



ریاست جمهوری  
معاونت علمی و فناوری  
سازمان توسعه فناوری نانو

# نانو کامپوزیت‌ها

انواع، کاربردها و بازار

مجموعه گزارش‌های  
رصد فناوری نانو  
۱۳۹۰



ریاست جمهوری  
معاونت علمی و فناوری  
تأدیسه توسعه فناوری نانو

# نانو کامپوزیت‌ها

انواع، کاربردها و بازار

مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو

۱۳۹۰

عنوان: نانو کامپوزیت‌ها؛ انواع، کاربردها و بازار

مترجم: علی عباسی

به سفارش: ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی: شرکت توسعه فناوری مهرویژن

تاریخ انتشار: ۱۳۹۰

نشانی: تهران، خیابان ستارخان، خیابان شهید حبیب الله، بلوار شهید متولیان، پلاک ۹

صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵

تلفن: ۰۲۱-۶۱۰۰۲۲۵۱-۴

دورنگار: ۰۲۱-۶۱۰۰۲۲۲۲

آدرس سایت: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

پست الکترونیکی: [tolid@nano.ir](mailto:tolid@nano.ir)

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
۱	مقدمه	۱۰
۱-۱	سابقه تحقیق	۱۰
۲-۱	اهداف تحقیق	۱۰
۳-۱	مخاطبان مورد نظر	۱۰
۴-۱	قالب و حدود	۱۰
۵-۱	روش بررسی و منابع اطلاعات	۱۰
۶-۱	اعتبار تحلیل‌گر	۱۱
۷-۱	گزارش‌های مرتبط BCC RESEARCH	۱۱
۸-۱	خدمات آنلاین BCC	۱۲
۹-۱	رفع مسئولیت	۱۲
۲	خلاصه مدیریتی	۱۴
۳	مروری بر نانوکامپوزیت‌ها	۱۶
۱-۳	توصیف کلی	۱۶
۱-۱-۳	تعاریف	۱۶
۱-۱-۱-۳	کامپوزیت‌ها	۱۶
۲-۱-۱-۳	نانوکامپوزیت‌ها	۱۶
۲-۱-۳	مقدمه‌ای بر نانوکامپوزیت‌ها	۱۶
۲-۳	ویژگی‌های عمومی نانوکامپوزیت‌ها و کامپوزیت‌های معمولی	۱۷
۱-۲-۳	افزایش مقاومت کششی، مدول و دمای اعوجاج حرارتی	۱۷
۲-۲-۳	رنگ و شفافیت	۱۷
۳-۲-۳	رسانایی	۱۷
۴-۲-۳	مقاومت در برابر سوختن	۱۷
۵-۲-۳	ویژگی‌های انسدادی	۱۷
۶-۲-۳	ویژگی‌های ضد خوردگی	۱۷
۳-۳	انواع نانوکامپوزیت‌ها، ویژگی‌ها و کاربردهای آنها	۱۸
۱-۳-۳	نانوکامپوزیت‌های خاک رسی	۱۸
۱-۱-۳-۳	مواد	۱۸
۱-۱-۱-۳-۳	پرکننده‌های خاک رسی	۱۸
۲-۱-۱-۳-۳	مواد ماتریسی	۱۹
۲-۱-۳-۳	ساخت	۲۱
۱-۲-۱-۳-۳	تولید و پیش‌فرآیندهای پرکننده‌های خاک رسی	۲۲
۲-۲-۱-۳-۳	ترکیب	۲۲
۲-۱-۲-۳-۳	انواع نانوکامپوزیت‌های خاک رسی	۲۳
۱-۳-۱-۲-۳-۳	نانوکامپوزیت‌های خاک رسی تجاری:	۲۳
۲-۳-۱-۲-۳-۳	نانوکامپوزیت‌های پلیمر/رس دیگر در حال توسعه	۲۵
۲-۱-۳-۳	کاربردها	۲۶
۱-۴-۱-۳-۳	خودروسازی	۲۷
۲-۴-۱-۳-۳	بسته‌بندی	۲۷
۳-۴-۱-۳-۳	بهداشت و سلامت	۲۷
۴-۴-۱-۳-۳	محصولات مصرفی	۲۸
۵-۴-۱-۳-۳	مواد نسوز	۲۸
۵-۱-۳-۳	سازندگان	۲۸
۲-۳-۳	نانوکامپوزیت‌های سرامیکی	۳۱
۱-۲-۳-۳	مواد	۳۱
۱-۱-۲-۳-۳	پرکننده‌های سرامیکی	۳۱



۳۲	مواد ماتریسی	۲۱۱۲۳۳
۳۳	ساخت	۱۲۳۳
۳۳	مونومرهای دارای نیمه‌ی معدنی	۱۲۲۳۳
۳۳	ساخت در محل لایه‌های نانو کامپوزیت سرامیکی	۲۱۲۳۳
۳۳	ساخت توده‌های نانو کامپوزیتی WC/Co	۳۲۲۳۳
۳۴	انواع و ویژگی‌ها	۲۲۳۳
۳۴	پلی اورتان / آلومینا	۱۲۲۳۳
۳۴	دی اکسید تیتانیوم / آلومینا	۲۳۲۳۳
۳۵	آلومینا / زیرکونیا	۳۲۲۳۳
۳۵	اپوکسی / الیاف کربن / سیلیس	۴۲۲۳۳
۳۵	پلی اورتان / اورگانوسیلیکا	۵۲۲۳۳
۳۵	کبالت / کاربید تنگستن	۶۲۲۳۳
۳۵	فسفات کلسیم / سیلیس	۷۳۲۳۳
۳۵	کاربردها	۲۲۳۳
۳۶	کاربردهای پوشش‌ها	۱۲۲۳۳
۳۶	علوم زیستی	۲۲۲۳۳
۳۷	محصولات مصرفی	۳۲۲۳۳
۳۷	سایر کاربردها	۴۲۲۳۳
۳۷	سازندگان	۵۲۲۳۳
۳۸	کامپوزیت‌های نانولوله کربنی	۳۳۳۳
۳۸	مواد	۱۲۳۳
۳۸	پرکننده‌ها	۱۱۳۳۳
۳۹	مواد ماتریسی	۲۱۲۳۳
۳۹	فناوری‌های ساخت	۲۲۳۳
۳۹	فرآیند اکستروژن جهت‌دار نانو کامپوزیتی	۱۲۳۳۳
۴۰	ساخت لایه‌ای	۲۲۲۳۳
۴۰	الیاف CNT	۳۲۳۳۳
۴۰	انواع کامپوزیت نانولوله‌ای کربنی	۲۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های نایلون / MWNT	۱۲۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های پلی کربنات / MWNT	۲۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های پلی وینیل الکل / MWNT	۳۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های پلی بوتیلن ترفتالات / MWNT	۴۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های پلی فنیلن اتر / پلی آمید / MWNT	۵۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های اپوکسی / الیاف کربن / MWNT	۶۳۳۳۳
۴۱	کامپوزیت‌های پلی اورتان / فولرین	۷۳۳۳۳
۴۱	کاربردها	۲۳۳۳۳
۴۲	اجزای خودرو	۱۲۳۳۳
۴۲	کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن	۲۲۳۳۳
۴۲	محصولات مصرفی	۳۲۳۳۳
۴۳	منسوجات	۴۲۳۳۳
۴۴	سازندگان	۵۲۳۳۳
۴۴	نانو کامپوزیت‌های دارای فلز	۶۳۳۳۳
۴۴	مواد	۱۲۳۳۳
۴۵	فلزات	۱۱۲۳۳
۴۵	پلیمرها	۲۱۲۳۳
۴۵	ساخت	۲۲۳۳۳

۴۵	انواع و ویژگی‌ها	۳۲۳۳
۴۵	کاربردها	۴۴۳۳
۴۶	سازندگان	۵۴۳۳
۴۶	نانوکامپوزیت‌های دارای اکسید فلز	۵۳۳۳
۴۶	نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی	۱۵۳۳
۴۷	نانوکامپوزیت‌های زیستی	۶۳۳۳
۴۷	مواد	۱۶۳۳
۴۷	پرکننده‌ها	۱۱۶۳۳
۴۸	مواد ماتریس	۲۱۶۳۳
۴۸	ساخت	۲۶۳۳
۴۹	استخراج نانوالیاف سلولزی	۱۲۶۳۳
۴۹	تولید مواد نانوکامپوزیتی	۲۲۶۳۳
۴۹	انواع نانوکامپوزیت‌های زیستی	۳۶۳۳
۴۹	نانوکامپوزیت‌های پلی وینیل الکل / سلولز	۱۳۶۳۳
۴۹	الیاف نانوکامپوزیتی کتان / خاک رس	۲۳۶۳۳
۴۹	کاربردها	۲۶۳۳
۴۹	کاربردهای خودروسازی	۱۴۶۳۳
۴۹	کاربردهای نساجی	۲۴۶۳۳
۵۰	سایر کاربردها	۳۴۶۳۳
۵۰	سازندگان	۵۶۳۳
۵۰	انواع دیگر نانوکامپوزیت‌ها	۷۳۳۳
۵۰	غشاهای پیل سوختی نانوکامپوزیتی	۱۷۳۳
۵۰	مواد	۱۱۷۳۳
۵۱	انواع غشاهای پیل سوختی نانوکامپوزیتی	۲۱۷۳۳
۵۱	کاربردها	۳۱۷۳۳
۵۱	سازندگان	۴۱۷۳۳
۵۱	نانوکامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک	۲۷۳۳
۵۱	مواد	۱۲۷۳۳
۵۱	ساخت	۲۲۷۳۳
۵۲	کاربردها	۳۲۷۳۳
۵۲	سازندگان	۴۲۷۳۳
۵۲	نانوکامپوزیت‌های دارای سیلزسکیوکسان اولیگومری چند وجهی	۳۷۳۳
۵۲	مواد، ساخت و ویژگی‌های نانوکامپوزیتی	۱۳۷۳۳
۵۲	کاربردها و سازندگان	۲۳۷۳۳
۵۲	نانوکامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز	۴۷۳۳
۵۳	مواد، ساخت و ویژگی‌های نانوکامپوزیت	۱۴۷۳۳
۵۳	کاربردها و سازندگان	۲۴۷۳۳
۵۶	تحلیل پتنت	۴
۵۶	پتنت‌ها و درخواست‌های ثبت پتنت بر مبنای نوع نانوکامپوزیت	۱۴
۵۷	روند ثبت پتنت در طول زمان	۲۴
۵۸	دارندگان پتنت	۳۴
۶۴	بازار جهانی نانوکامپوزیت‌ها، ۲۰۰۵-۲۰۱۱	۵
۶۵	مصرف نانوکامپوزیت‌ها براساس نوع مواد	۱۵
۶۷	میزان مصرف نانومواد براساس کاربرد	۲۵
۶۸	پیش‌بینی‌های دقیق بازار	۳۵
۶۸	نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس	۱۳۵

۷۰.....	نایلون /مونت‌موریلونیت	۱۱۳۵
۷۱.....	بوتیل /ورمیکولیت	۲۱۳۵
۷۳.....	مونتموریلونیت /TPO	۳۱۳۵
۷۴.....	مونتموریلونیت /EVA	۴۱۳۵
۷۴.....	سایر نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس	۵۱۳۵
۷۵.....	نانو کامپوزیت سرامیکی	۲۳۵
۷۶.....	پلی اورتان /آلومینا	۱۲۳۵
۷۷.....	آلومینا /تیتانیا	۲۲۳۵
۷۸.....	اپوکسی /کربن /سیلیکا	۳۲۳۵
۷۹.....	کلسیم فسفات / سیلیکا	۴۲۳۵
۷۹.....	نانو کامپوزیت‌های کربید تنگستن /کبالت	۵۲۳۵
۸۰.....	کامپوزیت‌های نانولوله کربنی	۳۳۵
۸۱.....	نانو کامپوزیت‌های نایلون /MWNT	۱۳۳۵
۸۲.....	نانو کامپوزیت‌های پلی کربنات /MWNT	۲۳۳۵
۸۳.....	نانو کامپوزیت‌های MWNT/PBT	۳۳۳۵
۸۳.....	نانو کامپوزیت‌های MWNT / PPE	۴۳۳۵
۸۴.....	نانو کامپوزیت‌های اپوکسی / کربن /MWNT	۵۳۳۵
۸۵.....	نانو کامپوزیت‌های پلی اورتان / فولرین	۶۳۳۵
۸۵.....	الیاف SWNT/PVOH	۷۳۳۵
۸۶.....	نانو کامپوزیت‌های حاوی اکسید آهن / آهن	۳۳۵
۸۶.....	نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT برای پیل‌های فوتوولتائیک	۱۳۳۵
۸۷.....	کامپوزیت‌های نانومغناطیسی	۱۳۳۵
۸۸.....	نانو کامپوزیت‌های زیستی	۵۳۵
۸۹.....	نانو کامپوزیت‌های سلولز /PVOH	۱۵۳۵
۹۰.....	الیاف نانو کامپوزیت مونتموریلونیت /پنبه	۲۵۳۵
۹۰.....	نانو کامپوزیت‌های دیگر	۶۳۵
۹۲.....	نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز	۱۶۳۵
۹۲.....	نانو کامپوزیت‌های دارای POSS	۲۶۳۵
۹۳.....	غشاهای نانو کامپوزیتی برای پیل سوختی	۳۶۳۵
۹۴.....	نانو کامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک	۴۶۳۵
۹۸.....	صنعت نانو کامپوزیت	۶
۹۸.....	ساختار صنعت و سهم بازار	۱۶
۹۸.....	شرکت‌ها	۱۱۶
۹۸.....	سهم‌های بازار	۲۱۶
۱۰۰.....	فهرست فروشندگان	۷
۱۰۰.....	شرکت ABS INTERNATIONAL CORP	۱۷
۱۰۰.....	AGILENT TECHNOLOGIES	۲۷
۱۰۰.....	ALCOA CLOSURE SYSTEMS INTERNATIONAL	۳۷
۱۰۰.....	ALPS ELECTRIC CD., LTD.	۴۷
۱۰۰.....	ALTAIR NANOTECHNOLOGIES, INC.	۵۷
۱۰۰.....	BABOLAT NORTH AMERICA, INC.	۶۷
۱۰۰.....	BASELL POLYOLEFINS CO. N,V	۷۷
۱۰۰.....	BAYER AG	۸۷
۱۰۱.....	CARBOLEX, INC	۹۷
۱۰۱.....	CARBON NANOTECHNOLOGIES, INC	۱۰۷
۱۰۱.....	CLARIANT INTERNATIONAL AG	۱۱۷
۱۰۱.....	DEGUSSA AG	۱۲۷

۱۰۱.....	DOW CHEMICAL CO	۱۳	۷
۱۰۱.....	EASTON SPORTS, INC	۱۴	۷
۱۰۲.....	E. I. DU PONT DE NEMOURS AND CO.	۱۵	۷
۱۰۲.....	eSPIN TECHNOLOGIES,INC	۱۶	۷
۱۰۲.....	EXATEC GMBH & CO. KG	۱۷	۷
۱۰۲.....	FOSTER CORP	۱۸	۷
۱۰۲.....	FRONTIER CARBON CORP.	۱۹	۷
۱۰۲.....	GE PLASTICS	۲۰	۷
۱۰۳.....	General Motors CORP	۲۱	۷
۱۰۳.....	HOLMENKOL SPORT – TECHNOLOGIES GMBH	۲۲	۷
۱۰۳.....	ONEWELL SPECIALTY POLYMERS	۲۳	۷
۱۰۳.....	HYPERION CATALYSIS INTERNATIONAL,INC.	۲۴	۷
۱۰۳.....	INFRAMAT CORP	۲۵	۷
۱۰۴.....	INMAT LLC	۲۶	۷
۱۰۴.....	KABELWERK EUPEN AG	۲۷	۷
۱۰۴.....	LG CHEM	۲۸	۷
۱۰۴.....	MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.	۲۹	۷
۱۰۴.....	MITSUBISHI CHEMICAL CORP	۳۰	۷
۱۰۵.....	NANOLEDGE	۳۱	۷
۱۰۵.....	NANOCOR, INC	۳۲	۷
۱۰۵.....	NANOGATE TECHNOLOGIES GMBH	۳۳	۷
۱۰۵.....	NANOSYS , INC.	۳۴	۷
۱۰۶.....	NANOSOLAR, INC	۳۵	۷
۱۰۶.....	NEI CORP	۳۶	۷
۱۰۶.....	NEOMAX CO. ,LTD	۳۷	۷
۱۰۶.....	.NANOQUEST PTY, LTD	۳۸	۷
۱۰۶.....	NOBEL POLYMERS	۳۹	۷
۱۰۶.....	Pentron CLINICAL TECHNOLOGIES LLC	۴۰	۷
۱۰۶.....	POLYONE CORP.	۴۱	۷
۱۰۷.....	ROYAL DSM N. V.	۴۲	۷
۱۰۷.....	RTP	۴۳	۷
۱۰۷.....	SCIPERIO, INC	۴۴	۷
۱۰۷.....	SHOWA DENKO K. K.	۴۵	۷
۱۰۷.....	SIM COMPOSITES, INC.	۴۶	۷
۱۰۷.....	SOUTHERN CLAY PRODUCTS, INC	۴۷	۷
۱۰۸.....	SOUTHWEST NANOTECHNOLOGIES,INC	۴۸	۷
۱۰۸.....	SUD- CHEMIE AG	۴۹	۷
۱۰۸.....	TRITON SYSTEMS,INC	۵۰	۷
۱۰۸.....	UBE INDUSTRIES, LTD.	۵۱	۷
۱۰۸.....	UNITIKA , LTD.	۵۲	۷
۱۰۸.....	VALSPAR CORP.	۵۳	۷
۱۰۸.....	WILSON SPORTING GOODS CO.	۵۴	۷
۱۰۹.....	.YANTAI HAILI INDUSTRY & COMMERCE CO. ,LTD	۵۵	۷
۱۰۹.....	ZYVEX CORP	۵۶	۷
۱۱۱.....	نشانی، شماره تماس و سایت اینترنتی فروشندگان		
۱۱۴.....	معرفی کارگروه صنعت و بازار		۸

عنوان ..... فهرست شکل‌ها ..... صفحه

۱۴..... مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها، ۲۰۰۵-۲۰۱۱ (میلیون دلار).....

شکل ۱- درصد پتنت‌ها و درخواست‌های ثبت پتنت در امریکا بر حسب نوع نانو کامپوزیت..... ۵۶

شکل ۳- روند ثبت پتنت‌های فناوری نانو در امریکا بر حسب نوع فناوری، در سالهای ۲۰۰۵-۲۰۰۰..... ۵۷

شکل ۲- درصد پتنت‌های نانو کامپوزیت‌ها در امریکا در مقابل کل پتنت‌های فناوری نانو..... ۵۷

شکل ۴- دارندگان اصلی پتنت‌های نانو کامپوزیت (بر حسب درصد)..... ۵۸

شکل ۵- سهم پتنت‌های نانو کامپوزیت ثبت شده در امریکا از سال ۱۹۷۶ بر حسب نوع مالک (درصدی از کل پتنت‌های صادر شده)..... ۵۹

شکل ۷- سهم کشورهای صاحب پتنت‌های نانو کامپوزیت..... ۶۰

شکل ۹- مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها بر اساس نوع آنها بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف بر حسب دلار)..... ۶۵

شکل ۸- روند مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها، ۲۰۱۱-۲۰۰۵، (میلیون دلار)..... ۶۵

شکل ۱۰- میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف بر اساس دلار)..... ۶۷

شکل ۱۱- میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس توسط استفاده‌کنندگان نهایی، ..... ۶۹

در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)..... ۶۹

شکل ۱۲- میزان مصرف نانو کامپوزیت‌های نایلون /مونت‌موریلونیت در سال ۲۰۰۵ (درصد از کل مصرف بر اساس تن)..... ۷۰

شکل ۱۳- پیش‌بینی روند تغییرات قیمت نانو کامپوزیت نایلون/خاک رس تا سال ۲۰۱۱..... ۷۱

شکل ۱۴- پیش‌بینی روندهای بازار توپ‌های تنیس، ۲۰۱۱-۲۰۰۵ (میلیون دلار)..... ۷۲

شکل ۱۵- روندهای بازارهای جهانی مواد آتش‌نشانی از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیارد دلار)..... ۷۳

شکل ۱۶- میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌های سرامیکی توسط مصرف‌کنندگان نهایی در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)..... ۷۶

شکل ۱۷- روندهای بازار جهانی برای سطوح چوبی براق، ۲۰۱۱-۲۰۰۵، (میلیارد دلار)..... ۷۷

شکل ۱۸- روندهای بازار جهانی راکت‌های تنیس ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیارد دلار)..... ۷۸

شکل ۱۹- بازار جهانی کامپوزیت‌های مبتنی بر نانولوله‌های کربنی، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)..... ۸۱

شکل ۲۰- میزان بازار خودروسازی برای کامپوزیت‌های نانولوله / نایلون، ۲۰۰۵ (درصد از کل فروش)..... ۸۲

شکل ۲۱- روندهای فروش الیاف رسانا ۲۰۱۱-۲۰۰۵ (میلیون دلار)..... ۸۵

شکل ۲۲- روندهای فروش پیل فوتولتائیک ۲۰۱۱-۲۰۰۵ (میلیارد دلار)..... ۸۷

شکل ۲۳- روندهای مصرف صنعتی مواد نانومغناطیس، ۲۰۱۱-۲۰۰۵ (میلیون دلار)..... ۸۸

شکل ۲۴- بازار جهانی نانو کامپوزیت‌های زیستی بر اساس نوع کاربرد، ۲۰۱۱..... ۸۹

(درصد از کل مصرف)..... ۸۹

شکل ۲۵- سهم بازار عمومی برای سایر نانو کامپوزیت‌ها در ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد مصرف)..... ۹۱

شکل ۲۶- فروش پیل سوختی بر حسب نوع فناوری، ۲۰۱۱-۲۰۰۵ (میلیون دلار)..... ۹۳

شکل ۲۷- روند فروش فیلترهای افزایشی /کاهش‌ی نوری، از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیون دلار)..... ۹۴

شکل ۲۸- سهم‌های بازار نانو کامپوزیت‌ها، در سال ۲۰۰۵ (درصد از کل فروش)..... ۹۸

عنوان ..... فهرست جدول‌ها ..... صفحه

۱۴..... مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱ (میلیون دلار و تن).....

جدول ۱- گونه‌های اصلی نانو کامپوزیت‌های خاک رسی تجاری، ویژگی‌ها و کاربردهای مهم آنها..... ۲۲

جدول ۲- نانو کامپوزیت‌های خاک رسی دیگر..... ۲۶

جدول ۳- کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های دارای رس..... ۲۷

جدول ۴- عرضه‌کنندگان نانو کامپوزیت خاک رسی..... ۲۸

جدول ۵- گونه‌های اصلی نانو کامپوزیت‌های خاک رسی تجاری ویژگی‌ها و کاربردهای مهم..... ۳۴

جدول ۶- کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های حاوی سرامیک..... ۳۵

جدول ۷- عرضه‌کنندگان نانو کامپوزیت سرامیکی..... ۳۷

جدول ۸- انواع کامپوزیت نانولوله‌ای کربنی و ویژگی‌های آنها..... ۴۰



جدول ۹ - کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های نانولوله‌ای	۴۲
جدول ۱۰ - عرضه کنندگان کامپوزیت نانولوله کربنی	۴۴
جدول ۱۱ - انواع اصلی نانوکامپوزیت‌های دارای فلز، ویژگی‌های آنها و کاربردهای اصلی	۴۵
جدول ۱۲ - کاربردهای اصلی نانوکامپوزیت‌های دارای فلز	۴۵
جدول ۱۳ - عرضه‌کننده کامپوزیت حاوی فلز	۴۶
جدول ۱۴ - میزان مصرف و فروش جهانی نانوکامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱	۶۴
جدول ۱۵ - نانوکامپوزیت‌های با بیشترین میزان سهم بازار، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (براساس میلیون دلار)	۶۶
جدول ۱۶ - پیش‌بینی فروش جهانی نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس تا سال ۲۰۱۱	۶۸
جدول ۱۷ - پیش‌بینی بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت تا سال ۲۰۱۱	۷۱
جدول ۱۸ - میزان فروش جهانی توپ‌های تیس مبتنی بر نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس تا سال ۲۰۱۱ (میلیون دلار)	۷۲
جدول ۱۹ - میزان فروش جهانی نانوکامپوزیت‌های بوتیل / ورمیکولیت تا سال ۲۰۱۱	۷۲
جدول ۲۰ - بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های مونت‌موریلونیت / TPO تا سال ۲۰۱۱	۷۳
جدول ۲۱ - میزان فروش جهانی مواد آتش‌نشانی تا سال ۲۰۱۱ (میلیارد دلار)	۷۴
جدول ۲۲ - بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر مونت‌موریلونیت / EVA تا سال ۲۰۱۱	۷۴
جدول ۲۳ - بازار جهانی سایر نانوکامپوزیت‌های خاک رس تا سال ۲۰۱۱	۷۴
جدول ۲۴ - پیش‌بینی بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های سرامیکی، تا سال ۲۰۱۱	۷۵
جدول ۲۵ - پیش‌بینی فروش جهانی سطوح چوبی براق تا سال ۲۰۱۱	۷۶
جدول ۲۶ - میزان فروش بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های پلی‌اورتان / آلومینا تا سال ۲۰۱۱	۷۷
جدول ۲۷ - میزان فروش جهانی نانوکامپوزیت‌های آلومینا / تیتانیا تا سال ۲۰۱۱	۷۷
جدول ۲۸ - بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های سیلیکا / اپوکسی / کربن تا سال ۲۰۱۱	۷۹
جدول ۲۹ - میزان بازار جهانی جایگزین‌های استخوان مبتنی بر نانوکامپوزیت‌های سیلیکا / فسفات / کلسیم تا سال ۲۰۱۱	۷۹
جدول ۳۰ - بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های کربید تنگستن تا سال ۲۰۱۱	۷۹
جدول ۳۱ - پیش‌بینی میزان فروش جهانی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی تا سال ۲۰۱۱	۸۰
جدول ۳۲ - پیش‌بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / نایلون، تا سال ۲۰۱۱	۸۲
جدول ۳۳ - پیش‌بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌کربنات تا سال ۲۰۱۱	۸۳
جدول ۳۴ - پیش‌بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌بوتیلن ترفتالات، تا سال ۲۰۱۱	۸۳
جدول ۳۵ - پیش‌بینی جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌فنیلن / پلی‌بوتیلن، تا سال ۲۰۱۱	۸۳
جدول ۳۶ - پیش‌بینی بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های نانولوله کربنی / اپوکسی، تا سال ۲۰۱۱	۸۴
جدول ۳۷ - میزان بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های پلی‌اورتان / فولرین تا سال ۲۰۱۱	۸۵
جدول ۳۸ - پیش‌بینی جهانی الیاف کامپوزیتی PVOH/SWNT تا سال ۲۰۱۱	۸۶
جدول ۳۹ - پیش‌بینی جهانی نانوکامپوزیت‌های اکسید آهن / آهن	۸۶
جدول ۴۰ - پیش‌بینی جهانی بازار نانوکامپوزیت‌های CdSe/P3HT تا سال ۲۰۱۱	۸۷
جدول ۴۱ - پیش‌بینی جهانی میزان فروش نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی تا سال ۲۰۱۱	۸۸
جدول ۴۲ - میزان مصرف و فروش جهانی نانوزیست کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱ (تن / میلیون دلار)	۸۹
جدول ۴۳ - بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های سلولز / PVOH تا سال ۲۰۱۱	۹۰
جدول ۴۴ - پیش‌بینی بازار عمومی منسوجات ساخته شده از نانوکامپوزیت‌های پنبه / خاک رس تا سال ۲۰۱۱	۹۰
جدول ۴۵ - پیش‌بینی عمومی برای فروش سایر نانوکامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱	۹۱
جدول ۴۶ - پیش‌بینی عمومی نانوکامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز، تا سال ۲۰۱۱	۹۲
جدول ۴۷ - پیش‌بینی عمومی فروش نانوکامپوزیت‌های دارای POSS تا سال ۲۰۱۱	۹۲
جدول ۴۸ - مصرف غشاء پیل سوختی، ۲۰۱۱ (میلیون دلار)	۹۳
جدول ۴۹ - پیش‌بینی بازار عمومی برای غشاهای نانوکامپوزیتی پیل سوختی، تا سال ۲۰۱۱	۹۴
جدول ۵۰ - پیش‌بینی عمومی فروش نانوکامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک، تا سال ۲۰۱۱	۹۵

# پیش‌گفتار

تکمیل فرایند تجاری‌سازی فناوری نانو، نیازمند شناسایی فناوری‌های موجود و کسب آگاهی از فرصت‌های آینده‌است. از این رو یکی از اقدامات کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، رصد فناوری و بازار در این حوزه است تا ضمن افزایش آگاهی و دانش فعالان این عرصه نسبت به آخرین وضعیت فناوری نانو در جهان، فرصت‌های جدیدشناسایی و به صنایع علاقمند معرفی گردند.

دسته‌بندی اطلاعات ارائه‌شده شامل معرفی فناوری‌های کاربردی، بازار جهانی و سرمایه‌گذاری‌های فعلی و پیش‌بینی شده‌می‌باشد که از منابع اطلاعاتی موثق نظیر گزارش‌های مؤسسات معتبر، پتنت‌های ثبت شده و مطالعات میدانی گردآوری می‌شوند.

باتوجه به رشد سریع فناوری نانو، رصد فناوری و بازار نانو باید به طور مستمر صورت گیرد لذا ممکن است نسخه پیش رو دارای نقایصی باشد، بنابراین نظرات و پیشنهادهای فنی و محتواییخوانندگان محترم استقبال می‌گردد.

این گزارش منبع اطلاعاتی مناسبی برای شرکت‌ها، مؤسسات و افراد فعال در حوزه کسب و کار فناوری نانو و نیز مدیران و کارشناسان صنعتی علاقمند به استفاده از این فناوری می‌باشد.

# بخش ۱ مقدمه



## ۱ مقدمه

### ۱.۱ سابقه تحقیق

از سال ۱۹۸۰ که شرکت تویوتا اولین قطعات نانو کامپوزیتی حاصل از پلیمر-خاک رس را جهت استفاده در خودرو تولید کرد نانو کامپوزیت‌ها به صورت تجاری درآمدند. پیشرفت‌هایی که در زمینه توانایی تعیین مشخصات، تولید و دستکاری مواد نانومقیاس ایجاد شده باعث گردیده تا از آنها به عنوان مواد پرکننده<sup>۱</sup> در گونه‌های جدید نانو کامپوزیت‌ها استفاده شود. نانو کامپوزیت‌های حاصل از پلیمرها و نانوذرات فلزی، اکسیدها و سایر مواد افزودنی، مقاومت کششی، مدول و دمای اعوجاج حرارتی بسیار خوبی دارند. همچنین بعضی ویژگی‌های کامپوزیت‌ها مانند رنگ و شفافیت، رسانایی، مقاومت در برابر سوختن، عایق بودن، ویژگی‌های مغناطیسی و ضد خوردگی به واسطه نانو مواد بهبود یافته‌اند. مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها به سرعت در حال افزایش است به طوری که در سال ۲۰۰۵ بازار آنها ۱۱ میلیون کیلوگرم از نظر وزن و از نظر ارزش ۲۵۲ میلیون دلار بود و پیش بینی می‌شود، این مقدار در سال ۲۰۱۱ به ۴۳ میلیون کیلوگرم، با ارزش ۸۵۷ میلیون دلار برسد. گر

### ۲ اهداف تحقیق

چنین رشد چشمگیری به شکلی اجتناب‌ناپذیر، انتظارات از توان بالقوه تجاری نانو کامپوزیت‌ها را به شدت افزایش داده است. این گزارش، اطلاعات کاربردی در مورد نانو کامپوزیت‌ها و کاربردهای آنها و همچنین یک ارزیابی واقعی از توان بالقوه نانو کامپوزیت‌ها برای عرضه کنندگان مواد پیشرفته، کارفرماها، سرمایه‌گذاران و سایر افراد مرتبط ارائه می‌کند. این گزارش به طور دقیق اهداف زیر را بررسی می‌کند:

- تشخیص بخش‌هایی از بازار نانو کامپوزیت‌ها که در میان مدت (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) بیشترین توان بالقوه تجاری را دارند.
- پیش‌بینی میزان تقاضای آینده در این بخش‌ها.
- ارزیابی چالش‌هایی که برای تحقق توان بالقوه هر بخش باید بر آنها غلبه کرد تا بتوان احتمال تجاری‌سازی موفق را تخمین زد.

### ۳ مخاطبان مورد نظر

مخاطبان اصلی این گزارش مدیران فروش و بازاریابی، کارفرمایان، سرمایه‌گذاران، سرمایه‌گذاران خطرپذیر فعال در حوزه نانو کامپوزیت و نانو مواد و سایر افرادی هستند که می‌خواهند بدانند بازار نانو کامپوزیت‌ها در ۵ سال آینده به چه سمتی خواهد رفت. این گزارش برای سایر مقامات دولتی علاقه‌مند به این حوزه از فناوری نانو نیز مفید می‌باشد.

### ۴ قالب و حدود

نانو کامپوزیت‌ها دسته‌ای از کامپوزیت‌ها هستند که دارای ساختار نانویی و یا حداقل یک جزء نانومقیاس باشند. مواد خاصی مانند لاستیک‌ها که نانوذرات دوده در آن‌ها به کار می‌رود و از ده‌ها سال پیش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، با اینکه از لحاظ تعریف نانو کامپوزیت محسوب می‌شوند، در این گزارش بررسی نمی‌شوند.

این گزارش شامل بخش‌های زیر است:

- خلاصه مدیریتی
- تعاریف
- گام‌های مهم توسعه نانو کامپوزیت‌ها
- نانو کامپوزیت‌های تجاری شده و یا تحت توسعه و فناوری‌ها و کاربردهای مربوطه
- نانو کامپوزیت‌های دارای بیشترین توان بالقوه تجاری تا سال ۲۰۱۱
- روندهای بازار جهانی نانو کامپوزیت‌ها طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱
- عوامل مؤثر بر توسعه درآمدت بازار نانو کامپوزیت‌ها
- ساختار صنعت نانو کامپوزیت‌ها و وضعیت بازار

### ۵ روش بررسی و منابع اطلاعات

پیش‌بینی بازار فناوری‌های نوپا مانند نانو کامپوزیت‌ها، در حالی که توان بالقوه تجاری آنها کاملاً روشن نیست، امری دشوار است. در این گزارش برای شناسایی نانو کامپوزیت‌های دارای بیشترین توان بالقوه تجاری، از یک راهکار چند مرحله‌ای استفاده می‌شود.

در مرحله اول، شرکت BCC Research فهرستی طولانی از نانو کامپوزیت‌های در حال توسعه، تهیه کرد. سپس، موادی که

1. filler

احتمالاً تا سال ۲۰۱۱ به تولید تجاری نخواهند رسید، مشخص شدند. پس از این کار، فهرستی کوتاه از نانو کامپوزیت‌هایی که در میان مدت توان بالقوه تجاری شدن را دارند، به دست آمد.

در مرحله دوم BCC Research توان بالقوه این نانو کامپوزیت‌ها را در یافتن تقاضای صنعتی و کاربردی (مانند اتومبیل‌سازی و صنایع بسته‌بندی غذا) بررسی کرد تا موادی که بیشترین توان بالقوه تجاری را تا سال ۲۰۱۱ دارند، مشخص شوند. معیارهای انتخاب این مواد شامل اندازه بازار و ویژگی‌های مواد رقیب بودند.

در مرحله سوم، BCC Research به تعیین حجم بازار مورد انتظار برای این نانو کامپوزیت‌ها پرداخت و پیش‌شرط‌های لازم برای موفقیت تجاری آنها را مشخص کرد. روش‌های بررسی مختلف و منابع اطلاعاتی متفاوتی برای ارزیابی پیش‌بینی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند که عبارتند از: پیش‌بینی خط روند (trend line)، تحلیل ورودی‌ها-خروجی‌ها و تخمین تقاضای آینده از منابع صنعتی.

در این گزارش منابع داده‌ها، فرضیات و روش‌شناسی‌های مورد استفاده در پیش‌بینی بازار با جزئیات کامل تشریح شده‌اند. BCC Research بر این باور است که باید به خوانندگان اجازه داد تا بتوانند در مورد اعتبار پیش‌بینی‌ها و انطباق آنها با شرایط، قضاوت کنند و به این ترتیب سناریوهای دیگری برای بازار ارائه دهند.

### ۱۶ اعتبار تحلیل‌گر

اندرو مک ویلیامز (Andrew McWilliams)، نویسنده این گزارش، یکی از اعضای شرکت فناوری بین‌المللی و مشاوره بازاریابی 43rd Parallel LLC واقع در بوستون است. همچنین وی پیش از این چندین گزارش برای BCC Research در حوزه‌های گوناگون فناوری نانو نوشته است که عبارتند از:

- NAN031A: فناوری نانو؛ یک ارزشیابی واقعی از بازار
- NAN028A: نانو کاتالیست‌ها
- NAN035A: نانو حسگرها
- NAN036A: فناوری نانو برای فوتونیک
- NAN037A: فناوری نانو برای محصولات مصرفی
- NAN038A: فناوری نانو برای کاربردهای علوم زیستی
- NAN040A: بازارهای نانو مواد بر حسب نوع

### ۱۷ گزارش‌های مرتبط BCC RESEARCH

BCC Research در ۱۰ سال گذشته به بررسی پیشرفت‌های نانو مواد و فناوری نانو پرداخته است. انتشارات اخیر این شرکت در زمینه فناوری نانو و حوزه‌های مربوطه عبارتند از:

- NAN040A: بازارهای فناوری نانو بر حسب نوع
- NAN024A: نانولوله‌ها؛ جهت‌گیری و فناوری‌ها
- NAN015D: پودرهای سرامیکی پیشرفته و نانوپودرهای سرامیکی
- NAN031A: فناوری نانو؛ یک ارزشیابی واقعی از بازار
- NAN021B: نانو کامپوزیت‌های پلیمری؛ نانوذرات، نانورس‌ها و نانولوله‌ها
- NAN037A: فناوری نانو برای محصولات مصرفی
- GB-201: فرصت‌های بازار برای مواد نانو ساختار
- PLS014D: پلاستیک‌های مورد استفاده در بسته‌بندی غیرقابل نفوذ
- PLS007C: پلاستیک‌های مورد استفاده در بسته‌بندی‌های بهداشتی
- PLS006D: بازار نوپای پراکنده‌سازی بار ساکن؛ چالش‌ها و فرصت‌های آینده
- PLS044A: کالاهای ارتقا یافته و رزین‌های مهندسی؛ سناریوی رقابتی
- FOD038A: بسته‌بندی فعال، کنترل شده و هوشمند برای غذاها و آشامیدنی‌ها
- PLS043A: پلیمرهای رسانا
- PLS029A: کامپوزیت‌ها؛ رزین‌ها، پرکننده‌ها، تقویت‌کننده‌ها، الیاف طبیعی و نانو کامپوزیت‌ها
- AVM053A: مواد و ابزارهای مورد استفاده در محصولات ورزشی پیشرفته

همچنین BCC Research نشریات ادواری زیر را به منظور اطلاع‌رسانی در مورد پیشرفت‌های اخیر در حوزه نانو مواد منتشر می‌کند:

● Nanoparticle News

#### ● High Tech Ceramic News

- اخیراً حامیان مالی این شرکت کنفرانس‌هایی در مورد فناوری نانو و نانو مواد برگزار کرده‌اند. کنفرانس‌های اخیر عبارتند از:
  - فناوری نانو ۲۰۰۵ (۲۲-۲۳ می، ۲۰۰۵)
  - نانو مواد ۲۰۰۴ (۲۵-۲۷ اکتبر، ۲۰۰۴)
  - نانو ذرات ۲۰۰۳ (۲۷-۲۹ اکتبر، ۲۰۰۳)
- شرح مطالب ارائه شده در این کنفرانس‌ها از طریق BCC Research قابل دریافت است. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد کنفرانس‌های مذکور و سایر اجتماعات فناوری نانو به سایت [www.BCCresearch.com](http://www.BCCresearch.com) مراجعه کنید.

#### ● ۸ خدمات آنلاین BCC

- BCC ارائه‌دهنده یک سرویس بازاریابی اطلاعات آنلاین است. وب سایت این شرکت در آدرس [www.BCCresearch.com](http://www.BCCresearch.com) موجود است و به کمک آن خوانندگان می‌توانند:
  - کاتالوگ کامل گزارش‌های فرصت‌های تجاری را دریافت کرده و در صورت نیاز به صورت مستقیم سفارش خرید تحویل دهند.
  - در خبرنامه‌های صنعتی BCC عضو شوند.
  - آگهی‌های مربوط به گزارش‌های منتشر شده و خبرنامه‌های جدید را ببینند.
  - در کنفرانس‌های BCC شرکت کنند.
  - در صورت لزوم برای هر کدام از محصولات BCC اطلاعات بیشتری درخواست کنند.
  - از مزایای پیشنهادی ویژه استفاده کنند.

#### ● ۹ رفع مسئولیت

- کوشش شده است تا اطلاعات این گزارش در زمان انتشار، حتی الامکان اساس تخصصی داشته و قابل اعتماد باشد. این گزارش شامل تعهدات مدیریتی، قانونی و یا حسابداری نیست. همچنین نباید این گزارش را به منزله سیاست یک شرکت، دستور کار آزمایشگاهی و یا یک توافق‌نامه برای محصول خاصی تلقی کرد زیرا بسیاری از اطلاعات آن صرفاً ماهیت نظری دارند. نویسنده، مسئولیتی در قبال ضرر و خسارتی را که بر اساس اعتماد به اطلاعات گزارش و یا به کارگیری آن حاصل شده است، نمی‌پذیرد.

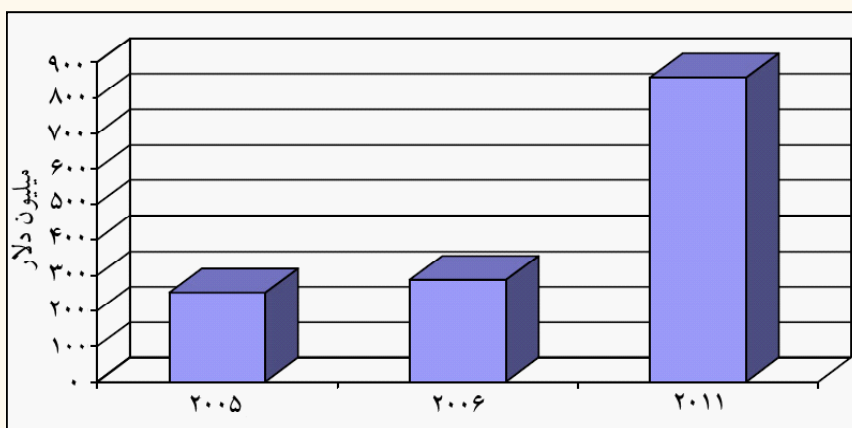
بخش ۲

# خلاصه مدیریتی

## ۲ خلاصه مدیریتی

در سال ۲۰۰۵ مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها ۲۳۲۰۰ تن، با ارزش ۲۵۲ میلیون دلار بود. این مقدار در سال ۲۰۰۶ به ۲۷۸۴۰ تن، با ارزش ۲۸۸ میلیون دلار رسید و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۱۱ به ۹۵۰۰۰ تن، با ارزش ۸۵۷ میلیون دلار برسد. در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱، متوسط رشد سالانه (AAGR) در وزن ۲۸ درصد و در ارزش ۲۴ درصد است.

مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱ (میلیون دلار و تن)				
AAGR%	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	گروه
۲۰۰۶-۲۰۱۱				
مصرف نانو کامپوزیت				
	۹۵۰۵۶	۲۷۸۴۱	۲۳۲۶۶	تن
	۸۵۷/۱۵	۲۸۷/۹۴	۲۵۲/۰۸	میلیون دلار



مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها، ۲۰۰۵-۲۰۱۱ (میلیون دلار)

نانو کامپوزیت‌های خاک رس در سال ۲۰۰۵ تقریباً ۲۴ درصد کل مصرف نانو کامپوزیت‌ها بر حسب قیمت را به خود اختصاص داده‌اند. پس از این مواد، نانو کامپوزیت‌های فلزی و اکسید فلزی (با ۱۹ درصد) و کامپوزیت‌های نانولوله کربنی (با ۱۵ درصد) قرار دارند. انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۱ نانو کامپوزیت‌های خاک رس تا ۴۴ درصد از سهم بازار را به خود اختصاص دهند. سایر محصولاتی که در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۵ سهمی از بازار را در اختیار دارند نانو کامپوزیت‌های فلزی یا اکسید فلزی و نانو کامپوزیت‌های سرامیکی هستند که انتظار می‌رود به ترتیب ۲۰ و ۱۱/۵ درصد از سهم بازار را به خود اختصاص دهند. همچنین انتظار می‌رود سهم کامپوزیت‌های نانولوله کربنی از بازار تا میزان ۷/۵ درصد افت کند. در سال ۲۰۰۵ بخش‌های اتومبیل‌سازی، انرژی و بسته‌بندی کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت‌ها بودند که به ترتیب ۲۹، ۲۸ و ۱۹ درصد از بازار را در اختیار داشتند. در این سال، سایر کاربردهای اصلی، پوشش‌دهی با ۱۴ درصد و پراکنده‌سازی بار ساکن با ۸ درصد بودند. انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۱ بسته‌بندی با در اختیار گرفتن ۲۸ درصد از بازار، کاربرد اصلی نانو کامپوزیت‌ها باشد. در این سال کاربردهای انرژی با در اختیار گرفتن بیش از ۲۶ درصد بازار در مکان دوم خواهند بود. سایر سهم اصلی بازار در این سال در اختیار کاربردهای اتومبیل‌سازی و پوشش‌دهی به ترتیب با ۱۵ و ۱۴ درصد خواهد بود.

بخش ۳

# مروری بر نانوکامپوزیت‌ها

## ۲ مروری بر نانو کامپوزیت‌ها

### ۱۳ توصیف کلی

این بخش شامل تعاریف اصلی، سابقه‌ای مختصر از نانو کامپوزیت‌ها و یک بحث کلی در مورد انواع مختلف نانو کامپوزیت‌ها، ویژگی‌های آنها و کاربردهایشان است.

### ۱۱۳ تعاریف

تعاریف زیر به خواننده کمک می‌کند تا مفهوم نانو کامپوزیت‌ها را بهتر درک کند.

### ۱۱۱۳ کامپوزیت‌ها

در حالت کلی یک کامپوزیت به جسمی حجیم یا توده‌ای (bulk) گفته می‌شود که حداقل شامل دو ماده مجزا با ساختار مکمل باشد.

### ۲۱۱۳ نانو کامپوزیت‌ها

نانو کامپوزیت به دسته خاصی از کامپوزیت گفته می‌شود که حداقل یکی از اجزای آنها نانومقیاس باشد. بیشتر نانو کامپوزیت‌ها دارای مقدار کمی (عموماً کمتر از ۵ درصد وزنی) از پرکننده‌های معدنی ورقه‌ای و یا نانولوله‌های کربنی دارای ساختار منفرد می‌باشند.

ولی در این گزارش ابزارهایی قدرتمند مانند نانو حسگرهای زیستی که در آنها دو ماده نانو ساختار با یکدیگر ادغام می‌شوند بررسی نمی‌شوند.

### مواد ماتریسی و پرکننده‌ها

این گزارش، نانو کامپوزیت‌ها را بر حسب نوع ماده پرکننده مانند خاک رس، نانولوله‌های کربنی و سرامیک دسته‌بندی می‌کند. پرکننده‌ها مواد نانومقیاسی هستند که مقادیر نسبتاً کمی از آنها به یک بستر پلیمر اضافه می‌شود تا نانو کامپوزیتی با خواص ویژه (مقاومت کششی، مقاومت در برابر سوختن و غیره) به دست آید.

### ۲۱۱۳ مقدمه‌ای بر نانو کامپوزیت‌ها

از دهه‌ها سال پیش و حتی قرون قبل، مواد نانو ساختار شناخته شده و مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. به عنوان مثال، در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۶۴۴ برای لعاب دادن بر روی سرامیک‌های Ming Dynasty از نانوذرات استفاده می‌شده است. همچنین لاستیک‌های دوده‌ای تقویت شده که از دهه‌های نخستین قرن بیستم در تایرهای اتومبیل مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند نیز یک نوع نانو کامپوزیت هستند.

در ساخت نانو مواد اولیه مذکور کنترلی بر ساختار و ریخت این مواد وجود نداشت و علت پیدایش خواص منحصر به فرد آنها کاملاً ناشناخته بود. می‌توان نقطه تولد فناوری نانو مدرن را در سخنرانی ریچارد فاینمن (Richard Feynman) در سال ۱۹۵۹ در دانشگاه کالتک (Caltech) جستجو کرد: «در آن پایین فضای زیادی وجود دارد».

فاینمن توضیح داد چگونه به کمک قوانین فیزیک می‌توان اتم‌ها و مولکول‌ها را به صورت مجزا کنترل کرد. البته در آن زمان روش‌های عملی برای انجام این فرآیند وجود نداشت. وی پیش بینی کرد در آینده می‌توان مواد را بدون هیچ محدودیتی با دقت اتمی اصلاح کرد.

نانو کامپوزیت‌های تجاری اولیه بر پایه نایلون ساخته شده بودند. شرکت تویوتا اولین نسل این مواد را در دهه هشتاد ساخت. این ماده یک نایلون پر شده با مونت‌موریلونیت بود و در تسمه تنظیم زمان اتومبیل مورد استفاده قرار گرفت.

