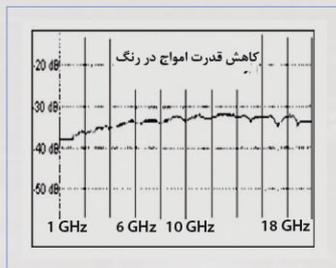
## شرکت‌های فعال در حوزه رنگ‌های محافظ

با توجه به نیاز روزافزون بازار به کاربرد رنگ‌های محافظ الکترومغناطیس توسعه شرکت‌های موجود در دنیا در این حوزه در حال گسترش است که در زیر به تعدادی از رنگ‌های محافظ (EMI) موجود در بازار اشاره شده است.

### رنگ Y-SHIELD

#### خصوصیات رنگ:

- قابل استفاده برای فرکانس‌های بالا بوده و در همه سطوح قابل استفاده است.
- کاهش قدرت میرایی ۳۰ db موج به ازای هر لایه رنگ
- دارای مقاومت ۱۰ اهم بر متر
- طول عمر رنگ محافظ ۱۵ ماه است.
- رنگ مورد نظر مشکلی است که برای رسیدن به هر رنگ دلخواه می‌توان از رنگ مورد نظر بر روی رنگ محافظ استفاده کرد.

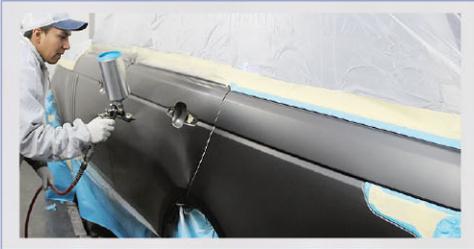


شکل ۸. کاهش قدرت امواج اندازه‌گیری شده در رنگ Y-SHIELD

## رنگ GEOVITAL T98

خصوصیات رنگ:

- قابل استفاده در فرکانس‌های بالا (کاهش قدرت ۵۰ db برای فرکانس ۱۰ GH)
- دارای قابلیت کاهش امواج تا ۹۹/۹۹۹ درصد
- دارای حفاظت طولانی مدت

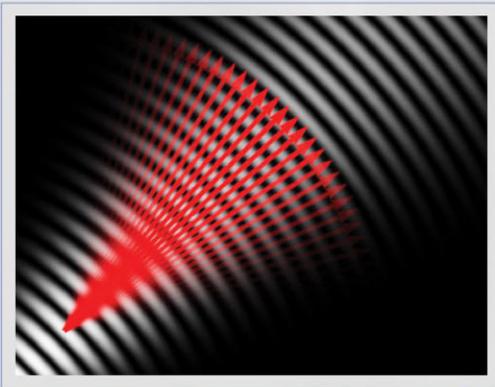


## رنگ Super Shield Graphite Conductive

خصوصیات رنگ:

- استفاده از صفحات گرافیت با قابلیت کاهش تداخل امواج رادیویی و الکترومغناطیس
- هدایت بالا و مقاومت سطحی پایین ( $47\Omega/sq$ ) در یک لایه پوشش
- مقاوم در برابر خوردگی
- سازگار با محیط

## نتیجه گیری



فناوری نانو، توانمندی تولید مواد، ابزار و سیستم‌های جدید با کنترل سطوح مولکولی و اتمی برای استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود. با کمک فناوری نانو و خصوصا استفاده از نانو کامپوزیت‌های پلیمری در رنگ، می‌توان به راحتی و با صرف هزینه‌های اندک بر مشکل گسترش و تداخل آلودگی‌های الکترومغناطیس غلبه نمود. همچنین با کمک این فناوری، رشد چشمگیری در استفاده از مواد محافظتی و

رنگ‌های محافظ الکترومغناطیس مبتنی بر فناوری نانو در سال‌های آینده پیش‌بینی می‌شود.

## پی‌نوشت‌ها

- 1 Electromagnetic interference (EMI)
- 2 Shielding
- 3 single-walled carbon nanotube (SWCNT)
- 4 Multi-walled carbon nanotube (SWCNT)

## مراجع

- 1 M.Jaroszawski, J.Ziaja, EM shielding- theory and development of new materials, research signpost, kerala, 2012.
- 2 Kuldeep Singh, Anil Ohlan, S.K. Dhawan, Polymer-Graphene Nanocomposites: Preparation, Characterization, Properties, and Applications. Nanotechnology and Nanomaterial, 2012.
- 3 Li, N., Y. Huang, F. Du, X. He, X. Lin, H. Gao, Y. Ma, et al. Electromagnetic interference (EMI) shielding of single-walled carbon nanotube epoxy composites. Nano Letters 2006.,
- 4 P Saini, V Choudhary, BP Singh, RB Mathur, Polyaniline–MWCNT nanocomposites for microwave absorption and EMI shielding, Materials Chemistry and Physics, 2009.
- 5 J Liang, Y Wang, Y Huang, Y Ma, Z Liu, J Cai, C Zhang, Electromagnetic interference shielding of graphene/epoxy composites, Carbon, 2009.
- 6 www.slideshare.net

## مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - [www.nanosun.ir](http://www.nanosun.ir)



## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربرد فناوری نانو در پوشاک
- کاربرد فناوری نانو در رنگرزی منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات ورزشی / بیرونی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات خود تمیزشونده
- سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای
- نانوحسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا
- نانوحسگرهای تشخیص دهنده پاتوژن‌های میکروبی در مواد غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در چاه ارت
- کاربرد نانوحسگرها در تشخیص و کنترل رطوبت خاک
- کاربردهای فناوری نانو در خاک‌کاری قسمت‌های مختلف نیروگاه
- کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز معکوس
- درخت‌سان: نانوحاملی در عرصه سلامت
- فناوری‌های نوین در استفاده از آب‌های تخریب شده به عنوان منبع آب مصرفی صنایع مختلف
- مدخل هوا-نانو-الیاف

- مروری بر فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی
- نانوحسگرهای پایش کیفیت آب
- نانو حسگرهای مورد استفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- فولادهای نانوساختار
- فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)
- نانوحسگرهای تشخیص سموم کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند (1)
- نانوآفت‌کش و اثر آن در کنترل آفات
- کاربرد فناوری نانو در صنعت مفره
- کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی
- کاربرد فناوری نانو در روغن‌های روان‌کننده
- نانو افزودنی‌های سوخت
- کاربرد نانوالیاف در کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری
- کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی
- نانوفیلترهای لیفی
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌روی آب در نیروگاه‌های گرمایی
- فولاد نانوساختار Sandvik Nano flex
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل
- کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED
- کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنعت خودرو
- کاربرد نانو کامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

۰۲۱-۶۳۱۰۰

تلفن:

توسعه فناوری مهر و بژن

طراحی و اجرا:

۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

نمابر:

داود قراپلو

نظارت:

www.nano.ir

پایگاه اینترنتی:

report@nano.ir

تهیه‌کننده: گروه ترویج صنعتی کامپوزیت و پلیمر

۱۴۵۶۵-۳۴۴

صندوق پستی:

composite@nano.ir