در دهه نود، نانو کامپوزیت‌های نایلونی مبتنی بر پرکننده‌های نانولوله کربنی به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. این مواد به صورت اجزای پراکنده‌سازی الکترونیته ساکن در سیستم‌های سوخت اتومبیل و هدایای خواندن-نوشتن رایانه‌ای به کار رفته‌اند.

علاوه بر این گام‌های مهم دیگر در گذشته‌ی نانو کامپوزیت‌ها برداشته شده است که عبارتند از:

● ۱۹۸۸: شرکت (Hitachi Metals) اولین ترکیب نانو مغناطیس با نام Finemet را ساخت که در مبدل‌های با اتلاف پایین به کار می‌رود.

● ۱۹۹۸: شرکت اینفرامات (Inframat LLC) اسپری حرارتی جدیدی با نام Nanox 2613 به ثبت رساند. این اسپری اولین نانو کامپوزیت سرامیکی تجاری می‌باشد.

● ۲۰۰۵: مؤسسه دانشگاهی ملی Keck FUTURES ایالات متحده، به گروه مشترک دانشگاه یال (Yale) و دانشگاه تگزاس به دلیل ساخت سلول‌های خورشیدی نانو کامپوزیتی زیستی، کمک هزینه‌ای اعطا کرد.



### ۲۲۳ ویژگی‌های عمومی نانو کامپوزیت‌ها و کامپوزیت‌های معمولی

به دلیل ابعاد نانو مقیاس پرکننده‌های مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌ها، بر هم کنش بین پرکننده و ماتریس با برهم کنش موجود در کامپوزیت‌های معمولی متفاوت است. این برهم‌کنش‌ها با شکل‌های مختلف روی ویژگی‌های فیزیکی نانو کامپوزیت‌ها اثر می‌گذارد. در ادامه به بررسی این اثرات می‌پردازیم.

### ۱۲۳ افزایش مقاومت کششی، مدول و دمای اعوجاج حرارتی

مقاومت کششی، مدول و دمای اعوجاج حرارتی، ویژگی‌های اصلی قطعات مورد استفاده در کاربردهای ساختمانی هستند. مقاومت کششی بیان‌کننده میزان نیرویی است که برای بریدن یک قطعه تحت کشش لازم است. مدول نشان‌دهنده میزان خمش یک قطعه تحت بار است. دمای اعوجاج حرارتی نشان‌دهنده دمای کاری یک قطعه است. معمولاً نانو مواد بدون تغییر دادن ویژگی‌های ضربه‌ای دمای پایین یک پلیمر، دمای اعوجاج حرارتی آن را افزایش می‌دهند. در حالی که پرکننده‌های معمولی با افزایش دمای اعوجاج حرارتی یک پلیمر، شکل پذیری آن را در دماهای پایین کاهش می‌دهند و این مسئله به شکست تحت ضربه منجر می‌گردد.

### ۲۲۳ رنگ و شفافیت

پرکننده‌های نانو مقیاس نور را به گونه‌ای متفاوت با ذرات بزرگتر، جذب و بازتابش می‌کنند، زیرا اغلب اندازه این مواد کوچکتر از طول موج نور است. به عنوان مثال، ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با ابعاد معمولی سفید رنگ هستند، در حالی که رزین ادغام شده با نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم نیمه شفاف به نظر می‌رسد. این خصوصیت برای برخی از پوشش‌های نانو کامپوزیتی نقطه قوتی محسوب می‌شود، زیرا ذرات موجود در این پوشش‌ها به دلیل کوچکی بر روی جلای سطوح نهایی اثر نمی‌گذارد. همچنین به کمک این ویژگی نانو کامپوزیت‌ها، می‌توان مواد رسانای نیمه شفاف ساخت، که یکی از اجزای مهم صفحات نمایش هستند.

### ۳۲۳ رسانایی

اکثر رزین‌های ترموست و ترموپلاست، نارسانا هستند و از آنها می‌توان در ساخت عایق‌ها استفاده کرد. اما برای کاربردهایی مانند مواد تخلیه الکتروستاتیک به یک پلیمر رسانا نیاز است، بنابراین می‌توان با ادغام نانولوله‌های کربنی با رزین‌های ترموست و ترموپلاست، آنها را رسانا کرد. البته می‌توان این کار را با افزودن الیاف بزرگتر مانند الیاف کربنی یا فولادی انجام داد اما مزیت نانولوله‌ها در این است که می‌توان مقدار خیلی کمتری از آنها را به عنوان پرکننده استفاده کرد. کاهش مقدار پرکننده مانع از کاهش بسیاری از ویژگی‌های مطلوب رزین‌ها مانند پرداخت سطحی و نرخ ذوب-جریان (melt/flow) می‌شود.

### ۴۲۳ مقاومت در برابر سوختن

مقاومت در برابر سوختن برای بعضی از پلیمرهای با کاربردهای خاص (مانند عایق‌های پلاستیکی سیم‌ها و کابل‌های الکتریکی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری) مورد نیاز است. بیشتر نانو کامپوزیت‌ها به خودی خود در برابر سوختن مقاوم نیستند اما می‌توان از آنها به عنوان جزئی از یک مجموعه نسوز، استفاده کرد.

### ۵۲۳ ویژگی‌های انسدادی

ترموپلاستیک‌ها برای جلوگیری از نفوذ گاز و رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسته‌بندی‌های غذا به گونه‌ای طراحی می‌شوند که مانع از ورود اکسیژن شده و بخار آب را در اطراف غذا حفظ کنند. عموماً ترموپلاستیک‌های دارای خاک رس، ویژگی‌های انسدادی بهتری نسبت به رزین‌ها دارند، گرچه این مواد توان رقابت با پلیمرهای انسدادی مخصوص مانند EVOH را ندارند ولی نانو کامپوزیت‌ها مزایای خاص خود را دارند و به ویژه برای مصرف کنندگان اروپایی، به دلیل محدودیت‌های موجود درباره هالوژن موجود در پوشش‌های بسته‌بندی، مواد سودمندی می‌باشند.

### ۶۲۳ ویژگی‌های ضد خوردگی

در حالت کلی، اکسیدهای سرامیکی نانو مقیاس ویژگی‌های الکتروشیمیایی متفاوتی نسبت به مواد حجیم دارند. هم‌اکنون از این نانو پودرها در ساخت پوشش‌های ضد خوردگی نانو کامپوزیتی استفاده می‌شود. این مواد می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد سمی کنونی باشند.



### ۳۳ انواع نانو کامپوزیت‌ها، ویژگی‌ها و کاربردهای آنها

در این گزارش، نانو کامپوزیت‌ها بر حسب نوع پرکننده نانو مقیاس، در بخش‌های زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- خاک رس
- سرامیک
- نانولوله کربنی
- فلز و اکسید فلز
- نانو کامپوزیت‌های زیستی
- سایر گونه‌ها

### ۱۲۳ نانو کامپوزیت‌های خاک رسی

در این نانو کامپوزیت‌ها از ذرات خاک رس نانو مقیاس به عنوان پرکننده و یک پلیمر به عنوان Nanocor استفاده می‌شود. خاک رس نامی عمومی برای دسته وسیعی از ترکیبات است که شامل صفحات لایه لایه از اتم‌های سیلیکون در لایه‌های صفحاتی از سایر اتم‌ها می‌باشند. در ادامه انواع خاصی از خاک‌های رس مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌ها معرفی می‌شوند.

### مواد ۱۱۳۳

می‌توان نانو کامپوزیت‌های خاک رسی را بر حسب نوع پرکننده خاک رسی و یا نوع مواد ماتریسی پلیمری مورد استفاده دسته‌بندی کرد.

### ۱۱۱۳۳ پرکننده‌های خاک رسی

خاک‌های رس در دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: مکتیت‌ها (smectites) و بنتونیت‌ها (bentonites). بنتونیت‌ها در آب ورم نمی‌کنند و معمولاً برای استفاده در نانو کامپوزیت‌ها مناسب هستند. با این حال اکثر تحقیقات روی نانو کامپوزیت‌ها بر روی مکتیت‌ها متمرکز است. این مواد شامل خاک‌های رس طبیعی و مصنوعی می‌باشند.

### الف) خاک‌های رس طبیعی

انواع مختلفی از خاک‌های رس طبیعی مانند مونتوریلونیت، کائولین (kaolin) و کلویسیت (cloisite) برای استفاده در نانو کامپوزیت‌ها به عنوان پرکننده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند اما بیشتر نانو کامپوزیت‌های تجاری از مونتوریلونیت استفاده می‌کنند.

#### • مونتوریلونیت

این ماده بیش از سایر خاک‌های رس در ساخت نانو کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مونتوریلونیت یک ماده معدنی آلومینوسیلیکات بسیار نرم با فرمول شیمیایی  $6(\text{OH})_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{Na,Ca})(\text{Al,Mg})_6$  است که معمولاً به صورت بلورهای میکروسکوپی شکل می‌گیرد.

مونتوریلونیت دارای مجموعه‌ای از خواص بسیار مطلوب است که همه آن خواص به همراه هم در هیچ خاک رس طبیعی دیگری یافت نمی‌شوند. این ماده بسیار عریض و شدیداً یونی است.

عریض بودن مونتوریلونیت به این معناست که هر ذره، مساحت سطح نسبتاً زیادی دارد و باعث برهم کنش قوی‌تر ذره با ماتریس رزینی می‌شود.

مونتوریلونیت در یک شبکه یونی محصور شده است. ترکیبات قطبی، مانند مونتوریلونیت، آسان‌تر و با شدت نسبتاً بالایی با مواد قطبی دیگر آمیخته می‌شوند. برخی از رزین‌ها، مانند نایلون، کاملاً قطبی هستند. بنابراین، خاک‌های رسی مانند مونتوریلونیت با شدت زیادی با پلیمرهای نایلونی آمیخته می‌شوند. به همین دلیل، مونتوریلونیت به سختی با رزین‌های غیر قطبی (که بیشتر رزین‌های تجاری از این دسته هستند) برهم کنش می‌کند.

کلویسیت نام تجاری گونه‌ای از مونتوریلونیت طبیعی است که توسط شرکت Southern Clay Products به بازار وارد شده است. سطح این ماده با یک نمک آمونیوم چهار تایی اصلاح شده، تا دارای خواصی چون غوطه‌وری کامل و اختلاط مطلوب با رزین‌هایی مانند PP و PE شود.

#### • ورمیکولیت (Vermiculite)

این ماده یک کانی شبه‌خاک رس متعلق به گروه میکای کانی‌های فیلسیلیکات است. حجم ورمیکولیت با حرارت دادن چند برابر می‌شود.

ذرات ورقه‌شده ورمیکولیت، همانند مونتوریلونیت (که در بالا توضیح داده شد) عریض بوده و برای عایق‌های گازی

مناسب می‌باشند. خصوصیت دیگر این ماده مقاومت در برابر سوختن می‌باشد.

● اکتوسیلیکات (Octosilicate)

اکتوسیلیکات یا ایلریت (ilerite) گونه دیگری از پرکننده‌های خاک رسی است که قابلیت تجاری شدن دارد. BCC Research نتوانست کاربردهای تجاری شده و یا در دست تجاری سازی نانو کامپوزیت‌های اکتوسیلیکاتی را ارائه دهد.

**(ب) خاک رس‌های مصنوعی**

گونه‌های زیادی از خاک‌های رس مکتبتی مصنوعی وجود دارد. خاک‌های رس مصنوعی نسبت به نوع طبیعی چندین مزیت دارند:

- می‌توان آنها را با خلوص بیشتری ساخت زیرا به جای استخراج معدنی با فرآیند شیمیایی ساخته می‌شوند.
- ذرات تولید شده از لحاظ اندازه همگن تر می‌باشند. این ویژگی برای کاربردهایی که با انتقال نور سر و کار دارند بسیار مهم است.
- یکنواخت تر هستند و به همین دلیل نتایج کاملاً تجدیدپذیری خواهند داشت. این ویژگی برای کاربردهایی مانند ابزارهای نسوز دارای اهمیت است.
- بدون هیچ گونه عملیات سطحی اضافی، در مذاب‌های پلیمری غیر قطبی مانند پلی پروپیلن و پلی استایرن قابل پخش شدن و لایه لایه شدن می‌باشند.
- نقطه ضعف خاک‌های رس مصنوعی در هزینه آنها است که چند برابر انواع طبیعی است. با توجه به کارایی بهتر خاک‌های رس مصنوعی، تنها عاملی که موجب شده تا از خاک‌های رس طبیعی در کاربردهای نانو کامپوزیتی بیشتر استفاده شود، هزینه تمام شده می‌باشد. بیشتر تحلیل گران اعتقاد دارند که در آینده گرایش به سمت خاک‌های رس مصنوعی، به ویژه برای کالاهای خاص و کاربردهای دارای ارزش افزوده بالا، بیشتر خواهد شد. برای چنین کاربردهایی، علاوه بر کارایی بالای خاک‌های رس مصنوعی، حجم کم خاک رس مورد استفاده نیز عاملی برای گرایش به سمت آنها می‌باشد.
- فلوروهکتوریت (Fluorohectorite):

تا این زمان تنها خاک رس مصنوعی که نسبتاً کاربرد تجاری گسترده‌ای یافته است، فلوروهکتوریت است که توسط شرکت Co-op Chemical در ژاپن ساخته شده است. خاک رس این شرکت شبیه موتموریلونیت یا میکا است با این تفاوت که نسبت عرض به ارتفاع آن بیشتر بوده (بین ۱:۱۵۰ و ۱:۲۰۰) و توزیع اندازه ذرات آن یکنواخت تر است. همچنین خاک‌های رس مصنوعی در مقایسه با گونه‌های طبیعی آلاینده‌های کمتری دارند. یکی از این آلاینده‌ها آهن است که تأثیر نامطلوبی بر محصول نهایی دارد.

● هیدروتالکیت (Hydrotalcite)

این ماده با فرمول شیمیایی  $(Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O)$  در طبیعت یافت می‌شود و می‌توان ترکیبات مختلفی از آن را، با ساختار بلوری مشابه، به صورت مصنوعی تولید کرد. خاک‌های رس هیدروتالکیتی مصنوعی بزرگ مقیاس، در سطح تجاری به‌عنوان پایدارکننده کمکی (costabilizers) برای PVC و پلی اولفین‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

انتظار می‌رود نانو خاک‌های هیدروتالکیتی مصنوعی به‌عنوان پرکننده‌های تجاری استفاده شوند. این مواد هم‌اکنون در حال توسعه و اصلاح می‌باشند. Nanoquest، یک شرکت استرالیایی است که در حال مطالعه این نوع از نانو خاک‌های مصنوعی است. بنا به اظهارات این شرکت، این تحقیقات در مراحل ابتدایی قرار دارد.

**۳۳۱۱۲ مواد ماتریسی**

پلیمرها مولکول‌های آلی (کربن دار) هستند که از واحدهای یکسان و تکرار شونده مونومر تشکیل شده‌اند. لاستیک و سلولز نمونه‌هایی از پلیمرهای طبیعی هستند.

دسته وسیعی از پلیمرهای مصنوعی در کامپوزیت‌های مختلف به کار گرفته می‌شوند. در این بخش پلیمرهای صنعتی که دارای بیشترین کاربرد هستند و یا انتظار می‌رود بیشترین قابلیت را برای استفاده در نانو کامپوزیت‌ها داشته باشند، شرح داده می‌شوند.

در حالت کلی مواد ماتریسی پلیمری مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌های خاک رسی، پلیمرهای ترموپلاستیک هستند. این مواد، بدون تغییر قابل توجه در خواص، با گرم کردن، نرم و سپس با سرد کردن، سخت می‌شوند.

پلیمرهای ترموست تنها یکبار قابلیت قالب‌گیری (پیش از سخت شدن) دارند و سخت شدن در این مواد، فرآیندی بازگشت ناپذیر است. پلیمرهای ترموست در نانو کامپوزیت‌های سرامیکی (که در ادامه معرفی می‌شوند) استفاده می‌شوند.

پلیمرهای ترموپلاستیک متنوع می‌باشند. در زیر به توضیح پرکاربردترین این مواد در حوزه نانو کامپوزیت‌های خاک رسی پرداخته می‌شود.

**الف) نایلون:** هم اکنون انواع مختلفی از نایلون‌های تجاری وجود دارند که از میان آنها نایلون ۶، نایلون ۶-۶ و نایلون ۱۲، اغلب در نانو کامپوزیت‌های خاک رسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شرکت تویوتا برای ساخت اولین نانو کامپوزیت خاک رسی در دهه ۱۹۸۰ از نایلون ۶ به عنوان ماده ماتریسی استفاده کرد. نایلون یکی از مهم‌ترین ترموپلاستیک‌های مهندسی چندمنظوره است. این ماده با داشتن خواص ایده‌آلی مانند استحکام، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر حرارت، یکی از نامزدهای اصلی برای برخی فلزات است. نایلون ۶-۶ سخت‌ترین نایلون اصلاح نشده است. مقاومت شیمیایی و ویژگی‌های الکتریکی دو نایلون ۶ و ۶-۶ مشابه است، اما نایلون ۶-۶ نقطه ذوب بسیار بالاتری دارد و انبساط گرمایی این ماده نیز کمی بیشتر از نایلون ۶ است. البته نایلون ۶ در رطوبت نسبی ۵۰ درصد، در برابر ضربه مقاوم‌تر است. ویژگی دیگر نایلون ۶-۶، کاهش منظم مقاومت کششی با افزایش دماست. می‌توان این ماده را در کاربردهای بدون تنش (در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و تحت تنش (در دماهای بین ۸۵ و ۹۵ درجه سانتیگراد) مورد استفاده قرار داد. نایلون ۱۲ همانند نایلون ۶ ساخته می‌شود. نایلون ۱۲ نیز، مانند سایر نایلون‌ها، دارای مقاومت به سایش چشمگیر و ویژگی‌های اصطکاکی قابل توجه می‌باشد. این ماده در شرایط کاری خشک، انعطاف پذیرتر از سایر نایلون‌هاست و تحت رطوبت متعارف و یا تحت اشباع با آب، محکم‌ترین و سخت‌ترین نوع نایلون است.

**ب) بوتیل:** بوتیل نوعی لاستیک مصنوعی است که از پلیمریزاسیون همزمان ایزوبوتان و مقادیر کمی از ایزوپرن تشکیل می‌شود. ویژگی‌های اصلی این ماده عبارتند از:

- عایق کردن در برابر گازها
- انعطاف‌پذیری
- مقاومت در برابر فرسایش ناشی از جریان هوا
- مقاومت در برابر اوزون
- حذف ارتعاشات
- سازگاری با کاربردهای زیستی

#### پ) اولفین ترموپلاستیک

اولفین‌های ترموپلاستیک (TPOs) نوعی از مواد پلاستیک-لاستیک هستند که از ترکیب رزین‌های تجاری، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن تشکیل می‌شوند. به عنوان مثال نوع خاصی از اولفین ترموپلاستیک دارای پلی‌پروپیلن، تقریباً دارای ۷۰ درصد لاستیک اتیلن-پروپیلن و ۳۰ درصد پلی‌پروپیلن است. TPOها مقاومت به ضربه و مقاومت حرارتی بسیار بالایی دارند و حتی پس از چند بار بازیافت، مقاومت مکانیکی خود را حفظ می‌کنند. همچنین این مواد مقاومت شیمیایی نسبتاً بالایی دارند. البته این مواد و به خصوص TPOهای پلی‌پروپیلنی در معرض گرما، پایداری ابعادی پایینی دارند. TPOها تحت تابش فرابنفش ناپایدار هستند که می‌توان با افزودن پایدارسازهای فرابنفش بر این مشکل فائق آمد.

**ت) پلی‌اتیلن:** پلی‌اتیلن (PE) پلیمری از اتیلن است که در دماهای بالا در حضور کاتالیست‌های مختلف (بسته به نوع ویژگی‌های مورد نیاز) تولید می‌شود. عموماً PE در برابر آب، اسیدها، قلیاها و بیشتر حلال‌ها مقاوم است.

چندین نوع مختلف از PE وجود دارد که برحسب چگالی و شاخه‌بندی (branching) دسته‌بندی می‌شوند. ویژگی‌های مکانیکی PE عمدتاً توسط این دو پارامتر مهم تعیین می‌شوند. گونه‌هایی از این مواد که معمولاً در نانو کامپوزیت‌های پلی‌اتیلنی به کار گرفته می‌شوند عبارتند از:

- LDPE (پلی‌اتیلن چگالی پایین)
- HDPE (پلی‌اتیلن چگالی بالا)
- UHMWPE (پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا)

چگالی LDPE ۰/۹۱۰ تا ۰/۹۴۰ گرم بر سانتیمتر مکعب است و مقادیر زیادی از شاخه‌های زنجیره‌ای کوتاه و بلند دارد. این ماده مقاومت کششی نسبتاً کمتری داشته و شکل‌پذیرتر است.

چگالی HDPE حداقل ۰/۹۴۱ گرم بر سانتیمتر مکعب است و شاخه‌بندی‌های کمی دارد. بنابراین نیروهای بین مولکولی در این ماده قوی‌تر و مقاومت کششی آن بیشتر است. HDPE از آب سبک‌تر است و می‌توان آن را قالب‌گیری و ماشین‌کاری کرد و با جوشکاری به هم متصل کرد (عمل چسباندن به دشواری ممکن است).

UHMWPE یک پلیمر بسیار سنگین است که وزن مولکولی آن در مقیاس میلیون است. این ویژگی موجب می‌شود تا UHMWPE بسیار سخت، محکم و از لحاظ مکانیکی مقاوم و همچنین شکننده‌تر از LDPE باشد.

**ث) پلی پروپیلن:** پلی پروپیلن (PP) یکی از پلیمرهای پروپیلن است. مدول الاستیسیته اغلب گونه‌های تجاری PP، بین مدول الاستیسیته LDPE و HDPE است.

PP به اندازه LDPE محکم و چقرمه نیست اما چندین برابر شکننده تر از HDPE است. این ماده مقاومت به خستگی بالایی دارد و به همین دلیل بیشتر مفصل‌های پلاستیکی مانند لولاهای بطری‌های نوشیدنی را از PP می‌سازند.

دمای ذوب پلی پروپیلن ۳۲۰ درجه فارنهایت (۱۶۰ درجه سانتیگراد) است. به همین دلیل نگه دارنده‌های غذایی که از این ماده ساخته می‌شوند در ماشین ظرفشویی ذوب نمی‌شوند. علاوه بر این، PP در فرآیندهای صنعتی پر کردن داغ ۱ ذوب نمی‌شود.

**ج) اتیلن وینیل استات (Ethylene Vinyl Acetate):** اتیلن وینیل استات یا EVA، پلیمری مشترک از اتیلن و وینیل استات است که ویژگی‌های آن ماده عبارتند از:

- وضوح و شفافیت بالا
- ویژگی‌های انسدادی
- چقرمگی و سفتی در دماهای پایین
- مقاومت در برابر ترک‌های تنشی (stress-crack)
- مقاومت در برابر اشعه فرابنفش

**چ) سایر مواد ماتریسی:** پلیمرهای زیر کاربرد وسیعی در حوزه نانو کامپوزیت‌ها ندارند و حتی تمرکز مطالعاتی روی آنها وجود ندارد. فهرست زیر، یک فهرست کامل نیست اما شامل اغلب ماتریس‌هایی است که در منابع و نشریات تجاری و فنی نانو کامپوزیت‌ها موجود هستند.

• پلی اتیلن ترفتالات (Polyethylene Terephthalate):

پلی اتیلن ترفتالات یا PET یک رزین ترموپلاستیکی و اشباع شده است که با چگالش اتیلن گلیکول و اسید ترفتالیک ساخته می‌شود. PET یک ماده سخت، محکم، از لحاظ مکانیکی مقاوم و از لحاظ ابعادی پایدار است و مقدار بسیار کمی آب جذب می‌کند. این ماده خصوصیت مانعی خوبی در برابر دی اکسید کربن و اکسیژن دارد و به همین دلیل برای کاربردهای بسته‌بندی غذا و سایر مواد مناسب است. خصوصیت مهم دیگر PET، قابلیت بازیافت کامل آن می‌باشد.

• استال (Acetal):

استال، که پلی استال، پلی اکسی متیلن (polyoxymethylene or POM) و یا پلی فرمالدهید (polyformaldehyde) نیز نامیده می‌شود، یک پلیمر مهندسی بسیار کارآمد است. این ماده به دلیل ویژگی‌هایی چون مقاومت مکانیکی بالا، الاستیسیته قابل توجه و مقاومت مطلوب در برابر ضربه و خستگی، برای کاربردهای جایگزینی فلزات با مواد سبک‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، این ماده در معرض حلال‌های اسیدی و قلیایی، تجزیه شده و مقاومت خوبی در برابر سوختن ندارد.

• پلی کلروپرن (Polychloroprene):

پلی کلروپرن یا نئوپرن یک لاستیک مصنوعی است که از طریق پلیمریزاسیون کلروپرن ساخته می‌شود.

• لاستیک نیتریل (Nitrile Rubber):

لاستیک نیتریل، پلیمری از اکریلونیتریل و بوتادین است، که تاکنون اشکال مختلفی از آن با تغییر میزان اکریلونیتریل، ساخته شده است. لاستیک نیتریل، پیش از این، با نام‌های تجاری مختلفی به فروش می‌رفت که عبارتند از: نیپول (Nipol)، کریناک (Krynac) و یوروپرن (Europrene).

این ماده، نسبت به لاستیک‌های طبیعی، در برابر مواد نفتی و اسیدها مقاوم تر است اما همانند لاستیک‌های طبیعی در برابر اوزون، هیدروکربن‌های آروماتیک، کتون‌ها، استرها و آلدهیدها آسیب پذیر می‌باشد. لاستیک نیتریل مقاومت مکانیکی و انعطاف پذیری لاستیک طبیعی را ندارد.

• اتیلن وینیل الکل (Ethylene Vinyl Alcohol):

اتیلن وینیل الکل یا EVOH پلیمری مشترک از رزین‌های انسدادی (barrier resin) با ویژگی‌های فرآیندی مطلوب است که برای ساخت لایه‌های انعطاف پذیر، شفاف و با استحکام مکانیکی بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. لایه‌های ساخته شده با این ماده عایق‌های خوبی در برابر رطوبت و اکسیژن هستند.

### ۲۱۳۳ ساخت

در این بخش فرآیندهای اصلی که برای آماده‌سازی پرکننده‌های نانو خاک رسی انجام می‌شوند و همچنین خود فرآیند ترکیب، توضیح داده می‌شوند.

#### 1. hot-filling



### ۱۲۱۳۳ تولید و پیش‌فرآیندهای پرکننده‌های خاک رسی

مونتموریلونیت با استفاده از استخراج آبی از سنگ معدن تحت فشار جدا می‌شود. این ماده آب دوست است و به همین دلیل با اکثر پلیمرها سازگار نیست. لذا به منظور ایجاد سطحی با آب‌گریزی بیشتر، باید مونتموریلونیت با روش‌های شیمیایی اصلاح شود. برای این کار معمولاً از فرآیندهای مبتنی بر کاتیون‌های آمونیوم آلی استفاده می‌شود. می‌توان این یون‌ها را با کاتیون‌های معدنی موجود در سطح سیلیکاتی مربوطه جایگزین کرد. در نهایت خاک رس اصلاح شده را از طریق پلیمریزاسیون و یا ترکیب مذاب (melt compounding)، به درون ماتریس رزینی وارد می‌کنند. همچنین می‌توان در روشی مشابه و یا به عنوان مرحله دوم، مولکول‌های آب‌دوست مانند استیرات‌ها (stearates) یا آمین‌ها را، به منظور تقویت آبدگری به خاک رس مذکور اضافه کرد.

### ۲۲۱۳۳ ترکیب

برای ساخت نانو کامپوزیت‌های خاک رس-پلیمر از فرآیندهای اختلاط و اکشنسی پلیمری و اکستروژن دو گانه، در کنار فرآیندهای استاندارد قالب‌گیری تزریقی، ریخته‌گری لایه‌ای و قالب‌گیری بادی، استفاده می‌شود. شرکت Nanocor، یکی از مهم‌ترین شرکت‌های تولیدکننده نانورس، بیش از ۳۰ پتنت در حوزه فناوری‌های تولید خاک‌های رس نانومقیاس برای ادغام با پلاستیک‌ها دارد. از خاک‌های رس مذکور برای ساخت نانو کامپوزیت‌ها نیز استفاده می‌شود. این شرکت برای ساخت خاک رس-پلیمر، از توده‌ای از مواد که به عنوان مثال شامل ۵۰ تا ۶۰ درصد وزنی نانوذرات خاک رس، یک تطبیق‌دهنده مانند PP-g-MA و یک پلی‌اولفین استاندارد است، در درون یک پلیمر میزبان استفاده می‌کند؛ حداکثر بارگیری بین ۲ تا ۷ درصد وزنی است، بنابراین بیشترین مساحت سطح ممکن برای خاک رس، به منظور برهم‌کنش با پلیمر میزبان، حاصل می‌شود. نانو کامپوزیت‌ها را می‌توان با پلیمرهای ترموست و یا ترموپلاست تولید کرد. رفتار شیمیایی تطبیق‌پذیری ویژه نانو کامپوزیت‌های حاصل، تابعی از رفتار شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی پلیمر میزبان است.

جدول ۱- گونه‌های اصلی نانو کامپوزیت‌های خاک رسی تجاری، ویژگی‌ها و کاربردهای مهم آنها

کاربردها	ویژگی‌های اصلی	ماتریس/پرکننده
قطعات خودرو بسته‌بندی ابزارهای پزشکی مواد رسانای الکتروسیسته مواد نسوز کاربردهای چند منظوره	مقاومت در برابر حرارت ویژگی‌های انسدادی الاستیسیته مقاومت کششی مقاومت در برابر ضربه	نایلون/مونتموریلونیت
قطعات خودرو	مقاومت در برابر شوک مقاومت در برابر حرارت	TPO/مونتموریلونیت
پوشش‌های کابل‌ها و سیم‌ها	مقاومت در برابر سوختن مقاومت شیمیایی پایداری حرارتی ساخت آسان بدون هالوژن	EVA/مونتموریلونیت
قطعات خودرو بسته‌بندی مواد نسوز تجهیزات اداری لوازم خانگی	مدول انعطاف پذیری بالا مقاومت بالا در برابر ضربه چگالی حجمی (bulk density) پایین مقاومت در برابر خراش	PP/مونتموریلونیت
بسته‌بندی قطعات خودرو	مدول انعطاف پذیری بالا مقاومت بالا در برابر ضربه چگالی حجمی (bulk density) پایین مقاومت در برابر خراش	PE (شامل LDPE, HDPE و UHMWPE) /مونتموریلونیت

جدول ۱- گونه‌های اصلی نانوکامپوزیت‌های خاک رسی تجاری، ویژگی‌ها و کاربردهای مهم آنها		
ماتریس/پرکننده	ویژگی‌های اصلی	کاربردها
استال/مونتموریلونیت	مدول انعطاف پذیری بالا مقاومت در برابر حرارت	قطعات خودرو الکترونیک
نایلون/فلوئورید میکا	مقاومت در برابر حرارت ویژگی‌های انسدادی الاستیسیته مقاومت کششی مقاومت در برابر ضربه	قطعات خودرو
بوتیل اورمیکولیت	مانع نفوذ هوا	کالاهای ورزشی تایرها

در برخی فرآیندها، نانو کامپوزیت نهایی در حین مرحله پلیمریزاسیون در یک رآکتور شکل می‌گیرد. در سایر فرآیندها، نانوحاک‌های رس در یک عملیات ترکیبی مذاب داغ (hot-melt) به مواد مذکور اضافه می‌شوند.

### ۳۱۳۳ انواع نانوکامپوزیت‌های خاک رسی

این بخش انواع اصلی نانوکامپوزیت‌های خاک رسی که برخی از آنها به میزان بسیار کمی در بازار نفوذ کرده‌اند.

### ۱۳۱۳۳ نانوکامپوزیت‌های خاک رسی تجاری:

در جدول زیر گونه‌های اصلی نانوکامپوزیت‌های خاک رسی که هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا در بازار موجود هستند، به اختصار معرفی شده‌اند. در بیشتر این مواد از مونتموریلونیت به عنوان ماده پرکننده استفاده می‌شود، با این حال در تعدادی از آنها از پرکننده‌های ورمیکولیتی و یا فلوئورید میکایی استفاده شده است.

#### الف) نایلون/مونتموریلونیت

نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت که در دهه ۱۹۸۰ توسط شرکت تویوتا ساخته شدند، اولین نانوکامپوزیت تجاری موفق بوده، هم اکنون نیز بیشترین کاربرد را در میان انواع مختلف نانوکامپوزیت‌ها دارند. تویوتا از رزین نایلون ۶ در نانوکامپوزیت مذکور استفاده کرد. اخیراً نانوکامپوزیت‌هایی از این دست که شامل نایلون ۶-۶، نایلون ۱۱ و نایلون ۱۲ می‌باشند نیز ساخته شده‌اند.

از آن زمان تاکنون، تویوتا مجوز فناوری نانوکامپوزیت نایلونی خود را به شرکت‌های Ube Industries در ژاپن و Nanocor در ایالات متحده واگذار کرده است. همچنین، شرکت Nanocor مجوز این فناوری را به شرکت‌های کوچکی که به دنبال ساخت نانوکامپوزیت‌های نایلون ۶ هستند، واگذار می‌کند.

#### • کاربردهای خودروسازی

نایلون‌های پر شده با مونتموریلونیت نسبت به نایلون خالص دارای چندین مزیت عملی، به ویژه در مورد مقاومت در برابر حرارت، می‌باشند. به همین دلیل، این مواد برای ساخت قطعات موتور و سایر اجزای درونی اتومبیل مانند تسمه تنظیم زمان (که به مقاومت حرارتی و وزن سبک‌ترین نیاز است) مناسب می‌باشند.

#### • کاربردهای بسته‌بندی

ویژگی‌های انسدادی خوب نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت موجب شده است تا از آنها به شکلی گسترده در کاربردهای بسته‌بندی غذا استفاده شود. این کاربردها شامل پوشش‌های تک لایه و چند لایه و حتی کانتینرهای پلاستیکی است. پوشش‌های ساخته شده با این نانوکامپوزیت‌ها، نسبت به نایلون خالص، نرخ انتقال اکسیژن را تا ۵۰ درصد کاهش داده و موانع بهتری در برابر سایر گازها، مواد شیمیایی و بوها می‌باشند. این پوشش‌ها سخت‌تر و صلب‌تر از پوشش‌های معمولی هستند.

#### • کاربردهای علوم زیستی

به دلیل الاستیسیته و مقاومت مکانیکی خوب نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت از آنها در ابزارهای پزشکی مانند سوندها استفاده می‌شود. هم اکنون حداقل شرکت Foster Corp به دنبال دستیابی به این بازار می‌باشد.

#### ب) TPO/مونتموریلونیت

در نانوکامپوزیت‌های TPO/مونتموریلونیت، از نانوذرات خاک رس برای افزایش سختی، شکل‌پذیری در دمای پایین و مقاومت در برابر خراش بهره گرفته می‌شود. این مواد جلا و زیبایی سطحی بالا و بین ۱۰ تا ۲۰ درصد صرفه‌جویی وزنی دارند.

مزیت دیگر این نانو کامپوزیت‌ها قابلیت به کارگیری آنها در تجهیزات قالب‌گیری کنونی است. کاربردهای نانو کامپوزیت‌های خاک رس TPO/مونتموریلونیت در صنعت خودروسازی در حال افزایش است.

#### ● کاربردهای خودروسازی

نانو کامپوزیت‌های مذکور برای ساخت پلکان در مینی ون‌های شرکت جنرال موتورز (GMC Safari/Chevrolet Astro) به کار گرفته شده‌اند. البته حجم این کاربرد زیاد نیست (سالانه حدود ۱۰۰۰۰ پلکان تولید می‌شود). این شرکت در اوایل سال ۲۰۰۴ نیز از این نانو کامپوزیت‌ها در قطعات تزئینی داخلی اتومبیل Chevrolet Impala استفاده کرد. در سال ۲۰۰۵ در خودروهای Hummer H2 SUT، که در سال ۲۰۰۴ معرفی شدند، از خاک رس استفاده شد. تعداد زیادی از این خودروها (تقریباً ۲۰۰۰۰۰ خودرو در سال) تولید شده‌اند و برای تولید آنها تقریباً به ۵۰۰۰۰۰ پوند تقریباً ۲۵۰ تن نانو کامپوزیت است. احتمالاً در سال‌های آینده شاهد کاربردهای جدیدی در این حوزه خواهیم بود.

#### (پ) EVA/مونتموریلونیت

نانو کامپوزیت‌های EVA/مونتموریلونیت، بدون استفاده از هالوژن‌ها، در برابر سوختن بسیار مقاوم هستند. عدم استفاده از هالوژن‌ها برای برخی از بازارها، مانند اروپا، مزیت قابل توجهی است زیرا در این بازارها مؤسسات مختلفی وجود دارند که مانع عرضه مواد هالوژن‌دار برای برخی از کالاها می‌شوند.

#### ● کاربردهای مربوط به مواد نسوز

در صنعت مواد نسوز مقادیر قابل توجهی از ترکیبات هالوژن دار استفاده می‌شود. انتظار می‌رود که در این صنعت استقبال ویژه‌ای از مواد نانو کامپوزیتی EVA/مونتموریلونیت نسوز بدون هالوژن شود. علاوه بر این، مزیت دیگر نانو کامپوزیت‌های مذکور، ساخت و به کارگیری آسان آنهاست.

تاکنون مهم‌ترین کاربرد تجاری نانو کامپوزیت‌های EVA/مونتموریلونیت، در پوشش سیم‌ها و کابل‌های الکتریکی بوده است. آزمایش‌های گرماسنجی نشان‌دهنده کاهش مطلوب در حرارت آزاد شده در مقادیر نسبتاً پایین (۳ تا ۵ درصد) است. همچنین این مواد خواص مکانیکی، مقاومت شیمیایی و پایداری حرارتی بسیار خوبی دارند.

#### (ت) پلی پروپیلن/مونتموریلونیت

ویژگی‌های مفید نانو کامپوزیت‌های PP/مونتموریلونیت عبارتند از:

- مدول انعطاف پذیری بالا
- مقاومت بالا در برابر ضربه
- چگالی حجمی پایین
- مقاومت در برابر خراش

این ویژگی‌ها سبب می‌شود در آینده از این مواد در قطعات خودرو، صنعت بسته‌بندی و سایر صنایع استفاده شود.

#### ● کاربردهای خودروسازی

از این مواد برای اولین بار در پشتی صندلی خودروی 2004 Acura TL استفاده شد. همچنین کنسول مرکزی یک کامیون مدل ۲۰۰۶ از نانو کامپوزیت PP/مونتموریلونیت ساخته شده است.

در کوتاه‌مدت انتظار می‌رود بیشتر کاربردهای نانو کامپوزیت‌های PP/مونتموریلونیت در صنعت خودروسازی، به جایگزینی کاربردهای کنونی PP محدود شود، اما در آینده می‌توان منتظر جایگزینی نانو کامپوزیت‌های PP با فلزات و ترموپلاستیک‌های مهندسی بود.

#### ● کاربردهای مربوط به مواد نسوز

شرکت Nanocor توانسته است نانو کامپوزیتی با میزان خاک رس ۴۰ تا ۵۰ درصد در PP تولید کند. این ماده برای حفاظ‌های الکتریکی دارای بار بالا به کار می‌رود. این ماده در برابر سوختن مقاومت بالایی دارد و پارامترهای لازم برای چقرمگی دما-پایین و سازگاری با تغییرات آب و هوایی را دارد. استفاده از نانو کامپوزیت‌های مذکور می‌تواند به ۱۸ درصد صرفه‌جویی وزنی منجر شود. همچنین به کمک این مواد می‌توان برای رسیدن به یک درجه UL مشخص، از افزودنی‌های FR با هالوژن کمتر استفاده کرد.

#### ● سایر کاربردها

هم اکنون، تعدادی از سازندگان و مصرف‌کنندگان، به بررسی کاربردهای نانو کامپوزیت‌های PP/مونتموریلونیت در

بسته‌بندی، تجهیزات اداری، کالاهای خانگی، لوله‌ها و سایر مواد ساختمانی مشغول هستند.

#### ث) پلی اتیلن /مونتموریلونیت

ویژگی‌های این مواد مشابه نانو کامپوزیت‌های PP/مونتموریلونیت است.

- کاربردهای بسته‌بندی
- کاربردهای تجاری نانو کامپوزیت‌های PE/مونتموریلونیت شامل کانتینرهای از جنس HDPE برای حمل تلوئن و سایر هیدروکربن‌های سبک هستند.
- کاربردهای خودروسازی
- این نانو کامپوزیت‌ها برای بیشتر قطعات داخلی و بیرونی اتومبیل مناسب هستند.

#### ج) استال /مونتموریلونیت

نانو کامپوزیت‌های استال/مونتموریلونیت در دهه ۱۹۹۰ به منظور کاربردهای خودروسازی و الکترونیک ساخته شدند. نانو کامپوزیت‌های استالی در مقایسه با پلیمرهای پرنشده استال، ۴۰ درصد مدول انعطاف پذیری بیشتر و ۴۵ درجه فارنهایت مقاومت حرارتی بالاتری دارند. در حال حاضر چندین شرکت سازنده ژاپنی به فروش نانو کامپوزیت‌های استال/خاک رس اشتغال دارند.

#### چ) نایلون /فلوئورید میکا

نانو کامپوزیت‌های نایلون/فلوئورید میکا ویژگی‌هایی مشابه نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت دارند. تاکنون کاربردهای اصلی این مواد در صنعت خودروسازی بوده است.

- کاربردهای خودروسازی
- شرکت Unitika Co در ژاپن، نانو کامپوزیت‌های نایلون ۶/میکا را برای قالبگیری تزریقی ساخته است. محصولات این شرکت در آمریکای شمالی توسط Toyota Tsusho توزیع می‌شود. شرکت میتسوبیshi موتورز نانو کامپوزیت‌های این شرکت را برای ساخت پوشش مدل‌های GDI موتورهای خود به کار گرفته است. استفاده از این نانو کامپوزیت‌ها، به کاهش ۲۰ درصدی در وزن و پرداخت سطح عالی منجر می‌گردد.

#### ح) بوتیل /ورمیکولیت

صفحات کوچک ورمیکولیتی لایه لایه شده که در نانو کامپوزیت‌های بوتیل /ورمیکولیت وجود دارند، منشأ اصلی ویژگی‌های انسدادی این ماده می‌باشند. به دلیل نسبت عرض به ارتفاع بالای این مواد (۱:۱۰۰۰۰)، مسیر عبور هوا و یا سایر گازها طولانی‌تر شده و عملاً به این گازها اجازه عبور داده نمی‌شود.

هم اکنون کاربردهای عمده نانو کامپوزیت‌های مذکور، کالاهای ورزشی است، گرچه انتظار می‌رود در آینده کاربردهایی از سایر حوزه‌ها مانند تایرها نیز به این مجموعه اضافه شوند.

- کاربردهای مربوط به محصولات مصرفی
- شرکت Wilson Sporting Goods هسته توپ‌های تنیس دو هسته‌ای خود را با نانو کامپوزیت‌های بوتیل /ورمیکولیت پوشش داده است. این شرکت توانست، ویژگی‌های فشاری و جهشی این توپ‌ها را تا دو برابر توپ‌های معمولی افزایش دهد. همچنین شرکت TaylorMade پنتتی در زمینه طرح یک توپ گلف که در هسته، پوشش و یا لایه‌های درونی آن از نانو کامپوزیت‌های خاک رسی استفاده شده است، به ثبت رسانده است و قصد دارد چنین توپی را وارد بازار کند. اطلاعات دقیقی در مورد فناوری نانو کامپوزیتی این شرکت در دسترس نیست اما احتمال می‌رود فناوری به کار رفته در این توپ‌ها مشابه فناوری توپ‌های تنیس شرکت Wilson باشد.

#### • سایر کاربردها

شرکت InMat، که سازنده پوشش‌های مانعی بوتیل /ورمیکولیتی مورد استفاده در توپ‌های تنیس شرکت Wilson است، قصد دارد در آینده، این فناوری را به شرکت‌های سازنده تایر بفروشد.

#### ۳ ۲ ۱ ۳ ۳ نانو کامپوزیت‌های پلیمر/رس دیگر در حال توسعه

تمام کامپوزیت‌های پلیمر/نانو خاک رسی که پیش از این به آنها اشاره شد، مصرف تجاری (هر چند محدود) دارند. در این بخش به نانو کامپوزیت‌های پلیمر/خاک رسی پرداخته می‌شود که در دست توسعه بوده و (یا) تاکنون به شکل قابل توجهی وارد بازارهای تجاری نشده‌اند.



جدول ۲ - نانو کامپوزیت‌های خاک رسی دیگر		
کاربردها	ویژگی‌های اصلی	ماتریس/پرکننده
بسته‌بندی	ویژگی‌های انسدادی	PET/مونتموریلونیت
بسته‌بندی	ویژگی‌های انسدادی	EVOH/مونتموریلونیت
کالاهای ورزشی تایرها	ویژگی‌های انسدادی	کلروپرن، لاستیک نیتریل، پلی‌استر/ مونتموریلونیت

تعداد دیگری از نانو کامپوزیت‌های پلیمر/خاک رس در منابع و نشریات فنی و تجاری آورده شده‌اند اما در جدول بالا ذکر نشده‌اند، زیرا این مواد یا تاکنون تجاری نشده و یا BCC Research نتوانسته است نمونه‌های خاصی از کاربردهای تجاری آنها را تشخیص دهد. در ادامه نانو کامپوزیت‌های ذکر شده در جدول توضیح داده می‌شوند.

#### الف) PET/مونتموریلونیت

در گذشته تمایل زیادی به تجاری‌سازی نانو کامپوزیت‌های PET/مونتموریلونیت برای کاربردهای انسدادی مانند بطری‌ها وجود داشت. شرکت ایستمن (Eastman)، یکی از بزرگ‌ترین سازندگان بطری‌های PET، در دهه ۱۹۹۰ به منظور تولید یک PET کامپوزیتی نانورسی، با شرکت Nanocor به همکاری پرداخت. البته شرکت ایستمن در سال ۲۰۰۱ در حالی که پتنت‌های خود را در دانشگاه کارولینای جنوبی به ثبت می‌رساند، تحقیقات خود را روی نانو کامپوزیت‌های PET متوقف ساخت و برخی از تحقیقات خود را به شرکت Nanocor منتقل ساخت.

دو شرکت Dow Chemical و Honeywell نیز از شرکت‌هایی هستند که در گذشته پروژه‌های تحقیق و توسعه در زمینه کامپوزیت‌های PET/رس داشته‌اند. با این حال به نظر می‌رسد هم اکنون هر دو شرکت مذکور، تحقیقات خود را در این زمینه محدود کرده و یا عملاً متوقف کرده‌اند.

از آنجایی که هم اکنون هیچ تلاش اساسی و فزاینده‌ای برای تجاری‌سازی کامپوزیت‌های PET/نانورس وجود ندارد، BCC Research پیش‌بینی می‌کند احتمالاً این نانو کامپوزیت‌ها در ۵ سال آینده تجاری نخواهند شد. همچنین محققان در تلاشند تا نانو کامپوزیت‌های نایلون/رس را به صورت لایه‌هایی به همراه پلی‌اتیلن در، برخی از کاربردهای بطری‌سازی استفاده کنند.

#### ب) EVOH/مونتموریلونیت

ارتش ایالات متحده از تحقیقات روی کاربردهای ممکن برای نانو کامپوزیت‌های EVOH در شکل جدید بسته‌بندی غذاهای آماده (MREs) حمایت مالی می‌کند. هدف از تحقیقات مذکور کاهش هزینه بسته‌بندی MRE و همچنین حذف لایه انسدادی فویل آلومینیوم (که در بسته‌بندی‌های کنونی استفاده می‌شود) و جایگزینی آن با یک لایه نانو کامپوزیتی است. به این ترتیب، بدون کاهش قابلیت ذخیره‌سازی مواد غذایی، میزان زیاده ایجاد شده توسط MRE کاهش می‌یابد.

در آزمایش‌ها نشان داده شد که نانو کامپوزیت‌های EVOH/مونتموریلونیت، قابلیت لازم برای حفاظت در برابر اکسیژن را دارند. البته این ویژگی‌های به دما و رطوبت بستگی دارد. یکی از راه‌حل‌های این مشکل، قرار دادن لایه‌های نانو کامپوزیتی EVOH در بین لایه‌های LDPE است.

#### پ) سایر مواد ماتریسی/اورمیکولیت

علاوه بر نانو کامپوزیت‌های بوتیل/اورمیکولیتی مورد استفاده در پوشش‌های توپ تنیس، شرکت InMat پوشش‌های انسدادی هوایی بر پایه سایر مواد ماتریسی مانند کلروپرن، لاستیک نیتریل و پلی‌استر ساخته است.

#### ۳۳۳۴ کاربردها

بخش قبل به بررسی گونه‌های مختلف نانو کامپوزیت‌های رسی و کاربردهای آنها اختصاص داشت. در جدول زیر کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت‌های خاک رس آورده شده‌اند و برای هر کاربرد، نانو مواد مورد استفاده و یا در حال توسعه ذکر شده‌اند. کاربردهای مذکور عبارتند از: بسته‌بندی، اجزای خودرو، بهداشت و سلامت، محصولات مصرف کنندگان و مواد نسوز.

جدول ۳- کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های دارای رس		
وضعیت تجاری	نوع نانو کامپوزیت خاک رسی	کاربرد
تجاری	نایلون/مونتموریلونیت	خودروسازی
تجاری	TPO/مونتموریلونیت	
تجاری	PP/مونتموریلونیت	
تجاری	استال/مونتموریلونیت	
تجاری	نایلون/فلوئورید میکا	
در دست توسعه	PE/مونتموریلونیت	
در دست توسعه	لاستیک بوتیل/ورمیکولیت	
تجاری	نایلون/مونتموریلونیت	بسته‌بندی
تجاری	PE/مونتموریلونیت	
در دست توسعه	PP/مونتموریلونیت	
در دست توسعه	PET/مونتموریلونیت	
در دست توسعه	EVOH/مونتموریلونیت	
تجاری	نایلون/مونتموریلونیت	علوم زیستی
تجاری	لاستیک بوتیل/ورمیکولیت	محصولات مصرفی
در دست توسعه	PP/مونتموریلونیت	
تجاری	EVA/مونتموریلونیت	مواد نسوز
در دست توسعه	PP/مونتموریلونیت	

### ۱۴۱۳۳ خودروسازی

اولین کاربردهای تجاری نانو کامپوزیت‌های رسی (نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت) در بخش خودروسازی بوده است. از آن زمان تاکنون، انواع دیگری از نانو کامپوزیت‌های رسی (نانو کامپوزیت‌های PP، TPO و استال با پرکننده‌های مونتموریلونیت و فلوئورید نایلون/میکا) برای تولید تجاری قطعات خودرو استفاده شده‌اند. علاوه بر این، هم‌اکنون تلاش‌هایی برای استفاده از نانو کامپوزیت‌های بوتیل/ورمیکولیت به عنوان لایه‌های انسدادی هوا در تایرها در حال انجام است.

### ۲۴۱۳۳ بسته‌بندی

هم‌اکنون کاربردهای نانو کامپوزیت‌های رسی در بخش بسته‌بندی، به ویژه برای محصولات غذایی، در حال افزایش است. برای این کاربردها بیشتر از نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت استفاده می‌شود. البته نانو کامپوزیت‌های PE/مونتموریلونیت نیز در بخش بسته‌بندی، به عنوان مثال در ساخت کانتینرهای حمل تلوئن و سایر هیدروکربن‌های سبک، به صورت محدود کاربرد دارند.

همچنین نانو کامپوزیت‌های رسی دارای PET، PP و EVOH نیز در بخش بسته‌بندی کاربردهای بالقوه‌ای دارند. البته بنا به اطلاعات BCC Research، هنوز هیچ کدام از آنها تجاری نشده‌اند.

### ۳۴۱۳۳ بهداشت و سلامت

هم‌اکنون حداقل یک شرکت به دنبال اصلاح نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونتموریلونیت به منظور استفاده در ابزارهای پزشکی (مانند سوندها) می‌باشد.

### ۳ ۳ ۱ ۴ ۴ محصولات مصرفی

نانو کامپوزیت‌های بوتیل/ورمیکیولیتی در توپ‌های تنیس مورد استفاده قرار گرفته‌اند و می‌توان از آنها در توپ‌های گلف نیز به شکل تجاری استفاده کرد. هم‌اکنون تلاش‌هایی برای استفاده از نانو کامپوزیت‌های PP/مونتموریلونیت در لوازم خانگی در حال انجام است.

### ۲ ۲ ۱ ۴ ۵ مواد نسوز

یکی از شناخته شده‌ترین کاربردهای تجاری نانو کامپوزیت‌های خاک رسی، پوشش EVOH/مونتموریلونیتی برای سیم‌ها و کابل‌هاست. به تازگی شرکت Nanocor یک ماده PP/مونتموریلونیتی برای استفاده در پوشش‌های الکتریکی سیم‌های ولتاژ بالا ساخته است. چنین پوشش‌هایی باید در برابر سوختن بسیار مقاوم باشند.

### ۲ ۳ ۱ ۵ سازندگان

در جدول زیر سازندگان و عرضه‌کنندگان اصلی نانو کامپوزیت‌های پلیمری پرشونده با رس، آورده شده‌اند. اکثر این شرکت‌ها از نانو رس‌های شرکت Southern Clay Products و یا Nanocore استفاده می‌کنند.

جدول ۴ - عرضه‌کنندگان نانو کامپوزیت خاک رسی			
کاربرد (های) اصلی	رزین ماتریسی	نام محصول	عرضه‌کننده
بسته‌بندی	نایلون ۶		Aloca CSI
خودروسازی	TPO		Basell Polyolefins
بسته‌بندی	نایلون ۶	Durethan	Bayer AG
بسته‌بندی	PP		Clariant
ابزارهای پزشکی	نایلون ۱۲	Nanomed	Foster Corp
قطعات رنگ شده خودرو	نایلون ۶	Aegis	Honeywell
کالاهای ورزشی بسته‌بندی تایرها محافظ‌های شیمیایی دستکش‌ها	بوتیل PE نئوپرن کلروپرن لاستیک نیتریل	Air D-Fense Nanolok	InMat
سیم و کابل	EVA		Kabelwerk Eupen
بسته‌بندی	HDPE		LG Chem
بسته‌بندی	نایلون ۶	Imperm	Mitsubishi Chemical
قطعات خودرو لوازم خانگی تجهیزات اداری	PP	Forte	Noble Polymers
دریانوردی حمل و نقل	پلی استر اشباع‌نشده		Polymeric Supply
قطعات خودرو بسته‌بندی مواد نسوز	PP PE	Nanoblend Maxxam LST	PolyOne

جدول ۴ - عرضه کنندگان نانوکامپوزیت خاک رسی

کاربرد (های) اصلی	رزین ماتریسی	نام محصول	عرضه کننده
رساناهای الکتریکی کاربردهای چند منظوره	نایلون ۶ PP		RTP
مواد نسوز کاربردهای چند منظوره	نایلون ۶ استال	Systemer	Showa Denko
سیستم های سوخت اتومبیل بسته بندی کاربردهای چند منظوره	نایلون ۶ استال	Ecobesta	Ube
کاربردهای چند منظوره	نایلون ۶	Nylon M۳۵۰	Unitika
مواد مقاوم در برابر زلزله لوله ها	UHMPWE		Yantai Haili Industry and Commerce

شرکت Alcoa Closure Systems International یا Alcoa CSI، که عرضه کننده خدمات بسته بندی است، یک واحد تجاری Aloca است که به تازگی به دنبال ثبت پتنتی در مورد پوشش های داخلی است که در قسمت در بطری های پلاستیکی، آمیوه و یا نوشیدنی های گازدار بدون الکل کربنه استفاده می شوند. پوشش های مذکور شامل یک لایه از کامپوزیت نایلون ۶/۶ خاک رس به همراه یک یا دو لایه ی EVA با زداینده های اکسیژن می باشند.

شرکت Basell Polyolefins، شریک خطرپذیر شرکت های BASF و Shell، یکی از بزرگترین عرضه کنندگان پلی اتیلن و محصولات پلی اولفینی پیشرفته می باشد. این شرکت و شرکت های جنرال موتورز و Southern Clay Products، در پروژه های مشترک، یک پلکان نانو کامپوزیتی مبتنی بر اولفین های ترموپلاستیکی برای دو مدل از ون های شرکت جنرال موتورز تولید کرده اند.

شرکت Bayer AG، دومین سازنده محصولات شیمیایی در سطح جهان، گونه های مختلفی از مواد لایه ای انسدادی از جنس نایلون/خاک رسی را با نام تجاری Durethan تولید کرده و به فروش می رساند. این شرکت محصولات مذکور را با همکاری شرکت Nanocor تولید می کند.

شرکت Clariant International یکی از بزرگترین تولید کنندگان مواد شیمیایی خاص است که با شرکت Nanocor در زمینه توسعه مسترچ های PP/مونومر یلونیت برای کاربردهای بسته بندی لایه ای همکاری کرده است.

Nanomed، محصول شرکت Foster Corp بیشتر در ابزارهای پزشکی مانند سوندهای درون عروقی یا بالون شکل به کار گرفته می شود. این محصول از نانوذرات رس و روش های ایجاد اتصال جانبی، برای افزایش مقاومت مکانیکی، قابلیت کشیده شدن و مقاومت در برابر سوختن، استفاده می کند.

شرکت Honeywell دسته ای از نانو کامپوزیت های نایلون/خاک رس را تحت نام تجاری Aegis تولید می کند که برای کاربردهای پلاستیکی، نوشیدنی های الکلی و کربنه مورد استفاده قرار می گیرند.

شرکت InMat فعالیت خود را به عنوان همکار برنامه توسعه Hoechst Research and Technology و یک تولید کننده اصلی تایر آغاز کرد. در سال ۱۹۹۷، این برنامه به کشف یک نانو کامپوزیت لاستیک/ورمیکولیوت لایه لایه بوتیلی انعطاف پذیر منجر گردید. نفوذپذیری نانو کامپوزیت مذکور در برابر گازها، ۸۰ برابر کمتر از لاستیک نیتریل می باشد.

اولین کاربرد تجاری فناوری شرکت InMat، توپ تنیس دو هسته ای شرکت Wilson بود. گفته می شود که دوره زمانی حفظ فشار و جهش این توپ ها نسبت به توپ های معمولی حداقل دو برابر طولانی تر است. سایر کاربردهای بالقوه برای فناوری مذکور عبارتند از: تایرها، بتونه های رنگ، دستکش های لاستیکی محافظ، تجهیزات شناور، بالش ها و کیسه های هوا و کفش های دوندگان.

شرکت Kabelwerk Eupen یکی از بزرگترین عرضه کنندگان ابزارهای ارتباطی از راه دور، تلویزیون کابلی و کابل های توزیع برق است. این شرکت با همکاری شرکت Sud-Chemie AG (که در ادامه به آن پرداخته می شود) توانسته است دسته ای از کابل های EVA/LDPE پر شده با نانو خاک رس را بسازد که ویژگی های آماده سازی و مقاومت در برابر سوختن بهتری دارند.

شرکت LG Chem که یکی از اعضای شرکت های گروه ال جی است، مواد شیمیایی گوناگونی تولید می کند. این شرکت به منظور حمل و نقل تلوئن و سیالات هیدروکربنی سبک، کانتینرهای HDPE تک لایه ای که ویژگی های نفوذناپذیری خوبی داشته و با قالب گیری بادی تولید می شوند را، با ۳ تا ۵ درصد نانو خاک رس، ساخته است.

شرکت Mitsubishi Chemical از نانو خاک‌های شرکت Nanocor در نایلون‌ها استفاده کرده و لایه‌های انسدادی برای بطری‌های PET چند لایه و همچنین پوشش‌هایی برای مواد غذایی تولید می‌کند. نانو کامپوزیت نایلونی این شرکت، Imperm N، در اروپا به صورت تجاری برای ساخت بطری‌های PET چند لایه‌ای به کار گرفته شده‌اند. همچنین قابلیت این ماده برای استفاده در بطری‌های نوشیدنی بدون الکل کربنی کوچک، در دست بررسی است. سایر کاربردهای بالقوه Imperm عبارتند از:

- ظروف چند لایه شکل داده شده با حرارت، برای نگهداری گوشت و پنیر
  - پوشش‌های چند لایه انعطاف پذیر برای پاکت‌های سیب زمینی و سس‌های گوجه فرنگی.
- شرکت Noble Polymers ترکیبات رزینی با کارآیی بالا و ابزارهای پلاستیکی تولید می‌کند. این شرکت، در سال ۲۰۰۳، نانو کامپوزیت مبتنی بر PP خود را با نام Forte تولید کرد. از نانو کامپوزیت مذکور، برای اولین بار، در ساخت پستی‌صندلی خودروهای 2004 Honda Acura TL به صورت تجاری استفاده شد. بنا به اظهارات شرکت Noble، نانو کامپوزیت Forte برای تولید کنسول مرکزی یک کامیون سبک مدل ۲۰۰۶ به کار گرفته شد. سایر کاربردهای ماده مذکور عبارتند از: تجهیزات اداری (جایگزینی ۲۰ درصد PP پر شده با شیشه) و لوازم خانگی.
- شرکت PolyOne ارائه‌دهنده بین المللی خدمات پلیمری در زمینه‌ها ترکیبات ترموپلاستیک، آماده‌سازی پلیمر ویژه و سیستم‌های رنگی و افزودنی است. محصول Nanoblend این شرکت، شامل نانو پلیمرهای پلی اتیلن و پلی پروپیلن برای قطعات داخلی و خارجی اتومبیل بسیار مناسب است. سایر کاربردهایی که برای این محصول بررسی می‌شوند، پوشش‌های ضد نفوذ و پلیمرهای نسوز هستند.
- شرکت خصوصی RTP که یک تولید کننده پلاستیک‌های مهندسی است، نانو کامپوزیت‌های نایلونی را در کاربردهای پوششی و صفحه‌ای تجاری کرده است. این شرکت پلیمرهای نایلون، پلی کربنات و یا سایر پلیمرهای مهندسی پر شده با نانولوله‌ها را عرضه می‌کند. RTP یکی از مهم‌ترین شرکت‌ها در زمینه پلیمرهای پراکنده‌ساز بار ساکن با رشته‌های بلند است. شرکت Showa Denko یکی از بزرگترین تولید کنندگان مواد شیمیایی و صنعتی در ژاپن است، که فروش آن شرکت در سال ۲۰۰۵ بیش از ۷ میلیارد دلار بوده است. Showa دسته‌ای از کامپوزیت‌های نایلون ۶-۶/۶ خاک رس را تحت نام تجاری Systemer تولید می‌کند.
- شرکت Süd-Chemie AG مواد شیمیایی متنوعی تولید می‌کند. این شرکت ترکیبات EVA/PE بدون هالوژن برای سیم و کابل ساخته که ۳ تا ۵ درصد نانو خاک رس و ۵۲ تا ۵۵ درصد تری هیدرات آلومینا یا هیدروکسید منیزیم در ساختمان آنها وجود دارد. این اصلاحات به ارتقای ویژگی‌های مکانیکی، هموارتر شدن کابل و سرعت اکستروژن بالاتر انجامیده است.
- شرکت Triton Systems در سال ۱۹۹۲ به عنوان یک شرکت تحقیق و توسعه (R&D) برای آماده‌سازی محصولات و فرآیندها در بازارهای دولتی و تجاری شروع به کار نمود. هم اکنون این شرکت به منظور ارتقای ویژگی‌های انسدادی EVOH برای بسته‌بندی‌های با دوام، با ارتش ایالات متحده و ناسا همکاری می‌کند.
- شرکت Japan's Ube Industries یکی از اولین شرکت‌هایی است که نانو کامپوزیت تجاری تولید کرده است. محصول این شرکت که «هیبرید نایلون-خاک رس» یا NCH نام داشت از پلیمرهای نایلون ۶ و پلیمرهای مشترک نایلون ۶/۶-۶ تشکیل شده بود و دارای کاربردهای پوششی و ساختمانی بود. کاربردهای تجاری NCH عبارتند از: پوشش‌های مانعی نایلون ۶ برای بسته‌بندی مواد غذایی و یک پوشش تسمه تنظیم زمان برای موتورهای توپوتا.
- شرکت Unitika, Ltd در ژاپن، یکی از بزرگترین تولید کنندگان نانو کامپوزیت‌های نایلون ۶ برای کاربردهای خودروسازی است. یکی از محصولات این شرکت، Nylon M2350 است که با استفاده از فناوری اختصاصی این شرکت ساخته می‌شود. در حین پلیمره کردن این محصول از یک سیلیکات مصنوعی استفاده می‌شود. این محصول توسط Mitsubishi Motors برای ساخت پوشش‌های موتورهای مدل GDI به کار رفت. استفاده از نانو کامپوزیت برای این کاربرد به کاهش ۲۰ درصدی وزن و همچنین پرداخت سطح عالی منجر می‌گردد. پوشش‌های براق و دسته‌های چاقو، سایر کاربردهای این محصول می‌باشند.
- شرکت Yantai Haili با استفاده از نانو کامپوزیت‌های رسی، لوله‌های پلاستیکی مقاوم در برابر زلزله می‌سازد. BCC Research نتوانست اطلاعات بیشتری در مورد این محصول به دست آورد.
- سایر شرکت‌هایی که در حال حاضر به تحقیق و یا توسعه نانو کامپوزیت‌های پر شده با رس اشتغال دارند، عبارتند از: Dow Chemical و DuPont. شرکت Dow تحقیقات خود را روی نانو کامپوزیت‌های خاک رس طبیعی متوقف ساخته و بر روی اصلاح خاک‌های رس مصنوعی برای به کارگیری در نانو کامپوزیت‌ها متمرکز شده است. چنانچه این تلاش‌ها به نتیجه برسند، شرکت Dow تنها شرکتی خواهد بود که به تولید همزمان نانو خاک رس و رزین اشتغال دارد.
- از سال ۲۰۰۰، شرکت DuPont شصت میلیون دلار برای تأمین بودجه یک انجمن مشترک با MIT هزینه کرده است. هدف از ایجاد انجمن مذکور، ایجاد نسل جدیدی از مواد است که نانو کامپوزیت‌ها نیز شامل آنها هستند.



### ۲۳۳ نانو کامپوزیت‌های سرامیکی

نانو کامپوزیت‌های سرامیکی شامل ذرات نانومقیاس سرامیک هستند که به عنوان پرکننده درون گونه‌های مختلفی از مواد ماتریسی، مانند پلیمرها و یا سایر سرامیک‌ها، پخش می‌شوند. سرامیک‌ها مواد غیر فلزی معدنی هستند که در پی یک عملیات حرارتی ساخته می‌شوند.

### مواد ۱۲۳۳

مواد مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌های سرامیکی به دو دسته پرکننده و مواد ماتریسی تقسیم می‌شوند.

### ۱۱۲۳۳ پرکننده‌های سرامیکی

سرامیک‌ها به طور کلی چندین خصوصیت مطلوب دارند که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

#### الف) دوام شیمیایی

بیشتر سرامیک‌ها تقریباً در برابر تمام اسیدها، قلیاها و حلال‌های آلی مقاوم هستند. همچنین اکسیژن بر روی مواد سرامیکی بی‌تأثیر است، زیرا عموماً مواد موجود در سرامیک تمام ظرفیت جذب اکسیژن خود را کامل کرده‌اند و بنابراین حضور اکسیژن در محیط، تأثیری بر روی آنها نخواهد داشت.

#### ب) دوام مکانیکی

سرامیک‌ها در بین سایر مواد، دارای بیشترین مقاومت مکانیکی و سختی هستند. در حالت عادی، مقاومت فشاری این مواد در حدود ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع (psi) است. این خصوصیت موجب می‌شود تا مقاومت سرامیک‌ها در برابر خراش بسیار بالا باشد.

#### پ) دوام حرارتی

بیشتر سرامیک‌ها می‌توانند دماهای بسیار بالا را تحمل کنند.

#### ت) مصارف

سیلیس، آلومینا، زیرکونیا، کاربید تنگستن و اورگانوسیلیکات‌ها از پرکننده‌های نانو سرامیکی هستند که در نانو کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند. اورگانوسیلیکات‌ها متعلق به دسته‌ای از مواد به نام «سرامیک‌های هیبریدی» هستند. سرامیک‌های هیبریدی در ادامه توضیح داده می‌شوند.

#### ث) سیلیس

سیلیس (SiO<sub>2</sub>) معمولاً در طبیعت در اشکال سنگ ماسه، سیلیس و کوارتز یافت می‌شود. از این ماده، به طور گسترده، به عنوان یک ماده سرامیکی مجزا و یا در ساختمان سایر مواد سرامیکی استفاده شده است. ویژگی‌های اصلی سیلیس عبارتند از:

- مقاومت در برابر خراش
- ویژگی‌های دی‌الکتریک و نارسانایی خوب
- پایداری حرارتی
- مقاومت شیمیایی (به عنوان مثال مقاومت در برابر تمام اسیدها به جز HF)

#### ج) آلومینا

آلومینا یا اکسید آلومینیوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، ترکیبی شیمیایی از آلومینیوم و اکسیژن است که در میان خانواده سرامیک‌های مهندسی، مقرون به صرفه‌ترین و پرکاربردترین ماده است. مواد اولیه‌ای که این ماده سرامیکی کارآمد از آنها ساخته می‌شود، هم‌اکنون در دسترس و نسبتاً ارزان هستند.

آلومینا به دلیل داشتن ویژگی‌های زیر، ماده‌ای ارزان قیمت برای بسیاری از کاربردهاست:

- سختی، مقاومت به سایش
- مقاومت مکانیکی بالا و چقرمگی
- ویژگی‌های دی‌الکتریک بسیار خوب
- مقاومت در برابر اسیدها و بازهای قوی در دماهای بالا
- نارسانایی حرارتی خوب

#### چ) زیرکونیا

دی‌اکسید زیرکونیم (ZrO<sub>2</sub>) که زیرکونیا نیز نامیده می‌شود، یک اکسید بلوری سفید رنگ از زیرکونیم است، که بسیار

مقاوم و دارای ویژگی‌های زیر است:

- محدوده دمایی تا ۲۴۰۰ درجه سانتیگراد
- چگالی بالا
- سختی و مقاومت به سایش بالا
- چقرمگی و مقاومت در برابر شکست بالا
- رسانایی حرارتی پایین (۲۰ درصد رسانایی آلومینا)

### ح) کاربرد تنگستن

کاربرد تنگستن (WC یا W<sub>2</sub>C) ترکیبی از تنگستن و کربن است، که سختی بسیار بالای آن ماده موجب شده تا سازندگان ابزارهای برش، یاتاقان‌ها و سایر قطعات سایشی از این ماده استفاده کنند.

### خ) اورگانوسیلیکات‌ها

اورگانوسیلیکات‌ها به دسته‌ای از مواد به نام سرامیک‌های هیبریدی تعلق دارند. این مواد در ساختمان خود اجزای مولکولی آلی و سرامیکی دارند.

## ۲-۱-۲-۳ مواد ماتریسی

پلیمرها و فلزات/اکسید فلزات معمول‌ترین انواع مواد ماتریسی در نانو کامپوزیت‌های سرامیکی هستند.

### الف) مواد ماتریسی پلیمری

بر خلاف مواد ماتریسی پلیمری مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌های رسی (که در بالا توضیح داده شدند) بیشتر رزین‌های مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌های سرامیکی از نوع رزین‌های ترموست هستند. به عبارت دیگر، این مواد تنها یک بار به کمک حرارت قالب‌گیری می‌شوند، زیرا پس از یک بار سخت شدن، با حرارت دادن به حالت اولیه بر نمی‌گردند.

#### ● پلی اورتان (Polyurethane)

پلی اورتان به گروهی از پلیمرها اطلاق می‌گردد که شامل یک زنجیره از واحدهای آلی متصل شده با اتصالات اورتانی این ماده کاربردهای وسیعی، مانند پوشش‌دهی دارد.

ماده‌ای که در کاربرد پوشش‌دهی به آن پلی اورتان گفته می‌شود، یک پلیمر ترموپلاستیک است که از طریق واکنش چگالش یک پلی ایزوسیانات (polyisocyanate) و یک ماده هیدروکسیل دار ساخته می‌شود. معمولاً در پوشش‌دهی پلی اورتان برای زیرلایه‌های چوبی، از صمغ گیاهان (تخم برزک، سوی (soy) و غیره) برای افزایش انعطاف پذیری و چسبندگی، بهره گرفته می‌شود.

ویژگی‌های پلی اورتان عبارتند از:

- مقاومت در برابر ضربه و عدم فرسایش در معرض هوا
- مقاومت در برابر خراش
- جلا و زیبایی بالا
- مقاومت در برابر اسیدها و بازها
- چسبندگی به زیرلایه‌ها

#### ● اپوکسی

اپوکسی یا پلی اپوکسید یک پلیمر اپوکسید ترموست است که پس از ادغام با یک عامل کاتالیزکننده یا «سخت ساز» سخت می‌گردد. معمولاً رزین‌های اپوکسی از طریق یک واکنش بین اپی کلروهیدرین و بیس فنل A ساخته می‌شوند. اپوکسی سخت و صلب است و مقاومت حرارتی و شیمیایی بسیار بالایی دارد. می‌توان مقاومت مکانیکی این ماده را با استفاده از پشتیبان‌های الیافی یا پرکننده‌های معدنی، زیادتر نمود.

### ب) فلزات/اکسید فلزات

مواد ماتریسی فلزی و اکسید فلزی مورد استفاده در نانو کامپوزیت‌های سرامیکی، دی اکسید تیتانیوم و کبالت هستند.

#### ● دی اکسید تیتانیوم

در برخی از پوشش‌دهی‌های پاششی حرارتی نانو کامپوزیتی، پرکننده‌های سرامیکی مانند آلومینا با یک اتصال‌دهنده دی اکسید فلزی و یا فلزی، مانند دی اکسید تیتانیوم، ادغام می‌شوند. اتصال‌دهنده مذکور موجب می‌شود تا ذرات پرکننده در حین واکنش از طریق سینترینگ فاز مایع به یکدیگر بچسبند و به این ترتیب مقاومت و انعطاف پذیری نانو کامپوزیت افزایش یابد.

### ● کبالت

کبالت به عنوان یک پرکننده فلزی دیگر، به همراه کاربید تنگستن مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده ذرات کاربید تنگستن را از طریق سینترینگ فاز مایع، به یکدیگر متصل می کند.

### ● (پ) سایر مواد

علاوه بر مواد مذکور، فسفات کلسیم نیز در نانو کامپوزیت های سرامیکی مورد استفاده قرار می گیرد.

### ● فسفات کلسیم

در برخی از کاربردهای علوم زیستی مانند پرکننده های استخوانی، یک سرامیک مانند سیلیس با فسفات کلسیم ادغام می شود. فسفات کلسیم نام خانواده ای از مواد معدنی است که در طبیعت (به شکل صخره) و در اسکلت و دندان های حیوانات مهره دار یافت می شوند.

بیشتر فسفات های کلسیم قابلیت جذب مجدد دارند، به عبارت دیگر، این مواد تحت شرایط فیزیولوژیکی حل می شوند. این خصوصیت موجب شده تا بتوان از این مواد در آینده به عنوان پرکننده های استخوانی بهره گرفت، زیرا مواد مذکور به مرور زمان حل شده و با استخوان جایگزین می گردند.

### ● ساخت ۱ ۲ ۳ ۴

در بخش قبل و در مورد نانو کامپوزیت های خاک رسی، چندین فناوری برای ادغام پرکننده های معدنی با مواد ماتریسی پلیمری ترموپلاستیکی توضیح داده شدند. برای پلیمرهای ترموست نیز می توان از آن روش ها استفاده کرد. سایر فرآیندهایی که برای ساخت نانو کامپوزیت های سرامیکی مورد استفاده قرار می گیرند در ادامه شرح داده می شوند.

### ● مونومرهای دارای نیمه ی معدنی ۱ ۲ ۳ ۴

شرکت Sciperio برای ساخت نانو کامپوزیت های ترموست از راهکار تقریباً متفاوتی استفاده کرده است. این شرکت به جای افزودن پرکننده و رزین در مراحل مجزا، مونومری که شامل یک نیمه معدنی می باشد ساخته است. در حالت کلی دو دسته متفاوت از مونومرها وجود دارند: سیلیکات های اکریلات و سیلیکات های اپوکسی. در حین پلیمریزاسیون، مونومر مذکور یک پلیمر ناهمگن تولید می کند.

### ● ساخت در محل لایه های نانو کامپوزیت سرامیکی ۱ ۲ ۳ ۴

پوشش های پاششی حرارتی نانوسرامیکی، به شکل «در محل» ساخته می شوند. فناوری پوشش دهی پاششی حرارتی از یک پودر تغذیه استفاده می کند. این پودر از توده های میکرومقیاس ذرات سخت تشکیل شده است. برای ساخت پوشش می توان این پودر را مستقیماً با نانوذرات ادغام کرد و یا با یک ماده اتصال دهنده نانومقیاس که به راحتی ذوب و یکپارچه می گردد، پوشش داد.

در حین پاشش حرارتی، مواد نانو ساختار به سرعت ذوب می شوند اما پودر لزوماً ذوب نمی گردد. پس از پاشش، نانو مواد مذاب به درون فضاهای حفره ای بین ذرات پودری میکرومقیاس گرم شده (و نرم شده) نفوذ می کنند و با پر کردن این فضاها، یک پوشش چگال، محکم و یکپارچه به دست می آید.

برای به دست آمدن ویژگی های سایشی بهینه، باید کسر حجمی مواد پودری میکرومقیاس، بالا باشد؛ به عنوان مثال بین ۰/۵ تا ۰/۹. پودر تغذیه مذکور می تواند شامل یک، دو و یا انواع بیشتری از ذرات با اندازه متفاوت و/یا ترکیب مختلف باشد. توزیع اندازه ذرات این پودر باید به شکلی باشد که فاز سخت دارای چگالی بالایی باشد.

### ● ساخت توده های نانو کامپوزیتی WC/Co ۱ ۲ ۳ ۴

کاربیدهای تنگستن سمانته، توده هایی از ذرات کاربید تنگستن هستند که توسط فلز کبالت از طریق سینترینگ فاز مایع به یکدیگر چسبیده اند. این مواد در سال های اخیر کاربردهای پودر فلزی قابل توجهی داشته و موفقیت تجاری زیادی کسب کرده اند. می توان با کاهش اندازه ذرات کاربید تنگستن تا حد نانو، چقرمگی و مقاومت در برابر شکست و سایش WC/Co را به طرز چشمگیری افزایش داد.

شرکت Nanodyne Corp توانست در دهه ۱۹۹۰ با همکاری دانشگاه روتگرز (Rutgers)، اولین فرآیند ساخت نانوذرات WC را طراحی و اجرا کند. فرآیند مذکور، یک فرآیند شیمیایی مرطوب بود که به صورت ناپیوسته به کار گرفته می شد. همزمان با شرکت Nanodyne، شرکت بلژیکی Union Miniere نیز به این فرآیند دست پیدا کرد. البته این شرکت نتوانست



تولید WC نانو ساختار را به حد تجاری برساند و سرانجام در سال ۲۰۰۱ تلاش‌های مربوطه را متوقف کرد. اخیراً شرکت Inframat Corp فرآیند متفاوتی برای ساخت WC نانو مقیاس اجرا کرده است. آنها مانند فرآیند شرکت Nanodyne از روش ترکیب شیمیایی مرطوب ارزان قیمت استفاده می‌کنند. این روش برای تولید حجم‌های متفاوت قابل تعمیم است. با این حال برخلاف فرآیند شرکت Nanodyne، فرآیند شرکت Inmat در یک مد تولید پیوسته به کار گرفته می‌شود.

در فرآیند شرکت Inframat Corp، مواد اولیه تنگستن و کربن، در سطح مولکولی و در یک محیط آبی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. تبدیل دما-پایین این مواد، به ایجاد یک میانی محصول حدواسط پیش-سرامیکی منجر می‌شود. با انجام مراحل بعدی فرآیند اختصاصی این شرکت روی پودر پیش-سرامیک مذکور، مواد WC بسیار ریز (با میانگین اندازه دانه ۴۰ نانومتر) تولید می‌شوند.

نانوذرات WC مذکور در توده‌هایی با اندازه میانگین ۰/۲ تا ۰/۴ میکرون بر روی هم انباشته می‌شوند. در نهایت، یک منبع کبالت به ذرات نهایی اضافه می‌شود تا یک کامپوزیت نانو ساختار WC/Co ساخته شود.

### ۳ ۳ ۲ ۲ انواع و ویژگی‌ها

در جدول زیر گونه‌های اصلی نانو کامپوزیت‌های سرامیک دار، که هم اکنون در حال استفاده و یا در دست توسعه هستند، آورده شده‌اند.

جدول ۵ - گونه‌های اصلی نانو کامپوزیت‌های خاک رسی تجاری ویژگی‌ها و کاربردهای مهم		
ماتریس/پرکننده	ویژگی‌های اصلی	کاربرد (ها)
پلی اورتان/آلومینا	مقاومت در برابر ضربه عدم فرسایش در معرض هوا مقاومت در برابر خراش، مقاومت شیمیایی چسبندگی به زیرلایه، جلا و زیبایی بالا	پوشش‌های پیش از پرداخت کف ساختمان
دی اکسید تیتانیوم/آلومینا	مقاومت در برابر سایش چقرمگی چسبندگی به زیرلایه، شکل پذیری	پوشش‌های مورد استفاده در دریانوردی سایر پوشش‌های صنعتی
آلومینا/زیرکونیا	مقاومت در برابر سایش	ایمپلنت‌های مفصلی مصنوعی
اپوکسی/الیاف کربن/سیلیس	مقاومت مکانیکی	قاب راکت تیس
پلی اورتان/اورگانوسیلیکات	مقاومت در برابر سایش	ایمپلنت‌های پزشکی
کبالت/کاربید تنگستن	سختی مقاومت در برابر سایش	ابزارهای برشی قطعات سایشی
فسفات کلسیم/سیلیس	قابلیت جذب مجدد در بدن چقرمگی مقاومت در برابر سایش	مواد جایگزین استخوان

### ۳ ۳ ۲ ۲ پلی اورتان/آلومینا

این ماده یکی از موفق‌ترین نانو کامپوزیت‌ها بوده است که از آن بیشتر در پوشش‌های پیش از پرداخت کف ساختمان استفاده می‌شود. این نانو کامپوزیت ویژگی‌های سایشی را بهبود داده و جلوه ظاهری مناسبی (جلای سطح بالا) به وجود می‌آورد.

### ۳ ۳ ۲ ۲ دی اکسید تیتانیوم/آلومینا

نانو کامپوزیت‌های سرامیکی دارای اکسید تیتانیوم و آلومینا، نسبت به پوشش‌های پاششی حرارتی معمولی، مقاومت در برابر سایش، چقرمگی، شکل پذیری و چسبندگی به زیرلایه بسیار بهتری دارند. البته هزینه بالای این پوشش‌های نانو کامپوزیتی موجب شده است تا از آنها تنها در دریانوردی و کاربردهای مربوطه استفاده شود. با این حال طرفداران این ماده پیش بینی می‌کنند با کاهش قیمت، کاربردهای بسیار متنوع تری برای آن حاصل خواهد شد.

### ۳۳۳۳۳ آلومینا/زیر کونیا

محققان اروپایی نانو کامپوزیت زیر کونیا با ۲/۵ درصد وزن زیر کونیا ساخته‌اند که هم‌اکنون در دست توسعه است، اما به دلیل ویژگی‌های سایشی بسیار خوب، انتظار می‌رود به عنوان ایمپلنت‌های ارتوپدی به کار رود.

### ۳۳۳۳۳ اپوکسی/الیاف کربن/سیلیس

به تازگی یک کامپوزیت اپوکسی-گرافیت سرامیک‌دار که در آن نانوذرات  $\text{SiO}_2$  فضاهای بین الیاف گرافیتی را پر می‌کنند، برای به کارگیری در راکت‌های تنیس شرکت Wilson nPoint طراحی و ساخته شده است. استفاده از نانوذرات سرامیکی به سخت‌تر شدن و توان ضربه زنی قوی‌تر این راکت‌ها کمک می‌کند.

### ۳۳۳۳۳ پلی اورتان/اورگانوسیلیکا

نانو کامپوزیت‌های اورگانوسیلیکاتی پلی اورتانی توسط محققان دانشگاه کوینزلند (Queensland) در استرالیا ساخته شده است. آنها امیدوارند به کمک این مواد بتوانند محدودیت‌های موجود در کارآیی مکانیکی ابزارهای پزشکی همچون دریچه‌های مصنوعی قلب و دیسک‌های ستون فقرات را حذف کنند.

### ۳۳۳۳۳ کبالت/کاربید تنگستن

شرکت Inframat در شرف تجاری‌سازی این نانو کامپوزیت است و برای این کار، به ایجاد یک سرمایه‌گذاری خطرپذیر مشترک با یک سازنده WC می‌اندیشد تا به این شکل مواد نانو کامپوزیتی WC/Co را به صورت انبوه تولید کند. کاربیدهای تنگستن سیمانی ماکرومقیاس (توده‌هایی از ذرات کاربید تنگستن و فلز کبالت که از طریق سینترینگ فاز مایع به یکدیگر چسبیده‌اند) در متالورژی پودر کاملاً شناخته شده‌اند. این محصول، در عرض چندین سال، موفقیت تجاری قابل توجهی داشته است. ویژگی‌های این کاربیدهای تنگستن سیمانی توسط ویژگی‌های مواد متشکله آنها (یعنی کاربید سخت و شکننده و اتصال‌دهنده نرم‌تر و انعطاف‌پذیرتر) تعیین می‌گردند. می‌توان با کاهش اندازه ذرات کاربید تنگستن تا مقیاس نانو، چقرمگی و مقاومت به سایش مواد WC/Co را به شکل چشمگیری افزایش داد.

### ۳۳۳۳۳ فسفات کلسیم/سیلیس

شرکت OssTech در کنتاکی یک نانو کامپوزیت فسفات کلسیم-سیلیسی حفره‌ای ساخته است که قابلیت جذب مجدد داشته و OsteONE نامیده می‌شود. این ماده برای کاربردهای ماکسیلوفاشیال (maxillofacial) و ستون فقرات مناسب است.

### ۳۳۳۳۳ کاربردها

در جدول زیر کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت‌های سرامیکی آورده شده است. بیشتر این کاربردها در حال حاضر تجاری بوده و یا احتمال می‌رود تا ۵ سال آینده تجاری شوند.

جدول ۶ - کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های حاوی سرامیک

وضعیت تجاری	نوع نانو کامپوزیت سرامیکی	کاربرد
تجاری	پلی اورتان/آلومینا	پوشش‌های نهایی کف ساختمان
تجاری	آلومینا/دی اکسید تیتانیوم	پوشش دهی حرارتی
در دست توسعه	زیر کونیا/آلومینا	ایمپلنت‌های ارتوپدی
در دست توسعه	پلی اورتان/اورگانوسیلیکات‌ها	
تجاری	اپوکسی/الیاف کربن/سیلیس	راکت‌های تنیس
در مرحله تولید آزمایشی	کبالت/کاربید تنگستن	ابزارهای برشی، قطعات سایشی
نزدیک به تجاری شدن	فسفات کلسیم/سیلیس	سیمان استخوان

## کاربردهای پوشش‌ها ۱۴۲۳۳

کاربردهای تجاری نانو کامپوزیت‌های سرامیکی در بخش پوشش‌ها عبارتند از: پوشش‌های نهایی (پرداخت) کف ساختمان و پوشش‌ها سرامیکی.

### الف) پرداخت کف ساختمان

نانو کامپوزیت‌های سرامیکی صنعت پوشش‌های کف را آماده تسخیر کرده است. در حال حاضر، این کاربرد به ایجاد یکی از بزرگترین بازارهای نانو کامپوزیت‌ها انجامیده است. بیش از نصف کف‌های چوبی فروخته شده، از جنس پلی اورتان سخت شده با پرتو فرابنفش هستند. برای ساخت این کف‌ها از یک پوشش دهنده غلطکی استفاده می‌شود. در خط مونتاژ با استفاده از لامپ‌های فرابنفش، پلی اورتان را سخت می‌کنند. این مواد مقرون به صرفه، نسبتاً با دوام و بسیار زیبا هستند. البته مواد مذکور به سازندگان و یا تعمیرکنندگان منازل فروخته نمی‌شوند و مشتریان آنها شرکت‌های سازنده پوشش‌های چوبی آماده هستند. معمولاً سازندگان پوشش‌های کف ساختمان، نانو ذرات آلومینا را به پلی اورتان اضافه می‌کنند تا مقاومت سایشی و طول عمر پوشش را بدون کاهش جلا و زیبایی افزایش دهند. نانو ذرات آلومینا به دلیل کوچکی، (حداقل در غلظت‌های نسبتاً پایین) پرتو نور مرئی را بازتاب نمی‌کنند.

### ب) پوشش‌های پاششی حرارتی

هم‌اکنون ارتش ایالت متحده از پوشش‌دهی پاششی حرارتی نانو کامپوزیت سرامیکی (آلومینا/تیتانیا) برای کاربردهایی مانند شیرهای خروجی و محفظه‌های زیردریایی و شفت‌های جلوبرنده کشتی مین‌روب، بهره می‌گیرد. این پوشش‌ها در برابر سایش، فرسایش و خوردگی بسیار مقاومند و به دلیل شکل‌پذیری قابل قبول، برای کاربردهایی که در آنها نمی‌توان از پوشش‌های سرامیکی معمولی استفاده کرد، مناسب‌اند. پوشش‌های نانو سرامیکی آلومینا/تیتانیا نسبت به پوشش‌های سرامیکی معمولی، مقاومت سایشی را چهار تا شش برابر و چقرمگی و مقاومت چسبندگی را دو برابر افزایش می‌دهند. در پوشش‌های پاششی حرارتی سرامیکی معمولی از ذراتی با اندازه ۰/۱ تا ۱/۰ میکرون استفاده می‌شود. ذراتی با این اندازه، رسانای خوب حرارت بوده و در حین فرآیند پوشش‌دهی کاملاً ذوب می‌شوند. در نتیجه یک سطح سرامیکی همگن به وجود می‌آید که نسبت به ترک مقاوم نیست.

مواد نانو ساختاری که اندازه ذرات آنها کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر باشد، رسانای خوب حرارت نیستند. بنابراین هنگامی که یک سطح با یک لایه نانو ساختار پوشش داده می‌شود، تمام ذرات ریز ذوب نمی‌شوند. به این ترتیب ماتریسی ایجاد می‌شود که شامل ساختارهای بزرگ و کوچک گردی است که در بین نانو ذرات کروی شکل قرار می‌گیرند. چنین میکروساختاری به گیرافتادن ترک‌ها می‌انجامد و به این شکل از گسترش ترک‌ها جلوگیری می‌شود. به همین دلیل شکل‌پذیری و مقاومت مکانیکی این پوشش‌ها به شکل چشمگیری بالاست.

برای این پوشش‌ها، کاربردهای تجاری زیاد دیگری نیز وجود دارد، اما هزینه نسبتاً بالای آن (۳۰ تا ۵۰ دلار برای هر پوند)، محدودیت‌هایی در استفاده از آن ایجاد کرده است. علاوه بر کشتیرانی تجاری، کاربردهای غیرنظامی بالقوه دیگر آن شامل استخراج معدن، نفت و گاز و صنایع چوب و کاغذ است.

یکی از شرکت‌های استخراج معدن که کبالت و نیکل را از سنگ معدن با درصد کم جداسازی می‌کند، در حال آزمایش شیرهای تویی پوشش داده شده با Nanox است. این شیرها باید بتوانند فشار بالای وارد شده از طرف مخلوط آب و سنگ‌های خرد شده را در محیط بسیار اسیدی تحمل کنند.

سایر پوشش‌های نانو کامپوزیتی سرامیکی که در حال حاضر در دست توسعه هستند و انتظار می‌رود در آینده نزدیک عرضه شوند، پوشش‌هایی هستند که از سرامیک‌هایی مانند کاربید تنگستن، اکسید کروم و زیرکونیای پایدار شده با اکسید ایتیم استفاده می‌کنند. انتظار می‌رود هر کدام از این پوشش‌ها در آینده کاربردهای وسیعی داشته باشند. همچنین این مواد هزینه تعمیرات و نگهداری نظامی و تجاری را به مقدار زیاد کاهش می‌دهند.

## علوم زیستی ۲۴۲۲۲

انواع مختلفی از ایمپلنت‌های پزشکی و سیمان‌های استخوان، از جمله کاربردهای علوم زیستی نانو کامپوزیت‌های سرامیکی به‌شمار می‌روند.

### الف) ایمپلنت‌های مفصل ران

میانگین عمر یک پروتز مفصل ران ۱۰ تا ۱۵ سال است ولی در بیماران فعال و دارای اضافه وزن، احتمال شکست پیش از موعد بسیار زیاد است. هم‌اکنون ائتلافی از مؤسسات تحقیقاتی و شرکای صنعتی از سه کشور اتحادیه اروپایی، مشغول بررسی نانو کامپوزیت‌های آلومینای تقویت شده با زیرکونیا با هدف ساخت ایمپلنت‌های مفصلی مصنوعی با عمر بیش از ۳۰ سال هستند. پروژه تحقیقاتی سه ساله‌ای که به این منظور در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ اجرا شده، تحت برنامه حمایتی GROWTH

اتحادیه اروپا مورد حمایت مالی قرار گرفته است.

محققان برای تولید سرهای (heads) بدون عیب با مشکلاتی مواجه بوده‌اند و قصد دارند این مشکلات را با ساخت تجهیزات خشک کن پاششی و آسیاب گلوله‌ای جدید مرتفع نمایند. با رفع مشکلات مذکور و پیش از وارد شدن ایمپلنت‌های جدید به خدمات رسمی پزشکی، این مواد باید چند سال تحت اصلاح و آزمایش بیمارستانی قرار گیرند.

### ب) دیسک‌های ستون فقرات مصنوعی

انتظار می‌رود اولین کاربرد نانو کامپوزیت پلی‌اورتان/اورگانوسیلیکات که در دانشگاه کویزنلند توسعه می‌یابد، یک دیسک ستون فقرات باشد. انواع کنونی پروتزهای دیسکی ستون فقرات، عمر کوتاه و کارایی پایینی دارند، زیرا مواد زیستی کنونی مقاومت به سایش پایینی دارند.

اخیراً یک درخواست ثبت پتنت در استرالیا در زمینه یک دیسک پلی‌اورتان/اورگانوسیلیکاتی به ثبت رسیده است و چنانچه اصلاحات لازم روی این دیسک انجام شود، ممکن است محدودیت‌های موجود در مواد کنونی حذف شود. با این حال بهینه‌سازی ساخت، کاربرد، کارکرد مکانیکی و سازگاری زیستی نانوذرات، نیازمند پروژه‌های تحقیق و توسعه بیشتری است. گام مهم بعدی، ساخت نمونه‌های آزمایشی ابزارها و اعضا برای حیوانات آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌های کامل سازگاری زیستی است.

### پ) جایگزین‌ها و سیمان‌های استخوان

استخوان طبیعی یک نانو کامپوزیت است که از یک ماتریس الیافی کالوژنی تقویت شده با نانوبلورهای هیدروکسی‌آپاتیت ساخته شده است. هم‌اکنون مواد زیادی به عنوان جایگزین استخوان طبیعی در حال استفاده و یا توسعه هستند.

OsteONE یک جایگزین نانو کامپوزیتی استخوان است که به نظر می‌رسد به زودی تجاری خواهد شد. این محصول از جنس نانو کامپوزیت سیلیس-فسفات کلسیم بوده و با داشتن خواصی مانند تخلخل و قابلیت جذب مجدد، برای کاربردهای ارتوپدی، ستون مهره و ماکسیلو فشیال مناسب است. این محصول توسط شرکت OssTech، که یک شرکت نوپای واقع در کنتاکی است، ساخته شده است.

### ۳۳۳۳۳ محصولات مصرفی

هم‌اکنون نانو کامپوزیت‌های سرامیکی برای کاربردهای مربوط به محصولات مصرفی، مانند راکت‌های تنیس، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

راکت‌های تنیس:

در راکت‌های تنیس شرکت Wilson's nCode از یک قاب نانو سرامیکی استفاده می‌شود که، شامل اپوکسی و الیاف کربن است و نانوذرات سیلیس برای افزایش مقاومت مکانیکی به آن افزوده شده‌اند.

### ۳۳۳۳۳ سایر کاربردها

سایر کاربردهای نانو کامپوزیت‌های سرامیکی (علاوه بر موارد ذکر شده)، در ادامه توضیح داده می‌شوند.

ابزارهای برشی و قطعات سایشی:

کامپوزیت‌های نانودانه‌ای WC/Co می‌توانند جایگزینی برای مواد استاندارد مورد استفاده در ابزارها، قالب‌ها و قطعات سایشی باشند زیرا سختی و چقرمگی بالایی دارند.

### ۳۳۳۳۳ سازندگان

در جدول ۷ سازندگان و عرضه‌کنندگان مهم نانو کامپوزیت‌های سرامیکی آورده شده‌اند.

جدول ۷ - عرضه‌کنندگان نانو کامپوزیت سرامیکی			
کاربرد (های) اصلی	نانو کامپوزیت	نام محصول	عرضه‌کننده
پوشش‌های مورد استفاده در دریانوردی	آلومینا/تیتانیا	Nanox ۲۶۱۳	Inframat
پرداخت کف ساختمان	پلی‌اورتان/آلومینا		Pittsburgh Paint and Glass
پرداخت کف ساختمان	پلی‌اورتان/آلومینا		Valspar

### جدول ۷ - عرضه کنندگان نانو کامپوزیت سرامیکی

کاربرد (های) اصلی	نانو کامپوزیت	نام محصول	عرضه کننده
راکت‌های تنیس	اپوکسی / کربن / سیلیس	nCode	Wilson Sporting Goods
مواد جایگزین استخوان	فسفات کلسیم / سیلیس	OsteONE	OssTech

شرکت Inframat یک پوشش نانو کامپوزیتی سرامیکی مبتنی بر آلومینا و تیتانیا، برای کشتی‌های نیروی دریایی ایالات متحده می‌سازد. این محصول با نام تجاری Nanox 2613 شناخته شده است و در برابر سایش، فرسایش و خوردگی بسیار مقاوم است و به دلیل شکل پذیری قابل قبول، می‌توان از آنها به جای پوشش‌های سرامیکی معمولی استفاده کرد. دو شرکت Pittsburgh Paint and Glass و Valspar از سازندگان بزرگ پوشش‌ها، رنگ‌ها و سایر محصولات مربوطه هستند و پوشش‌های نانو کامپوزیتی سرامیکی را برای کف‌های آماده ساختمان تولید می‌کنند. شرکت Wilson راکت‌های تنیس پرداخت شده با nCode را تولید می‌کند. BCC Research قادر به شناخت شرکت عرضه کننده مواد نانو کامپوزیتی مورد استفاده در این راکت‌ها نبود. شرکت OssTech یک شرکت نوپاست که مواد جایگزین استخوان نانو کامپوزیتی به نام OsteONE می‌سازد. اطلاعات اندکی در مورد این شرکت در دست است.

### ۳۳۳ کامپوزیت‌های نانولوله کربنی

با ادغام نانولوله‌های کربنی با پلیمرها می‌توان از مقاومت مکانیکی و سایر ویژگی‌های نانولوله‌های کربنی به شکلی بهینه بهره گرفت. در این گزارش، کامپوزیت نانولوله کربنی به نانو کامپوزیتی گفته می‌شود که با پرکننده‌های مربوطه مشابه فولرین‌ها و نانوالیاف کربنی ساخته شده باشد.

### مواد ۱۳۳۳

مواد مورد استفاده در کامپوزیت‌های نانولوله کربنی، پرکننده‌ها و مواد ماتریسی هستند.

### پرکننده‌ها ۱۱۳۳۳

پرکننده‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های نانولوله کربنی، نانولوله‌ها، فولرین‌ها و نانوالیاف هستند.

### الف) نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی، ساختارهای کربنی طویل، توخالی و استوانه‌ای شکل هستند که از رول شدن صفحات گرافیت تشکیل شده‌اند. نانولوله‌ها دو نوع تک‌دیواره یا SWNT و چنددیواره یا MWNT دارند. SWNTها صفحات گرافیتی منفردی هستند که به شکل استوانه‌هایی با قطر ۱ تا ۲ نانومتر و طول چند نانومتر، پیچیده شده‌اند. همچنین MWNTها شامل صفحات گرافیتی هستند که به شکل استوانه‌های هم مرکز بسته، پیچیده شده‌اند. این لوله‌های هم مرکز با فاصله‌های وان دروالسی ۳/۴ انگستروم از یکدیگر جدا شده‌اند. قطر خارجی MWNTها می‌تواند به ۵۰ نانومتر برسد و طول آنها در ابعاد میکرومتر است.

### ب) فولرین‌ها

فولرین‌ها کره‌های توخالی هستند که حداقل از ۶۰ اتم کربن تشکیل شده‌اند. این مواد در پی چگالش کربن در فاز بخار در اتمسفری از گازهای بی اثر ساخته می‌شوند. فولرین‌ها ساختاری مشابه با گنبد هندسی دارند و به افتخار مخترع این گنبد هندسی، باکمینستر فولر به آنها باکی بال نیز گفته می‌شود.

### پ) نانوالیاف کربنی

گروهی دیگر از پرکننده‌های کربنی نانومقیاس، که از جهاتی متفاوت با موارد قبل هستند، نانوالیاف کربنی رشد کرده با بخار هستند. نمونه‌هایی از این مواد، محصولات تولید شده توسط Pyrograf Products (شرکت مشتق از Applied Sciences) هستند. نانوالیاف Pyrograf III که توسط این شرکت تولید می‌شوند، در ویژگی‌هایی مانند رسانایی حرارتی و الکتریکی، ویژگی‌های مکانیکی و مقاومت در برابر سوختن، با نانولوله‌ها رقابت می‌کنند. هم‌اکنون محققان در پی ارزیابی نانوالیاف کربنی



برای استفاده به عنوان پرکننده در مواد ماتریسی نایلونی، پلی پروپیلنی و پلی اورتانی هستند.

### ۲۱۳۳۳ مواد ماتریسی

در حالت کلی، کامپوزیت‌های نانولوله کربنی از پلیمرهای متفاوتی ساخته می‌شوند و میزان بار نانولوله در این مواد بین ۲ تا ۵ درصد است. استفاده از نانولوله‌ها، ویژگی‌های متنوعی (بسته به نوع کاربرد) به کامپوزیت‌ها می‌بخشد. نمونه‌هایی از این خواص عبارتند از:

- مقاومت مکانیکی
- وزن سبک
- رسانایی
- ویژگی‌های پراکنده‌سازی الکتروستاتیک

در کاربردهای نانو کامپوزیتی تجاری، از MWNTها بیش از SWNTها استفاده شده است. هزینه بالای SWNTها، کاربردهای آنها را به چند کاربرد دفاعی و هوافضا محدود کرده است.

### الف) پلیمرها

نایلون، پلی اورتان و اپوکسی دسته‌ای از ماتریس‌های پلیمری هستند که همراه با نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شوند. این مواد، بیش از این و در بخش‌های نانو کامپوزیت‌های خاک رسی و سرامیکی، تشریح شده‌اند.

#### • پلی کربنات

پلی کربنات (PC)، پر کاربردترین پلیمر در ساخت ادوات الکترونیکی است. همچنین این ماده در بین رزین‌های پراکنده‌ساز بار ساکن دارای نانولوله، بیشترین کاربرد را داشته است.

#### • پلی بوتیلن ترفتالات

رزین پلی بوتیلن ترفتالات، از طریق واکنش بوتان دیول با دی‌متیل ترفتالات یا اسید ترفتالیک ساخته می‌شود. مقاومت در برابر حلال‌ها، مقاومت مکانیکی بالا، مقاومت حرارتی تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد و انقباض بسیار کم در حین شکل‌گیری، از ویژگی‌های پلی بوتیلن ترفتالات است. همچنین می‌توان با نشان دادن مواد نسوز روی این ماده، مقاومت در برابر سوختن آن را بهبود داد. از پلی بوتیلن ترفتالات به شکل وسیعی در صنایع الکتریکی و الکترونیکی به‌عنوان عایق استفاده می‌شود.

#### • پلی فنیل اتر

پلی فنیل اتر زنجیره‌ای کوتاه از حلقه‌های بنزن است که با اتم‌های اکسیژن به یکدیگر متصل شده‌اند. شناخته شده‌ترین خصوصیت این ماده، پایداری حرارتی بسیار بالای آن است. به همین دلیل از این ماده به شکل گسترده‌ای در ساخت روانکارهای دما-بالا استفاده می‌شود. به دلیل وجود اتصالات اکسیژنی، پلی فنیل اتر انعطاف‌پذیر است و همین امر موجب شده است که کاربردهای این ماده در بخش خودروسازی افزایش یابد.

### ۲۳۳۳۳ فناوری‌های ساخت

برای ساخت کامپوزیت‌های نانولوله کربنی از فناوری‌های متفاوتی استفاده می‌شود که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

### ۱۲۳۳۳ فرآیند اکستروژن جهت‌دار نانو کامپوزیتی

در این فرآیند، CNTها با استفاده از یک اکستروژن دو تایی با یک ماتریس پلیمری ادغام می‌شوند و لایه‌ای با ضخامت ۴۰ میکرون به دست می‌آید. معمولاً از پلی استایرن به عنوان ماده ماتریسی استفاده می‌شود، اما پلی کربنات، PETI-298، نایلون و اکریلیک نیز به کار می‌روند.

برای بهینه ساختن ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی و حرارتی کامپوزیت‌ها، نیاز است تا CNTها در زیرلایه پلیمری مورد استفاده، جهت‌گیری صحیحی داشته باشند. البته نیروهای واندر والس نسبتاً قوی بین CNTها مانع ایجاد جهت‌گیری مطلوب می‌گردد.

برای همراستا ساختن CNTها، در فرآیند اکستروژن از یک قالب میکرو کانال استفاده می‌شود. هم‌اکنون تحقیقات روی حلال‌های آلی و سورفکتانت‌ها به منظور یافتن راهی برای ایجاد توزیع مناسب، در حال انجام است. در همین راستا و به منظور بهینه‌سازی فرآیند مذکور، تحقیقاتی روی گونه‌های CNTها و میزان بارگیری آنها در حال انجام است.

همچنین محققان در پی یافتن راه‌هایی برای تولید انبوه صفحات نانو کامپوزیتی هستند. به این منظور باید جزییاتی مانند شکل هندسی قالب، طرح پیچ، فشار فرآیند و ویسکوزیته اکستروژن کردن مورد بررسی قرار گیرند.



### ساخت لایه‌ای ۲ ۳ ۳ ۳ ۳

نانولوله‌هایی که به یک پلیمر ماتریسی اضافه می‌شوند، تمایل دارند به شکل توده‌هایی روی هم انباشته شوند، لذا اثر آنها کاهش می‌یابد. یکی از راه حل‌های این مشکل، ساخت لایه‌های تک مولکولی کامپوزیتی است. در این روش ابتدا یک صفحه پلیمری را در یک محلول CNT-آب غوطه‌ور می‌کنند و به این شکل، یک لایه منفرد از مولکول‌های CNT، به سطح صفحه مذکور می‌چسبد. سپس به منظور تقویت چسبندگی، سطح مذکور تحت حرارت و یا یک واکنش شیمیایی قرار می‌گیرد. پس از این مرحله، ماده حاصله در یک محلول پلیمری غوطه‌ور شده و فرآیند قبلی بار دیگر تکرار می‌شود. به این ترتیب، یک کامپوزیت چند لایه ساخته می‌شود.

گرچه روش مذکور دشوار و پرهزینه است اما راهی ارزان و مؤثر برای پخش یکنواخت نانولوله‌ها درون کامپوزیت است. کامپوزیتی که به این شکل ساخته می‌شود از لحاظ مقاومت مکانیکی با کامپوزیت‌های کنونی مانند کاربید سیلیکون و کاربید تانتالیوم (که برای ساخت اجزای بسیار مقاوم در ابزارهای برشی، موتورهای جت و سایر کاربردهای هوافضا مورد استفاده قرار می‌گیرند) قابل مقایسه است.

### الیاف CNT ۲ ۳ ۳ ۳ ۳

می‌توان الیاف کامپوزیتی نانولوله‌ای بسیار قوی را از طریق ادغام نانولوله‌ها با قیر، پلی‌وینیل الکل و یا سایر مواد ماتریسی ساخت. البته برای ساخت این مواد باید ابتدا مخلوط حاصله را تحت ریسنندگی قرار داد و سپس به شکل الیاف، اکستروژن کرد.

برای تولید الیاف کامپوزیتی دسته‌های الیاف که در مراحل قبل به دست آمده‌اند، باید در یک حلال آلی، اسید و یا آبی که دارای سورفکتانت است، پخش شوند. مواد پلیمری به‌همراه نانولوله‌های و الیاف پخش شده در حلال، حل شده و با استفاده از روش‌ها و تجهیزات استاندارد ساخت پارچه، الیاف مورد نظر ساخته می‌شوند.

### انواع کامپوزیت نانولوله‌ای کربنی ۲ ۳ ۳ ۳ ۳

کامپوزیت‌های نانولوله‌ای کربنی که در جدول زیر آورده شده‌اند، مصرف تجاری داشته و یا هم‌اکنون در بازار یافت می‌شوند.

جدول ۸ - انواع کامپوزیت نانولوله‌ای کربنی و ویژگی‌های آنها		
کاربردها	ویژگی‌های اصلی	ماتریس/پرکننده
لوله‌های سوخت اتومبیل و سایر اجزای سیستم سوخت قطعات رنگ شده داخلی خودرو	مقاومت شیمیایی در برابر بنزین ویژگی‌های انسدادی در برابر بخار بنزین قابل ارتجاع در دماهای پایین پراکنده‌سازی ایستا	نایلون/MWNT
کاربردهای مربوط به اتاق تمیز پراکنده‌سازی بار ساکن	پراکنده‌سازی ایستا ممانعت از پوسته پوسته شدن نانولوله‌ها	پلی کربنات/MWNT
کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن	پراکنده‌سازی ایستا مقاومت در برابر حرارت مقاومت مکانیکی پراکنده‌سازی بار ساکن	MWNT/PBT
قطعات اتومبیل (به عنوان مثال سپرهای اتومبیل رنگ شده)	وزن سبک مقاومت شیمیایی مقاومت در برابر ضربه ویژگی‌های الکتریکی خوب	MWNT/PPE
راکت‌های تیس	مقاومت مکانیکی چقرمگی	اپوکسی/الیاف کربنی/MWNT
توپ‌های بولینگ	سختی	پلی اورتان/فولرین
الیاف رسانا	مقاومت کششی انعطاف پذیری	MWNT/PVOH

### ۱۳۳۳۳ کامپوزیت‌های نایلون/MWNT

نانو کامپوزیت‌های نایلون/MWNT، ویژگی مقاومت شیمیایی نایلون در برابر بنزین را با ویژگی‌های پراکنده‌سازی MWNTها ادغام می‌کنند. درصد پایین پرکننده نانولوله‌ای مورد نیاز، موجب حفظ انبساط کششی رزین و همچنین حفظ ویژگی‌های انسدادی آن در برابر بخار بنزین می‌شود. این ویژگی‌ها باعث استفاده نانو کامپوزیت‌های نایلون/MWNT در لوله‌های سوخت می‌شود.

### ۲۳۳۳۳ کامپوزیت‌های پلی کربنات/MWNT

کامپوزیت‌های پلی کربنات/نانولوله، رقابیتی برای پلی کربنات پرشده با دوده هستند. این نانو کامپوزیت‌ها مزیت‌هایی دارند زیرا احتمال پوسته پوسته شدن نانولوله‌ها در این ماده بسیار کمتر است و از آنها می‌توان در اتاق تمیز استفاده کرد.

### ۳۳۳۳۳ کامپوزیت‌های پلی وینیل الکل/MWNT

الکل پلی وینیل یا PVOH با هیدرولیز کامل یا جزئی استات پلی وینیل و حذف گروه‌های استات ساخته می‌شود. این ماده مقاومت کششی و انعطاف پذیری بالایی داشته و در برابر نفت، گریس و حلال مقاوم است. این ویژگی‌ها، PVOH را برای ادغام با نانولوله‌های کربنی، به منظور ساخت الیاف رسانا، مناسب می‌سازد.

### ۴۳۳۳۳ کامپوزیت‌های پلی بوتیلن ترفتالات/MWNT

هم اکنون حداقل دو شرکت RTP و Hyperion Catalysis به تجارت این محصول مشغول هستند. این کامپوزیت‌ها، مقاومت مکانیکی و مقاومت حرارتی پلی بوتیلن ترفتالات (PBT) را با ویژگی‌های رسانایی MWNTها ادغام می‌کنند. از این مواد در کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن بهره گرفته می‌شود.

### ۵۳۳۳۳ کامپوزیت‌های پلی فنیلن اتر/پلی آمید/MWNT

شرکت GE Plastics یک رزین ترموپلاستیکی مهندسی مبتنی بر پلی فنیلن اتر، پلی آمیدها (PAs) و MWNTها، با نام تجاری Noryl GTX تولید می‌کند. چنانچه سایر افزودنی‌ها به این فناوری اضافه شوند، خانواده‌ای از رزین‌ها با گستره وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی و ترمومکانیکی تولید می‌شوند. ویژگی‌های کلی Noryl GTX عبارتند از: مقاومت حرارتی بالا، ویژگی‌های الکتریکی بسیار خوب، پایداری هیدرولیکی، پایداری ابعادی، انقباض قالب پایین و خزش بسیار کم در دماهای بالا. علاوه بر این، بسیاری از محلول‌های آبی، شوینده‌ها، اسیدها و بازها بر روی این ماده بی‌تأثیر هستند. می‌توان از رزین‌های Noryl در فرآیندهای مختلفی مانند قالب گیری تزریقی، اکستروژن، قالب گیری بادی و قالب گیری فوم ساختمانی استفاده کرد. کاربردهای بالقوه این ماده عبارتند از: قطعات داخلی خودرو، کاربردهای بیرونی و درون کاپوت، تجهیزات رایانه‌ای و تجاری، ابزارهای الکتریکی و الکترونیکی، ساخت و ساز، مخابرات، لوازم خانگی، تجهیزات حمل آب و بسته‌بندی غذایی میکروویو.

### ۶۳۳۳۳ کامپوزیت‌های اپوکسی/الیاف کربن/MWNT

در ساخت راکت‌های تینیس Babolat's VS، از یک کامپوزیت اپوکسی-گرافیت نانولوله‌ای استفاده شده است. در این محصول، MWNTها برای پر کردن فضاها بین الیاف گرافیتی به کار گرفته شده‌اند. این محصول، سختی و قدرت ضربه زنی راکت‌ها را افزایش می‌دهد.

### ۷۳۳۳۳ کامپوزیت‌های پلی اورتان/فولرین

شرکت Frontier Carbon Corp با همکاری شرکت ABS International، یک نانو کامپوزیت پلی اورتانی فولرین دار ساخته است که برای پوشش دهی توپ‌های بولینگ Nanodesu شرکت ABS مورد استفاده قرار می‌گیرد. فولرین، مقاومت در برابر ریز شدن (chip resistance) پوشش‌های توپ‌های بولینگ پلی اورتانی معمولی را افزایش می‌دهد.

### ۴۳۳۳۳ کاربردها

در جدول زیر، کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی آورده شده‌اند.

جدول ۹ - کاربردهای اصلی کامپوزیت‌های نانولوله‌ای		
وضعیت تجاری	نوع نانو کامپوزیت سرامیکی	کاربرد
تجاری	نایلون/MWNT MWNT/PPE	اجزای خودرو
تجاری	MWNT/PC MWNT اکسید PBT	کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن
تجاری	اپوکسی/الیاف کربنی/MWNT پلی اورتان/فولرین	محصولات مصرفی
در دست توسعه	MWNT/PVOH	منسوجات

### ۱۴۲۲۲۲ اجزای خودرو

کاربردهای نانو کامپوزیت‌های CNT در حوزه خودرو سازی، لوله‌های سوخت و قطعات رنگ شده بیرونی خودرو هستند. بنا بر مقاله اخیر مجله *Plastics Technology*، تقریباً هر اتومبیلی که از دهه ۱۹۹۰ در آمریکا تولید شده است، دارای نانولوله‌های کربنی بوده است. معمولاً مواد مذکور با نایلون ادغام می‌شوند تا از لوله‌های سوخت در مقابل الکتریسیته ساکن محافظت کنند.

#### الف) اجزای سیستم سوخت

ترکیبات نایلونی که شامل ۲ تا ۵ درصد وزنی از نانولوله‌های کربنی هستند، به شکل گسترده‌ای در ساخت لوله‌های سوخت خودرو استفاده می‌شوند. به دلیل مقاومت شیمیایی نایلون ۱۲ در برابر بنزین، معمولاً از این ماده به عنوان رزین در لوله‌های سوخت استفاده می‌شود.

به دلیل رسانایی بالای MWNT، درصد وزنی پائینی از آنها در نایلون استفاده می‌شود به طوری که طولانی شدن کششی نایلون حفظ می‌شود و مانع از انباشته شدن بار ساکن حاصل از حرکت سوخت می‌گردد. طولانی شدن کششی بالاتر، احتمال پاره شدن لوله سوخت در دماهای پایین را کاهش می‌دهد. درصد وزنی کمتر پرکننده، کاهش محسوسی در مقاومت رزین نایلون در برابر بخار بنزین ایجاد نمی‌کند.

از آنجایی که OEMها برای رسیدن به ترازهای رسانایی پراکنده‌سازی بار ساکن، نیاز به اجزای سیستم سوختی دارند، گرایش شدیدی به سوی کامپوزیت‌های پر شده با نانولوله، برای کاربردهایی چون پمپ‌ها، صافی‌ها، رابط‌ها و ریل‌های سوخت وجود دارد.

#### ب) قطعات بیرونی

در حال حاضر در ساخت اجزای خودرو، گرایش روز افزونی به سمت پلاستیک‌های تقویت شده با نانولوله‌های کربنی و سایر ترکیبات مربوطه وجود دارد. ویژگی‌های مفید این مواد برای کاربردهای مذکور، شامل مقاومت مکانیکی، وزن سبک و ویژگی توزیع الکتریسته ساکن است.

پلاستیک‌های پر شده با نانولوله برای ساخت پانل‌های در، گلگیرها، سپر اتومبیل، جای آینه‌ها، پوشش‌های کیسه هوا و سایر اجزا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اجزا با وجود مقاومت مکانیکی بالا، سبک بوده و مصرف سوخت خودرو را کاهش می‌دهند. استفاده از نانولوله‌ها در پانل‌های اتاق ماشین و سایر قطعات رنگ شده، به رسانا شدن این قطعات منجر می‌شود و در نتیجه می‌توان آنها را از طریق پاشش الکتروستاتیک رنگ کرد. از آنجا که درصد وزنی نانولوله‌ها پایین است (۲ تا ۴ درصد) و همچنین به دلیل کوچکی اندازه آنها، می‌توان به سطوح درجه A دست یافت.

### ۲۴۲۲۲ کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن

پلاستیک‌های پر شده با نانولوله‌های کربنی به دلیل داشتن ویژگی توزیع الکتریسته ساکن، برای کاربردهای الکترونیک و اتاق تمیز مناسب هستند. در این کاربردها، چنانچه قطعات به درستی به زمین وصل نشوند، امکان ایجاد بارهای ساکن در حین حمل و نقل وجود دارد. تخلیه چنین بارهایی می‌تواند به آسانی به خرابی ادوات الکترونیکی منجر شود. نمونه‌هایی از تجهیزات ساخته شده با پلاستیک‌های پر شده با نانولوله عبارتند از: صفحات حمل و نقل پراکنده‌ساز بار ساکن، نگهدارنده کاست ویفر، کارتریج‌های قابل حمل، تجهیزات اتاق تمیز، FOUFها و پوسته‌های محافظ SMIF.

### ۲۴۳۳۳ محصولات مصرفی

مشکلاتی چون جدایش فاز، تراکم، پخش شدگی کم در ماده زمینه و چسبندگی ضعیف به میزبان، موانعی بر سر راه

تجاری سازی کامپوزیت های نانولوله کربنی برای کاربردهای ورزشی ایجاد کرده است. با این حال برخی از سازندگان پیشرفت هایی در زمینه حل مشکلات مذکور داشته اند و کامپوزیت های نانولوله کربنی در گستره وسیعی از کاربردها به کار گرفته شده اند که راکت های بلند تنیس، چوب های گلف، دوچرخه ها و سایر کالاهای ورزشی از این دست هستند.

#### الف) راکت های تنیس

یک شرکت فرانسوی سازنده راکت، از نانولوله های کربنی در سری "VS" راکت های تنیس خود استفاده کرده است. در این راکت ها از یک کامپوزیت نانولوله ای که توسط شرکت Nanoledge ساخته شده است، استفاده می شود. کامپوزیت مذکور، پایدارکننده هایی را که از بالای دسته راکت تا وسط قاب راکت و در هر دو طرف راکت وجود دارند، تقویت می کند. استفاده از کامپوزیت های نانولوله ای در کاربرد مذکور باعث می شود که در زمان برخورد راکت با توپ، کمترین خمش و پیچش (خم شدگی عمودی و پیچش از پهلو راکت) به وجود آید. Nanoledge ادعا می کند که راکت های VS این شرکت، ۵۰ درصد بیشتر از راکت های کربنی استاندارد در برابر پیچش مقاومند و برای ورزشکاران حرفه ای که به دنبال وزن سبکتر، کارآیی بهتر و راکت های بزرگ تر از اندازه هستند طراحی شده اند.

#### ب) چوب های گلف

در محصول جدید شرکت Grafalloy به اسم CompNT محور چوب گلف، با استفاده از کامپوزیت های نانولوله کربنی ساخته شده است. این محصول نسبت به محصولاتی که از الیاف کربنی، تیتانیوم و یا فولاد ساخته شده اند، مقاومت مکانیکی بیشتری دارد.

در سال ۲۰۰۵، شرکت Wilson Sporting Goods در نوک برخی از چوب های گلف خود از کامپوزیت های نانولوله ای استفاده کرد. بنا به گفته سخنگوی شرکت، با استفاده از کامپوزیت های نانولوله کربنی می توان بیشتر وزن چوب های مذکور را در قسمت پایین و دور از بخش جلویی آن متمرکز کرد. این خصوصیت به زاویه پرتاب و کنترل بهتر منجر می شود.

#### پ) دوچرخه ها

شرکت های Easton Sports و Zyxex در پروژه ای برای ساخت قطعات دوچرخه با استفاده از نانولوله های کربنی با یکدیگر همکاری می کنند. شرکت Zyxex یک ماده اپوکسی نانولوله کربنی به نام NanoSolve ساخته است. این ماده برخی از مشکلات نانولوله های کربنی که در بالا ذکر شده اند را بر طرف می کند. برای ساخت ماده مذکور از یک فناوری اصلاح سطحی خاص استفاده شده است که برهم کنش بین نانولوله ها و ماتریس اپوکسی را بهینه می کند. شرکت Easton Sports یک سری از کامپوزیت های اپوکسی/نانولوله ساخته است که گمان می رود با وجود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش در وزن، به استحکام بیشتر فرمان های دوچرخه منجر شود. همچنین تحقیقاتی برای ساخت بدنه دوچرخه از جنس کامپوزیت نانولوله کربنی در حال انجام است.

#### ت) توپ های بولینگ

شرکت Nanodesu در ژاپن به منظور ساخت یک پوشش بسیار سخت برای توپ های بولینگ با کارآیی بالای سری "Blue" از فولرین های شبیه نانولوله استفاده می کند. پوشش مذکور بدون اثرگذاری بر کارآیی توپ، مقاومت آن در برابر پوسته شدن و ترک خوردن را افزایش می دهد.

#### ث) سایر کالاهای ورزشی

در سال ۲۰۰۵، شرکت Easton Sports نخستین چوب های بیسبال کامپوزیتی نانولوله ای (سری Stealth این شرکت را عرضه کرد. ضعیف ترین نواحی در یک چوب الیاف کربنی معمولی، فواصل کوچک بین الیاف است که تنها حاوی رزین است. شرکت مذکور ادعا می کند که در قالب حدود قانونی بازی بیسبال، انعطاف پذیری و پاسخ چوب بیسبال خود را بهینه کرده و انتقال ضربه در این چوب ها را افزایش داده است.

همچنین در چوب هاکی جدید شرکت Easton با نام Synergy SL، همانند چوب های بیسبال Stealth، از رزین های اپوکسی نانولوله کربنی شرکت Zyxex با نام NanoSolve استفاده می شود. چوب های جدید سبک بوده (۴۲۰ گرم) و مقاومت مکانیکی بسیار بالایی دارند.

#### منسوجات ۴۴۳۳۳

الیاف و نخ های رسانای دارای نانولوله، بسیار مقاوم و انعطاف پذیر هستند و به همین دلیل برای تولید منسوجات شیک

مناسب‌اند. با اضافه کردن درصد وزنی پایینی از نانولوله‌ها، می‌توان رسانایی الکتریکی خوبی به یک ترکیب پلیمری داد. به دلیل وجود چنین ویژگی‌هایی برای الیاف دارای نانولوله، می‌توان از این مواد برای تولید سیستم‌های مقاوم ترکه بسیار سبک‌تر و انعطاف پذیرتر از سیم‌های فلزی هستند، بهره گرفت. برای تولید الیاف و نخ از نانولوله‌های کربنی می‌توان از چند روش استفاده کرد. در یکی از این روش‌ها که ریسندگی مرطوب نامیده می‌شود، نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره را که به کمک ماده‌ی فعال کننده سطحی کاملاً توزیع شده‌اند، درون محفظه‌ای حاوی پلی‌وینیل الکل به صورت الیاف ژلی نانولوله‌ای در می‌آورند. سپس این مواد به الیاف کامپوزیتی نانولوله‌ای جامد تبدیل می‌شوند.

گفته می‌شود که این فناوری حداقل چند سال با تجاری شدن فاصله دارد. البته فناوری مذکور در این راه باید با فناوری‌های دیگری که الیاف رسانای پیوسته را مستقیماً از نانولوله‌های کربنی تولید می‌کنند، رقابت کند.

### سازندگان ۵ ۳ ۳ ۳

در جدول زیر، سازندگان اصلی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی آورده شده‌اند.

جدول ۱۰ - عرضه کنندگان کامپوزیت نانولوله کربنی			
کاربرد(های) اصلی	رزین ماتریسی	محصول	عرضه کننده
رساناهای الکترونیسته	نایلون ۱۲	Vestamid	DeGussa
قطعات رنگ شده خودرو	PPO/نایلون	Noryl GTX	GE Plastics
رساناهای الکترونیسته	PETG,PBT,PPS,PC,PP		Hyperion
کاربردهای چند منظوره	SWNT/PE		Royal DSM
کاربردهای چند منظوره	PU/پوکسی		Zyvex

شرکت Degussa یک سازنده بین‌المللی مواد شیمیایی خاص است. محصولات این شرکت عبارتند از: نانو کامپوزیت‌های نایلون/MWNT با نام Vestamid برای لوله‌های سوخت و سایر کاربردهای لوله‌ای، مانند روکش سیم ساخت سوند برای فناوری پزشکی، اجزای دقیق برای بسترهای چرخ‌دنده‌ها و شیرها که در ماشین‌آلات و مهندسی استفاده می‌شوند. شرکت GE Plastics عرضه کننده جهانی رزین‌های پلاستیکی و یکی از مشتریان اصلی نانولوله‌های چنددیواره شرکت Nanocor است. این دو شرکت با همکاری یکدیگر، ترکیب Noryl پلی‌اکسید فینیل/نایلون را به منظور استفاده در قطعات خارجی اتومبیل که با روش الکتروستاتیک قابل رنگ‌شدن هستند، تولید کرده‌اند. محصول اصلی شرکت Hyperion، یک نانولوله کربنی چنددیواره است که با کاتالیستی به نام Fibril رشد داده شده‌اند. این شرکت مسترچ‌های پلیمری و ترکیباتی که دارای ۱۵ تا ۲۰ درصد نانولوله کربنی هستند و همچنین ترکیبات آماده برای قالب‌گیری تولید می‌کند.

این مواد به منظور ساخت ترکیبات پلاستیکی برای صنعت خودروسازی (پانل‌ها، روکش‌ها و لوله‌های سوخت) و الکترونیک (ذخیره اطلاعات و ابزارهای ساخت) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شرکت هلندی Royal DSM سازنده مواد مربوط به علوم و فناوری زیستی است. این شرکت برای ساخت نانو کامپوزیت‌های با کارایی بالای SWNT/PE، با شرکت Carbon Nanotechnologies همکاری می‌کند.

شرکت Zyvex یک شرکت خصوصی در زمینه فناوری نانو است که در سال ۱۹۹۷ تأسیس شده است. این شرکت یک سری از افزودنی‌های نانولوله کربنی برای رزین‌های پلی‌اورتان و اپوکسی می‌سازد. فناوری اصلاح سطحی این شرکت، فرآیند پخش شدن نانولوله‌های کربنی را در حلال‌های مختلف که شامل آب نیز می‌شود تسهیل کرده و برهم کنش‌های بین نانولوله‌ها و ماده‌ی زمینه را ارتقا می‌دهد.

### نانو کامپوزیت‌های دارای فلز ۴ ۲ ۳

همان‌گونه که از نام این مواد پیداست، نانو کامپوزیت‌های دارای فلز، از پرکننده‌های فلزی نانو مقیاس استفاده می‌کنند.

### مواد ۱ ۴ ۳ ۳

علاوه بر فلزات نانو مقیاس، سایر موادی که در نانو کامپوزیت‌های دارای فلز استفاده می‌شوند، پلیمرها هستند.





فراخوان مقاله و ثبت نام پنجمین همایش علمی

# مهندسی فرآیند، پالایش و پتروشیمی

Process, Oil, Gas, Refining and Petrochemical Engineering

## www.Processconf.ir

Processconf@yahoo.com

همراه با ارائه دو مدرک بین المللی

تهران، ۲۱ آبان ۱۳۹۴

تلفن دبیرخانه: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱

فکس دبیرخانه: ۸۸۶۷۱۶۸۰ - ۰۲۱

همراه: ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴

مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا  
محل برگزاری: تهران، مرکز همایشهای صداوسیما

- برخی از محورهای همایش
- با توجه به تخصصی بودن همایش، هر آنچه که به عنوان همایش مرتبط میشود
  - را میتوان از محورهای آن دانست. مواردی همچون:
  - \* مهندسی مخازن هیدروکربوری و حفاری
  - \* بهینه سازی فرآیندهای صنایع شیمیایی، پالایشی، پتروشیمی و ...
  - \* انرژی و محیط زیست
  - \* پالایش آب، پساب، پسماند و هوا
  - \* ضایعات و استفاده مجدد (بازیافت)
  - \* طراحی / ساخت / انتقال / نصب و بهره برداری از تجهیزات
  - \* مدلینگ و شبیه سازی به کمک نرم افزار
  - \* مانیتورینگ و کنترل پدیده ها
  - \* رسوب، ساییدگی، زنگ زدگی و خوردگی
  - \* بکارگیری فناوریهای نوین و نانو فناوری
  - \* سنتیک، ترمودینامیک و پدیده های انتقال جرم و حرارت
  - \* اقتصاد و سیاست مهندسی
  - \* ایمنی، بازرسی، بهداشت، تعمیر و نگهداری
  - \* پایش و جلوگیری از خوردگی، ساییدگی و رسوبگذاری
  - \* بومی سازی و ارتقای دانش
  - \* نانو تکنولوژی و فناوریهای نوین
  - \* و ...

برخی از علوم و صنایع مخاطب:

مهندسی شیمی، مکانیک، نفت مواد و متالورژی

انرژی، معدن و ...

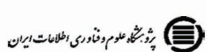
به تمامی شرکت کنندگان در همایش چهار گواهی زیر اعطا میگردد

- گواهی پذیرش مقاله (در صورت داشتن مقاله پذیرش شده) توسط دبیرخانه همایش
- گواهی طی دوره توسط موسسه بین المللی IQS انگلستان
- گواهی طی دوره توسط موسسه بین المللی DNW آتریش

نکات مهم:

- ۱- اشتراک رایگان سه نشریه: نفت و انرژی، چیلر و برج خنک کن، مبدل گرمایی ویژه شرکت کنندگان در همایش
- ۲- چاپ قطعی ده مقاله برتر همایش در نشریات ردیف بالا
- ۳- انتشار مقالات در وب سایت همایش، سیویلیکا؛ ایران داک، وب سایت همایش و ...
- ۴- انتشار مقالات در برخی از نشریه علمی مصوب همچون فرآیندهای گاز (دانشگاه اصفهان) پس از داورى مجدد توسط نشریه

Process  
OIL & GAS  
Mechanic  
Methalurgy  
HSE  
Chemistry  
Petrochemy  
Refining



مقالات دوره های گذشته را به صورت رایگان از وب سایت همایش [www.Processconf.ir](http://www.Processconf.ir) دانلود نمایید.

برای دریافت اطلاعات همایش بر روی تلفن همراه خود، عدد ۳۰۰ را به شماره ۰۲۷۰۴۷۰۴۷۰۰ پیامک نمایید.  
[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

همراه با ارائه دو مدرک بین المللی

مرجع مهندسی مواد و متالورژی



### فلزات ۱۱۴۳۳

در یکی از خوش آتیه ترین نانو کامپوزیت های فلزی از لحاظ تجاری، یعنی نانو کامپوزیت پلیمری P3HT/سلنید کادمیوم، از کادمیوم به عنوان پرکننده فلزی استفاده شده است. از این نانو کامپوزیت برای ساخت سلول های خورشیدی لایه نازک استفاده شده است. کادمیوم: کادمیوم (Cd) یک فلز واسطه است که در معادن روی یافت می شود. از این فلز به عنوان اجزای برخی از نیمه رساناها مانند سولفید کادمیوم، سلنید کادمیوم و تلورید کادمیوم که در آشکارسازی نور و یا سلول های خورشیدی به کار گرفته می شوند، استفاده می شود.

### پلیمرها ۲۱۴۳۳

از پلی تری-هگزیل تیوفن به عنوان ماده زمینه در نانو کامپوزیت های مذکور استفاده می شود.

- پلی تری-هگزیل تیوفن

پلی تری-هگزیل تیوفن یا P3HT شامل واحدهای تیوفن است که به هر مولکول دارای یک گروه هگزیل متصل شده اند. P3HT همانند یک نیمه رسانای آلی رفتار می کند.

### ساخت ۲۴۳۳

برای ساخت لایه نانو کامپوزیتی فلزی به حلالی نیاز است که امکان ادغام پلیمر P3HT و نانومیله های CdSe را فراهم کند. این حلال ترکیبی از پیریدین و کلروفرم است. به کمک چنین محلولی می توان یک لایه انعطاف پذیر یکنواخت را در دمای اتاق از طریق فرآیند قالب گیری چرخشی تولید کرد.

### انواع و ویژگی ها ۳۴۳۳

در جدول زیر انواع اصلی نانو کامپوزیت های دارای فلز که هم اکنون تجاری شده و یا در دست توسعه هستند، آورده شده اند.

جدول ۱۱ - انواع اصلی نانو کامپوزیت های دارای فلز، ویژگی های آنها و کاربردهای اصلی		
ماتریس/پرکننده	ویژگی های اصلی	کاربرد(ها)
P3HT/پلیمر سلنید کادمیوم	تبدیل نور به انرژی	پیل های خورشیدی

- P3HT/سلنید کادمیوم: هنگامی که در یک نانو کامپوزیت، کادمیوم به شکل نانومیله های کادمیوم-سلنید با الیاف پلیمری P3HT ادغام می شود، می تواند نور با طول موج بین ۳۰۰ تا ۷۲۰ نانومتر را جذب و به انرژی تبدیل کند. شرکت Nanosys به دنبال استفاده از این فناوری برای ساخت پیل های خورشیدی انعطاف پذیر و دارای کارایی بالاست.

### کاربردها ۴۴۳۳

در جدول زیر، کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت های سرمایی که هم اکنون تجاری شده و یا احتمالاً در ۵ سال آینده تجاری می شوند، آورده شده اند.

جدول ۱۲ - کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت های دارای فلز		
کاربرد	نوع نانو کامپوزیت سرمایی	وضعیت تجاری
پیل های خورشیدی	P3HT/CdSe	در دست توسعه

- پیل های خورشیدی

شرکت Nanosys با همکاری شرکت Matsushita Electric به دنبال ساخت گونه جدیدی از پیل های خورشیدی است که در ساختمان آن، یک نانو کامپوزیت P3HT/CdSe در بین یک الکتروود آلومینیومی و یک الکتروود رسانای شفاف قرار داده می شود. الکتروود رسانای مذکور از یک پلیمر رسانا به نام پلی اتیلن دیاکسی تیوفن که با پلی استایرن سولفونیک اسید تقویت شده، ساخته شده و بر روی یک زیرلایه اکسید قلع- ایندیوم شفاف سوار می شود.

نانومیله های CdSe به عنوان یک ماده انتقال دهنده الکترون عمل می کنند و به همین ترتیب، P3HT نقشی مشابه برای بارهای

مثبت ایفا می‌کند. دو ماده CdSe و P3HT طیف جذبی مکمل در محدوده طیف نور مرئی دارند و همراه با یکدیگر، تمام طول موج‌های بین ۳۰۰ تا ۷۲۰ نانومتر را جذب می‌کنند. از این رو بیشتر طول موج‌های نور خورشید را پوشش می‌دهند. انتظار می‌رود که به کمک این فناوری بتوان نسل جدیدی از پیل‌های خورشیدی با کارایی بالا را با هزینه بسیار پایینی تولید کرد. پیش‌بینی می‌شود که این مواد، در سال ۲۰۰۷ ابتدا در ژاپن و سپس در سایر بازارهای آسیایی تجاری شوند.

#### سازندگان ۵ ۴ ۳ ۲

در جدول زیر سازندگان و توسعه‌دهندگان اصلی کامپوزیت‌های فلزی آورده شده‌اند.

جدول ۱۳ - عرضه‌کننده کامپوزیت حاوی فلز			
کاربرد(های) اصلی	نوع نانو کامپوزیت	محصول	عرضه‌کننده
پیل‌های خورشیدی	P3HT/CdSe		Nanosys
پیل‌های خورشیدی	P3HT/CdSe		Matsushita Electric

شرکت‌های Nanosys و Matsushita Electric در ساخت پیل‌های خورشیدی دارای نانو کامپوزیت P3HT/CdSe، به منظور ورود به بازار پیل‌های خورشیدی ساختمانی، با یکدیگر همکاری می‌کنند. در این راه، شرکت Nanosys فناوری نانو کامپوزیت CdSe خود و شرکت Matsushita Electric تخصص خود در زمینه فناوری نانو و روش‌های تولید انبوه را به اشتراک گذاشته‌اند.

#### نانو کامپوزیت‌های دارای اکسید فلز ۵ ۴ ۳ ۲

نانو کامپوزیت‌های دارای اکسید فلز شامل نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی هستند.

#### نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی ۱ ۵ ۳ ۲

هم‌اکنون گونه‌های مختلفی از نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی در مراحل مطالعه، توسعه یا تجاری‌سازی هستند. محصولات تجاری شده در این حوزه، چندین محصول «آلیاژ نانو مغناطیسی» مانند Hitachi Finemet و Alps Electric Nanoperm هستند.

با وجود اینکه به مواد مذکور آلیاژ گفته می‌شود، ویژگی‌های این مواد نانو مغناطیسی آنها را تحت تعریف نانو کامپوزیت‌ها قرار می‌دهد. این مواد از ذرات آهنی نانوبلوری تک دامنه (single-domain) که در یک بستر آمورف قرار گرفته‌اند، تشکیل شده‌اند.

در حال حاضر، آلیاژهای نانو مغناطیسی از طریق بلوری کردن نوارهای آمورفی که به سرعت جامد شده‌اند، ساخته می‌شوند. روش دیگری که ممکن است در آینده از آن استفاده شود، رسوب‌دهی الکتریکی است. هم‌اکنون در کانادا، تحقیقاتی بر روی آلیاژهای مغناطیسی ساخته شده با این روش در دست انجام است.

ساختار موادی چون Finemet و Nanoperm، ویژگی‌های منحصر به فردی مانند اتلاف انرژی بسیار کم و تراوایی بسیار بالا به آنها می‌بخشد. همچنین مواد مذکور می‌توانند مگنتوستریکشن (magnetostriction) نزدیک صفر یا صفر از خود نشان دهند.

به دلیل وجود چنین ویژگی‌هایی، کاربردهای وسیعی مانند مبدل‌های اتلاف پایین و ابزارهای الکتریکی و الکترونیکی برای آلیاژهای نانو مغناطیسی وجود دارند. استفاده از آلیاژهای مذکور در این کاربردها، اختلالات مغناطیسی را به شکل بسیار خوبی حذف می‌کند. یکی دیگر از کاربردهای بالقوه این مواد، سردسازی مغناطیسی است.

در سال ۲۰۰۱، نخستین یخچال مغناطیسی آزمایشی توسط محققان شرکت Astronautics Corp و آزمایشگاه DOE's Ames در دانشگاه دولتی Iowa ساخته شد. این یخچال‌ها از دیدگاه نظری مزیت‌هایی چون مصرف انرژی پایین‌تر و زیست‌سازگاری بهتری دارند، اما با این وجود، تجاری‌سازی این فناوری به کندی پیش می‌رود و نمی‌توان پیش‌بینی دقیقی برای زمان تجاری‌سازی آن داشت.

در دراز مدت، بیشتر تلاش‌ها برای توسعه نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی، به دنبال پیشرفت در حوزه نوپای اسپینترونیک ۳ شکل خواهند گرفت. در این فناوری، اطلاعات از طریق ویژگی‌های اسپینی الکترون به جای بارهای الکترون منتقل می‌شوند. اثرات اسپینی، در اثر برهم کنش بین الکترون‌ها و میدان‌های مغناطیسی به وجود می‌آیند. بازار بالقوه برای کاربردهای

اسپینترونیکي نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی، بسیار وسیع است و این بازار ممکن است در دراز مدت به صدها میلیون دلار برسد. علاوه بر شرکت‌های Neomax و Alps Electric، شرکت‌های Vacuumschmelze GmbH (در آلمان) و Inframat (در آمریکا) نیز به ساخت و یا توسعه نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی اشتغال دارند. شرکت Inframat، با حمایت مالی سازمان تحقیقات پیشرفته محصولات دفاعی (DARPA)، به دنبال ساخت گونه‌های جدیدی از مواد نانو کامپوزیتی مغناطیسی هستند که کارآیی بسیار بالایی برای کاربردهای میکروویو دارد. این شرکت با روش محلول آبی، نانوذرات کبالت که با عایق سیلیکا یا پلیمر پوشش داده شده‌اند، به شکل شیمیایی می‌سازد.

### ۶۳۳ نانو کامپوزیت‌های زیستی

نانو کامپوزیت‌های زیستی، کامپوزیت‌های قابل تجزیه زیستی هستند و معمولاً با اضافه کردن تقویت کننده‌های زیستی نانومقیاس به پلیمرهای زیستی طبیعی ساخته می‌شوند.

### ۱۶۳۳ مواد

در این بخش، موادی که معمولاً در نانو کامپوزیت‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شرح داده می‌شود.

### ۱۱۶۳۳ پرکننده‌ها

در نانو کامپوزیت‌های مختلف، از نانوالیاف کیتین (chitin) و سلولز به عنوان تقویت کننده، استفاده می‌شود.

#### الف) سلولز

می‌توان نانوالیاف سلولزی را از طیف وسیعی از مواد زیستی تهیه کرد. این مواد عبارتند از: چوب، سبوس غلات، کاه، تفاله (باقی مانده گیاهان، به عنوان مثال باقی مانده نیشکر یا انگور که پس از استحصال یک محصول باقی می‌ماند)، علف‌های محلی، دانه‌های سویا (soybeans) و باکتری. گرایش بالقوه شدیدی به استفاده از سلولز به عنوان یک ماده پرکننده نانو کامپوزیتی وجود دارد، زیرا این ماده ویژگی‌هایی مشابه با لیاف مصنوعی با کارآیی بالا دارد. ویژگی‌های مذکور عبارتند از:

- مقاومت مکانیکی
- چقرمگی
- صافی و همواری سطحی
- شکل پذیری
- سازگاری زیستی

علاوه بر ویژگی‌های بالا، سلولز مزیت اضافی دیگری مبنی بر سازگاری زیستی دارد. البته در زمینه قابلیت ساخت و هزینه این مواد، سوالاتی وجود دارد. تاکنون روش‌های مختلفی برای ساخت نانوالیاف سلولزی مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از:

- اصلاح شیمیایی/مکانیکی
  - ریسندهای الکتریکی
  - انفجار الیاف آمونیا (ammonia fiber explosion or AFEX)
- همچنین در برخی از نانو کامپوزیت‌های زیستی از سلولز به عنوان یک ماده زمینه (با پرکننده‌های خاک رسی نانومقیاس) استفاده شده است.

#### ب) کیتین

کیتین، یک پلی ساکارید است که از واحدهای استیل گلوکوزامین تشکیل شده و پس از سلولز، دومین پلی ساکارید فراوان در طبیعت است. این ماده یکی از مهم‌ترین اجزای موجود در دیواره‌های سلولزی قارچ، اسکلت خارجی حشرات و سایر آرتروپودها (arthropods) به‌شمار می‌رود.

کیتین به شکل تجاری از پس مانده‌های خرچنگ و میگو استخراج می‌شود. تصفیه فاضلاب، وسایل آرایشی و محصولات پزشکی و دامپزشکی (مرهم زخم، مهندسی بافت، رسانش دارو و عامل‌های ضد حساسیت) از کاربردهای این ماده به‌شمار می‌رود. نانوالیاف به دلیل ویژگی‌های خود می‌توانند برای بسیاری از این کاربردها مفید باشند. متأسفانه به دلیل ماهیت بلوری قوی، کیتین در حلال‌های معمولی حل نمی‌شود و تبدیل آن به ذرات ریز و یا اشکال رشته‌ای بسیار سخت است. یکی از راه‌حل‌های بالقوه برای ساخت الیاف کیتین، حل کردن آن در حلال هگزافلوئوروایزوپروپانول و سپس پاشش آن به درون دی اکسید کربن فوق بحرانی است. این فرآیند به سرعت حلال را حذف کرده و کیتین را به شکل نانوالیاف رسوب می‌دهد.

### مواد ماتریس ۲۱۶۳۳

مواد خام برای این کامپوزیت‌های نانو ساختار جدید، پلیمرهای زیستی طبیعی (پلی لاکتیک اسید و استرهای سلولزی) است.

#### الف) پلی وینیل الکل

پلی وینیل الکل یا PVOH از طریق هیدرولیز کامل یا جزئی پلی وینیل استات و با حذف گروه‌های استات ساخته می‌شود. این ماده مقاومت کششی و انعطاف پذیری بالا و مقاومت خوبی در برابر بوها داشته و در برابر نفت، گریس و برخی از حلال‌ها نیز مقاوم است.

PVOH یک ماده تجزیه پذیر زیستی است و نرخ تجزیه زیستی آن به تعداد میکروبیوم‌های موجود در محیط آبی و یا خاکی بستگی دارد. می‌توان نرخ تجزیه این ماده را با کاهش جرم مولکولی آن و یا از طریق افزایش اجزای طبیعی مانند نشاسته، نیشکر یا پروتئین افزایش داد.

از PVOH، به شکلی گسترده به عنوان چسب و ضخیم ساز و همچنین برای ایجاد یک مانع در برابر دی اکسید کربن در بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات (PET) استفاده می‌شود. همچنین این ماده در کاربردهای زیست پزشکی، صنایع غذایی و در هیدروژل‌ها نیز به کار گرفته می‌شود.

#### ب) استرهای سلولزی

استرهای سلولزی مشتقاتی از سلولز هستند که در آنها گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل شده به زنجیره سلولزی، کاملاً و یا به شکل جزئی با گروه‌های استیک جایگزین شده‌اند. این مواد از طریق واکنش سلولز بسیار خالص با اسیدها و آنیدریدهای انتخابی، در یک فرآیند چند مرحله‌ای ساخته می‌شوند. انتخاب اسیدها و آنیدریدها، ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های پلاستیک سلولزی نهایی (استات، بوتیرات یا پروپیونات) را تعیین می‌کند.

استرهای سلولزی، کاربردهای مختلفی دارند. به عنوان مثال می‌توان از آنها در ساخت اتصال دهنده‌ها، افزودنی‌ها، اصلاح کننده‌ها یا شکل دهنده‌های لایه‌ای برای خودروسازی، پوشش‌های چرم، کاغذ، چوب و پلاستیک استفاده کرد. این مواد ویژگی‌هایی چون چقرمگی، سختی، مقاومت مکانیکی، جلای سطحی، شفافیت و مقاومت شیمیایی دارند.

کاربردهای معمول مواد مذکور عبارتند از: ابزار آلات، کالاهای ورزشی، لوازم خانگی، قاب‌های عینک و سایر محصولات چشمی و محصولات بهداشتی و سلامت. از سلولز به شکل وسیعی در داروها و معمولاً در دارورسانی کنترل شده استفاده می‌شود.

#### پ) پلی لاکتیک اسید

پلی لاکتیک اسید (PLA) یک پلی استر خطی تجزیه پذیر زیستی و ترموپلاستیک است که از اسید لاکتیک ساخته می‌شود. می‌توان این ماده را با وزن مولکولی بالا، به آسانی از طریق پلیمر شدن باز کردن حلقه (ring-opening) و با استفاده از کاتالیست اکثات قلع (stannous octoate) تولید کرد.

PLA یک گزینه برای محصولات پتروشیمی است، زیرا این ماده در نهایت از لاکتات ساخته می‌شود و لاکتات از تخمیر محصولات جانبی کشاورزی مانند نشاسته غلات و یا سایر مواد غنی از نشاسته مانند ذرت، شکر و یا گندم به دست می‌آید. می‌توان پلی لاکتیک اسید را به اشکال رشته‌ای و یا لایه‌ای تبدیل کرد. هم‌اکنون از PLA در کاربردهای زیست پزشکی مانند بخیه‌ها، واسطه دیالیز و ابزارهای دارورسانی استفاده می‌شود و تلاش‌هایی برای به کارگیری آن در مهندسی بافت در حال انجام است.

خاصیت تجزیه پذیری زیستی این ماده موجب شده که بتوان در آینده از آن در ساخت بسته‌بندی‌های راحت پرشونده، کیسه‌های کود، بسته‌بندی غذا و ظروف یکبار مصرف استفاده کرد. همچنین می‌توان از PLA در شکل رشته‌ای و ساختارهای بافته نشده، برای کاربردهای اثاثیه و لوازم منزل، پوشاک یکبار مصرف، سایبان‌ها، محصولات بهداشتی بانوان و دستمال‌ها بهره گرفت.

PLA از بسیاری از پلاستیک‌های تجاری نفتی گران‌تر است، اما می‌توان با بالا بردن حجم تولید، قیمت تمام شده آن را کاهش داد. تعیین میزان افت قیمت این ماده و همچنین توان رقابت آن با پلیمرهای نفتی در کاربردهای جدید به بررسی‌های دقیق‌تری نیازمند است.

### ساخت ۲۱۶۳۳

انواع مختلفی از فرآیندهای شیمیایی و مکانیکی برای تولید نانوالیاف سلولزی و ادغام آنها با مواد مکمل، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۱۲۶۳۳ استخراج نانوالیاف سلولزی

محققان دانشگاه تورنتو نانوالیاف سلولزی را از ساقه گیاه سویا به دست آورده‌اند. برای این کار، ابتدا ساقه‌های مذکور را با فرآیندی خاص آماس کرده و سپس در معرض اسید، هیدرولیز می‌کنند. تا به این شکل، پکتین و همی سلولز از ماده حاصله جدا شود. سپس با یک فرآیند قلیایی، لیکنین و باقی‌مانده پکتین و همی سلولز جداسازی و حذف می‌گردند. عملیات مکانیکی بسیار موثر برای جداسازی الیاف ماکرو و از دیواره سلول مورد استفاده قرار گرفته‌اند و برای دستیابی به الیاف مجزا و بهبود توزیع آنها از الیاف زدایی استفاده شده است.

### ۲۲۶۳۳ تولید مواد نانو کامپوزیتی

محققان وزارت کشاورزی آمریکا از یک فرآیند ریسندگی مرطوب برای تولید الیاف نانو کامپوزیتی سلولزی استفاده کرده‌اند. برای این کار، ابتدا الیاف کتان در یک حلال قابل بازیافت حل شده و با نانوذرات خاک رس (مونتموریلونیت) ادغام می‌شوند؛ سپس مخلوط حاصله تحت یک فرآیند ریسندگی مرطوب قرار می‌گیرد. این فرآیند، گونه‌ای اصلاح شده از روش لیوسل (Lyocell) است که برای تولید تجاری سلولز استفاده می‌شود. سپس الیاف نانو کامپوزیتی مذکور با استفاده از تجهیزات تولید کاغذ، به زیرلایه‌های بافته نشده تبدیل می‌شوند.

### ۳۶۳۳ انواع نانو کامپوزیت‌های زیستی

در ادامه، نمونه‌هایی از نانو کامپوزیت‌های زیستی توضیح داده می‌شوند.

### ۱۳۶۳۳ نانو کامپوزیت‌های پلی وینیل الکل / سلولز

نانوالیاف سلولزی با عملیات شیمیایی/مکانیکی از ساقه گیاه سویا جدا شده و با پودر جامد PVOH ادغام می‌شوند. سپس مخلوط حاصله را در دمای ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد حرارت داده و ترکیب می‌کنند. ماده حاصل از این فرآیند، یک نانو کامپوزیت تجزیه‌پذیر زیستی است که با داشتن ۱۰ درصد وزنی از نانوالیاف، مقاومت کششی معادل ۵ برابر پلاستیک‌های اصلاح نشده دارد.

این گونه از نانو کامپوزیت‌های PVOH/سلولز، هنوز در دست تحقیق و توسعه هستند. با این حال، هم اکنون یک شرکت ژاپنی میکروالیاف سلولزی را با قیمتی در حدود ۵۰ دلار به ازای هر کیلوگرم می‌فروشد. همچنین در بخش مواد پیشرفته، کاربردهای بالقوه‌ای برای این مواد در دست بررسی است. این نمونه‌ها حاکی از توان تجاری بالقوه مواد مذکور هستند.

### ۲۳۶۳۳ الیاف نانو کامپوزیتی کتان/خاک رس

گروه تحقیقات کشاورزی وزارت کشاورزی آمریکا از تحقیقات بر روی امکان تولید الیاف نانو کامپوزیتی سلولزی مقاوم در برابر حرارت از الیاف کتان ادغام شده با ۱ تا ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات خاک رس (مونتموریلونیت)، حمایت مالی می‌کند (در بخش «ساخت» به توضیح این مطلب خواهیم پرداخت).

می‌توان این نانو کامپوزیت را در دسته نانو کامپوزیت‌های خاک رسی طبقه‌بندی کرد، زیرا در این ماده، نانوذرات خاک رس به عنوان پرکننده و یا عامل تقویت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال ما آن را در دسته نانو کامپوزیت‌های زیستی طبقه‌بندی کرده‌ایم. محصول ترکیب شده از کتان و خاک رس، ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد بیشتر از کتان اصلاح نشده، در برابر حرارت مقاومت می‌کند. همچنین مقاومت مکانیکی، چقرمگی و مقاومت این ماده در برابر سایش در دست ارزیابی است.

### ۴۶۳۳ کاربردها

نانو کامپوزیت‌های زیستی کاربردهای بالقوه وسیعی دارند. در کوتاه‌مدت دو مورد از امیدبخش‌ترین کاربردهای این محصول، قطعات اتومبیل تجزیه‌پذیر زیستی یا سبز (green) و لباس‌های محافظ می‌باشند.

### ۱۴۶۳۳ کاربردهای خودروسازی

برخی از صاحب نظران صنعتی اعتقاد دارند که اولین کاربرد نانو کامپوزیت‌های زیستی مذکور، قطعات تجزیه‌پذیر زیستی برای خودروهای سبز خواهند بود. پیش بینی می‌شود این مواد در این حوزه تا پیش از سال ۲۰۰۸، کاربرد تجاری نخواهند داشت.

### ۲۴۶۳۳ کاربردهای نساجی

می‌توان از الیاف نانو کامپوزیت زیستی کتانی مقاوم در برابر حرارت، در ساخت لباس‌های محافظ برای ماموران آتش‌نشانی



و سایر افراد مربوطه استفاده کرد. بر خلاف پوشش‌های نسوز معمولی، پوشش‌های نانو کامپوزیتی مذکور هم ویژگی‌های ضد آتش خاک رس را دارند، هم از نرمی و انعطاف پذیری کتان برخوردارند.

### سایر کاربردها ۳۴۶۳۳

علاوه بر قطعات اتومبیل، پلاستیک‌های زیستی سلولزی تقویت شده با نانوالیاف، کاربردهای بالقوه فراوان دیگری نیز دارند. این کاربردها شامل بسته‌بندی غذا، مواد کشاورزی و محصولات پزشکی/دامپزشکی است. هم اکنون محققان در حال بررسی قابلیت نانو کامپوزیت‌های کتان/خاک رس برای استفاده به عنوان مرهم‌های زخم‌های مزمن و سوختگی هستند. یکی دیگر از کاربردهای بالقوه این مواد، ابزارهای ارزان قیمت و یکبار مصرف برای تصفیه آب است که قادر به حذف فلزات و ترکیبات سمی از آب آلوده باشند. در ساخت این ابزارها از کتان درجه پایین (پس مانده) که از لحاظ شیمیایی اصلاح شده است، استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۵، مؤسسه ملی Academies Keck FUTURES امریکا، کمک هزینه‌ای برای محققان دانشگاه یل و دانشگاه تگزاس برای پروژه‌ای به نام «نانو کامپوزیت‌های زیستی برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته» اعطا کرد. این محققان تلاش می‌کنند که فناوری نانو و فناوری زیستی را به منظور ساخت یک سیستم برای جذب انرژی خورشیدی به کار گیرند. البته هدف آنها طراحی سیستمی برای تولید انبوه است که جوابگوی گستره وسیعی از نیازهای بخش انرژی باشد.

### سازندگان ۵۶۳۳

بر طبق برخی از گزارش‌ها، بیشتر سازندگان اصلی پلاستیک به دنبال پلاستیک‌های تجزیه‌پذیر زیستی تقویت شده با نانوالیاف هستند. با این حال ما نتوانستیم اطلاعات بیشتر و دقیق‌تری در مورد فعالیت‌های تحقیق و توسعه سازندگان این حوزه به دست آوریم.

### انواع دیگر نانو کامپوزیت‌ها ۷۳۳

در این بخش به دسته‌ای از نانو کامپوزیت‌ها پرداخته می‌شود که به شکل دقیق در هیچ کدام از گروه‌های ذکر شده در بالا، قرار نمی‌گیرند. به عبارت دیگر، نانو کامپوزیت‌های مذکور دارای چندین ماده هستند که آنها را به گروه‌های نانو کامپوزیتی مختلف مربوط می‌کند و یا دارای یک فرمول‌بندی محرمانه بوده و شکل و میزان دقیق محتویات آنها به شدت توسط سازنده، مخفی نگه داشته می‌شود. نمونه‌هایی از این مواد عبارتند از:

- غشاهای پیل سوختی نانو کامپوزیتی
- نانو کامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک
- نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز/روغن‌گریز

### غشاهای پیل سوختی نانو کامپوزیتی ۱۷۳۳

غشاهای نانو کامپوزیتی برای استفاده در پیل‌های سوختی غشایی مبادله پروتون (PEMFC) و پیل‌های سوختی متانول مستقیم (DMFC) طراحی شده‌اند. بیشتر پیل‌های سوختی دارای دو الکترود هستند: یک آند منفی و یک کاتد مثبت. این دو الکترود به وسیله یک الکترولیت جامد یا مایع که ذرات باردار را در بین دو الکترود حمل می‌کند، از یکدیگر جدا شده‌اند.

### مواد ۱۱۷۳۳

پیل‌های سوختی بر طبق ماهیت الکترولیت دسته‌بندی می‌شوند. در یک PEMFC، الکترولیت یک غشای پلیمری نازک است که پروتون‌ها از آن نفوذ می‌کنند ولی الکترون‌ها را عبور نمی‌دهد. هیدروژن درون پیل سوختی و بر روی آند جریان می‌یابد و به یون‌های هیدروژن مثبت (پروتون‌ها) و الکترون‌ها تجزیه می‌شود. در حالی که یون‌های هیدروژن از طریق غشای مذکور به سمت کاتد می‌روند، الکترون‌ها در یک مدار خارجی جریان یافته و الکتریسیته تولید می‌کنند. همچنین می‌توان از یک غشای پلیمری به عنوان الکترولیت استفاده کرد. DMFCها شکل تغییر یافته‌ای از PEMFCها هستند که از اتانول، به شکل مستقیم و بدون هیچ گونه بهسازی اولیه، استفاده می‌کنند. معمولاً از یک کوپلیمر تترافلوئورواتیلن سولفوناته (sulfonated tetrafluorethylene) به نام Nafion که در دهه ۱۹۶۰ توسط DuPont عرضه شد، به عنوان غشای مبادله یون در PEMFCها و DMFCها استفاده می‌شود. این پلیمر عضوی از یک دسته از پلیمرهای مصنوعی با ویژگی‌های یونی است. به این مواد، یونومر (ionomer) گفته می‌شود. همان طوری که گفته شد، Nafion به یون‌های هیدروژن محلول اجازه عبور داده ولی مانع عبور الکترون‌ها می‌شود. کاربردهای پیل‌های سوختی بر اساس این قابلیت Nafion به وجود آمده‌اند. در حالت کلی، موانع تجاری‌سازی پیل‌های سوختی PEM، به مواد هادی پروتون مانند Nafion مربوط می‌شوند. این غشاهای



گران بوده، در دماهای بالا رفتار مکانیکی مطلوبی نداشته و تنها در حضور آب به پروتون‌ها اجازه عبور می‌دهند. به همین دلیل دمای کاری چنین پیل‌هایی، ۸۰ درجه سانتیگراد است و در این دما به دلیل سینتیک پایین الکتروود و تحمل پایین CO، کارایی پیل سوختی پایین است.

برای غلبه بر محدودیت‌های مذکور، هم‌اکنون دسته‌ای از غشاهای نانو کامپوزیتی که دارای نانوذرات معدنی مانند خاک رس، زیرکونیا، سیلیس، تیتانیا و زئولیت‌ها هستند، در دست توسعه هستند. تمام این مواد، نسبت به Nafion اصلاح نشده، دارای رسانایی بالاتر و آبگیری بهتر و همچنین ویژگی‌های گرمایی و مکانیکی بهتری هستند.

### ۲۱۷۳۳ انواع غشاهای پیل سوختی نانو کامپوزیتی

در اوایل سال ۲۰۰۶، سخن گفتن درباره اینکه کدامیک از فناوری‌های غشای نانو کامپوزیتی تجاری خواهند شد، دشوار بود. به همین دلیل در این گزارش تمام فناوری‌های مربوطه در قالب یک گروه بررسی می‌شوند.

### ۳۱۷۳۳ کاربردها

• کاربردهای انرژی:

PEMFCها اولین گزینه برای تأمین نیروی محرکه خودروهای دارای پیل سوختی هستند. انتظار می‌رود که این خودروها از حدود سال ۲۰۱۰ به شکل فزاینده‌ای وارد بازار شوند. احتمالاً اولین کاربرد DMFC در رایانه‌های همراه و سایر ابزارهای الکترونیکی خواهد بود. انتظار می‌رود که چنین کاربردهایی در ۵ سال آینده ظهور یابند.

### ۴۱۷۳۳ سازندگان

بیشتر تحقیقات منتشر شده بر روی غشاهای نانو کامپوزیتی پیل سوختی، توسط آزمایشگاه‌های دانشگاهی و دولتی انجام گرفته است. با این وجود، شرکت کانادایی Sim Composites، به دنبال توسعه یک فناوری غشایی نانو کامپوزیتی جدید به نام Sicopion است. شرکت مذکور در این راه، از یک پلیمر اصلاح شده پلی‌اتراکتون یا PEEK که نانوذرات سیلیس به آن اضافه می‌شوند، استفاده می‌کند.

### ۲۷۳۳۲ نانو کامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک

فوتونیک فناوری تولید و کنترل نور است و یکی از مهم‌ترین اهداف آن، انتقال اطلاعات با استفاده از نور است. بلورهای فوتونیک، ساختارهای عایق (دی‌الکتریک) متناوبی هستند که طول موج‌های خاصی از نور را پراکنده کرده و به آن طول موج‌ها اجازه عبور را نمی‌دهند (به این طول موج‌ها «شکاف باند» گفته می‌شود). ویژگی‌های گیراندازی نوری بلورهای فوتونیک، موجب شده تا در آینده، کاربردهای بالقوه فراوانی مانند لیزرهای کم انرژی، رایانه‌های دارای سرعت بالا و ارتباطات از راه دور داشته باشند.

### ۱۲۷۳۲ مواد

یک بلور فوتونیک شامل شبکه‌ای از مواد با ضریب شکست پایین است که به شکل متناوب و در بازه‌های منظمی در بین نواحی دارای ضریب شکست بالا پخش شده‌اند. اوپال‌ها نمونه‌ای از بلورهای فوتونیک طبیعی هستند که شکاف باند نسبتاً کوچکی تولید می‌کنند. اوپال‌های طبیعی از کره‌های سیلیسی با ابعاد ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر تشکیل یافته‌اند. این مواد در یک ژل شبه معدنی (mineraloid) معلق می‌باشند و بنابراین نانو کامپوزیت نیستند. تاکنون انواع مختلفی از مواد با شکاف باند فوتونیک نانو کامپوزیتی ساخته شده‌اند. این نانو کامپوزیت‌ها از برخی از پلیمرهای آلی به عنوان مواد زمینه استفاده می‌کنند.

### ۲۲۷۳۲ ساخت

می‌توان از طریق کنترل میزان نانوذرات معدنی (سیلیس، TiO<sub>2</sub>) در ماده مورد استفاده، ویژگی‌های نوری مهمی چون ضریب شکست را بیش از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد (با توجه به ماده پلیمری مربوطه) تغییر داد. با یک حساب تخمینی کلی می‌توان گفت برای ساخت یک بلور فوتونیک باید با ساختارهایی کار کرد که ابعاد آنها در حدود یک دهم طول موج نوری است که به وسیله آنها پراکنده می‌گردد. بنابراین، برای ساخت بلورهای فوتونیک که طول موج‌های نزدیک پرتو زیر قرمز (۱ میکرون) و مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) را پراکنده سازند، باید بلورهای نانو ساختار به میزان قابل توجهی کوچک شوند. یکی از اصلی‌ترین ملزومات ساخت ابزارهای میکروفوتونیک مانند بلورهای فوتونیک، قابلیت کنترل ضریب شکست است.

به منظور اطمینان از پراکندگی پایین نور، یعنی شفاف بودن لایه‌های پوشش داده‌شده نسبت به نور مادون قرمز و نور مرئی، برای کاربردهای بلوری فوتونیک می‌توان مقادیر بالایی (تا ۶۰ درصد وزنی) از نانوذرات را در پلیمر میزبان توزیع کرد. نانو کامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک را می‌توان با روش‌های مختلفی مانند خودآرایی، مشابه با خود سامانی بلورهای فوتونیک در اوپال طبیعی ساخت. به عنوان مثال در روشی که توسط جودی ویجهوون (Judith Wijnhoven) و ویلم واس (Willem Vos) از دانشگاه آمستردام ابداع شده است، از خودآرایی (self-arrangement) کره‌های سیلیسی با ابعاد کوچکتر از میکرومتر، در یک مخلوط معلق کلوییدی و پر کردن فضاهای خالی بین کره‌ها با محلول دی‌اکسید تیتانیوم، استفاده شده است. محلول مذکور یک واکنش شیمیایی انجام داده و به این شکل، تیتانیای جامد تشکیل می‌شود. در پتنت (6,752,868 U. S. Patent) که در سال ۲۰۰۴ از سوی مؤسسه تحقیق و توسعه MCNC در پارک تحقیقاتی Triangle واقع در کارولینای جنوبی ثبت شد، یک فرآیند خودآرایی لایه به لایه برای ساخت یک بلور فوتونیک سه‌بعدی تشریح شده است.

طبق پتنت مذکور، «یک زیرلایه الگو از میکرو کره‌ها، از یک ماده اولیه ساخته می‌شود. ماده اولیه از جنسی است که می‌تواند بر روی زیرلایه مذکور بچسبد و یک لایه خود واکنش دهنده از میکرو کره‌های اولیه به وجود بیاورد. به این ترتیب، اولین لایه (یا لایه اولیه) ساخته می‌شود».

«اولین لایه در معرض میکرو کره‌های ثانویه که از یک ماده ثانویه ساخته شده‌اند، قرار می‌گیرد. ماده ثانویه از جنسی است که می‌تواند بر روی اولین لایه بچسبد و لایه خود واکنش دهنده از میکرو کره‌های ثانویه به وجود بیاورد. با تکرار متناوب لایه‌های میکرو کره‌ای اولیه و ثانویه تا حد مطلوب، می‌توان یک بلور فوتونیک سه‌بعدی با شکل هندسی دلخواه تولید کرد».

علاوه بر این، جان هالتز (John Holtz) و استنفورد اش (Sanford Asher) از دانشگاه پیتزبورگ، با استفاده از مخلوط معلق از کره‌های پلیمری در یک لایه هیدروژلی (یک پلیمر مصنوعی که آب جذب می‌کند)، بلورهای فوتونیک «قابل تنظیم» ساخته‌اند. در این بلورها می‌توان طول موج باند گپ را از طریق انقباض یا انبساط هیدروژل، تنظیم کرد.

#### کاربردها (۳۲۷۳۳)

ویژگی‌های گیراندازی نوری در بلورهای فوتونیک، موجب شده تا در آینده، کاربردهای بالقوه فراوانی در لیزرهای کم انرژی، رایانه‌های سرعت بالا و مخابرات از راه دور، داشته باشند.

#### سازندگان (۴۲۷۳۳)

تاکنون بلورهای فوتونیک که دارای نانو کامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک هستند در ابعاد تجاری وارد بازار نشده‌اند. شرکت‌هایی که به تحقیق و توسعه بر روی نانو بلورهای فوتونیک اشتغال دارند، Agilent، Luxtera و Mesophotonics هستند.

#### نانو کامپوزیت‌های دارای سیلزسیکیو کسان اولیگومری چند وجهی (۳۷۳۳)

سیلزسیکیو کسان‌های اولیگومری چند وجهی (Polyhedral oligomeric silsesquioxanes or POSS) مولکول‌های مصنوعی هستند که ابعاد آنها به طور میانگین در سه جهت، حدود ۱/۵ نانومتر است.

#### مواد، ساخت و ویژگی‌های نانو کامپوزیتی (۱۳۷۳۳)

می‌توان افزودنی‌های POSS را از طریق ساخت کوپلیمر و یا ادغام در پلاستیک‌های مختلف اضافه کرد. افزودنی‌های مذکور، ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی اکثر پلاستیک‌ها را به شکل چشمگیری بهبود می‌دهند.

#### کاربردها و سازندگان (۲۳۷۳۳)

افزودنی‌های POSS در کاربردهای علوم زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- کاربردهای علوم زیستی

شرکت Pentron Corp که یک عرضه‌کننده محصولات دندانپزشکی است، یک چسب دندانی دارای POSS، به نام NanoBond به بازار عرضه می‌کند که برای چسباندن روکش دندان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز/روغن‌گریز (۴۷۳۳)

نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز/روغن‌گریز، آب، نفت و گریس را دفع می‌کنند.

### ۱۴۷۳۲ مواد، ساخت و ویژگی های نانو کامپوزیت

شرکت Nanogate GmbH دسته‌ای از محصولات مبتنی بر نانو کامپوزیت های آب گریز/روغن گریز را عرضه می کند. در مورد ترکیب محصولات مذکور اطلاعات بسیار کمی در دست است. بر طبق برخی از گزارش ها، فناوری نانو کامپوزیتی شرکت Nanogate بر اساس یک ماده نانو کامپوزیتی خود آرا طراحی شده است. این ماده با تجزیه شدن یک ماده کامپوزیتی (که عمدتاً دارای الکل و ماسه است) به نانو ذرات ساخته می شود. برخی از نانو ذرات حاصله، چسبناک هستند و طبیعتاً به سمت سطح زیر لایه رفته و به آن می چسبند، اما سایر ذرات به سمت هوا رفته و مانع از چسبیدن آلودگی ها و گریس به پوشش محافظ می گردند. نانو ذراتی که ماهیت اتصالی دارند، مانع از جدایی لایه های بیرونی و درونی پوشش مذکور می گردند و به این ترتیب، سطحی ساخته می شود که هم آب گریز هم روغن گریز است.

### ۲۴۷۳۲ کاربردها و سازندگان

فناوری شرکت Nanogate چندین کاربرد تجاری دارد. یکی از آنها یک واکس اسکی نانو کامپوزیتی جدید است که توسط شرکت Holmenkol Sport Technologies و با همکاری شرکت Nanogate GmbH ساخته و با نام تجاری Nanowax به بازار عرضه شده است. این محصول، ویژگی های لغزشی و چرخشی چوب و تخته های اسکی را به طور چشمگیری بهبود می بخشد. همچنین شرکت Nanogate دو پوشش نجسب نانو کامپوزیتی را با نام های Wondergliss و Sekcid، ساخته و به بازار عرضه کرده است. این پوشش ها در سطوح شیشه ای و سرامیکی حمام ها و آشپزخانه ها کاربرد دارند و تمیز کردن این سطوح را آسان تر می کنند.



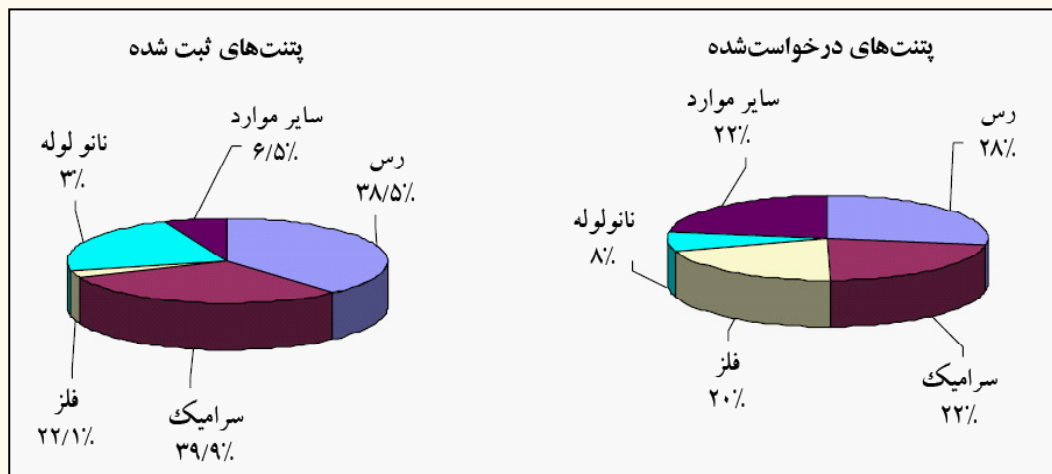
بخش ۴

# تحلیل پتنت

## ۴ تحلیل پتنت

### ۱۴ پتنت‌ها و درخواست‌های ثبت پتنت بر مبنای نوع نانو کامپوزیت

BCC Research، از طریق جستجوی کلمات کلیدی مربوطه در پایگاه داده اداره پتنت آمریکا (U. S. Patent Office) دریافت که در بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵، حداقل ۳۷۱ پتنت در زمینه نانو کامپوزیت‌ها ثبت شده و همچنین تا پایان سال ۲۰۰۵، ۵۴۴ درخواست ثبت پتنت در این زمینه در دست اقدام است. سهم نانو کامپوزیت‌های رسی از درخواست‌های ثبت پتنت، کمتر از سهم آنها در پتنت‌های ثبت شده است (به ترتیب ۲۸ و ۳۹ درصد). نانو کامپوزیت‌های سرامیکی (۲۲ و ۳۰ درصد) و فلز/اکسید فلزی (۲۰ و ۲۲ درصد) نیز وضعیت مشابهی دارند که این امر می‌تواند نشان‌دهنده کاهش نسبی در گرایش به سمت این فناوری‌ها نسبت به سایر فناوری‌های نانو کامپوزیتی باشد.

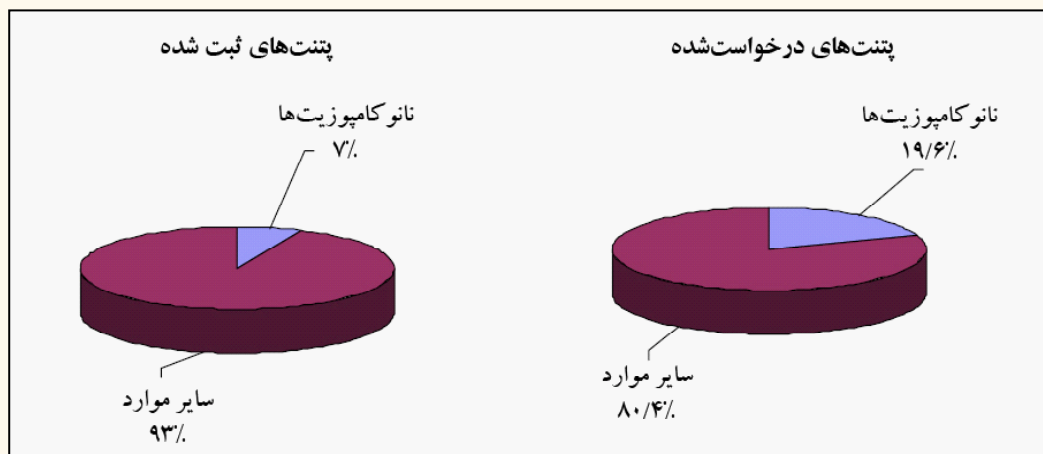


شکل ۱- درصد پتنت‌ها و درخواست‌های ثبت پتنت در آمریکا بر حسب نوع نانو کامپوزیت

جزئیات شکل ۱	پتنت‌های منتشر شده (USPTO) بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۱۹۷۶		درخواست‌های ثبت پتنت (USPTO) تا پایان دسامبر ۲۰۰۵	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
نانو کامپوزیت				
رس	۱۴۳	۳۸/۵	۱۵۱	۲۸
سرامیک	۱۱۱	۲۹/۹	۱۱۹	۲۲
فلز/اکسید فلزی	۸۲	۲۲/۱	۱۱۰	۲۰
سایر موارد/NEC	۲۴	۶/۵	۱۲۲	۲۲
نانو لوله	۱۱	۳/۰	۴۲	۸
مجموع	۳۷۱	۱۰۰/۰	۵۴۴	۱۰۰

در حالی که درصد درخواست ثبت پتنت فناوری‌های نانو کامپوزیتی نانو لوله‌ای نسبت به پتنت‌های ثبت شده بیشتر است. (به ترتیب ۸ و ۳ درصد). سایر فناوری‌های نانو کامپوزیتی نیز وضعیت مشابهی دارند. (۲۲ و ۷ درصد). حدود ۷ درصد از کل پتنت‌های فناوری نانو آمریکا، از سال ۱۹۷۶ تا کنون، به نانو کامپوزیت‌ها اختصاص داشته است. این میزان در مورد درخواست‌های ثبت پتنت بیشتر است و به حدود ۲۰ درصد می‌رسد.



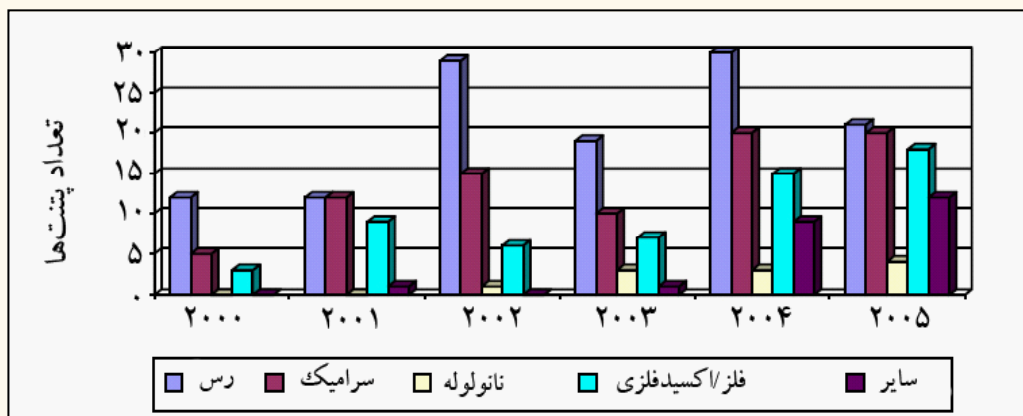


شکل ۲- درصد پتنت‌های نانو کامپوزیت‌ها در امریکا در مقابل کل پتنت‌های فناوری نانو

جزئیات شکل ۲				
بخش	پتنت‌های منتشر شده (USPTO) بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۱۹۷۶		درخواست‌های ثبت پتنت (USPTO) تا پایان دسامبر ۲۰۰۵	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
نانو کامپوزیت	۳۷۱	۶/۶	۵۴۴	۱۹/۶
دیگر فناوری‌های نانویی	۵/۲۷۵	۹۳/۴	۲/۲۳۶	۸۰/۴
مجموع	۵/۶۴۶	۱۰۰/۰	۲/۷۸۰	۱۰۰/۰

#### ۲۴ روند ثبت پتنت در طول زمان

اگر روند تغییرات تعداد سالانه پتنت‌های نانو کامپوزیتی ثبت شده در امریکا را به عنوان یک شاخص در نظر بگیریم، گرایش کلی به سمت نانو کامپوزیت‌ها در حال افزایش است. تعداد کل پتنت‌های نانو کامپوزیت ثبت شده، که توسط BCC Research تشخیص داده شده‌اند، از ۲۰ مورد در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۷۵ مورد در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ ارتقا یافته است. این روند روبه افزایش، در پتنت‌های نانو کامپوزیت‌های رسی، سرامیکی، نانولوله‌ای و فلزی/اکسید فلزی نیز مشاهده می‌شود و تمام این پتنت‌ها، در ۵ سال گذشته، روند رو به رشدی داشته‌اند. با این وجود، این افزایش در طول زمان، برای نانو کامپوزیت‌های سرامیکی، فلز/اکسید فلزی و سایر انواع چشمگیرتر بوده است.



شکل ۳- روند ثبت پتنت‌های فناوری نانو در امریکا بر حسب نوع فناوری، در سالهای ۲۰۰۰-۲۰۰۵

### جزئیات شکل ۳

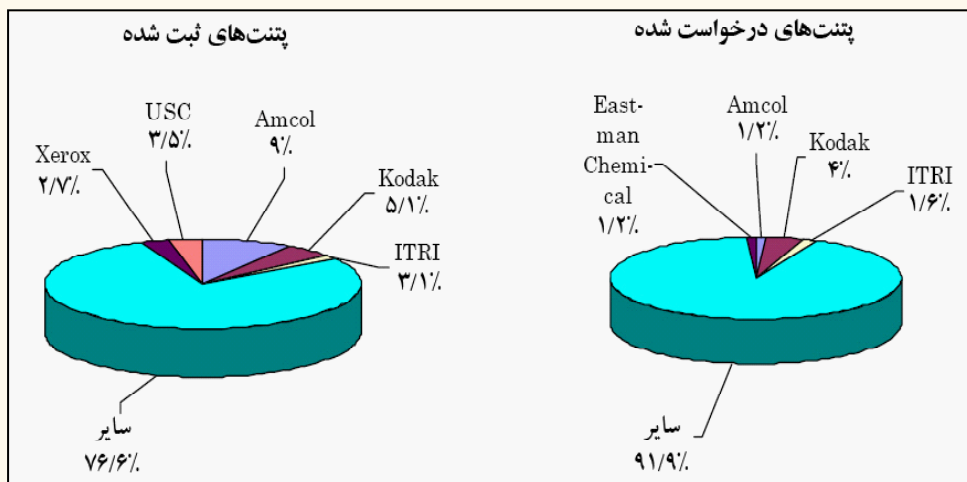
نوع نانو کامپوزیت	تعداد سالانه پتنت‌های آمریکا					
	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵
خاک رس	۱۲	۱۲	۲۹	۱۹	۳۰	۲۱
سرامیک	۵	۱۲	۱۵	۱۰	۲۰	۲۰
نانولوله	۰	۰	۱	۳	۳	۴
فلز/اکسید فلزی	۳	۹	۶	۷	۱۵	۱۸
سایر	۰	۱	۰	۱	۹	۱۲
مجموع	۲۰	۳۴	۵۱	۴۰	۷۷	۷۵

### دارندگان پتنت ۳ ۴

این بخش به تحلیل مشخصات دارندگان پتنت‌های نانو کامپوزیت می‌پردازد.  
نهادهای شخصی (INDIVIDUAL ENTITIES)

شرکت Amcol International با ۲۳ پتنت بیشترین تعداد پتنت‌های نانو کامپوزیت را در آمریکا به خود اختصاص داده است. پس از آن، شرکت Eastman Kodak با ۱۳ پتنت (۵ درصد) در مکان دوم قرار داشته و به دنبال آن دانشگاه کارولینای جنوبی با ۹ پتنت (۵ درصد)، مؤسسه تحقیقات صنعتی و فناوری تایوان با ۸ پتنت (۳ درصد) و شرکت Xerox Corp با ۷ پتنت (۳ درصد) در مکان‌های بعدی قرار دارند.

سایر دارندگان عمده پتنت Institut für neue Materialien از آلمان، شرکت Nanoproducts، شرکت Eastman Chemical و the Nederlandse Organisatie voor Toegepast و Xerox هر کدام با ۵ پتنت هستند.



شکل ۴- دارندگان اصلی پتنت‌های نانو کامپوزیت (بر حسب درصد)

### جزئیات شکل ۴

مالک	پتنت‌های آمریکا		درخواست‌های ثبت پتنت آمریکا	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
Amcol International	۲۳	۹/۰	۴	۱/۲

جزئیات شکل ۴

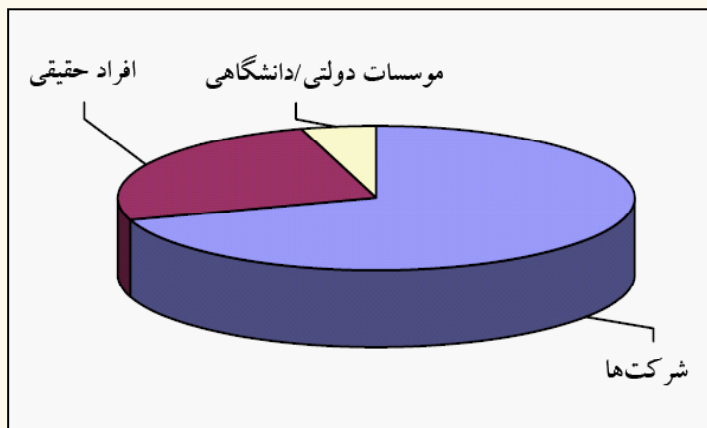
	پتنت‌های آمریکا		درخواست‌های ثبت پتنت آمریکا	
	تعداد	نسبت	تعداد	نسبت
Kodak	۱۳	۵/۱	۱۳	۴/۰
دانشگاه کالیفرنیا جنوبی	۹	۳/۵	---	---
موسسه تحقیق و فناوری صنعتی (تایوان)	۸	۳/۱	۵	۱/۶
زیراکس	۷	۲/۷	۱	---
Eastman Chemical	---	---	---	۱/۲
سایر	۱۹۶	۷۶/۶	۲۹۵	۹۱/۹
مجموع	۲۵۶	۱۰۰/۰	۳۱۸	۹۹/۹

موضوع مالکیت در مورد درخواست‌های ثبت پتنت اندکی متفاوت است و تعداد صاحبان پتنت ۱، بسیار متنوع‌تر است. شرکت Eastman Kodak با ۱۳ درخواست (۴ درصد از کل درخواست‌ها) در میان بزرگترین درخواست‌کنندگان ثبت پتنت‌های نانو کامپوزیت قرار دارد. پس از آن، مؤسسه تحقیقات صنعتی و فناوری تایوان با پنج درخواست در مکان دوم و شرکت‌های Amcol International و Eastman Chemical هر کدام با ۴ درخواست، در مکان بعدی قرار دارند.

**انواع مالکان پتنت‌ها**

شرکت‌ها (در مقابل مخترعان شخصی و مؤسسات تحقیقاتی دانشگاهی و دولتی) ۷۰ درصد از پتنت‌های موجود در زمینه نانو مواد در آمریکا را به خود اختصاص داده‌اند.

۵۹

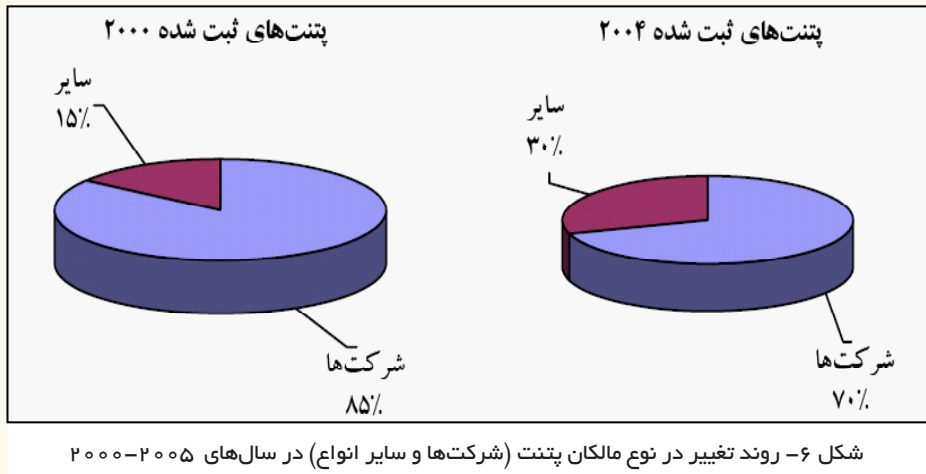


شکل ۵- سهم پتنت‌های نانوکامپوزیت ثبت شده در آمریکا از سال ۱۹۷۶ بر حسب نوع مالک (درصدی از کل پتنت‌های صادر شده)

جزئیات شکل ۵

مالک	پتنت‌های نانوکامپوزیت ثبت شده تا ۱۹۷۶	درصد
شرکت	۲۶۰	۷۰
شخص	۹۳	۲۵
دولت/دانشگاه	۱۸	۵
مجموع	۳۷۱	۱۰۰

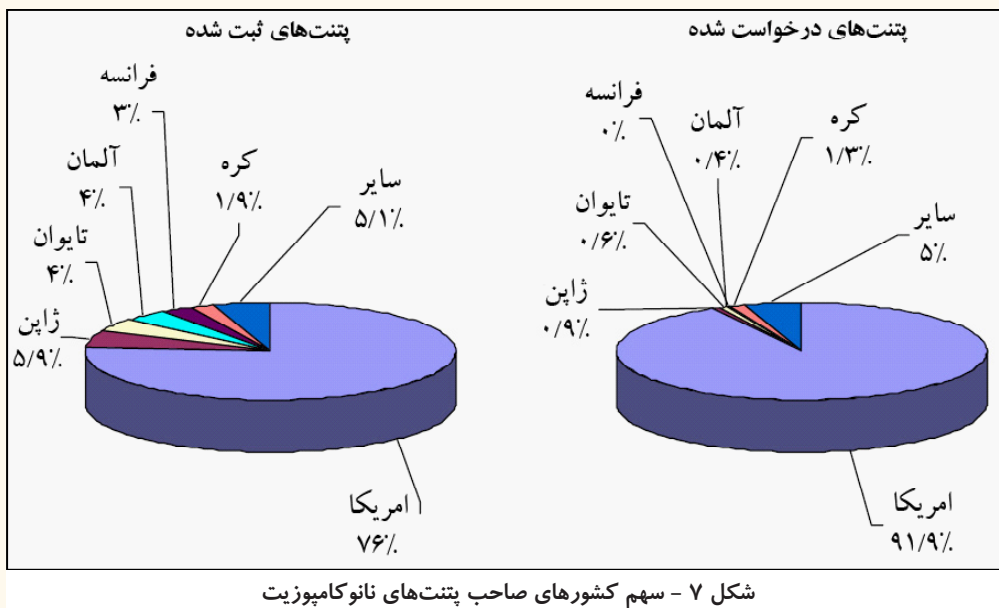
1. assignees



جزئیات ملیت مالکان پتنت				
نوع مالک	پتنت‌های ثبت شده در سال ۲۰۰۰		پتنت‌های ثبت شده در سال ۲۰۰۵	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
شرکت‌ها	۱۷	۵۵	۵۴	۷۰
سایر	۳	۱۵	۲۳	۳۰
مجموع	۲۰	۱۰۰	۷۷	۱۰۰

۶۰

لازم به ذکر است که نسبت درصد شرکت‌های دارنده پتنت به درصد سایر دارندگان پتنت (دانشگاهی، دولتی و شخصی)، در طول ۵ سال گذشته، افت چشمگیری داشته است. ۷۶ درصد از مالکان پتنت‌های نانو کامپوزیت، آمریکایی هستند. پس از آمریکا ملیت‌های ژاپنی (۵/۹ درصد)، تایوانی، آلمانی (۴ درصد)، فرانسوی (۳ درصد) و کره‌ای (۲ درصد) در مکان‌های بعدی قرار دارند. در مورد درخواست‌های ثبت پتنت در دست اقدام، سهم مالکان آمریکایی ۹۲ درصد است و از میان سایر ملیت‌ها تنها سهم کره بیش از ۱ درصد است.



جزئیات شکل ۷				
ملیت مالک	پتنت‌های ثبت شده نانو کامپوزیت‌ها از سال ۱۹۷۶ (آمریکا)		پتنت‌های درخواست شده نانو کامپوزیت‌ها (آمریکا)	
	تعداد	درصد	اعداد	درصد
ایالات متحده آمریکا	۲۸۲	۷۶/۰	۵۰۰	۹۱/۹
ژاپن	۲۲	۵/۹	۵	۰/۹
تایوان	۱۵	۴/۰	۳	۰/۶
آلمان	۱۵	۴/۰	۲	۰/۴
فرانسه	۱۱	۳/۰	۰	۰/۰
کره	۷	۱/۹	۷	۱/۳
سایر	۱۹	۵/۱	۲۷	۵/۰
مجموع	۳۷۱	۹۹/۹	۵۴۴	۱۰۰/۱





بخش ۵  
بازار جهانی نانوکامپوزیت‌ها،  
۲۰۰۵-۲۰۱۱

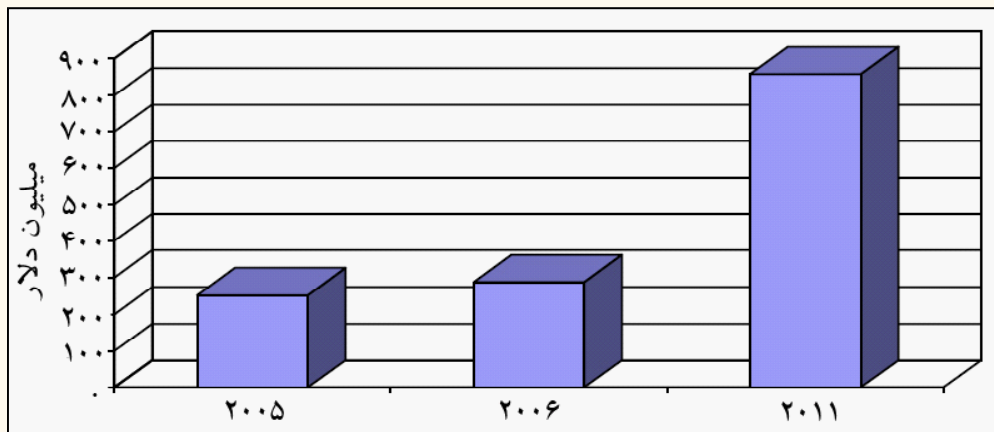
## ۵ بازار جهانی نانو کامپوزیت‌ها، ۲۰۱۱-۲۰۰۵

خلاصه

میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها ۲۳۲۰۰ تن به ارزش ۲۵۲ میلیون دلار برای سال ۲۰۰۵ برآورد شده بود. این میزان برای سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ به ترتیب ۲۷۸۰۰ تن به ارزش ۲۸۸ میلیون دلار و ۹۵۰۰۰ تن به ارزش ۸۵۷ میلیون دلار پیش‌بینی شده است. همچنین نرخ رشد ترکیبی سالانه میزان مصرف (AAGR) بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱، ۲۸ درصد و ارزش بازار ۲۴ درصد، پیش‌بینی می‌شود.

جدول ۱۴ - میزان مصرف و فروش جهانی نانو کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱				
نوع	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۱	۲۰۰۶-۲۰۱۱
نانو کامپوزیت‌های رسی				
وزن (تن)	۱۱۲۹۳	۱۴۶۹۴	۷۱۱۷۳	۳۷/۱
ارزش (میلیون دلار)	۸۹/۷۱	۱۱۰	۳۷۹/۵	۲۸/۱
نانو کامپوزیت‌های سرامیکی				
وزن (تن)	۶/۹۹	۶۸۳۳	۱۳۳۷۷	۱۴/۴
ارزش (میلیون دلار)	۲۵/۳۵۲	۲۷/۹۷۵	۹۹	۲۸/۸
نانو کامپوزیت‌های اکسید آهن				
وزن (تن)	۲۱۸۸	۲۴۵۹	۴۴۱۴	۱۲/۴
ارزش (میلیون دلار)	۷۰	۷۸/۷	۱۷۱/۲	۱۶/۸
کامپوزیت‌های نانولوله کربنی				
وزن (تن)	۳۴۵۴	۳۶۶۶	۴۹۰۸	۶
ارزش (میلیون دلار)	۵۶/۰۲	۵۶/۰۶	۶۳/۹۵	۲/۷
نانو کامپوزیت‌های زیستی				
وزن (تن)	۰	۰	NA	۰
ارزش (میلیون دلار)	۰	۰	۹	۰
سایر نانو کامپوزیت‌ها				
وزن (تن)	۱۳۳	۱۸۷	۱۱۲۷	۴۳/۲
ارزش (میلیون دلار)	۱۱	۱۵/۲	۱۳۴/۵	۵۴/۷
جمع کل				
وزن (تن)	۲۳۲۶۶	۲۷۸۴۱	۹۵۰۵۶	۲۷/۸
ارزش (میلیون دلار)	۲۵۲/۰۲۸	۲۸۷/۹۳۵	۸۵۷/۱۵	۲۴/۴

NA = موجود نیست / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



شکل ۸- روند مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها، ۲۰۱۱-۲۰۰۵، (میلیون دلار)

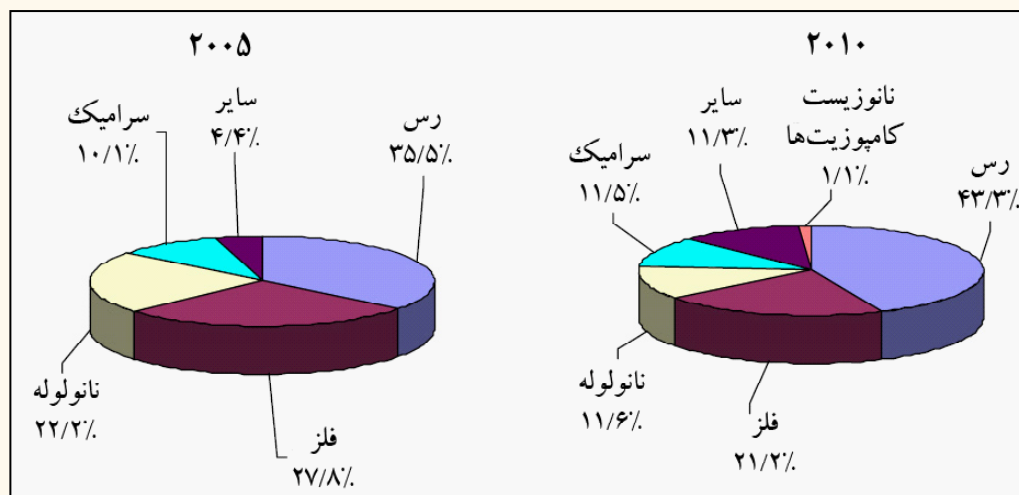
منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC (براساس اطلاعات جدول ۱۴)

- در حالی که این نرخ‌های رشد نسبتاً زیاد به نظر می‌رسند، دیگر مطالعات تحقیقاتی BCC باعث اعتبار این ارقام شده است. برای مثال:
- گزارش تحقیقاتی 290-GB BCC، به ارزیابی بازار واقعی فناوری نانو می‌پردازد. طبق این تحقیق بازار کلی فناوری نانو (شامل تمام انواع نانو مواد و نانو ادوات) بر اساس ارزش بازار تا سال ۲۰۰۸، نرخ رشد ترکیبی سالانه ۳۰/۸ درصد دارد.
  - طبق گزارش تحقیقاتی 334-GB BCC، پیش‌بینی شده است که نرخ رشد ترکیبی سالانه بازار نانو کامپوزیت‌ها طی ۵ سال آینده ۳۹ درصد باشد.
  - براساس مطالعه‌ای که توسط گروه Freedomia در سال ۲۰۰۴ انجام شد، پیش‌بینی شده است نرخ رشد ترکیبی سالیانه بازار نانو کامپوزیت‌های ایالات متحده آمریکا، به تنهایی حداقل تا سال ۲۰۱۰ پیش از ۳۰ درصد باشد.

۶۵

### ۱۵ مصرف نانو کامپوزیت‌ها بر اساس نوع مواد

جدول زیر میزان مصرف پیش‌بینی شده نانو کامپوزیت‌ها را بر اساس نوع مواد نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۵، نانو کامپوزیت‌های رسی، ۳۵ درصد کل مصرف نانو کامپوزیت‌ها را از نظر ارزش، به خود اختصاص دادند. بعد از نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس، نانو کامپوزیت‌های آهن و اکسید آهن با ۲۸ درصد، و کامپوزیت‌های نانولوله کربنی با ۲۲ درصد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۱۱، سهم بازار نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس تا میزان ۴۴ درصد افزایش یابد. همچنین پیش‌بینی شده است که بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، نانو کامپوزیت‌های اکسید آهن و آهن و نانو کامپوزیت‌های سرمائیکی به ترتیب ۲۰ و ۱۱/۵ درصد از سهم بازار نانو کامپوزیت‌ها را کسب کنند. به همین ترتیب در طی همین دوره انتظار می‌رود سهم بازار کامپوزیت‌های نانولوله کربنی تا میزان ۷/۵ درصد کاهش یابد.



شکل ۹- مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها بر اساس نوع آنها بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۰۵ (درصد از کل مصرف بر حسب دلار)

جزئیات شکل ۹ (براساس درصد)		
نوع نانو کامپوزیت	۲۰۰۵	۲۰۱۱
خاک رس	۳۵/۵	۴۳/۳
اکسید آهن/ آهن	۲۷/۸	۲۱/۲
نانولوله	۲۲/۲	۱۱/۶
سرامیک	۱۰/۱	۱۱/۵
نانوزیست کامپوزیت‌ها	۰	۱/۱
سایر	۴/۴	۱۱/۳
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

در جدول ۱۵ نانو کامپوزیت‌هایی که بیشترین میزان رشد را در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ دارند، نشان داده شده‌اند. (لازم به ذکر است که در این فهرست برخی از نانو کامپوزیت‌های عام، مانند کامپوزیت‌هایی که در غشاهای پیل‌های سوختی استفاده می‌شود و در برگیرنده چندین نوع نانو کامپوزیت مجزا هستند، ذکر شده‌اند). نایلون/ مونت‌موریلونیت بیشترین میزان مصرف را بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ خواهد داشت.

در سال ۲۰۰۵ نانو کامپوزیت‌های نایلون/ نانولوله چند دیواره، آلومینا/ پلی‌اورتان، آب‌گریز/ چربی‌گریز بیشترین مصرف را از نظر ارزش داشته‌اند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۱، نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز/ چربی‌گریز، پلی‌اورتان/ آلومینا، WC/CO و EVA مونت‌موریلونیت بیشترین میزان فروش را از بازار به خود اختصاص خواهند دهند.

جدول ۱۵- نانو کامپوزیت‌های با بیشترین میزان سهم بازار، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (براساس میلیون دلار)				
نانو کامپوزیت‌ها	۲۰۰۵		۲۰۱۱	
	رتبه فروش	میزان فروش	رتبه فروش	میزان فروش
نایلون/ مونت‌موریلونیت	۱	۷۳/۶	۱	۲۶۴/۴
TPO / مونت‌موریلونیت	۸	۰/۹	۸	۲۵/۱
EVA / مونت‌موریلونیت	۷	۴/۲	۵	۳۱
نایلون/ نانولوله چند دیواره	۲	۲۸/۵	۵۷	۲۶/۳
الیاف PVOH /SWNT	۹	۰	۱۱	۷/۵
MWNT/PC	۴	۱۶/۷	۹	۱۷
PPE/MWNT	۶	۸/۲	۱۲	۶/۹
CdSe/P <sub>3</sub> HT	۹	۰	۶	۳۰
آلومینا/PU	۳	۲۴/۲	۳	۴۲/۹
WC/Co	۹	۰	۴	۳۵
کلسیو فسفات/ سیلیکا	۹	۰	۱۰	۱۵/۶
آب‌گریز/ چربی‌گریز	۵	۱۰	۲	۷۵/۳

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

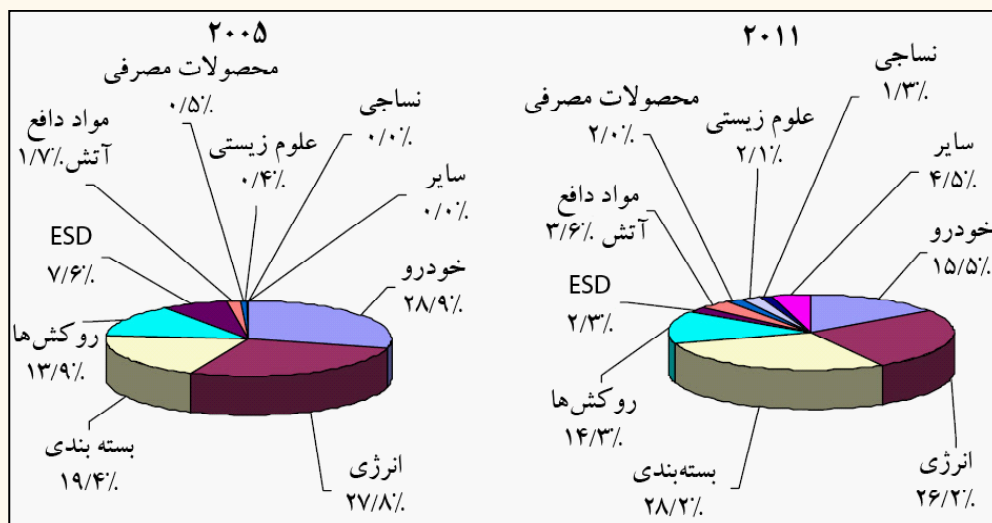
۲۵ میزان مصرف نانومواد بر اساس کاربرد

نانو کامپوزیت‌ها در برخی حوزه‌های کاربردی مختلف استفاده می‌شوند که عبارتند از:

- اتومبیل (خودرو)
- نساجی
- انرژی
- بسته‌بندی
- علوم زیستی
- پراکنده‌سازی بار ساکن / کاربردهای اتاق تمیز
- پوشش‌ها
- مواد آتش‌نشانی

در سال ۲۰۰۵، قطعات خودرو، انرژی و بسته‌بندی به ترتیب با ۲۸، ۲۹ و ۱۹ درصد بازار، عمده‌ترین استفاده‌کنندگان کاربردهای نانو کامپوزیت‌ها بودند. در همین سال، پوشش‌ها و پراکنده‌سازهای بار ساکن‌ها به ترتیب با در اختیار داشتن ۱۴ و ۸ درصد سهم بازار، در مرتبه‌های بعدی قرار داشتند.

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۱، حوزه بسته‌بندی با در اختیار گرفتن بیش از ۲۸ درصد بازار، عمده‌ترین استفاده‌کننده از نانو کامپوزیت‌ها باشد. همچنین برآورد می‌شود انرژی با در اختیار داشتن بیش از ۲۶ درصد بازار در سال ۲۰۱۱ در رتبه دوم قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود نانو کامپوزیت‌ها در صنعت خودروسازی و پوشش‌ها به ترتیب با در اختیار داشتن ۱۵، ۱۴ درصد سهم بازار در سال ۲۰۱۱ رتبه‌های سوم و چهارم را به خود اختصاص خواهند داد. سهم بازار هیچ‌بخش دیگری بیش از ۴ درصد نخواهد بود.



شکل ۱۰ - میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌ها ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف بر اساس دلار)

جزئیات شکل ۱۰				
۲۰۱۱		۲۰۰۵		
درصد	میلیون دلار	درصد	میلیون دلار	کاربردها
۱۵/۵	۱۳۲/۶	۲۸/۹	۷۲/۸	خودرو
۲۶/۲	۲۲۴/۲	۲۷/۸	۷۰	انرژی
۲۸/۲	۲۴۲/۲	۱۹/۴	۴۸/۸	بسته بندی
۱۴/۳	۱۲۲/۲	۱۳/۹	۳۵	پوشش‌ها
۲/۳	۱۹/۴۵	۷/۶	۱۹/۰۷	اتاق تمیز/پراکنده‌سازی بار ساکن



جزئیات شکل ۱۰				
۲۰۱۱		۲۰۰۵		
۳/۶	۳۱	۱/۷	۴/۲	آتش نشانی
۲	۱۷/۲	۰/۵	۱/۲۲	محصولات مصرفی
۲/۱	۱۸	۰/۴	۱	علوم زیستی
۱/۳	۱۱/۵	۰	۰	نساجی
۴/۵	۳۸/۸	۰	۰	سایر
۱۰۰	۳۸/۸	۱۰۰/۲	۲۵۲/۹	جمع کل

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۳۵ پیش‌بینی‌های دقیق بازار

در این بخش پیش‌بینی بازار نانو کامپوزیت‌های مختلف ارائه می‌شود.

### ۱۳۵ نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس

در سال ۲۰۰۵ میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس حدود ۱۱۳۰۰ تن با ارزش تقریبی ۹۰ میلیون دلار بود. همچنین میزان مصرف این نانو کامپوزیت‌ها در سال ۲۰۰۶ به ۱۴۷۰۰ تن و ارزش ۱۱۱ میلیون دلار رسید و مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش‌بینی کرده است این میزان در سال ۲۰۱۱ به ۲۰۰۷۱ تن با ارزش ۳۹۳ میلیون دلار برسد. همچنین این مؤسسه پیش‌بینی کرده است نرخ رشد ترکیبی سالانه بازار این نانو کامپوزیت‌ها بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ از نظر وزن ۳۷ درصد و از نظر ارزش ۲۹ درصد باشد.

جدول ۱۶- پیش‌بینی فروش جهانی نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس تا سال ۲۰۱۱

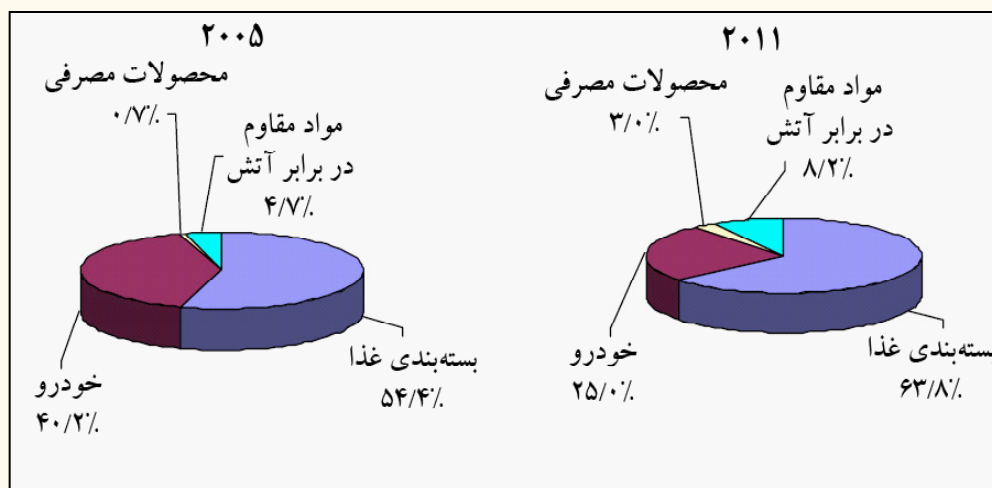
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
				نایلون/مونت‌موریلونیت
۳۳/۳	۵۴۵۷۶	۱۲۹۶۷	۱۰۱۲۸	وزن (تن)
۲۴/۶	۲۶۴/۴	۸۸/۱	۷۳/۶	ارزش (میلیون دلار)
				بوتیل / ورمیکولیت
۷۴/۲	۲۳۸۴	۱۴۹	۸۵	وزن (تن)
۶۱/۷	۱۱/۵	۱/۴۰	۰/۶۱	ارزش (میلیون دلار)
				TPO / مونت‌موریلونیت
۸۴/۶	۸۵۰۰	۳۹۷	۲۱۵	وزن (تن)
۷۳/۴	۲۵/۱	۱/۶	۰/۹	ارزش (میلیون دلار)
				EVA/مونت‌موریلونیت
۳۹/۵	۴۶۴۳	۸۷۹	۶۳۰	وزن (تن)
۳۹/۵	۳۱	۵/۸۶	۴/۲	ارزش (میلیون دلار)
				سایر نانو کامپوزیت‌های رسی
۲۸/۸	۱۰۷۳	۳۰۳	۲۳۵	وزن (تن)

جدول ۱۶- پیش بینی فروش جهانی نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس تا سال ۲۰۱۱

نوع	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۱	AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱
ارزش (میلیون دلار)	۱۰/۴	۱۳/۴	۴۷/۵	۲۸/۸
جمع کل				
وزن (تن)	۱۱۲۹۳	۱۴۶۹۴	۷۱۱۷۳	۳۷/۱
ارزش (میلیون دلار)	۸۹/۷۱	۱۱۰	۳۷۹/۵	۲۸/۱

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

در سال ۲۰۰۵ بسته‌بندی مواد غذایی و قطعات خودرو به ترتیب با در اختیار داشتن ۵۴ و ۴۰ درصد سهم بازار، بیشترین میزان سهم بازار را به خود اختصاص داده بودند. در طی همین سال مواد آتش نشانی و محصولات مصرفی نیز به ترتیب ۱ و ۵ درصد سهم بازار را در اختیار داشتند.



شکل ۱۱- میزان مصرف جهانی نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس توسط استفاده‌کنندگان نهایی، در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)

جزئیات شکل ۱۱

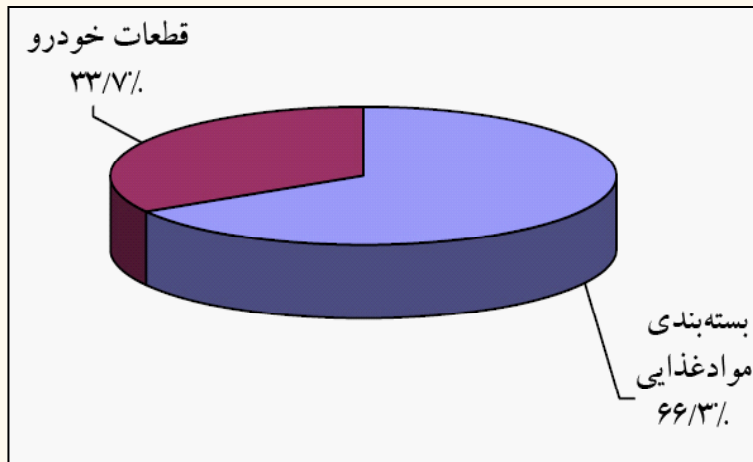
بخش	میزان مصرف در سال ۲۰۰۵		میزان مصرف در سال ۲۰۰۶	
	میلیون دلار	درصد	میلیون دلار	درصد
بسته‌بندی مواد غذایی	۴۸/۸	۵۴/۴	۲۴۲/۲	۶۳/۸
قطعات خودرو	۳۶/۱	۴۰/۲	۹۴/۸	۲۵
محصولات مصرفی	۰/۶۱	۰/۷	۱۱/۵	۳
مواد مقاوم در برابر آتش	۴/۲	۴/۷	۳۱	۸/۲
جمع کل	۸۹/۷۱	۱۰۰	۳۷۹/۵	۱۰۰

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

پیش بینی شده است بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، سهم بازار بسته‌بندی از کل بازار نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس از ۵۴ درصد به ۶۴ درصد افزایش یابد. این در حالی است که برآورد شده است سهم بازار قطعات خودرو از ۴۰ درصد در سال ۲۰۰۵ به ۲۵ درصد در سال ۲۰۱۱، کاهش خواهد یافت. همچنین پیش بینی شده است سهم بازار محصولات مصرفی و مواد مقاوم در برابر آتش افزایش یافته و به ترتیب از ۰/۷ و ۰/۵ درصد در سال ۲۰۰۵ به ۰/۳ و ۰/۸ درصد در سال ۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت.

### ۱۱۳۵ نایلون/مونت‌موریلونیت

مؤسسه تحقیقاتی BCC میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت را در سال ۲۰۰۵ حدود ۱۰۱۲۸ تن با ارزش ۷۳/۶ میلیون دلار برآورد کرده است. همچنین میزان استفاده صنعت بسته‌بندی مواد غذایی از این نوع نانو کامپوزیت‌ها در سال ۲۰۰۵ حدود ۶۶ درصد از کل مصرف بوده و مابقی سهم بازار در اختیار قطعات خودرو بوده است.



شکل ۱۲- میزان مصرف نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت در سال ۲۰۰۵ (درصد از کل مصرف براساس تن)

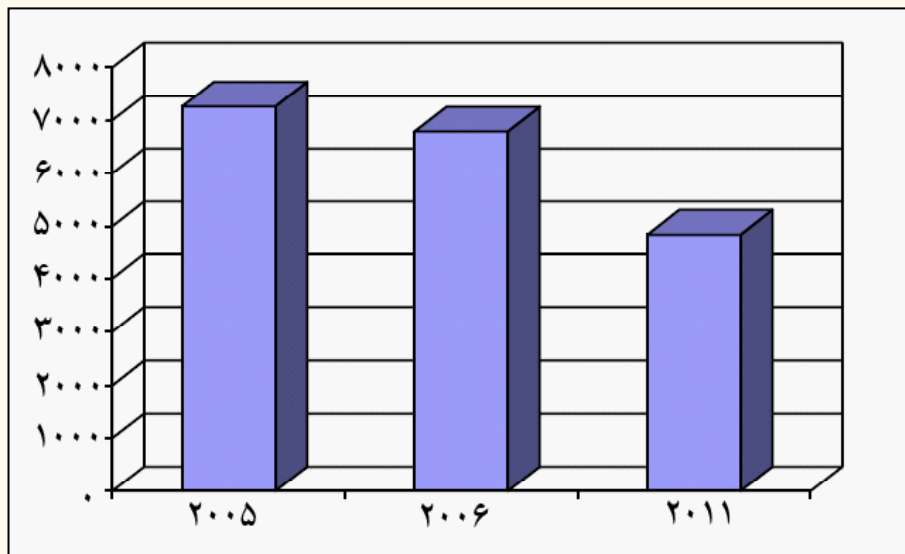
جزئیات شکل ۱۲		
بخش	میزان فروش در سال ۲۰۰۵	
	تن	درصد
قطعات خودرو	۳۴۱۳	۳۳/۷
بسته‌بندی مواد غذایی	۶۷۱۵	۶۶/۳
جمع کل	۱۰۱۲۸	۱۰۰

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

طبق آمار و ارقام مختلف که از صنایع بسته‌بندی نقل شده است، پیش بینی می‌شود که میزان کل مصرف مواد نانو کامپوزیتی برای کاربردهای بسته‌بندی (به خصوص مواد غذایی) تا سال ۲۰۱۱ به ۱۰۰ میلیون پوند افزایش یابد. انتظار می‌رود حداقل نیمی از این مواد در بسته‌بندی نوشیدنی‌ها استفاده شود، (شکل ۱۳ را ملاحظه کنید). پیش بینی می‌شود بازار نانو کامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی تا سال ۲۰۱۱ به ۵۰ میلیون تن افزایش یابد.

انتظار می‌رود تلاش‌های تحقیقاتی برای توسعه کاربردهای نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس در قطعات خودروها به خاطر هزینه نسبتاً بالای آنها، متوقف شود. در حالی که انتظار می‌رود سایر نانو کامپوزیت‌ها که هزینه پایین تری دارند، همانند TPO/مونت‌موریلونیت، بیشتر توسعه یابند. با این وجود، مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش بینی کرده است با کاهش هزینه‌های تولید نانو کامپوزیت‌های نایلون، کاربردهای جدیدی در خودروسازی برای این مواد پیدا می‌شود. براساس اطلاعات موجود در گزارش بازار نانو مواد بر اساس نوع آنها، مؤسسه BCC پیش‌بینی کرده است بازار نانو کامپوزیت‌های نایلون/خاک رس برای استفاده در قطعات خودرو با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۵ درصد تا سال ۲۰۱۱ به میزان ۴۳۵۰ تن افزایش یابد.

شکل ۱۳، پیش‌بینی‌های ذکر شده را به صورت نموداری نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با بلوغ فناوری‌ها و افزایش حجم تولید، قیمت نانو کامپوزیت‌های نایلون/خاک رس کاهش یابد. مؤسسه BCC پیش‌بینی می‌کند قیمت این نوع نانو کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱ در مقایسه با سال ۲۰۰۵ به اندازه یک سوم کاهش یابد. در سال ۲۰۰۵ قیمت هر تن از این نانو کامپوزیت‌ها ۷۲۶۶ دلار بود.



شکل ۱۳- پیش‌بینی روند تغییرات قیمت نانوکامپوزیت نایلون/خاک رس تا سال ۲۰۱۱

جزئیات شکل ۱۳ (دلار/تن)			
سال	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵
قیمت (دلار بر تن)	۴۸۴۴	۶۷۹۱	۷۲۶۶

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

میزان مصرف نانوکامپوزیت‌های نایلون/خاک رس در سال ۲۰۰۶ به ۱۰۹۶۷ تن با ارزش ۸۸/۱ میلیون دلار رسیده است. پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال ۲۰۱۱ به ۵۴۵۷۴ تن با ارزش ۲۶۴ میلیون دلار برسد. این ارقام بیانگر رشد ترکیب سالانه ۳۳ درصد از نظر وزن و ۲۵ درصد از نظر ارزش، بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ است.

جدول ۱۷- پیش‌بینی بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانوکامپوزیت‌های نایلون/مونت‌موریلونیت (وزن(تن)
۳۹/۷	۵۰۰۰۰	۹۳۸۳	۶۷۱۵	بسته بندی مواد غذایی
۵	۴۵۷۴	۳۵۸۴	۳۴۱۳	قطعات خودرو
۳۳/۳	۵۴۵۷۴	۱۲۹۶۸	۱۰۱۲۸	جمع کل
۲۴/۶	۲۶۴/۴	۸۸/۱	۷۳/۶	میلیون دلار

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

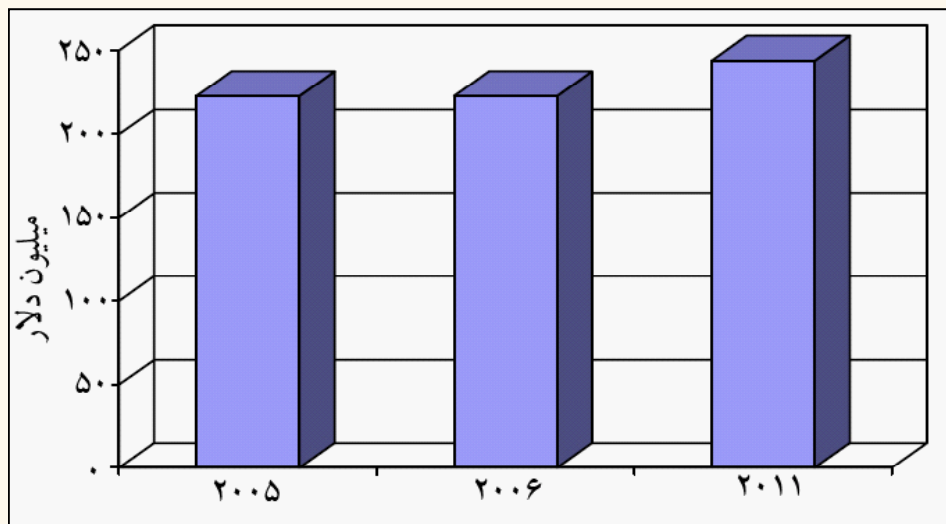
### ۲۱۳۵ بوتیل/ورمیکولیت

نانوکامپوزیت‌های بوتیل/ورمیکولیت بیشتر در کالاهای ورزشی، به خصوص به‌عنوان حائل هوا در توپ‌های تنیس و در آینده احتمالاً در توپ‌های گلف استفاده می‌شوند. طبق برآورد مؤسسه BCC مصرف نانوکامپوزیت‌های بوتیل/ورمیکولیت به‌عنوان حائل هوا در توپ‌های تنیس در سال ۲۰۰۵، حدود ۸۵ تن و به ارزش ۶۱۰۰۰۰ دلار بوده است که تقریباً ۴ درصد از کل فروش بازار جهانی توپ‌های تنیس را تحت تاثیر قرار داده است. به عبارت دیگر ارزش فروش توپ‌های تنیس مبتنی بر نانوکامپوزیت‌های بوتیل/ورمیکولیت در سال ۲۰۰۵ حدود ۳/۸ میلیون دلار از کل مبلغ ۲۲۳ میلیون دلار این بازار بود. بازار فروش توپ‌های تنیس در سال‌های اخیر با رکود مواجه بوده است به‌طوری‌که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳، سالانه ۲ درصد

کاهش یافته است. این روند در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ نسبتاً بهبود یافته و به میزان ۱/۵ درصد در سال افزایش یافته است. مؤسسه BCC معتقد است در صورتی که این روند ادامه پیدا کند، میزان فروش جهانی توپ‌های تنیس از میزان ۲۲۳ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ تا ۲۲۶ میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ و تا ۲۴۴ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت.

جدول ۱۸ - میزان فروش جهانی توپ‌های تنیس مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک تا سال ۲۰۱۱ (میلیون دلار)				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	طبقه
۱/۵	۲۲۴	۲۲۶	۲۲۳	فروش جهانی توپ‌های تنیس
۵۶	۶۱	۶۱/۶	۳/۸	فروش جهانی توپ‌های تنیس مبتنی بر نانو کامپوزیت‌ها

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



شکل ۱۴ - پیش‌بینی جهانی روندهای بازار توپ‌های تنیس، ۲۰۰۵ - ۲۰۱۱ (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

احتمالاً سهم بازار توپ‌های تنیس حاوی نانو کامپوزیت‌های رسی، افزایش خواهد یافت. بر اساس فروش شرکت Inmat، یکی از تولیدکنندگان عمده پوشاننده‌های حایل هوای مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های رسی، مؤسسه BCC پیش‌بینی می‌کند تا سال ۲۰۱۱، این محصول حداقل ۲۵ درصد از سهم بازار را کسب کند و ارزش فروش آنها به ۶۱ میلیون دلار برسد. مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش‌بینی می‌کند با افزایش حجم تولید، قیمت بوتیل / ورمیکولیت از سطح ۷۱۵۰ دلار در سال ۲۰۰۵ به ۷۰۰۰ دلار در سال ۲۰۰۶ و ۴۸۲۵ دلار در سال ۲۰۱۱ کاهش یابد. طبق برآوردها مصرف جهانی مواد حایل هوای مبتنی بر نانو کامپوزیت بوتیل / ورمیکولیت در سال ۲۰۰۶ حدود ۱۴۸/۶ تن و به ارزش ۱/۰۴ میلیون دلار است. همچنین پیش‌بینی می‌شود این رقم برای سال ۲۰۱۱ حدود ۲۲۸۳/۶ تن با ارزش ۱۱/۵ میلیون دلار باشد. بر این اساس، نرخ رشد ترکیبی سالانه این محصولات بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ از نظر ارزش ۷۴/۲ و از نظر وزن ۶۱/۷ درصد است.

جدول ۱۹ - میزان فروش جهانی نانو کامپوزیت‌های بوتیل / ورمیکولیت تا سال ۲۰۱۱				
AAGR درصد ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های بوتیل ورمیکولیت
۷۴/۱	۲۳۸۴	۱۴۹	۸۵	وزن (تن)
۶۱/۷	۱۱/۵	۱/۰۴	۰/۱۶	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



### ۳۱۳۵ TPO/مونتموریلونیت

در سال ۲۰۰۵، صنعت خودروسازی میزان ۲۱۵ تن نانو کامپوزیت TPO/خاک رس را به ارزش ۹۰۰ هزار دلار مصرف کرد. از این میزان حدود ۵۰۰ هزار پوند توسط شرکت جنرال موتور و به عنوان زه کناری خودروی GM Chevrolet Implant، حدود ۴۰ هزار پوند نیز توسط شرکت Humer H SUT به عنوان کفی بار مصرف شد. همچنین، ۴۰ هزار پوند دیگر نیز توسط شرکت Blackhawk برای پله ون استفاده شد.

هیچ اطلاعات خاصی در مورد برنامه‌های شرکت جنرال موتور یا دیگر خودروسازان در زمینه استفاده این شرکت‌ها از کامپوزیت‌های TPO/نانو خاک رس وجود ندارد. ولی خودروسازان از کامپوزیت‌های TPO/نانو رس به عنوان یک راه حل تجاری ارزشمند برای الزامات مواد خاص، استفاده خواهند کرد.

یکی از جذابیت‌های کامپوزیت‌های نانو رس/TPO قیمت پایین آنها است. این مواد به قیمت هر تن ۴۴۰۰ دلار در مقایسه با جایگزین‌های خود مانند کامپوزیت‌های نایلون/نانو رس قیمت بسیار پایین‌تری دارند. در صورتی که انتظار می‌رود قیمت کامپوزیت‌های نانو رس/TPO مانند سایر انواع نانو کامپوزیت‌های رسی در سال ۲۰۱۱ به میزان یک سوم قیمت خود در سال ۲۰۰۵ کاهش یابد؛ یعنی حدوداً به ۲۹۵۰ دلار به ازای هر تن برسد.

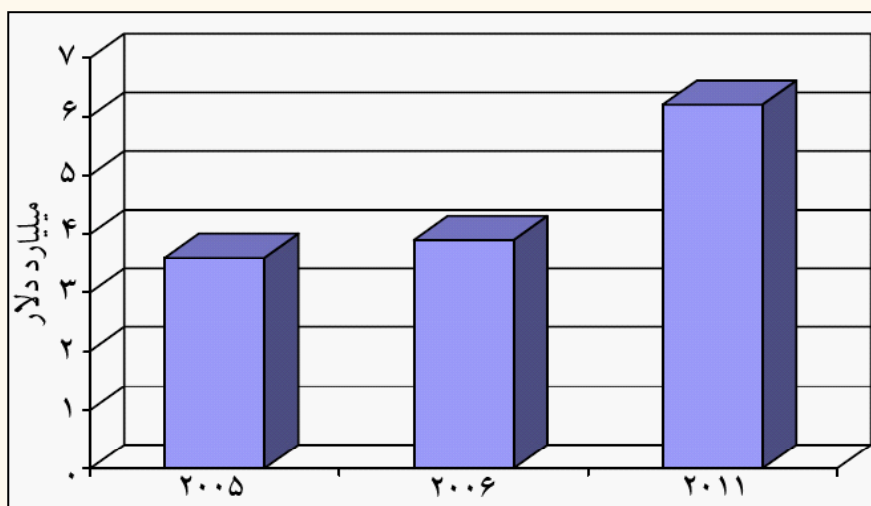
به طور کلی صنعت خودروسازی سالانه بین ۱۶۰ تا ۱۸۰ هزار تن TPO و کامپوزیت‌های TPO مصرف می‌کند، رقمی که انتظار می‌رود در طی سال‌های آتی افزایش داشته باشد. تقریباً ۱۰ درصد (۱۶ تا ۱۸ هزار تن) از مجموع نانو کامپوزیت‌های TPO در نمای ظاهری خودروها استفاده می‌شوند. به نظر می‌رسد این کاربرد برای کامپوزیت‌های TPO/نانو خاک رس نسبت به دیگر کامپوزیت‌های TPO بسیار مناسب‌تر است. در آینده از نانو کامپوزیت‌های TPO برای ساخت داشبورد نیز استفاده می‌شود. مجموع مقدار نانو کامپوزیت‌های TPO مورد استفاده در داشبوردها و سپر خودروها، حدود نیمی از کل بازار TPO، یعنی ۸۰ تا ۹۰ هزار تن را در سال به خود اختصاص می‌دهند.

کامپوزیت‌های TPO/نانو خاک رس در حال رقابت برای کسب سهم بیشتر از بازاری هستند که سالانه ۶۰ هزار تن تقاضا دارد. با توجه به سهم این بازار در سال ۲۰۰۵، کسب سهم بازار بیشتر تا سال ۲۰۱۱ بسیار دشوار است. مؤسسه BCC پیش‌بینی می‌کند سهم بازار نانو کامپوزیت‌های TPO حداکثر ۸۵۰۰ تن (۱۰ درصد بازار) و به ارزش ۲۵/۱ میلیون دلار باشد.

جدول ۲۰- بازار جهانی نانو کامپوزیت‌های مونتموریلونیت TPO/ تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های مونتموریلونیت TPO/
۸۴/۶	۸۵۰۰	۳۹۶/۸	۲۱۵	وزن (تن)
۷۳/۴	۲۵/۱	۱/۶	۰/۹	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



شکل ۱۵- روندهای بازارهای جهانی مواد آتش‌نشانی از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیارد دلار)

### ۴۱۳۵ مونت‌موریلونیت / EVA

طبق برآورد مؤسسه تحقیقاتی BCC در سال ۲۰۰۵ کل مصرف جهانی مونت‌موریلونیت / EVA در کاربردهای آتش‌نشانی حدود ۶۳۰ تن با ارزش ۴/۲ میلیون دلار بوده است و این میزان سهم بازار در مقایسه با کل بازار ۳/۳ میلیارد دلاری مواد آتش‌نشانی، نرخ رشد ترکیبی سالانه ۹ تا ۱۰ درصد دارد. براساس اطلاعات صنعت، پیش‌بینی می‌شود بازار جهانی مواد آتش‌نشانی با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۹ تا ۱۰ درصد، از رقم ۳/۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۶ به ۶/۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۱ افزایش یابد.

طبقه	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۱	AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱
فروش مواد آتش‌نشانی	۳/۶	۳/۹	۶/۲	۹/۷

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

میزان فروش مواد آتش‌نشانی مبتنی بر نانو کامپوزیت مونت‌موریلونیت / EVA به تغییر روند مصرف مواد آتش‌نشانی هالوژنی بستگی دارد. تاکنون روند رشد بازار مصرف مواد آتش‌نشانی مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های مونت‌موریلونیت بسیار کند بوده است، ولی مؤسسه BCC پیش‌بینی کرده است در ۵ سال آینده سهم بازار این مواد به سرعت افزایش یابد. برای نشان دادن پتانسیل رشد بازار مونت‌موریلونیت / EVA، باید خاطر نشان کرد که سهم بازار آنها از ۰/۱ درصد در سال ۲۰۰۵ به ۰/۵ درصد در سال ۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر ارزش بازار این مواد از ۴/۲ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به ۳۱ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت. این ارقام بیانگر نرخ رشد ترکیبی سالانه ۳۹ درصد بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ است. مؤسسه BCC انتظار ندارد قیمت متوسط مواد آتش‌نشانی مبتنی بر مونت‌موریلونیت / EVA به طور چشمگیری تغییر یابد، ولی پیش‌بینی می‌کند حجم فروش آنها به‌طور نسبی افزایش یابد.

نانو کامپوزیت‌های مونت‌موریلونیت / EVA	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۱	AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱
وزن (تن)	۶۳۰	۸۷۸/۹	۴۶۴۲/۹	۳۹/۵
ارزش (میلیون دلار)	۴/۲	۵/۸۶	۳۱	۳۹/۵

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۵۱۳۵ سایر نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس

بازار مقادیر کوچکتری از سایر انواع نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس مانند پلی پروپان / مونت‌موریلونیت، استال مونت‌موریلونیت، پلی کربنات / مونت‌موریلونیت و نایلون / میکا فلوئورید را نیز جذب می‌کند. طبق برآورد مؤسسه BCC مصرف جهانی مجموع این نوع نانو کامپوزیت‌ها در سال ۲۰۰۵ حدود ۲۳۵ تن به ارزش ۱۰/۴ میلیون دلار بوده است. بسیاری از این نانو کامپوزیت‌ها در تولید قطعات خودرو استفاده می‌شوند و مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش‌بینی می‌کند مصرف این مواد به میزان مصرف مورد انتظار نانو کامپوزیت‌های مونت‌موریلونیت / TPO و نایلون بستگی دارد. انتظار می‌رود قیمت متوسط این نوع نانو کامپوزیت‌ها به علت مصرف نسبتاً کم آنها، ثابت بماند. میزان استفاده از سایر انواع نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر خاک رس در سال ۲۰۰۶ به ۳۰۳ تن و ارزش ۱۳/۴ میلیون دلار رسید و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۱۱ به ۱۰۷۳ تن و ارزش ۴۷/۵ میلیون دلار برسد. این ارقام بیانگر نرخ رشد ترکیبی سالانه ۲۸/۸٪ از نظر حجم و ارزش است.

سایر نانو کامپوزیت‌های خاک رس	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۱	AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱
وزن (تن)	۲۳۵	۳۰۲/۷	۱۰۷۲/۹	۲۸/۸
ارزش (میلیون دلار)	۱۰/۴	۱۳/۴	۴۷/۵	۲۸/۸

درصدها ممکن است به‌خاطر روند کردن آنها دقیق محاسبه نشده باشند. / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۲۳۵ نانو کامپوزیت سرامیکی

این بخش در برگیرنده پیش بینی های و بازار نانو کامپوزیت های سرامیکی است.  
خلاصه:

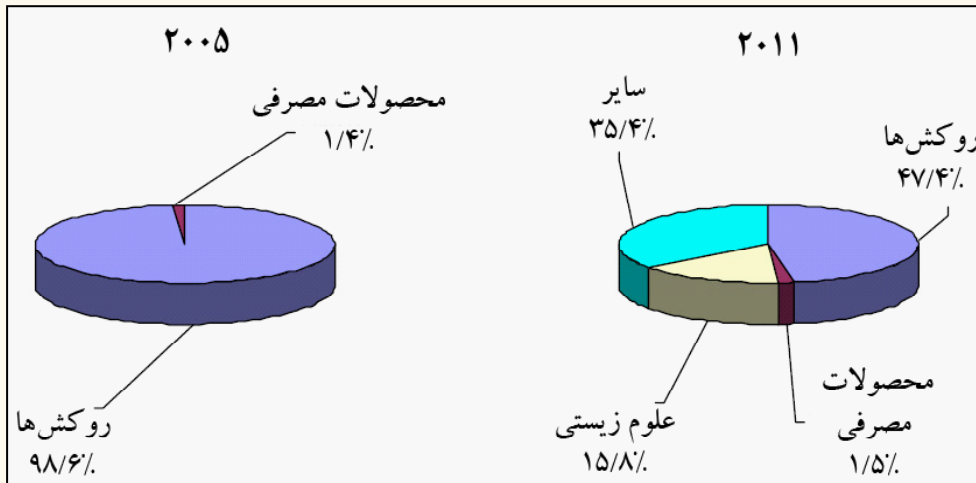
در سال ۲۰۰۵ میزان کل بازار جهانی نانو کامپوزیت های حاوی سرامیک حدود ۶۲۰۰ تن با ارزش ۲۵/۴ میلیون دلار بود. برآورد می شود این ارقام تا سال ۲۰۱۱ تا ۱۳۴۰۰ تن با ارزش ۹۹ میلیون دلار افزایش یابند. این ارقام بیانگر نرخ رشد ترکیبی سالانه ۱۴/۴ درصد از نظر وزن، و ۲۸/۸ درصد از نظر ارزش، بین سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ است. در سال ۲۰۰۵ بیشتر نانو کامپوزیت های سرامیکی (۹۸/۶ درصد) در زمینه پوشش های صنعتی (سطوح براق و پوشش های دریایی) استفاده شده اند. ۱/۴ درصد باقی مانده نیز در محصولات مانده راکت های تنیس به کار رفته اند. انتظار می رود سهم بازار محصولات مصرفی تا سال ۲۰۱۱ به ۱/۵ درصد برسد. همچنین پیش بینی می شود کاربردهای نوظهور علوم زیستی، تقریباً ۱۶ درصد سهم بازار را کسب کنند.

جدول ۲۴- پیش بینی بازار جهانی نانو کامپوزیت های سرامیکی، تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
پلی اتان/آلومینا				
۱۰	۱۰۹۶۰	۶۸۱۸	۶۱۷۸	وزن (تن) *
۱۰	۴۲/۹	۲۶/۶	۲۴/۲	ارزش (میلیون دلار)
آلومینا/تیتانیا				
۲/۳۹	۶۸	۱۳	۹	وزن (تن)
۳۱	۴	۱/۰۳۵	۰/۷۹۲	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت های سیلیکا/اپوکسی/کربن				
۳۹/۸	۱۶	۳	۳	وزن (تن)
۳۱	۱/۵	۰/۳۴	۰/۳۶	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت های فسفات کلسیم/سیلیکا				
۳۹/۸	**N.A	۰	۰	وزن (تن)
۳۴/۶	۱۵/۶	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت های کربید تنگستن				
۰	۲۳۳	۰	۰	وزن (تن)
۰	۳۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
جمع کل				
۱۴/۴	۱۳۳۷۷	۶۸۳۴	۶۱۹۹	وزن (تن)
۲۸/۸	۹۹	۲۷/۹۷۵	۲۵/۳۵۲	ارزش (میلیون دلار)

\*بر مبنای دانسیته تقریبی ۷/۵ پوند بر گالن / \*\*موجود نیست / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

به نظر می رسد دیگر کاربردهای نوظهور مانند ابزارهای برشی و قطعات پوششی، بیش از ۳۵ درصد سهم بازار را تا سال ۲۰۱۱ کسب کنند. این کاربردهای جدید بازار کاربردهای پوششی را تا ۴۷ درصد کاهش خواهند داد.



شکل ۱۶- میزان مصرف جهانی نانو کامپوزیت‌های سرامیکی توسط مصرف‌کنندگان نهایی در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)

جزئیات شکل ۱۶ (درصد)				
۲۰۱۱		۲۰۰۵		بخش
درصد	میلیون دلار	درصد	میلیون دلار	
۴۷/۴	۴۶/۹	۹۸/۶	۲۵	پوشش‌ها
۱/۵	۱/۵	۱/۴	۰/۳۵	محصولات مصرفی
۱۵/۸	۱۵/۶	۰	۰	علوم زیستی
۳۵/۴	۳۵	۰	۰	سایر
۱۰۱	۹۹	۱۰۰	۲۵/۳۵	جمع کل

به خاطر روند کردن اعداد جمع کل ممکن است دقیق نباشد. / منبع: مؤسسات تحقیقاتی BCC

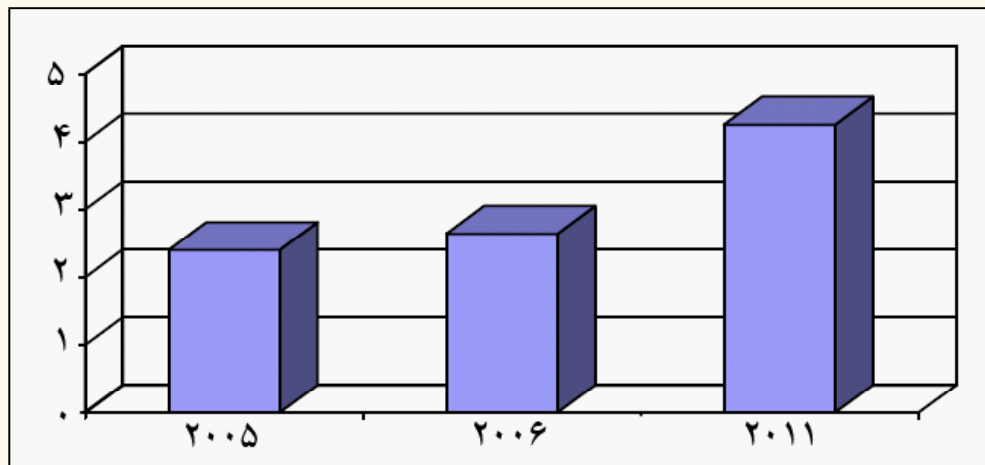
### پلی اورتان/آلومینا (۱ ۲ ۳ ۵)

مواد براق‌کننده سطوح، بزرگترین بازار نانو کامپوزیت‌های پلی اورتان / آلومینا هستند. در حالی که سازندگان این پوشش‌ها، آمار فروش خود را افشا نمی‌کنند، مؤسسه BCC حجم بازار آنها را در سال ۲۰۰۵ حدود ۱/۸ میلیون گالن، به ارزش ۲۴ میلیون دلار برآورد کرده است.

بازار پوشش‌های سطوح براق، در حال بلوغ است؛ بنابراین انتظار می‌رود قیمت متوسط آنها طی چند سال آینده تغییر زیادی نکند. در نتیجه پیش‌بینی می‌شود نرخ رشد مصرف پوشش‌های نانو کامپوزیت پلی اورتان / آلومینا تقریباً مانند نرخ رشد بازار سطوح چوبی براق باشد که در سال ۲۰۰۵ ارزش بازار آنها ۲/۴ میلیارد دلار بوده است و انتظار می‌رود با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۱۰ درصد در سال ۲۰۰۶ به ۲/۶ میلیارد دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۴/۳ میلیارد دلار افزایش یابد.

جدول ۲۵- پیش‌بینی فروش جهانی سطوح چوبی براق تا سال ۲۰۱۱				
AAGR%	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	طبقه
۲۰۰۶-۲۰۱۱	۴/۲۵	۲/۶۴	۲/۴۰	میزان فروش سطوح چوبی براق

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



شکل ۱۷- روندهای بازار جهانی برای سطوح چوبی براق، ۲۰۰۵-۲۰۱۱، (میلیارد دلار).

به طور متناسب برآورد می شود بازار پوشش های سطوح نانو کامپوزیت پلی اورتان/آلومینا در سال ۲۰۰۶ به ۲ میلیون گالن و ارزش ۲۶/۶ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۳/۲ میلیون گالن و ارزش ۴۲/۹ میلیون دلار افزایش یابد.

جدول ۲۶- میزان فروش بازار جهانی نانو کامپوزیت های پلی اورتان /آلومینا تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت های پلی اورتان آلومینا
۱۰	۳/۲۱۵	۲	۱/۸۱۵	میلیون گالن
۱۰	۱۰۹۶۰۲/۲	۶۸۱۸/۲	۶۱۸۷/۵	وزن (تن) *
۱۰	۴۲/۹	۲۶/۶	۲۴/۲	ارزش (میلیون دلار)

\*بر پایه دانسیته ۷/۵ پوند بر گالن / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۲۲۳۵ آلومینا/تیتانیا

در حال حاضر بیشتر نانو کامپوزیت های آلومینا/تیتانیا در پوشش های دریایی استفاده می شوند. مؤسسه تحقیقاتی BCC میزان مصرف این پوشش ها را در سال ۲۰۰۵ حدود ۹ میلیون تن و ارزش ۷۹۲ هزار دلار (قیمت متوسط هر پوند ۳۰ تا ۵۰ دلار) برآورد کرده است. بیشتر این مواد به وسیله نیروهای نظامی آمریکا و به خصوص در زمینه کاربردهای دریایی مصرف می شوند. همان طور که قبلاً بیان شد، بازارهای تجاری آینده پوشش های گرمایی نانو کامپوزیت ها، به قیمت آنها بستگی دارد. در حال حاضر با توجه به قیمت های فعلی آنها، این بازار فقط به کاربردهای خاص محدود می شود. دیگر کاربردهای بالقوه پوشش های پاششی گرمایی نانو کامپوزیت ها، عایق های حرارتی موتورهای توربین زمینی و هواپیما و همچنین جایگزین کردن فناوری روکش کروم با اکسید کروم پاششی گرمایی هستند. مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش بینی می کند میزان مصرف پوشش های پاششی گرمایی نانو کامپوزیت با نرخ رشد ترکیبی سالانه حدود ۴۰ درصد تا سال ۲۰۱۱، به سرعت توسعه یابند. به عنوان یکی از پیامدهای منطقی این پیش بینی، قیمت مواد نانو کامپوزیت حداقل ۳۰ درصد و تا ۲۰ تا ۳۰ دلار به ازای هر پوند تا سال ۲۰۱۱ کاهش خواهد یافت. با توجه به موارد مطرح شده انتظار می رود بازار پوشش های نانو کامپوزیت آلومینا/تیتانیا در سال ۲۰۰۶، ۱۲/۶ تن و ارزش ۱ میلیون دلار، و تا سال ۲۰۱۱ به ۶۷/۸ تن با ارزش ۴ میلیون دلار افزایش یابد. این ارقام بیانگر نرخ رشد ترکیبی سالانه ۴۰ درصد از نظر حجم و ۳۱ درصد از نظر ارزش طی ۵ این سال است.

جدول ۲۷- میزان فروش جهانی نانو کامپوزیت های آلومینا / تیتانیا تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت های آلومینا/ تیتانیا
۴۰	۶۷/۸	۱۲/۶	۹	وزن (تن)
۳۱	۴	۱/۰۳۵	۰/۷۹۲	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



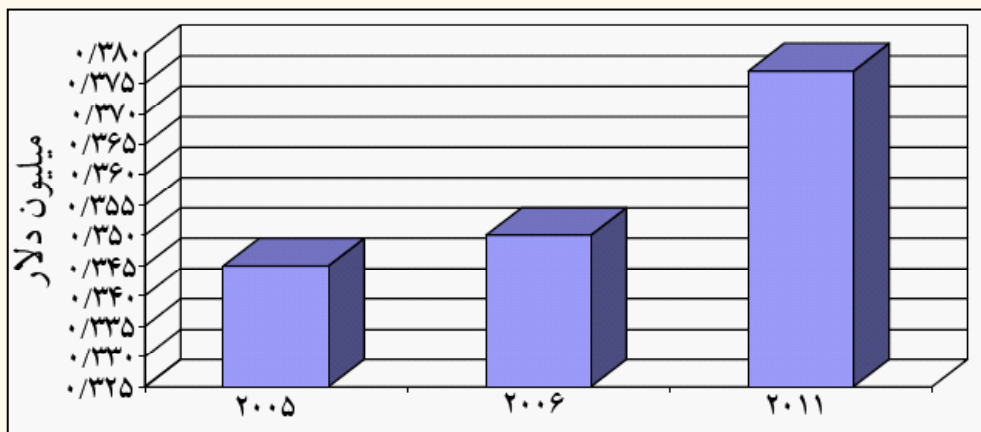
### ۵۳۳۳ اپوکسی / کربن / سیلیکا

نانو کامپوزیت‌های سیلیکا/کربن/اپوکسی بیشتر در راکت‌های تنیس، به‌خصوص توسط شرکت Wilson nCode استفاده می‌شوند. مؤسسه BCC میزان فروش این راکت‌ها را حدود ۱/۸ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵، تخمین می‌زند. این مواد تقریباً ۲۰ درصد از ارزش راکت‌های تنیس را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین ارزش فروش آنها در سال ۲۰۰۵ حدود ۳۶۰ هزار دلار برآورد می‌شود.

قیمت مدل‌های مختلف تولیدی این شرکت حدوداً ۱۰۰ تا ۳۰۰ دلار برآورد می‌شود. در صورتی که هزینه متوسط هر راکت ۲۰۰ دلار باشد، این شرکت حدود ۹۰۰۰ راکت فروخته است. وزن متوسط راکت‌ها حدود ۱۰ اونس است که بیشتر آنها از این کامپوزیت‌ها تشکیل شده‌اند. بنابراین میزان مصرف سیلیکا / کربن / اپوکسی در راکت‌های این شرکت حدود ۹۰ هزار اونس یا ۲/۵۶ تن است.

افزایش میزان فروش راکت‌های تنیس مبتنی بر نانو کامپوزیت سرمایه‌یک، تابع روندهای کلی این بازار و نیز توانایی راکت‌های مبتنی بر نانو کامپوزیت برای کسب سهم بیشتر از این بازار است.

اطلاعات حاصل از منابع صنعتی نشان می‌دهد بازار جهانی راکت‌های تنیس در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳، بیش از ۸ درصد کاهش یافته و با افزایش حدود ۱/۵ درصدی در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ مجدداً این بازار تا حدی احیا شده است. اگر این روند ادامه داشته باشد، میزان فروش جهانی راکت‌های تنیس در سال ۲۰۰۶ به ۳۵۰ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۳۷۷ میلیون دلار افزایش خواهد یافت.



شکل ۱۸- روندهای بازار جهانی راکت‌های تنیس ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیارد دلار).

جزئیات شکل ۱۸				
AAGR%	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	طبقه
۲۰۰۶-۲۰۱۱				
۱/۵	۰/۳۷۷	۰/۳۵۰	۰/۳۴۵	کل فروش راکت‌های تنیس

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

در سال ۲۰۰۵، شرکت Wilson nCode حدود ۰/۵ درصد سهم بازار جهانی راکت‌های تنیس را از نظر ارزش، در اختیار داشت. براساس اطلاعات گزارش "319-GB" که توسط مؤسسه تحقیقاتی BCC منتشر شده است، انتظار می‌رود سهم بازار راکت‌های مبتنی بر نانو کامپوزیت سرمایه‌یک، همان‌طور که Wilson nCode انتظار دارد، تا سال ۲۰۱۱، به ۳ درصد افزایش یابد. هزینه نانو کامپوزیت‌های اپوکسی / کربن / سیلیکا که در ساخت راکت‌های این شرکت به کار می‌روند، در حال حاضر ۶۳ دلار به ازای هر پوند است. این قیمت تا حدی ناشی از حجم تولید کم آنها است. پیش‌بینی کاهش قیمت این مواد همزمان با افزایش حجم تولید آنها بسیار دشوار است. به عبارت دیگر نمی‌توان انتظار داشت افزایش حجم تولید این نوع نانو کامپوزیت‌ها، قیمت آنها را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین انتظار می‌رود مصرف آنها تا سال ۲۰۱۱ به کندی افزایش یابد.

مؤسسه BCC برآورد می‌کند قیمت متوسط نانو کامپوزیت‌ها به ازای هر پوند، بین سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ حدود ۳۳ درصد کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر قیمت متوسط آنها از ۶۳ دلار به ازای هر پوند به ۴۲ دلار می‌رسد.

براساس این اطلاعات، میزان مصرف نانو کامپوزیت‌های اپوکسی / کربن / سیلیکا در ساخت راکت‌های تنیس در سال ۲۰۰۶، حدود ۲/۶ تن و ارزش ۳۶۵ هزار دلار بوده و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۱۱ به ۱۶/۱ تن و ارزش ۱/۸ میلیون دلار افزایش

یابد. این ارقام بیانگر رشد ترکیبی سالانه ۴۳/۷ درصد تن از نظر وزن و ۳۸/۳ درصد از نظر ارزش است.

جدول ۲۸- بازار جهانی نانو کامپوزیت های سیلیکا / اپوکسی / کربن تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت های / کربن / سیلیکا / اپوکسی
۴۳/۷	۱۶/۱	۲/۳۶	۲/۶	وزن (تن)
۳۴/۶	۱/۵	۰/۳۴۰	۰/۳۶	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

#### ۴۲۳۵ کلسیم فسفات / سیلیکا

نانو کامپوزیت سیلیکا/ کلسیم فسفات به عنوان مواد جایگزین استخوان توسط حداقل یک شرکت به نام Osstech of Lexington Kentucky توسعه یافته است.

پیش بینی می شود بازار جهانی پیوند استخوان تا سال ۲۰۱۱ حداقل به ۲/۵ میلیارد دلار برسد. جایگزین های استخوان مبتنی بر فناوری نانو که نانو کامپوزیت ها را در بر می گیرد، برای کسب سهم بیشتر از این بازار، با استخوان های طبیعی و نیز پیوندهای استخوان مصنوعی ما کرو مقیاس، رقابت می کنند. بر آورد می شود تمام استخوان های مصنوعی ممکن است ۲۵ درصد سهم کل بازار (با ارزش ۶۲۵ میلیون دلار) را به خود اختصاص دهند که نصف این سهم (یعنی ۳۱۲/۵ میلیون دلار) متعلق به جایگزین های استخوان مبتنی بر فناوری نانو خواهد بود. (برای کسب اطلاعات بیشتر به گزارش «329-GB»، فناوری نانو در کاربردهای علوم زیستی» مراجعه کنید)، جایگزین های استخوان مبتنی بر فناوری نانو مانند Vitoss (محصول شرکت Ortheovita) که از سال ۲۰۰۰ وارد بازار شده است. در مقایسه با محصولات مبتنی بر نانو کامپوزیت مانند OsteONE (که باید هنوز آزمایش های خود را تکمیل کند)، مزایای بسیار زیادی دارند.

این گزارش پیش بینی می کند تا سال ۲۰۱۱، مواد نانو کامپوزیتی جایگزین استخوان باید بتوانند ۵ درصد از سهم کل بازار مواد جایگزین استخوان مبتنی بر فناوری نانو (یعنی ۱۵/۶ میلیون دلار) را کسب کنند.

جدول ۲۹- میزان بازار جهانی جایگزین های استخوان مبتنی بر نانو کامپوزیت های سیلیکا/ فسفات/ کلسیم تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت های سیلیکا/ فسفات کلسیم
۰	NA	۰	۰	وزن (میلیون تن)
۰	۱۵/۶	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

\*موجود نیست / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

#### ۵۲۳۵ نانو کامپوزیت های کرید تنگستن / کبالت

سیمان کرید تنگستن دارای اهمیت جهانی است. میزان فروش جهانی ادوات مبتنی بر کرید تنگستن سالانه حدود ۹ تا ۱۰ میلیارد دلار است که با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۳ تا ۴ درصد افزایش می یابد. با این نرخ، تا سال ۲۰۱۱ بازار سیمان کرید تنگستن به بیش از ۱۱ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت.

مؤسسه BCC میزان مصرف سیمان کرید تنگستن برای ساخت این ابزارها را حدود ۳/۵ میلیارد دلار بر آورد می کند. پیش بینی اینکه نانو کامپوزیت های کرید تنگستن تا چه حد در کسب سهم بیشتر از این بازار تا سال ۲۰۱۱ موفق خواهند بود، بسیار دشوار است. اما در مجموع بر آورد سهم بازار ۱ درصدی (۳۵ میلیون دلار) تا حدی یک تخمین حداقل و محتاطانه است. برای پیش بینی میزان بازار نانو کامپوزیت های کرید تنگستن، مؤسسه BCC، ارزش میانگین ۱۵ هزار دلار را برای هر تن در نظر می گیرد. این آمار و ارقام از اطلاعات قیمت کرید تنگستن از سایت metalprices.com گرفته شده است.

جدول ۳۰- بازار جهانی نانو کامپوزیت های کرید تنگستن تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت کرید تنگستن
۰	۲۳۳۳	۰	۰	وزن (میلیون تن)
۰	۳۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۳۳۵ کامپوزیت‌های نانولوله کربنی

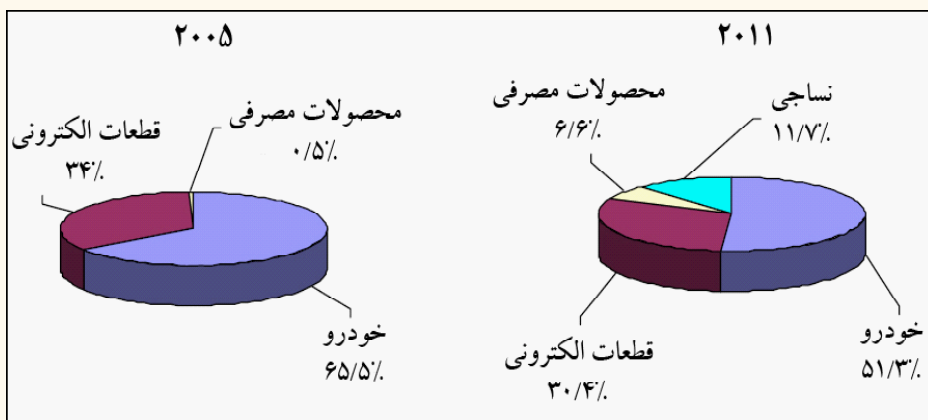
این بخش شامل تخمین بازار و پیش بینی بازار مالی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی است.  
خلاصه

مؤسسه BCC، میزان مصرف جهانی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی را در سال ۲۰۰۵ حدود ۳۴۵۴ تن با ارزش ۵۶ میلیون دلار برآورد می‌کند. انتظار می‌رود این رقم در سال ۲۰۰۶ به ۳۶۶۶ تن با ارزش ۵۶ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به رقم ۴۹۶۶ تن با ارزش ۶۴ میلیون دلار افزایش یابد. همچنین نرخ رشد ترکیبی سالانه بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ از نظر وزن حدود ۶ درصد و از نظر ارزش ۶/۳ درصد پیش بینی می‌شود.

جدول ۳۱- پیش بینی میزان فروش جهانی کامپوزیت‌های نانولوله کربنی تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
نایلون/MWNT				
۵/۵	۲۵۲۹	۱۹۳۳	۱۸۳۴	وزن (تن)
-۱/۶	۲۵/۹	۲۸/۱	۲۸/۵	ارزش (میلیون دلار)
PC/MWNT				
۷/۵	۱۶۵۹	۱۱۵۶	۱۰۷۵	وزن (تن)
۰/۲	۱۷	۱۶/۸	۱۶/۷	ارزش (میلیون دلار)
PBT/MWNT				
۷/۵	۱۶۶	۱۱۶	۱۰۷	وزن (تن)
۰/۶	۲/۴۵	۲/۳۸	۲/۳۷	ارزش (میلیون دلار)
کامپوزیت‌های نانولوله PPE				
۴	۵۵۲	۴۵۳	۴۳۶	وزن (تن)
-۲/۹	۶/۹	۸	۸/۲	ارزش (میلیون دلار)
کامپوزیت‌های اپوکسی/کربن/نانولوله				
-۴۹/۴	۶۰	۸	۲	وزن (تن)
۴۰/۳	۳/۷	۰/۶۸	۰/۱۵۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت‌های فولرین/پلی‌اورتان				
۰	NA*	NA*	NA*	وزن (تن)
۳۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱	ارزش (میلیون دلار)
الیاف PVOH/SWNT				
۰	NA*	۰	۰	وزن (تن)
۰	۷/۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
جمع کل				
۶	۴۹۶۶	۳۶۶۶	۳۴۵۴	وزن (تن)
۶/۳	۶۳/۹۵	۵۶/۰۶	۵۶/۰۲	ارزش (میلیون دلار)

کاربردهای خودروسازی تقریباً دو سوم میزان کل مصرف کامپوزیت‌های نانولوله کربنی را در سال ۲۰۰۵، به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن مابقی سهم بازار را در اختیار داشتند. در همین سال محصولات مصرفی (به خصوص کالاهای ورزشی) حدود ۰/۵ درصد بازار را در اختیار داشتند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۱، سهم کاربردهای خودروسازی از کل مصرف کامپوزیت‌های نانولوله کربنی تا میزان ۵۱ درصد کاهش یابد، در حالی که سهم کاربردهای پراکنده‌سازی بار ساکن تا ۳۰ درصد و سهم محصولات مصرفی تا ۷ درصد افزایش یابد. همچنین پیش‌بینی می‌شود کاربردهای جدید برای منسوجات هوشمند، ۱۲ درصد از بازار را در اختیار خواهند گرفت.



شکل ۱۹- بازار جهانی کامپوزیت‌های مبتنی بر نانولوله‌های کربنی، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)

جزئیات شکل ۱۹

بخش	۲۰۱۱		۲۰۰۵	
	درصد	میلیون دلار	درصد	میلیون دلار
قطعات خودرو	۵۱/۳	۳۲/۸	۶۵/۵	۳۶/۷
الکترونیک/اتاق تمیز	۳۰/۴	۱۹/۴۵	۳۴	۱۹/۰۷
محصولات مصرفی	۶/۶	۴/۲	۰/۵	۰/۲۵
نساجی	۱۱/۷	۷/۵	۰	۰
جمع کل	۱۰۰	۶۳/۹۵	۱۰۰	۵۶/۰۲

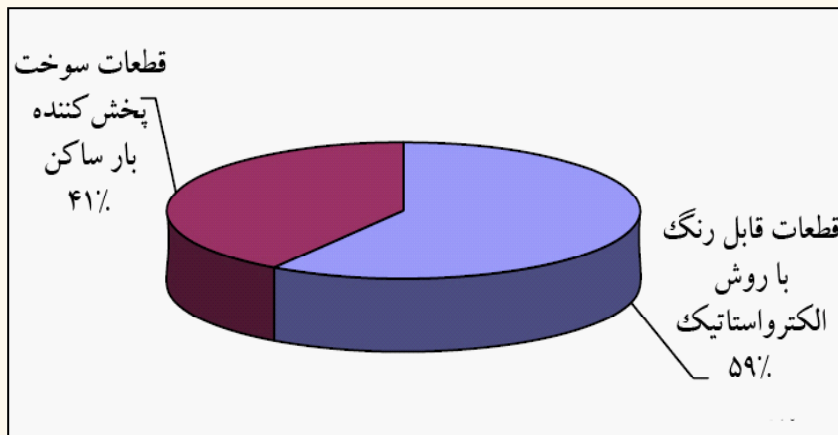
منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۱۳۳۵ نانو کامپوزیت‌های نایلون / MWNT

در سال ۲۰۰۵، صنعت خودروسازی حدود ۱۸۳۴ تن از نانو کامپوزیت‌های نایلون / MWNT را به ارزش تقریبی ۲۸/۵ میلیون دلار، مصرف کرد. مؤسسه BCC برآورد می‌کند نزدیک به ۶۰ درصد از این نانو کامپوزیت‌ها برای تولید قطعات قابل رنگ با روش الکتروستاتیک و مابقی نیز برای قطعات سیستم سوخت استفاده شده‌اند.

مؤسسه BCC انتظار دارد بازار کامپوزیت‌های نانولوله / نایلون برای قطعات قابل رنگ با روش الکتروستاتیک، حداقل با سرعت رشد بازار رنگ‌های الکترواستاتیک، یعنی سالانه بیش از ۴ درصد رشد کند. پیش‌بینی می‌شود میزان مصرف کامپوزیت‌های نانولوله / نایلون برای خطوط سوخت و سایر عناصر سیستم سوخت پراکنده‌ساز بار ساکن سریع‌تر و با میزان سالانه حدود ۷/۵ درصد رشد کند.

در سال ۲۰۰۵، قیمت متوسط کامپوزیت‌های نانولوله / نایلون مورد استفاده در خودروسازی، حدود ۱۵۵۶۰ دلار به ازای هر تن بود. همزمان با بلوغ فناوری و افزایش تولید باید این قیمت کاهش یابد و انتظار می‌رود این قیمت در سال ۲۰۰۶ به ۱۴۵۱۰ و در سال ۲۰۱۱ به ۱۰۲۳۵ دلار به ازای هر تن برسد.



شکل ۲۰ - میزان بازار خودروسازی برای کامپوزیت‌های نانولوله/ نایلون، ۲۰۰۵ (درصد از کل فروش)

جزئیات شکل ۲۰		
بخش	میلیون دلار	درصد
قابل رنگ با روش الکترواستاتیک	۱۶/۹	۵۹
قطعات سیستم سوخت پراکنده‌ساز بار ساکن	۱۱/۶	۴۱
جمع کل	۲۸/۵	۱۰۰

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

بنابراین میزان مصرف کامپوزیت‌های نانولوله/ نایلون از نظر حجم باید از ۱۸۳۴ تن در سال ۲۰۰۵ به ۱۹۳۴ تن در سال ۲۰۰۶ و ۲۵۲۹ تن تا سال ۲۰۱۱ (نرخ رشد ترکیبی سالانه ۵/۵ درصد بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) افزایش یابد. با این حال به خاطر کاهش قیمت‌ها انتظار می‌رود ارزش این بازار از ۲۸/۵ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به ۲۸/۱ میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ و ۲۵/۹ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱ (کاهش متوسط سالانه ۱/۶ درصد)، کاهش یابد.

جدول ۳۲ - پیش بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله/ نایلون، تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	کامپوزیت‌های نانولوله/ نایلون
				وزن (تن)
۴	۱۳۷۳/۹	۱۱۲۹/۲	۱۰۸۵/۸	قطعات قابل رنگ با روش الکترواستاتیک
۷/۵	۱۱۵۴/۷	۸۰۴/۳	۷۴۸/۲	قطعات سیستم سوخت پراکنده‌ساز بار ساکن
۵/۵	۲۵۲۸/۶	۱۹۳۳/۵	۱۸۳۴	جمع کل تن
-۱/۶	۲۵/۹	۲۸/۱	۲۸/۵	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### نانو کامپوزیت‌های پلی کربنات/MWNT

در سال ۲۰۰۵، میزان مصرف جهانی ترکیبات پلی کربنات/MWNT، حدود ۱۱۰۰ تن با ارزش ۱۶/۷ میلیون دلار بود. بیشتر این ترکیبات در ساخت محصولات الکترونیکی پراکنده‌ساز بار ساکن و تجهیزات اتاق تمیز استفاده شدند. همان‌طور که در بخش قبلی بحث شد، پیش بینی می‌شود میزان مصرف جهانی انواع مختلف محصولات کنترل الکترواستاتیک، با توجه به نرخ رشد ترکیبی سالانه آن تا سال ۲۰۱۱ حداقل ۷/۵ درصد باشد. اگر میزان مصرف رزین‌های پلی کربنات نانولوله دارای روند مشابهی باشد و در صورتی که قیمت‌ها نیز با نرخ مشابه کامپوزیت‌های نانولوله/ نایلون کاهش یابند، میزان مصرف کامپوزیت‌های نانولوله/ پلی کربنات باید از ۱۰۷۵ تن در سال ۲۰۰۵ به ۱۱۵۶ تن در سال ۲۰۰۶ و ۱۶۵۹ تن در سال ۲۰۱۱ (نرخ رشد ترکیبی سالانه ۷/۵ درصد بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱) افزایش یابد.



جدول ۳۳- پیش‌بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌کربنات تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌کربنات
۷/۵	۱۶۵۹	۱۱۵۵/۶	۱۰۷۵	وزن (تن)
۰/۲	۱۷	۱۶/۸	۱۶/۷	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۳۳۳۵ نانو کامپوزیت‌های MWNT/PBT

مؤسسه BCC برآورد می‌کند میزان مصرف جهانی کامپوزیت‌های پلی‌بوتیلن ترفتالات (PBT) پر شده با نانولوله در سال ۲۰۰۵، حدود ۱۰۸ تن و ارزش ۲/۴ میلیون دلار باشد. کاربردهای اصلی این کامپوزیت‌ها در محصولات پراکنده‌ساز بار ساکن است. مؤسسه BCC برای پیش‌بینی میزان مصرف این مواد در آینده از روش و مفروضات مشابه کامپوزیت‌های MWNT استفاده کرده است. برای مثال نرخ رشد ترکیبی سالانه ۷/۵ درصد را تا سال ۲۰۱۱ برای آنها پیش‌بینی می‌کند. این پیش‌بینی‌ها در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

جدول ۳۴- پیش‌بینی بازار جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌بوتیلن ترفتالات، تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	کامپوزیت‌های نانولوله/PBT
۷/۵	۱۶۵/۹	۱۱۵/۶	۱۰۷/۵	وزن (تن)
۰/۷	۲/۴۵	۲/۳۸	۲/۳۷	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۴۳۳۵ نانو کامپوزیت‌های MWNT / PPE

مؤسسه BCC برآورد می‌کند میزان مصرف نانو کامپوزیت‌های PPE/MENT مثل NorylGTX در سال ۲۰۰۵، حدود ۵۴۵ تن با ارزش ۱۰/۲ میلیون دلار باشد. NorylGTX در سپرهای نقاشی شده برخی از مدل‌های خودرو مانند Beetle "NEW" VW و سری BMW 6 استفاده می‌شوند. میزان کل فروش این خودروها حدود ۸۰ هزار دستگاه در سال ۲۰۰۵ بود. در صورتی که در هر سپر به‌طور متوسط ۱۲ پوند نانو کامپوزیت NorylGTX استفاده شده باشد، مصرف این مواد در سال ۲۰۰۵ حدود ۹۶۰ هزار پوند یا ۴۳۶ تن بوده است. همچنین قیمت متوسط هر پوند Noryl GTX حدود ۸/۵۰ دلار بود. در آینده، میزان فروش خودروی New Beetle، که مصرف NorylGTX را به خود اختصاص داده است، کاهش خواهد یافت و احتمالاً طی چند سال آینده دیگر تولید نخواهد شد. تا به حال مشخص نشده است طی ۵ سال آینده چه کاربردهای جدیدی در حوزه خودروسازی برای این مواد ممکن است توسعه یابد. بنابراین مؤسسه BCC به‌طور محتاطانه برآورد می‌کند میزان استفاده این مواد، در قطعاتی مانند سپرها، با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۴ درصد، رشد خواهد کرد. پیش‌بینی‌های جدول ۳۵ برآورد می‌کنند که تا سال ۲۰۱۱، قیمت نانو کامپوزیت‌های PPE، با قیمت فعلی ۸/۵ دلار به ازای هر پوند، به میزان یک سوم کاهش خواهند یافت.

جدول ۳۵- پیش‌بینی جهانی کامپوزیت‌های نانولوله / پلی‌فیلین / پلی‌بوتیلن، تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	کامپوزیت‌های نانولوله/PPE
۴	۵۵۱/۷	۴۵۳/۴	۴۳۶	وزن (تن)
-۲/۹	۶/۹	۸	۸/۲	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC



### ۵۳۳۵ نانو کامپوزیت‌های اپوکسی / کربن / MWNT

مؤسسه BCC برآورد می‌کند میزان مصرف کامپوزیت‌های اپوکسی / کربن / MWNT در سال ۲۰۰۵، حدود ۱/۶ تن با ارزش ۱۵۰ هزار دلار بوده است. در این سال قیمت متوسط هر تن از این نوع کامپوزیت‌ها ۹۱۳۰۰ دلار یا ۴۱/۵۰ دلار برای هر پوند بوده است. بیشترین مصرف این مواد در راکت‌های تنیس بودند.

هرچند میزان مصرف کامپوزیت‌های نانولوله توسط تولیدکنندگان چوب گلف موجود نیست، اما مؤسسه BCC اعتقاد دارد این رقم بسیار ناچیز است زیرا تنها کلوبی از این فناوری استفاده می‌کند Accuflex Evolution است. این فناوری در سال ۲۰۰۵ هنوز برای بازار نسبتاً جدید بوده است. سایر کاربردهای کامپوزیت‌های نانولوله در کالاهای ورزشی در سال ۲۰۰۵، به‌طور قابل توجه وارد بازار نشده‌اند.

خط تولید شرکت Babolat's VS که تولیدکننده راکت‌های تنیس است، عمده‌ترین استفاده‌کننده از کامپوزیت‌های نانولوله / کربن / اپوکسی در سال ۲۰۰۵ بوده است. مؤسسه BCC میزان فروش این نوع راکت‌ها در سال ۲۰۰۵ را حدود ۱ میلیون دلار برآورد می‌کند. لازم به ذکر است ۲۰ درصد از مواد قاب‌های راکت تنیس را این مواد تشکیل می‌دهند. مؤسسه BCC فرض می‌کند ۷۵ درصد هزینه مواد راکت‌های تنیس شرکت Babolat (۱۵۰ هزار دلار) به خاطر قیمت نسبتاً بالای نانو کامپوزیت‌ها باشد.

همچنان که قبلاً در رابطه با نانو کامپوزیت‌های سرامیکی استفاده شده در راکت‌های تنیس مطرح شد، تقاضای جهانی تجهیزات تنیس طی چند سال گذشته کاهش یافته است، بنابراین قابلیت راکت‌های تنیس مبتنی بر کامپوزیت‌های نانولوله‌ای برای فروش بیشتر، تابعی از توانایی آنها در گرفتن سهم بیشتری از بازار خواهد بود.

مؤسسه BCC برآورد می‌کند راکت‌های تولیدی مبتنی بر کامپوزیت‌های نانولوله‌ای حدود ۰/۳ درصد بازار جهانی راکت‌های تنیس را در سال ۲۰۰۵ به خود اختصاص داده‌اند و پیش‌بینی می‌کند این میزان تا سال ۲۰۱۱ به ۳ درصد (۱۱/۳ میلیون دلار) افزایش یابد. با اتکا بر مباحث منطقی بالا، این میزان فروش بیانگر پتانسیل کامپوزیت‌های نانولوله‌ای برای فروش سالانه ۱/۷ میلیون دلار تا سال ۲۰۱۱ است.

پیش‌بینی بازار آینده کامپوزیت‌های نانولوله / کربن / اپوکسی در سایر انواع کالاهای ورزشی، دشوار است زیرا نمی‌توان با استفاده از روند فروش گذشته این محصولات، پتانسیل آینده آنها را برآورد کرد. براساس اطلاعات گزارش «319-GB، فناوری نانو برای محصولات مصرفی»، میزان تقاضا برای زیرمجموعه‌های این مواد به صورت زیر است:

- چوب‌های گلف: بیشتر از ۱ میلیون دلار تا سال ۲۰۱۱.
- قطعات دوچرخه: حداقل ۴۵۰ هزار دلار تا سال ۲۰۱۱.
- چوب‌های هاکی: بیش از ۱/۲ میلیون دلار تا سال ۲۰۱۱.

این ارقام مبنای پیش‌بینی‌های نشان داده شده در جدول ۳۶ را تشکیل می‌دهند. مؤسسه BCC برآورد می‌کند تا سال ۲۰۱۱، قیمت کامپوزیت‌های نانولوله، کربنی / اپوکسی، حدود بک‌سوم کاهش یابد. به عبارت دیگر قیمت آنها به ۶۱ هزار دلار به ازای هر تن یا ۳۳/۲۰ دلار به ازای هر پوند می‌رسد.

جدول ۳۶- پیش‌بینی بازار جهانی نانو کامپوزیت‌های نانولوله کربنی / اپوکسی، تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	کامپوزیت‌های نانولوله / کربن / اپوکسی
۴۹/۴	۵۹/۶	۸	۱/۶۴	وزن (تن)
				ارزش (میلیون دلار)
۱۹/۳	۱/۷۰	۰/۷۰۴	۰/۱۵	راکت‌های تنیس
۰	۰/۷۵	ناچیز	ناچیز	چوب‌های گلف
۰	۰/۳۵	۰	۰	قطعات دوچرخه
۰	۰/۹۰	ناچیز	ناچیز	چوب‌های هاکی
۳۹/۴	۳/۷۰	۰/۷۰۴	۰/۱۵۰	جمع کل

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۵۳۳۶ نانو کامپوزیت‌های پلی اورتان / فولرین

شرکت Nanodesu در سال ۲۰۰۵، حدود ۱۰ هزار عدد توپ بولینگ مبتنی بر پوشش پلی اورتان/فولرین خود را به فروش رساند. ارزش فروش این توپ‌ها حدود ۱/۸ میلیون دلار یا تقریباً ۱ درصد بازار جهانی توپهای بولینگ بود. مؤسسه BCC برآورد می‌کند ارزش نانو کامپوزیت‌های مصرفی شرکت Nanodesu برای تولید این مقدار توپ، سالانه حدود ۱۰۰ هزار دلار است. طبق اطلاعات حاصل از منابع صنعتی، میزان فروش جهانی توپ‌های بولینگ طی سه سال گذشته، تقریباً ثابت بوده و ارزش فروش آنها سالانه ۱۷۰ میلیون دلار بوده است. مؤسسه BCC انتظار دارد متوسط فروش سالانه تا سال ۲۰۱۱، حدود ۱۷۰ میلیون دلار باشد، اگرچه ممکن است در سالهای مختلف این میزان فروش کم و زیاد شود. مؤسسه BCC پیش بینی می‌کند تا سال ۲۰۱۱ سهم بازار توپ‌های مبتنی بر نانو کامپوزیت‌ها، به ۵ درصد از کل بازار افزایش یابد. میزان مصرف پوشش‌های نانو کامپوزیت فولرین/پلی اورتان، باید از ۱۰۰ هزار دلار در سال ۲۰۰۵ به ۵۰۰ هزار دلار تا سال ۲۰۱۱، با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۳۸ درصد افزایش یابد.

جدول ۳۷- میزان بازار جهانی نانو کامپوزیت‌های پلی اورتان / فولرین تا سال ۲۰۱۱				
AAGR%	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	
۲۰۰۶-۲۰۱۱	NA*	NA*	NA*	وزن (تن)
۰	۰/۵	۰/۱	۰/۱	ارزش (میلیون دلار)

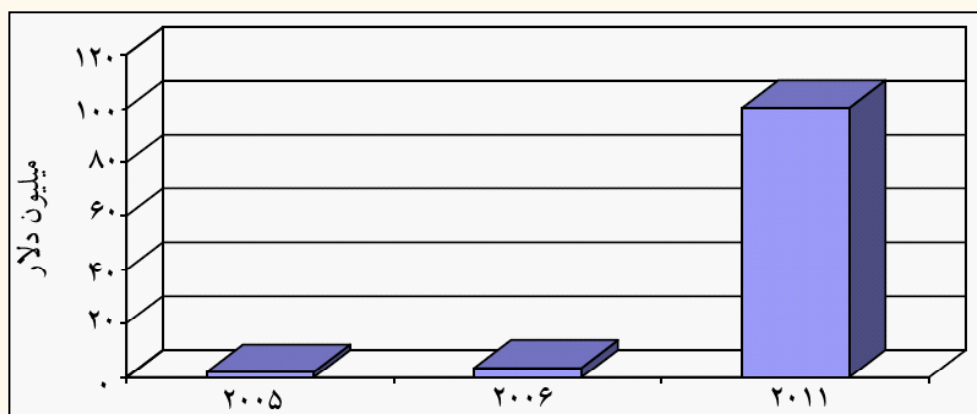
NA\* = اطلاعات موجود نیست / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۵۳۳۷ الیاف SWNT/PVOH

هم‌اکنون الیاف ریسیده شده از پلی وینیل الکل (PVHO) که از نانولوله‌های تک دیواره استفاده می‌کنند، توسعه یافته‌اند و پیش‌بینی می‌شود حداقل اندکی از تقاضای روبه رشد برای الیاف رسانا در کاربردهای نساجی هوشمند و تعاملی را برآورده سازند. برخی از کاربردهای PVOH عبارتند از:

- کنترل کننده‌ها و حسگرهای موجود در وسایل منزل
- سویچ‌های خودرو و کاربردهای ایمنی
- کنترل کننده‌های بازی
- اسباب بازی‌ها و عروسک‌ها
- مراقبت‌های بهداشتی (برای مثال پیژامه‌های خوابی که می‌توانند علائم حیاتی کودک را کنترل کنند)

مؤسسه BCC پیش بینی می‌کند بازار الیاف رسانا از ۲ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به بیش از ۱۰۰ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱، افزایش یابد.



شکل ۲۱- روندهای فروش الیاف رسانا ۲۰۰۵-۲۰۱۱ (میلیون دلار)

جزئیات شکل ۲۱ (میلیون دلار)			
۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	
۱۰۰/۲	۳/۶	۲/۱	میزان فروش الیاف رسانا

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

در صورتی که الیاف نانولوله کربنی تجاری شوند، می‌توانند در بازار با الیاف غیررسانا مانند الیاف پوشش دار و الیاف ساخته شده از نانولوله‌های خالص رقابت کنند. مؤسسه BCC معتقد است که تا سال ۲۰۱۱، کامپوزیت‌های PVOH/SWNT می‌توانند ۵ تا ۱۰ درصد سهم بازار الیاف رسانا را کسب کنند. به عبارت دیگر ارزش بازار آنها تا سال ۲۰۱۱ به ۷/۵ میلیون دلار خواهد رسید.

جدول ۳۸- پیش‌بینی جهانی الیاف کامپوزیتی PVOH/SWNT تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	الیاف PVOH/SWNT
۰	NA*	۰	۰	وزن (تن)
۰	۷/۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

\*اطلاعات موجود نیست. / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۴۲۵ نانو کامپوزیت‌های حاوی اکسید آهن / آهن

این بخش شامل تخمین و پیش‌بینی‌های بازار نانو کامپوزیت‌های حاوی اکسید آهن و آهن است.  
خلاصه

پیش‌بینی می‌شود میزان فروش جهانی نانو کامپوزیت‌های اکسید آهن و آهن از ۲۱۸۷ تن و ارزش ۷۰ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به ۲۴۵۹ تن و ارزش ۷۸/۷ میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ و ۴۴۱۴ تن و ارزش ۱۷۱ میلیون دلار تا سال ۲۰۱۱ افزایش یابد. نرخ رشد ترکیبی سالانه این مواد بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ از نظر وزن ۱۲/۴ درصد و از نظر ارزش ۱۶/۸ درصد، پیش‌بینی شده است.

جدول ۳۹- پیش‌بینی جهانی نانو کامپوزیت‌های اکسید آهن/ آهن

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
نانو کامپوزیت‌های فوتولتائیک				
۰	۲	۰	۰	وزن (تن)
۰	۳۰	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی				
۱۲/۴	۴۴۱۱	۲۴۵۹	۲۱۸۷	وزن (تن)
۱۲/۴	۱۴۱/۲	۷۸/۷	۷۰	ارزش (میلیون دلار)
جمع کل				
۱۲/۴	۴۴۱۳	۲۴۵۹	۲۱۸۷	وزن (تن)
۱۶/۸	۱۷۱/۲	۷۸/۷	۷۰	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

بیشتر این نانو کامپوزیت‌ها در کاربردهای مرتبط با انرژی، شامل ترانسفورماتور الکتریکی و پیل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند.

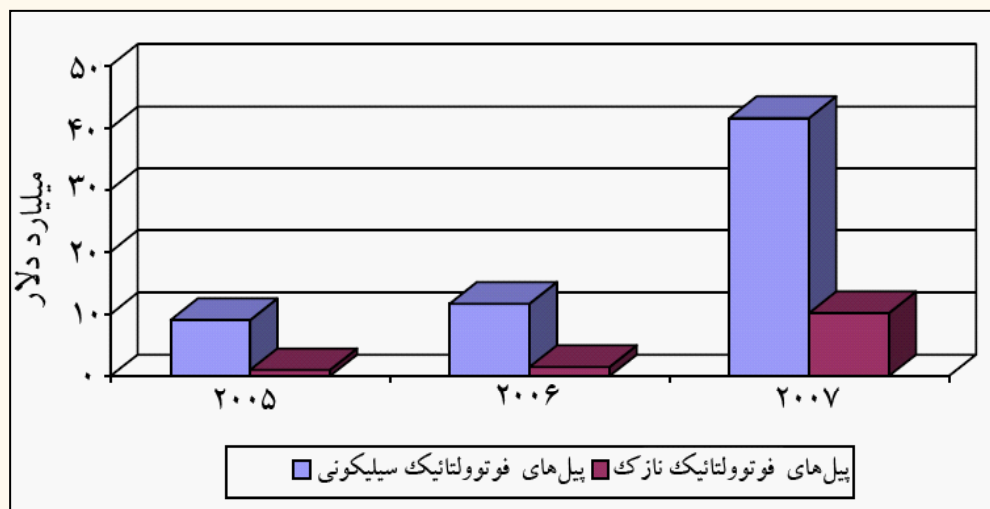
### ۱۴۳۵ نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT برای پیل‌های فوتولتائیک

فناوری جدید پیل فوتولتائیک (PVC) مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT است. این فناوری به‌طور مشترک توسط شرکت‌های Nanosys و Matsushita Electric Works توسعه داده شده است و انتظار می‌رود طی سال ۲۰۰۷-۲۰۰۶ تجاری شود. بر مبنای اطلاعات حاصل از منابع صنعتی، انتظار می‌رود بازار انواع پیل‌های فوتولتائیک از میزان تقریبی ۱۰/۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۵ به بیش از ۵۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۱ افزایش یابد. انتظار می‌رود فناوری سیلیکون، تا پایان دهه فعلی، عمده بازار فوتولتائیک را به خود اختصاص دهد.

اما انتظار می‌رود فناوری پیل فوتولتائیک فیلم نازک که یکی از شکل‌های آن، پیل فوتولتائیک CdSe/P3HT است، سهم بازار خود را از سطح ۱۰ درصدی فعلی تا سال ۲۰۱۱ به ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش دهد.

همان‌طور که ارقام نشان می‌دهند، پیش‌بینی می‌شود میزان فروش پیل‌های فوتولتائیک فیلم‌های نازک تا سال ۲۰۱۱ به بیش از ۱۰ میلیارد دلار افزایش یابد. مؤسسه BCC در گزارش «290-GB فناوری نانو ارزیابی بازار واقعی» پیش‌بینی می‌کند پیل‌های فوتولتائیک مبتنی بر نانو کامپوزیت قادرند تا ۵ درصد بازار پیل‌های فوتولتائیک فیلم نازک را تا پایان دهه کنونی، به خود

اختصاص دهند. به عبارت دیگر ارزش بازار آنها تا سال ۲۰۱۱ به ۵۰۰ میلیون دلار خواهد رسید.



شکل ۲۲- روندهای فروش پیل فوتولتائیک ۲۰۰۵ - ۲۰۱۱ (میلیارد دلار)

جزئیات شکل ۲۲ (میلیارد دلار)			
۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	پیل‌های فوتولتائیک
۴۱/۶	۱۱/۷	۹/۱	پیل‌های سیلیکونی
۱۰/۲	۱/۵	۱	پیل‌های فیلم نازک
۵۱/۸	۱۳/۲	۱۰/۱	جمع کل

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

طبق منابع صنعتی، بین ۶ تا ۱۲ درصد کل هزینه‌های پیل‌های فوتولتائیک مربوط به لایه‌های نیمه‌هادی است. بر مبنای کل فروش پیش‌بینی شده ۵۰۰ میلیون دلاری، میزان فروش نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT مورد استفاده در ساخت پیل‌های فوتولتائیک باید بین ۳۰ تا ۶۰ میلیون دلار باشد.

مؤسسه BCC در تحلیل‌های خود رقم ۳۰ میلیون دلار را استفاده می‌کند تا از این طریق کاهش احتمالی هزینه‌ها را به خاطر بلوغ فناوری مد نظر قرار داده باشد. همان‌طور برخی منابع صنعتی پیش‌بینی می‌کنند در صورتی که هزینه فیلم‌های نازک به ازای هر متر مربع بین ۴۰ تا ۸۰ دلار باشد و در هر متر مربع فیلم ۵ گرم مواد نانو کامپوزیت استفاده شود، بازار مواد فیلم نازک CdSe/P3HT حدوداً ۲/۵ تن به ارزش ۳۷/۳ میلیون دلار خواهد بود.

جدول ۴۰- پیش‌بینی جهانی بازار نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT تا سال ۲۰۱۱				
نرخ رشد ترکیبی سالانه درصد ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های CdSe/P3HT
۰	۲/۵	۰	۰	وزن (تن)
۰	۳۰	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

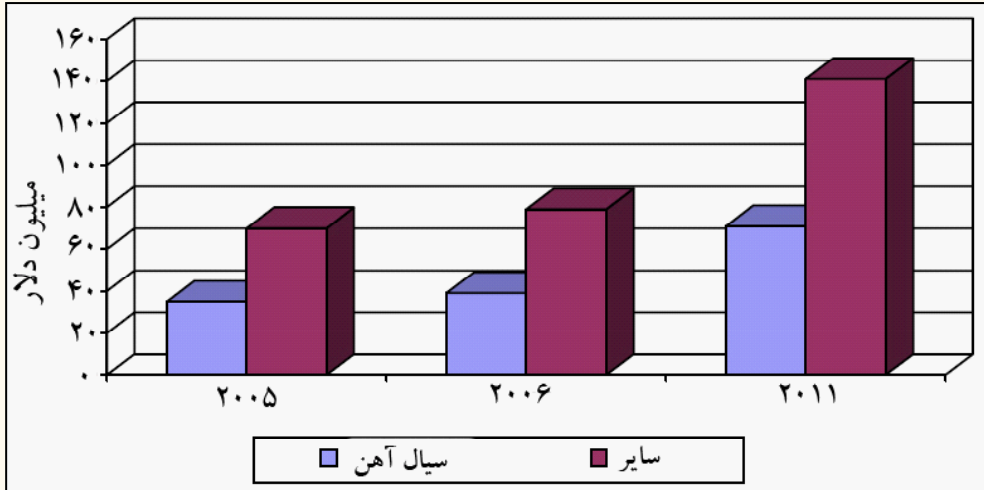
منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۲ ۴ ۳ ۵ کامپوزیت‌های نانومغناطیسی

مؤسسه BCC در گزارش « 293-GB نانومغناطیس‌ها: مواد، ادوات و بازارها»، کل بازار مواد نانومغناطیسی را برای کاربردهای صنعتی در سال ۲۰۰۵، حدود ۱۰۵ میلیون دلار برآورد می‌کند. حدود یک سوم این رقم، یا ۳۵ میلیون دلار، بیانگر میزان فروش سیالات مبتنی بر نانوذرات مغناطیسی است. مابقی یا حدود ۷۰ میلیون دلار نیز مربوط به کامپوزیت‌های نانومغناطیسی یا به اصطلاح آلیاژها هستند. بیشتر این مواد توسط صنعت ترانسفورماتورها استفاده می‌شوند.

مؤسسه BCC پیش‌بینی می‌کند کل بازار صنعتی مواد نانومغناطیس، با نرخ رشد ترکیبی سالانه حدود ۱۲/۴ درصد از ۱۱۸

میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ به ۲۱۲ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت. ارقام زیر نشان می‌دهند که سیالات حدود ۳۳ درصد کل بازار را به خود اختصاص خواهند داد.



شکل ۲۳- روندهای مصرف صنعتی مواد نانومغناطیسی، ۲۰۰۵-۲۰۱۱ (میلیون دلار)

جزئیات شکل ۲۳: (میلیون دلار)			
۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	
۷۱	۳۹	۳۵	میزان مصرف سیالات آهن
۱۴۱	۷۹	۷	مصرف سایر مواد نانومغناطیسی

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

همان‌طور که در شکل ۲۳ نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود میزان مصرف صنعتی مواد نانوسیال مغناطیسی در سال ۲۰۰۶ به ۷۹ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۱۵۱ میلیون دلار افزایش یابد. انتظار می‌رود بیشتر این مواد کامپوزیت‌های نانومغناطیسی باشند. برآورد می‌شود قیمت متوسط Finement، یک نمونه از کامپوزیت‌های نانومغناطیسی، ۳۲ هزار دلار در هر تن باشد که مقدار آن نیز در جدول ۴۱ نشان داده شده است. (پیش‌بینی می‌شود قیمت Finement با توجه به بلوغ فناوری، تا سال ۲۰۱۱ نسبتاً ثابت بماند).

جدول ۴۱- پیش‌بینی جهانی میزان فروش نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های فلزی
۱۲/۴	۴۴/۳	۲۴۵۹	۲۱۸/۰۷	وزن (تن)
۱۲/۴	۱۴۱/۲	۷۸/۷	۷۰	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### نانو کامپوزیت‌های زیستی

این بخش حاوی پیش‌بینی‌ها و تخمین‌های بازار برای نانو کامپوزیت‌های زیستی است.  
خلاصه:

نانو کامپوزیت‌های زیستی برای کاربردهای تجاری در حال توسعه هستند. در حال حاضر پیش‌بینی زمان تجاری‌سازی آنها دشوار است، اما برخی از منابع صنعتی اعتقاد دارند تا سال ۲۰۰۸ این امر با تولید قطعات خودروی «سبز» (زیست تخریب پذیر) که پیشگام جاده‌ها خواهد بود، محقق خواهد شد. لباس‌های ضد آتش کاربرد دیگری است که دارای پتانسیل بسیار بالایی است. با فرض تجاری‌سازی نانو کامپوزیت‌های زیستی تا سال ۲۰۰۸، مؤسسه BCC بازار جهانی این مواد را تا سال ۲۰۱۱ حدود ۹ میلیون دلار برآورد می‌کند. این میزان حجم بازار در جدول ۴۲ طبقه‌بندی شده است.

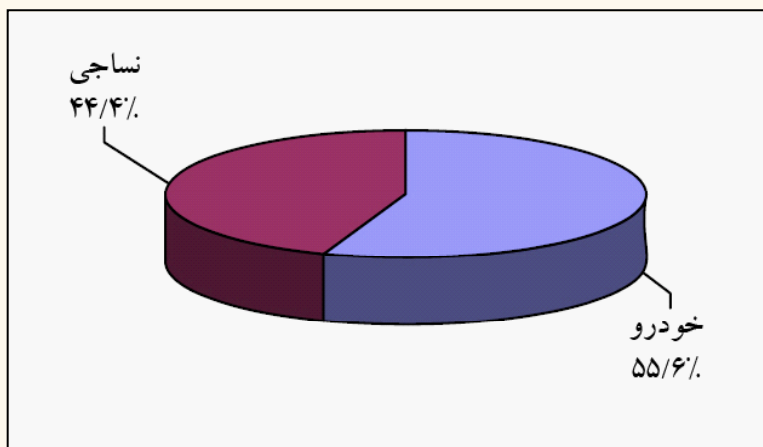


جدول ۴۲- میزان مصرف و فروش جهانی نانوزیست کامپوزیت‌ها تا ۲۰۱۱ (تن / میلیون دلار)				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
نانو کامپوزیت‌های سلولز - PVOH				
۰	۵۰۰	۰	۰	وزن (تن)
۰	۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پنبه				
۰	NA*	۰	۰	وزن (تن)
۰	۴	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)
جمع کل				
۰	NA*	۰	۰	وزن (تن)
۰	۹	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

NA\* = اطلاعات موجود نیست. / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

قطعات خودرو حدود ۵۵ درصد حجم بازار پیش بینی شده برای نانو کامپوزیت‌های زیستی را تا سال ۲۰۱۱ به خود اختصاص خواهند داد و مابقی نیز توسط صنعت نساجی استفاده خواهند شد.

۸۹



شکل ۲۴- بازار جهانی نانوکامپوزیت‌های زیستی براساس نوع کاربرد، ۲۰۱۱ (درصد از کل مصرف)

جزئیات شکل ۲۴ (درصد)	
میلیون دلار	بخش
۵	قطعات خودرو
۴	نساجی
۹	جمع کل

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۱۵۳۵ نانو کامپوزیت‌های سلولز/PVOH

البته تا زمان تجاری سازی قطعات خودروی مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های زیستی در سال ۲۰۰۸ حوادث زیادی رخ خواهد داد. برخی از این حوادث عبارتند از: توسعه فرایندهای تولید نانو کامپوزیت‌های زیستی در مقیاس تجاری و متقاعدشدن



خودروسازان برای استفاده از این فناوری جدید.

مؤسسه BCC معتقد است در صورتی که چالش‌های تولید حل شوند، شرکت‌های خودروسازی مانند شرکت ولوو، می‌توانند استفاده از قطعات مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های زیستی را تا پایان دهه کنونی آغاز کنند. برآورد میزان فروش واقعی نانو کامپوزیت‌های زیستی در حال حاضر دشوار است، اما در صورتی که از نمودارهای پذیرش اولیه قطعات خودروی مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های خاک رس به‌عنوان یک الگو استفاده کنیم، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۱۱ بازار خودروسازی برای نانو کامپوزیت‌های زیستی به ۵۰۰ تن و ارزش ۵ میلیون دلار برسد.

جدول ۴۳- بازار جهانی نانو کامپوزیت‌های سلولز/ PVOH تا سال ۲۰۱۱				
نرخ رشد ترکیبی سالانه درصد ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های سلولز/ PVOH
۰	۵۰۰	۰	۰	وزن (تن)
۰	۵	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

#### الیاف نانو کامپوزیت مونت‌موریلونیت/پنبه

منسوجات پنبه‌ای مبتنی بر الیاف نانو کامپوزیت خاک رس/پنبه، برای استفاده در لباس‌های ضد آتش توسعه می‌یابند و احتمالاً قبل از پایان دهه کنونی تجاری خواهند شد.

طبق گزارش مؤسسه BCC با عنوان «1427-GB»، لباس‌ها و وسایل ایمن: حفاظ‌های خورو و بدن در مقابل آتش و مواد شیمیایی» میزان بازار ایالات متحده آمریکا برای لباس‌های ضد آتش پیشرفته در سال ۲۰۰۵ حدود ۴۲۹ میلیون دلار بود و پیش‌بینی می‌شود نرخ رشد ترکیبی سالانه این بازار حدود ۷/۲ درصد باشد. با این نرخ، ارزش این بازار باید در سال ۲۰۰۶ به ۴۶۰ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۶۵۱ میلیون دلار افزایش یابد.

حجم بازار جهانی برای لباس‌های ضد آتش پیشرفته، ۲ تا ۳ برابر حجم بازار ایالات متحده آمریکا است و احتمالاً تا سال ۲۰۱۱ به ۲ میلیارد دلار خواهد رسید. میزان مصرف جهانی منسوجات ضد آتش و پوششی که برای تولید این پوشاک‌های ایمن استفاده می‌شوند، ممکن است تا سال ۲۰۱۱ به ۴۰۰ میلیون دلار برسد.

حتی اگر پارچه‌های ضد آتش مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های خاک رس/پنبه قبل از پایان دهه فعلی تجاری شوند، با رقبای بسیاری مواجه می‌شوند که از پارچه‌های ضد آتش و شیوه‌های تولیدی متفاوتی استفاده می‌کنند. این رقبا احتمالاً در پذیرش این فناوری جدید محتاط خواهند بود زیرا زندگی آنها به این لباس‌ها بستگی دارد. بنابراین مؤسسه BCC به‌طور محتاطانه پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۱۱، پارچه‌های مبتنی بر نانو کامپوزیت‌های خاک رس/پنبه حداکثر ۱ درصد بازار جهانی پارچه‌های مورد استفاده در لباس‌های ضد آتش را کسب خواهند کرد. به عبارت دیگر ارزش بازار آنها در سال ۲۰۱۱ حدود ۴ میلیون دلار خواهد بود.

جدول ۴۴- پیش‌بینی بازار عمومی منسوجات ساخته شده از نانو کامپوزیت‌های پنبه/خاک رس تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های پنبه/خاک رس
۰	NA*	۰	۰	وزن (تن)
۰	۴/.	۰	۰	ارزش (میلیون دلار)

NA\* = غیر قابل دسترس / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

#### نانو کامپوزیت‌های دیگر

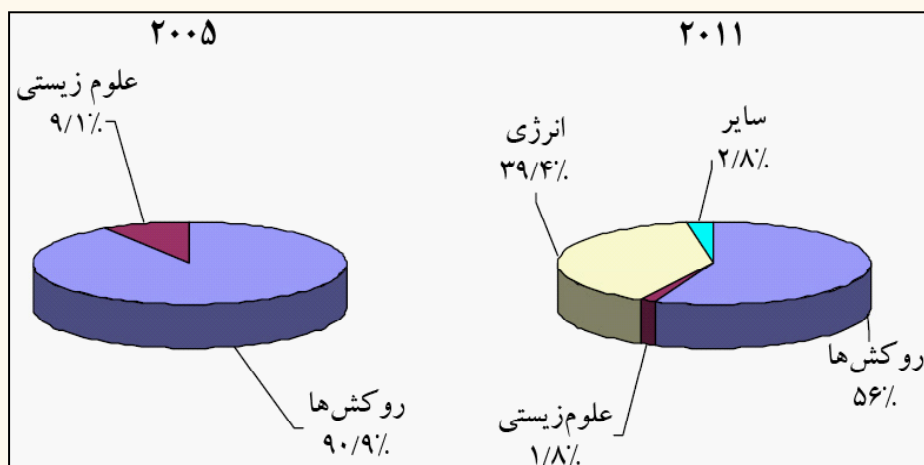
این بخش شامل تخمین‌ها و طرح‌های بازاری برای انواع دیگری از نانو کامپوزیت‌هاست.  
خلاصه

پیش‌بینی می‌شود مصرف نانو کامپوزیت‌های دیگر از ۱۳۳ تن به ارزش ۱۱ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ به مقدار ۱۸۷ تن به ارزش ۱۵/۲ میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ و ۱۱۲۷ تن به ارزش ۱۳۴/۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱، رشد داشته باشد. این ارقام نشان‌دهنده یک نرخ رشد ترکیبی سالانه ۳۴ درصدی در وزن و ۵۵ درصدی در ارزش بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ است.

جدول ۴۵- پیش بینی عمومی برای فروش سایر نانو کامپوزیت‌ها تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نوع
نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز/ روغن‌گریز				
۴۰/۰	۱۰۰۴/۰	۱۸۷/۰	۱۳۳/۰	وزن (تن)
۴۰/۰	۷۵/۳	۱۴/۰	۱۰/۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت‌های دارای POSS				
۰/۰	Neg.*	Neg.*	Neg.*	وزن (تن)
۱۴/۹	۲/۴	۱/۲	۱/۰	ارزش (میلیون دلار)
غشاءهای نانو کامپوزیتی برای پیل سوختی				
۰/۰	۱۲۲	۰/۰	۰/۰	وزن (تن)
۰/۰	۵۳/۰	۰/۰	۰/۰	ارزش (میلیون دلار)
نانو کامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک				
۰/۰	NA*	NA*	NA*	وزن (تن)
۰/۰	۳/۸	۰/۰	۰/۰	ارزش (میلیون دلار)
مجموع				
۴۳/۲	۱۱۲۶/۰	۱۸۷/۰	۱۳۳/۰	وزن (تن)
۵۴/۷	۱۳۴/۵	۱۵/۲	۱۱/۰	ارزش (میلیون دلار)

Neg.\* = قابل صرف نظر / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

در سال ۲۰۰۵ بیش از ۹۰ درصد این نانو کامپوزیت‌ها در کاربردهای پوششی مورد مصرف قرار گرفته است اما انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۱ این وضعیت کاملاً دگرگون شود و پوشش‌ها حدود ۶۵ درصد، انرژی ۳۹ درصد، علوم زیستی ۲ درصد و سایر کاربردها ۳ درصد بازار را در برگیرند. (تصویر زیر را ببینید)



شکل ۲۵- سهم بازار عمومی برای سایر نانو کامپوزیت‌ها در ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵ (درصد مصرف)

جزئیات شکل ۲۵				
۲۰۱۱		۲۰۰۵		
میلیون دلار	درصد	میلیون دلار	درصد	قسمت
۷۵/۳	۵۶/۰	۱۰/۰	۹۰/۹	روکش‌ها
۲/۴	۱/۸	۱/۰	۹/۱	علوم زیستی
۵۳/۰	۳۹/۴	۰/۰	۰/۰	انرژی
۳/۸	۲/۸	۰/۰	۰/۰	سایر
۱۳۴/۵	۱۰۰/۰	۱۱/۰	۱۰۰/۰	جمع

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۱۶۳۵ نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز

شرکت Nanogate GmbH اصلی‌ترین تولیدکننده نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز است. این شرکت یک شرکت بسیار حفاظت شده است به گونه‌ای که به‌دست آوردن اطلاعات فروش آن بسیار سخت است. در سال ۲۰۰۱، این شرکت حدود ۴ میلیون دلار فروش داشت. این آخرین سالی است که چنین اطلاعاتی در دسترس قرار گرفته است. مؤسسه تحقیقاتی BCC فروش Nanogate را در سال ۲۰۰۵ حدود ۱۰ میلیون دلار یا حدود ۱۳۳ تن با قیمت متوسط ۷۵۰۰۰ دلار در هر تن پیش‌بینی کرده است. مؤسسه تحقیقاتی BCC در گزارش خود با عنوان «334-GB بازار انواع نانو مواد»، میانگین رشد ترکیبی سالانه ۴۰ درصدی برای مصرف پوشش‌های غیرچسبنده پیش‌بینی کرده است (بازاری که محصولات نانو کامپوزیتی Nanogate در آن سهم هستند) با این آهنگ انتظار می‌رود مصرف نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز به مقدار ۱۸۷ تن به ارزش ۱۴ میلیون دلار در سال ۲۰۰۶ و مقدار ۱۰۰۴ تن به ارزش ۷۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۱ برسد. تصور می‌شود که قیمت هر تن نانو کامپوزیت‌ها نسبتاً ثابت در حدود ۷۵۰۰۰ دلار باقی بماند.

جدول ۴۶- پیش‌بینی عمومی نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز، تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های آب‌گریز / روغن‌گریز
۴۰/۰	۱۰۰۴/۰	۱۸۷/۰	۱۳۳/۰	وزن (تن)
۴۰/۰	۷۵/۳	۱۴/۰	۱۰/۰	ارزش (میلیون دلار)

### ۲۶۳۵ نانو کامپوزیت‌های دارای POSS

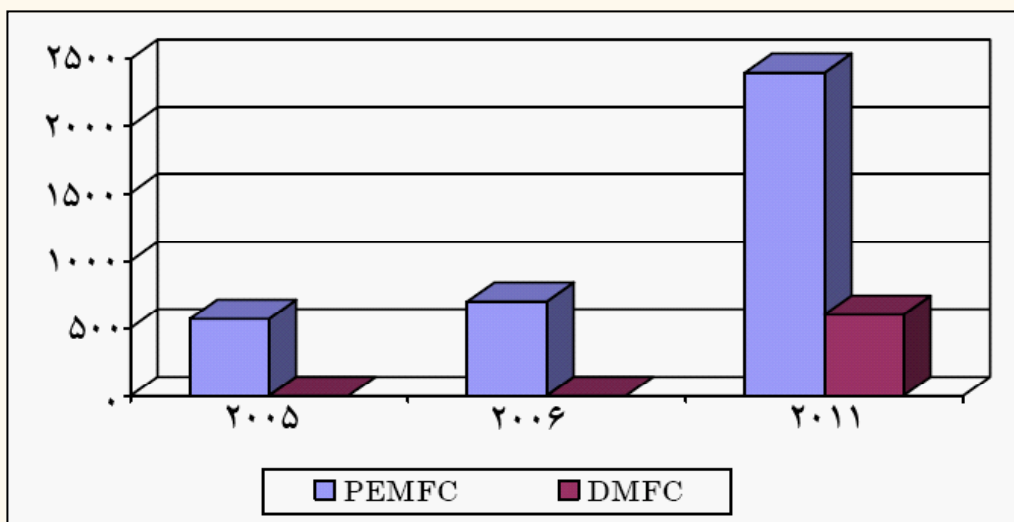
کاربرد اصلی نانو کامپوزیت‌های دارای POSS در چسب‌های دندانسازی است و محصول شرکت Pentron Clinical Tech به نام NanoBond یک نمونه اولیه از آنهاست. این شرکت تاکنون مقدار فروش NanoBond را فاش نکرده است ولی مؤسسه تحقیقاتی BCC حداقل فروشی معادل یک میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ برای آن تخمین زده است. بنابراین، فروش این محصول یک قسمت کوچکی از بازار عمومی چسب‌های دندان است، و که در سال ۲۰۰۵ دارای ارزش یک میلیارد دلار بوده و با میانگین رشد ترکیبی سالانه ۸ درصد در حال افزایش است. فناوری‌های جدید چسب‌های دندان پزشکی به‌عنوان رقبای NanoBond به بازار آمده‌اند. شرکت Pentron به‌عنوان یک شرکت نسبتاً کوچک توانایی محدودی برای راه‌اندازی یک جنگ بازاری و متقاعد کردن دندانپزشکان برای استفاده از محصولش دارد. در نتیجه، مؤسسه تحقیقاتی BCC پیش‌بینی می‌کند فروش NanoBond تا سال ۲۰۱۱ نسبتاً کم و دارای آهنگ رشد دو برابری نسبت به آهنگ رشد کل بازار، یعنی تقریباً ۱۵ درصد، باشد. با احتساب این آهنگ رشد، فروش NanoBond در سال ۲۰۰۶ به ۱/۲ میلیون دلار و در سال ۲۰۱۱ به ۲/۴ میلیون دلار خواهد رسید.

جدول ۴۷- پیش‌بینی عمومی فروش نانو کامپوزیت‌های دارای poss تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های دارای POSS
۰/۰	Neg.*	Neg.*	Neg.*	وزن (تن)
۱۴/۹	۲/۴	۱/۲	۱/۰	ارزش (میلیون دلار)

Neg.\* = قابل صرف نظر / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

### ۳۶۳۵ غشاهای نانو کامپوزیتی برای پیل سوختی

هیچکدام از غشاهای نانو کامپوزیتی پیل سوختی که قبلاً توضیح داده شد تا آغاز سال ۲۰۰۶ کاربرد تجاری نداشته‌اند. PEMFCها مثل Nafion که از غشاهای غیر نانو کامپوزیتی استفاده کرده‌اند دارای فروش سالیانه چندصد میلیون دلاری هستند و اولین DMFCهای تجاری قرار است در بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ عرضه شوند. شکل ۲۶ نشان‌دهنده فروش این دو نوع غشاء پیل سوختی است.



شکل ۲۶- فروش پیل سوختی بر حسب نوع فناوری، ۲۰۰۵-۲۰۱۱ (میلیون دلار)

۹۳

#### جزئیات شکل ۲۶

سال	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	
فروش PEMFC (میلیون دلار)	۲۴۰۰/۰	۷۰۰/۰	۵۷۱/۰	
فروش DMFC (میلیون دلار)	۶۰۰/۰	۰/۰	۰/۰	

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

ایجاد ارتباط بین بازار پیل‌های سوختی و پتانسیل فروش غشاهای نانو کامپوزیتی یک مسئله پیچیده است، زیرا پیل‌های سوختی دارای اندازه و ترکیب متفاوت هستند. با این حال، به‌عنوان یک تحلیل سرانگشتی، یک PEMFC با توان 3 kw تا 5 kw از نوعی که قرار است در سیستم قدرت اتومبیل‌های پیشرفته تا سال ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار گیرد، دارای قیمتی معادل ۲۰۰۰ دلار خواهد بود.

با توجه به گزارش بعضی منابع، PEMFC مذکور با قیمتی که به اعتقاد آنها در سال ۲۰۱۱ تا ۳۵ دلار در هر متر مربع تنزل خواهد کرد، نیاز به غشائی به بزرگی ۱۰ متر مربع خواهد داشت. براساس این ارقام، بازار کلیه انواع مواد غشاء PEMFC تا سال ۲۰۱۱ ارزشی بیش از ۴۲۰ میلیون دلار خواهد داشت. اگر ارتباط بین فروش DMFCها و غشاهای DMFC خطی باشد آنگاه بازار غشاهای DMFC معادل ۱۰۵ میلیون دلار از کل بازار ۵۲۵ میلیون دلاری غشاء در سال ۲۰۱۱ خواهد بود.

#### جدول ۴۸- مصرف غشاء پیل سوختی، ۲۰۱۱ (میلیون دلار)

مصرف	قسمت
۴۲۰/۰	فروش PEMFC
۱۰۵/۰	فروش DMFC
۵۲۵/۰	مجموع

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

پیش‌بینی پتانسیل بازار غشاهای نانو کامپوزیتی مشکل است زیرا هنوز در مرحله تحقیقاتی هستند و با سایر فناوری‌های غشاء مانند غشاهای هیدروکربنی PolyFuel در حال رقابت هستند. بر اساس پیش‌بینی مؤسسه تحقیقاتی BCC اگر قیمت متوسط یک متر مربع این غشاءها ۳۵ دلار باشد در سال ۲۰۱۱ حدود ۱۰ درصد بازار غشاءها که معادل ۵۳ میلیون دلار، است در اختیار آنها خواهد بود. این تخمین نشان می‌دهد که به ۱/۵ میلیون متر مربع غشاء نانو کامپوزیتی نیاز است. وزن هر متر مربع از غشا نانو کامپوزیتی معلوم نیست. ولی با فرض اینکه وزن آن با وزن غشاهای معمولی Nafion برابر باشد (بین ۵۰ تا ۱۰۰ گرم بر متر مربع)، ۱/۵ میلیون متر مربع از غشا نانو کامپوزیتی وزنی بین ۷۵ تا ۱۵۰ تن دارد.

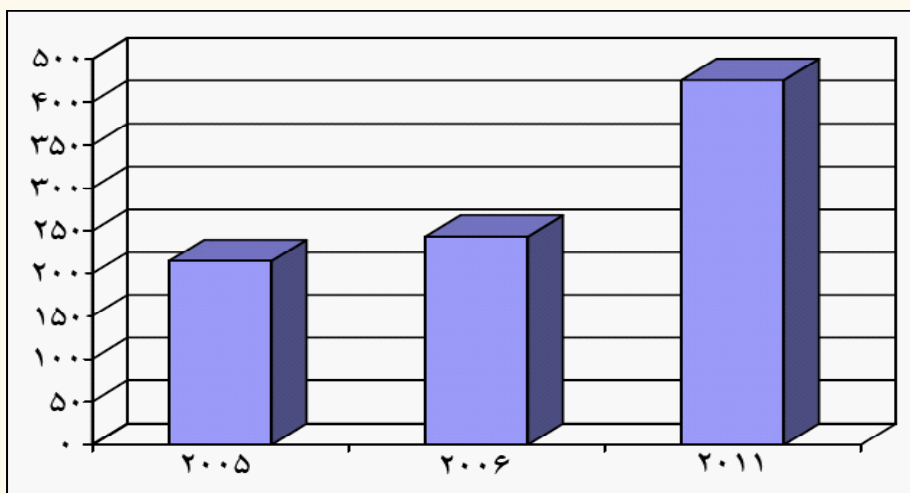
جدول ۴۹- پیش‌بینی بازار عمومی برای غشاهای نانو کامپوزیتی پیل سوختی، تا سال ۲۰۱۱

AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	غشاهای نانو کامپوزیتی برای پیل سوختی
۰/۰	۱۲۲/۵	۰/۰	۰/۰	وزن (تن)
۰/۰	۵۳/۰	۰/۰	۰/۰	ارزش (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

#### ۵ ۴ ۳ ۲ ۱ نانو کامپوزیت‌های با شکاف باند فوتونیک

بلورهای فوتونیک که در نانو کامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک شرکت می‌کنند تا قبل از سال ۲۰۰۶ به مرحله تجاری نرسیدند. در گزارش مؤسسه تحقیقاتی BCC، با عنوان «314-GB فناوری نانو برای فوتونیک»، یکی از پراست‌ترین کاربردهای تجاری بلورهای فوتونیک در فیلترهای افزایشی/کاهشی است. این فیلترها به طور گسترده‌ای در مخابرات نوری و سایر کاربردها استفاده می‌شوند. یک فیلتر کاهش‌دهنده از یک مجموعه سیگنال‌هایی که از یک موجبر منتشر می‌شود، محدوده‌ای از طول موج را انتخاب کرده (مجرأ) و آن را بدون یک موجبر دیگر (موجبر کاهش) جاری می‌کند. بازار آینده برای فیلترهای افزایشی/کاهشی ساخته شده از بلورهای فوتونیک، به سرعت تبدیل شدن آنها به یک محصول تجاری، قابل رقابت بودن آنها با فناوری‌های دیگر و نیز حجم کل بازار فیلترهای افزایشی/کاهشی بستگی دارد. تخمین‌ها و تصویرهای مربوط به حجم کل بازار به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند و علت آن شاید انعکاس شرایط بسیار آشفته‌ای باشد که در طول سه سال گذشته در صنعت شبکه‌های نوری حاکم بوده است. تحقیقات BCC تخمین‌های زیر را به عنوان یک آهنگ رشد محتاطانه ولی واقعی برای بازار فیلترهای افزایشی/کاهشی در سالهای آتی پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۲۷- روند فروش فیلترهای افزایشی/کاهشی نوری، از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ (میلیون دلار)

جزئیات شکل ۲۷			
۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	
۴۵۲/۵	۲۴۳/۴	۲۱۵	فروش فیلترهای افزایشی / کاهشی (میلیون دلار)

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

همیشه پیش‌بینی پتانسیل فروش برای یک فناوری که هنوز به صورت تجاری در نیامده مشکل است. با این حال، مؤسسه تحقیقاتی BCC معتقد است که اگر شرکت‌هایی که در حال توسعه فروش فیلترهای افزایشی / کاهشی ساخته شده از بلورهای فوتونیک هستند، بتوانند تا سال ۲۰۰۶ یک پروژه تجاری به بازار عرضه کنند، آنگاه قادر خواهند بود حدود ۵٪ کل بازار را در سال ۲۰۱۱ به دست گیرند و فروشی معادل ۲۲/۶ میلیون دلار داشته باشند. نانو کامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک تنها فناوری رقابت‌کننده در این بازار نیست و بنابر پیش‌بینی مؤسسه تحقیقاتی BCC حداکثر می‌توانند نصف این بازار به ارزش ۱۱/۳ میلیون دلار را قبضه کنند.

جدول ۵۰- پیش‌بینی عمومی فروش نانو کامپوزیت‌های شکاف باند فوتونیک، تا سال ۲۰۱۱				
AAGR% ۲۰۰۶-۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۶	۲۰۰۵	نانو کامپوزیت‌های شکاف بلند فوتونیک
۰/۰	NA*	NA*	NA*	وزن (تن)
۰/۰	۳/۸	۰/۰	۰/۰	ارزش (میلیون دلار)

NA\* = غیر قابل دسترس / منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC





بخش ۶

# صنعت نانوکامپوزیت

## ۶ صنعت نانو کامپوزیت

### ۱۶ ساختار صنعت و سهم بازار

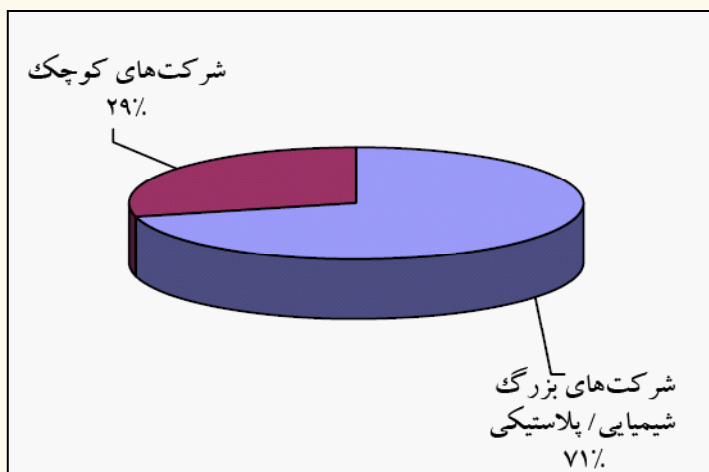
این بخش شامل بحث کوتاهی در مورد ساختار صنعت نانو کامپوزیت‌ها است.

### ۱۱۶ شرکت‌ها

شمارش تعداد شرکت‌هایی که در سطح جهان در حال توسعه، ساخت و فروش نانو کامپوزیت‌ها هستند مشکل است. نانو کامپوزیت‌ها را نمی‌توان به سادگی در دسته‌بندی‌های صنعتی تعریف شده مانند کد NAICS و یا سایر روش‌ها محدود کرد. به هر حال، زمینه نانو کامپوزیت‌ها بسیار جدید و با سرعت زیادی در حال گسترش است؛ به همین دلیل منابع آماری استاندارد مانند U. S. Economic Census و یا سایر انتشارات نتوانسته‌اند به اندازه کافی به آن پردازند. تحقیقات BCC براساس تحلیل نمونه بزرگی از شرکت‌های فناوری نانو است، توانست بین ۵۰ تا ۱۰۰ شرکت را که در سطح جهان مشغول توسعه، ساخت و تولید محصولات نانو کامپوزیتی هستند تخمین بزند. این شرکت‌ها شامل کارخانجات رزین (مانند BASF و GE Plastics)، تولیدکننده‌های مواد پرکننده (Nanocor، Southern Clay Products)، ترکیب‌کننده‌ها (Foster Corp.، RTP) و تولیدکننده‌های محصولات نهایی (General Motors، Wilson Sporting Goods و سایرین) هستند. صنعت نانو مواد شامل تعداد قابل توجهی از شرکت‌های بزرگ (با فروش بیش از یک میلیون دلار در سال) و چندمنظوره مانند Showa Denko و Bayer، Royal DSM است که نانو کامپوزیت‌ها سهم بسیار کوچکی از تجارت آنها را تشکیل می‌دهند. حدود یک سوم شرکت‌هایی که از نانو مواد استفاده می‌کنند، دارای تخصص عمومی در فناوری نانو هستند، و یک سوم دیگر آنها را واقعاً می‌توان متخصص نانو کامپوزیت دانست.

### ۲۱۶ سهم‌های بازار

کل بازار نانو کامپوزیت‌ها دارای ارزشی معادل ۲۵۲ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ بوده است. اگرچه به دست آوردن اطلاعات فروش نانو کامپوزیت‌ها از شرکت‌های منفرد مشکل است، اکثر این اطلاعات را می‌توان از شرکت‌های بزرگ چند منظوره شیمیایی / پلیاستیکی مانند Ube و Unitika از ژاپن، Bayer و Dow Chemical به دست آورد. پیش‌بینی می‌شود این شرکت‌ها در کل بتوانند بیش از ۷۰ درصد بازار را تامین کنند. درصد باقی مانده را می‌توان از شرکت‌های کوچکتر مانند RTP، InMat و Nanocor به دست آورد.



شکل ۲۸- سهم‌های بازار نانو کامپوزیت‌ها، در سال ۲۰۰۵ (درصد از کل فروش)

جزئیات شکل ۲۸		
نوع شرکت	میلیون دلار	درصد
شرکت‌های بزرگ شیمیایی / پلیاستیکی	۱۸۰/۰	۷۱
تولیدکننده‌های کوچکتر	۷۲/۰	۲۹
مجموع	۲۵۲/۰	۱۰۰

منبع: مؤسسه تحقیقاتی BCC

# بخش ۷ فهرست فروشندگان

## ۷ فهرست فروشندگان

### ۱۷ شرکت ABS INTERNATIONAL CORP

این شرکت تولید کننده و توزیع کننده انواع مختلفی از توپ‌های بازی بولینگ و تجهیزات آن شامل توپ بولینگ پوشش داده شده با نانو کامپوزیت Nanodesu Fulleren است.

### ۲۷ AGILENT TECHNOLOGIES

Agilent در سال ۱۹۹۹ توسط شرکت Hewlett-Packard (hp) بنا شد. این شرکت تولید کننده ۶/۱ میلیارد دلاری محلول‌های نیمه‌رسانا در مخابرات سیمی و بدون سیم، تحلیل کننده‌های اطلاعاتی، تصویربرداری، موقعیت یابی نوری و منابع نوری حالت جامد است. سازمان مرکزی تحقیق و توسعه این شرکت در حال پیگیری محصولات فوتونیک در زمینه‌های مختلف از قبیل مواد با شکاف باند فوتونیک و فیلترهای افزایشی / کاهششی است. Aligent در تأسیس مرکز فوتونیک در دانشگاه بوستون نقش زیادی داشته است. این مرکز مشغول تجاری کردن فناوری فوتونیک است.

### ۳۷ ALCOA CLOSURE SYSTEMS INTERNATIONAL

Alcoa Closure Systems International (Alcoa CSI) یکی از واحدهای تجاری در گروه بسته‌بندی Alcoa است. این شرکت بزرگ‌ترین تولید کننده نوشیدنی‌های بدون گاز، آبمیوه‌ها، آب معدنی، لبنیات، نوشابه، دارو، مراقبت‌های شخصی، سیالات خودرو و سایر بازارها است. این شرکت نسبت به ثبت اختراع خود در مورد پوشش‌های انسدادی برای درهای پلاستیکی بطری‌های آبمیوه و نوشیدنی‌های گازدار در دفتر ثبت پتنت آمریکا اقدام کرده است. این پوشش شامل یک لایه نانو کامپوزیت نایلون ۶/۶ خاک رس و یک یا دو لایه EVA حاوی آنتی‌اکسیدان است. با توجه به اظهارات این شرکت، این پوشش‌ها در رطوبت بالا (۹۵ تا ۹۶ درصد) بسیار بهتر از سایر موانع عمل می‌کند.

### ۴۷ ALPS ELECTRIC CD., LTD

ALPS ELECTRIC یک تولید کننده ۵/۹ میلیارد دلاری در زمینه ادوات الکترونیکی مانند اتصالات، حسگرها، کلیدها، هدهای مغناطیسی و پتانسیومترهاست. محصول نانو کامپوزیتی آن آلیاژهای Nanoperm است.

### ۵۷ ALTAIR NANOTECHNOLOGIES, INC

شرکت Altair Nanotechnologies، نانو ذرات و رنگدانه‌های دی‌اکسید تیتانیوم تولید می‌کند. محصولات نانو ذره‌ای آن به‌طور اصلی در افشانه‌های گرمایی و کاربردهای کاتالیزوری و نیز کارهای توسعه‌ای بر روی باتری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شرکت در سال ۲۰۰۵ درآمدی معادل ۲/۸ میلیون دلار داشت.

### ۶۷ BABOLAT NORTH AMERICA, INC

Babolat یکی از قدیمی‌ترین تولید کننده‌های راکت تنیس در جهان است. این شرکت راکت‌های تنیس مبتنی بر کامپوزیت‌های نانولوله کربنی را که با همکاری با Nanoledge توسعه یافته‌اند می‌فروشد. این شرکت در حال حاضر سالانه ۱۵ میلیون دلار فروش دارد.

### ۷۷ BASELL POLYOLEFINS CO. N,V

Basell Polyolefins سرمایه‌گذار مشترک Shell و BASF است. دفتر این شرکت در هلند قرار دارد و یکی از اصلی‌ترین تولید کنندگان پلی‌پروپیلن و بزرگ‌ترین تأمین کننده پلی‌اتیلن و محصولات پلی‌اولفین پیشرفته در سطح جهان است. این شرکت توانست با مشارکت General Motors و Southern Clay Products راکب‌های نانو کامپوزیتی مبتنی بر ترموپلاست‌های اولفینی را برای دو مدل جدید خودروی جنرال موتور تولید کند.

### ۸۷ BAYER AG

Bayer AG بعد از BASF دومین تولید کننده بزرگ مواد شیمیایی در جهان با فروش سالانه ۳۲ میلیارد دلار است. این شرکت

تولید کننده و فروشنده انواع مختلفی از مواد نازک انسدادی از جنس نایلون/خاک رس تحت عنوان Durethan® است. Bayer این محصولات را با همکاری Nanocor تولید می کند.

#### CARBOLEX, INC ۹۷

Carnolex در سال ۱۹۹۸ به عنوان بنیادی از مرکز تجاری سازی علوم و فناوری پیشرفته در دانشگاه کنتاکی تأسیس شد. این شرکت می تواند روزانه ۳۵ گرم نانولوله کربنی تک جداره تولید کند.

#### CARBON NANOTECHNOLOGIES, INC ۱۰۷

Carbon Nanotechnologies شرکتی خصوصی و تازه کار است. این شرکت در سال ۲۰۰۰ پایه ریزی شد و دارای مجوز انحصاری و جهانی از دانشگاه رایس برای بازه وسیعی از فناوری های وابسته به نانولوله های کربنی است که شامل فناوری های تولید محصولات نهایی مانند استفاده از نانولوله های کربنی در پلیمرها می باشد. این شرکت در کل حدود ۷۰ پتنت دارد. در سال ۲۰۰۱، CNI مبلغ ۱۵ میلیون دلار سرمایه از سوی گوردن کاین و ویلیام مک مین دریافت کرد. CNI در نانولوله های کربنی تک دیواره تخصص ویژه دارد و در حال حاضر مشغول راه اندازی یک واحد صنعتی در غرب هوستون می باشد. این شرکت هم اکنون نانولوله های تولیدی اش را به قیمت پایه و یا حتی در بعضی موارد آنها را به صورت رایگان در اختیار مشتریان قرار می دهد تا بتواند در جلب مشتری موفق شود. CNI بیش از ۷۰۰ مشتری را با نمونه های نانولوله ای اش تغذیه می کند. سیاست اصلی CNI همسوس شدن با مشتری های بالقوه مانند IBM است. هدف اصلی آنها در این سیاست، توسعه شراکت هایی است که به مشتری اجازه می دهد تا از مهارت و تجربه های فکری آنها استفاده کند و در عوض، هر دو طرف در منافع حاصله سهیم باشند.

این شرکت یک همکاری با شرکت DSM به منظور توسعه نانولوله ها در جهت استفاده در فیلم ها و الیاف پلاستیکی DSM که از پلی اتیلن با وزن مولکولی بالا ساخته می شوند، آغاز کرده است.

#### CLARIANT INTERNATIONAL AG ۱۱۷

شرکت Clariant یک تولید کننده مطرح مواد شیمیایی خاص است. فروش سال ۲۰۰۵ آن حدود ۷/۵ میلیارد دلار بود. این شرکت در زمینه توسعه مسترچ های PP /مونت موریلونیوم برای فیلم های بسته بندی، با شرکت Nanocor همکاری می کند.

#### DEGUSSA AG ۱۳۷

Degussa یک تولید کننده چند ملیتی متخصص در مواد شیمیایی با سرمایه ۱۵/۳ میلیارد دلار است. محصولات آن شامل Vestamid است که یک نوع نانو کامپوزیت ها MWNT / نایلون برای خطوط سوخت و سایر کاربردهای لوله کشی است. این کاربردها شامل عایق بندی سیم ها برای صنعت کابل، ساخت لوله های جراحی برای استفاده در بخش فناوری پزشکی، ابزار دقیق برای حفظ چرخ دنده ها و شیرفلکه ها در ملزومات مهندسی و ماشین آلات می باشند.

#### DOW CHEMICAL CO ۱۳۷

DOW یکی از شرکت های پیشرو در بحث تحقیقات فناوری نانو و تجاری سازی آن در محصولات شیمیایی به حساب می آید. براساس مطالعات سال ۲۰۰۲ که از سوی بنیاد ملی علوم حمایت شد، DOW در بین تمام شرکت های شیمیایی، از لحاظ تعداد اختراعات فناوری نانو توانست با ۳۲۲ اختراع حائز رتبه سوم شود.

این شرکت یک تولید کننده اصلی در رزین های ترموپلاست و ترموست است و مدتی است که بر روی نانو کامپوزیت ها کار می کند. اکثر این کارها بر روی پلی پروپیلن متمرکز شده است اگرچه این شرکت می تواند TPO ها را نیز گسترش دهد. به عنوان مثال این شرکت با همکاری Magna بر روی نانو کامپوزیتی که در خودرو کاربرد دارد، کار می کند.

DOW در اکثر قسمت ها، خاک رس طبیعی را کنار گذاشته و به توسعه خاک رس سنتزی برای نانو کامپوزیت ها پرداخته است. اگر این رهیافت موفقیت آمیز باشد آنگاه این شرکت تبدیل به تنها تولید کننده رزین و خاک رس نانومقیاس خواهد شد.

این شرکت به نانو کامپوزیت های ترموست نیز علاقه مند است و یکی از بزرگ ترین تولید کنندگان اپوکسی ها و پلی اورتانها به حساب می آید و منابعی برای توسعه نانو کامپوزیت های ترموست دارد.

#### EASTON SPORTS, INC ۱۴۷

Easton Sports یک تولید کننده، بازاریاب و توزیع کننده خصوصی تجهیزات ورزشی است و در سال ۲۰۰۵ دارای فروش



۳۴۲ میلیون دلاری بوده است. این شرکت مشغول توسعه و کاربرد مواد پیشرفته در ساخت تجهیزات ورزشی با قابلیت بالا مانند چوب بیسبال و هاکی، فرمان دوچرخه‌ها و سایر اجزای مبتنی بر کامپوزیت‌های نانولوله کربنی است. این شرکت با همکاری Kaiser Aluminum و Ashurst Technology در توسعه آلیاژهای آلومینیوم/اسکاندیوم برای استفاده در شاسی‌های دوچرخه و سایر کاربردهای ورزشی به موفقیت بزرگی رسیده است. Easton علاوه بر دوچرخه‌های خودش، لوله‌های اسکاندیومی را به شرکت‌هایی مانند Tomac، Fugi، VooDoo، 3D Santana و Racing، Joe Murray، Rocky Mountain و نیز شش شرکت دیگر اروپایی می‌فروشد.

#### E. I. DU PONT DE NEMOURS AND CO ۱۵ ۷

Dupont یک تولیدکننده مواد شیمیایی با سرمایه ۲۷ میلیارد دلاری است و در زمینه مطالعه نانو کامپوزیت‌های جدید بازدارنده شعله و نیز پلیمرهای پر شده با نانولوله، فعالیت دارد. این شرکت از سال ۲۰۰۰ مبلغ ۶۰ میلیون دلار برای ادامه همکاری‌اش با MIT به منظور تمرکز بر روی ساخت مواد نوین نسل جدید مانند نانو کامپوزیت‌ها، هزینه کرده است.

#### eSPIN TECHNOLOGIES, INC ۱۶ ۷

eSpin تولیدکننده نانوالیاف پلیمری با ضخامتی بین 20-200 nm است. این الیاف می‌توانند از انواع مختلفی از پلیمرهای آلی (نایلون، پلی استر، پلی آرامید، آکریلیک و ...) و زیستی (پروتئین، کلاژن و ...) ساخته شوند. کاربردهای بالقوه آنها شامل صافی، ساختارهای با عملکرد بالا، منسوجات نفوذناپذیر و تجهیزات زیست پزشکی است. نانوالیاف کربنی این شرکت در عایق‌بندی گرمایی، تجهیزات ذخیره انرژی و ترکیبات ساختاری کم وزن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

#### EXATEC GMBH & CO. KG ۱۷ ۷

EXATEC در سال ۱۹۹۸ با سرمایه‌گذاری مشترک دو شرکت Bayer Material Science و GE Plastics به منظور توسعه سیستم‌های لعاب کاری پلی کربنات برای بازار خودرو و بنیانگذاری شد.

#### FOSTER CORP ۱۸ ۷

Foster یک شرکت محلول‌های شیمیایی با خدمات کامل است و در تجهیزات پزشکی، بخش‌های دارویی و زیست‌فناوری با ارائه فناوری‌های پلیمری فعالیت می‌کند. این شرکت برای اولین بار استفاده از کامپوزیت‌های خاک رس/نایلون ۱۲ را به صورت فیلم در سال ۲۰۰۱ معرفی کرد. امروزه نانو کامپوزیت‌های خاک رس/نایلون ۱۲ با عنوان Nanomed به طور ویژه در کاربردهای تجهیزات پزشکی مانند کاربردهای درون رگی و لوله‌های جراحی بالونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در فناوری جدید از نانوذرات خاک رس جهت ایجاد اتصالات عرضی به منظور افزایش استحکام کششی و تاخیر در اشتعال استفاده می‌شود. در نتیجه، این فناوری با حفظ بیش از ۵۰ درصد خاصیت کششی اولیه بعضی از پلیمرها می‌تواند انعطاف‌پذیری آنها را حدود ۵۰ درصد بالا ببرد. فناوری Nanomed می‌تواند برای PE، PP، PVC، PC، PET، PBT، PES (پلی اترسولفون) و PEEK به کار رود. پلی اورتانها و اپوکسی‌ها نامزدهای مناسبی برای ترموست‌ها هستند.

#### FRONTIER CARBON CORP ۱۹ ۷

Frontier Carbon Corp هم حاصل سرمایه‌گذاری مشترک Mitsubishi Corp و Mitsubishi Chemical Corp است که در اواخر سال ۲۰۰۱ با حمایت مالی Nanotech Partners که یک صندوق سرمایه‌گذار خصوصی در فناوری نانو است، تأسیس شد. این شرکت به منظور تولید انبوه نانو مواد کربنی و ساخت محصولات مبتنی بر فولرین و نانولوله‌های کربنی دایر شده است. فولرین‌های C<sub>60</sub> این شرکت در ساخت توپ‌های بولینگ Nanodesu با پوشش نانو کامپوزیتی ساخت شرکت ABS International به کار می‌رود. همچنین در انواع وسایل ورزشی مانند چوب گلف، راکت‌های بدمیتون، راکت تنیس و نیز واکس چوب اسکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### GE PLASTICS ۲۰ ۷

GE Plastics تولیدکننده عمومی رزین‌های پلاستیکی است. این شرکت در خرید MWNTها یکی از مشتریان اصلی

Nanocor است. این مواد در تعدادی از کامپوزیت‌های نایلون/ پلی فنیلن محصول GE Noryl® به منظور رنگ پذیر کردن الکترواستاتیکی اجزای بیرونی ماشین‌ها، به کار گرفته می‌شوند.

### General Motors CORP ۲۱ ۷

GM بزرگ‌ترین تولیدکننده وسایل نقلیه موتوری در دنیا است و فروش سال ۲۰۰۵ آن در حدود ۱۹۲/۶ میلیارد دلار بوده است. این شرکت در معرفی کاربردهای جدید نانو کامپوزیت‌ها در خودرو پیشقدم است. برای مثال، GM برای اولین بار استفاده تجاری از نانو کامپوزیت در قسمت بیرونی خودرو را در مدل‌های جدید Chevrolet Astro, GMC Safari در سال ۲۰۰۲ مطرح کرد. در سال ۲۰۰۴ نیز یک نانو کامپوزیت خاک رس / پلی پروپیلن در قالب‌گیری بدنه Chevrolet Impala به کار گرفته شد. این ترکیب توسط مرکز تحقیق و توسعه GM در وارن، میشیگان، و با همکاری جنرال موتور هم‌اکنون حدود ۷ پوند از کامپوزیت نانو خاک رس / TPO را برای قطعاتی مثل اتصال مرکزی باربند، تیرک بادبان و محافظ ریل - جعبه دنده در محصول Hummer H2 SUT استفاده می‌کند.

### HOLMENKOL SPORT – TECHNOLOGIES GMBH ۲۲ ۷

Holmenkol Sport – Technologies حاصل سرمایه‌گذاری مشترک Loba Chemical و Nanogate Technologies است که به منظور تولید و بازاریابی نانو کامپوزیت Nanowax مورد استفاده در چوب و تخته اسکی و بر اساس فناوری توسعه یافته از سوی Nanogate تشکیل شد.

### ONEFWELL SPECIALTY POLYMERS ۲۳ ۷

Honeywell تعدادی از نانو کامپوزیت‌ها خاک رس / نایلون را تحت عنوان Aegis تولید می‌کند. مواد انسدادی نانو کامپوزیتی Aegis در تهیه ظرف‌های نگهداری نوشیدنی‌های الکلی و گازدار به کار می‌روند.

### .HYPERION CATALYSIS INTERNATIONAL, INC ۲۴ ۷

Hyperion Catalysis در سال ۱۹۸۲ به منظور تجاری‌سازی الیاف کربنی تاسیس شد. این شرکت از فناوری ابداعی بانی شرکت هاوارد تنت، استفاده می‌کند. او فرآیندی برای رشد کاتالیزوری نانولوله‌ها از مواد اولیه هیدروکربنی گسترش داده است. این شرکت بیش از ۱۰۰ اختراع به ثبت رسانده است و اگرچه اختراعات اولیه‌اش کم‌مصرف شده‌اند، ولی همچنان اعتقاد دارد که این اختراعات به خوبی در صحنه رقابت در امان مانده‌اند. محصول اصلی Hyperion نانولوله کربنی چند دیواره است که با کاتالیزور Fibril رشد داده می‌شود. این شرکت دسته‌های بزرگی از پلیمرها و ترکیباتی که شامل ۱۵ الی ۲۰ درصد نانولوله کربنی هستند و نیز ترکیباتی که برای قالب‌گیری مناسب هستند را عرضه کرده است. این مواد در ترکیبات پلاستیکی صنعت خودرو سازی (پایه، محفظه‌ها، خطوط سوخت) قطعات الکترونیکی (محیط‌های ذخیره الکترونیکی، ابزارهای ساخت) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### INFRAMAT CORP ۲۵ ۷

Inframat یک شرکت خصوصی است که در سال ۱۹۹۶ تأسیس شد. این شرکت با سرمایه حاصل از قراردادهای تحقیق و توسعه با دولت آمریکا و قراردادهای توسعه‌ای مشترک، بر گسترش پوشش‌های نانو سرامیکی جدیدی که می‌توانند با فناوری مرسوم پوشش‌های پاششی گرمایی به کار گرفته شوند، تمرکز کرده است. این شرکت دارای هفت اختراع ثبت شده در آمریکاست و درآمد اخیر آن بیش از ۱ میلیون دلار است که شامل فروش‌های تجاری و قراردادهای دولتی است. بهترین محصول Inframat پوشش سرامیکی کشسان تیتانیا/ آلومینا با عنوان Nanox 2613 است. بنابر ادعای این شرکت، پوشش مذکور از لحاظ مقاومت به سایش پنج برابر، از نظر استحکام چهار برابر و از لحاظ طول عمر ده برابر بهتر از روکش‌های میکرونی است و نسبت به آنها انعطاف پذیری بالاتر و قابلیت ماشین کاری بهتری دارد. پوشش تیتانیا / آلومینا همچنین می‌تواند از رشد صدف‌ها و جلبک‌ها بر روی سطوح جلوگیری کند. Nanox در واقع با سرمایه‌گذاری نیروی دریایی آمریکا توسعه یافته است و در کاربردهای دریایی مانند پوشش ورودی‌های هوا در زیردریایی و نیز در شیرفلکه‌های خروجی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پوشش همچنین دارای پتانسیل کاربردی وسیع تجاری در بخش معدن، کاغذ، خمیر کاغذ و همچنین در قسمت‌های مختلف مخابرات دریایی است. Inframat همچنین در حال توسعه نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی (Ni-Fe/Sio2, Co/Sio2, Fe-Co/sio2, Fe/Ni-Ferrite) مغناطیسی (Ni-Zn-Ferrite/Sio2, Fe-Ni / پلیمر و کوپلیمر) برای استفاده در تجهیزات الکترونیکی فرکانس بالا (>1MHZ) مانند رادارها،

ماهواره‌ها و سیستم‌های مخابراتی و همچنین در سیستم‌های استریوی خانگی است. این کار به صورت مشترک توسط NSF، DARPA، NASA و نیروی هوایی و دریایی آمریکا سرمایه‌گذاری شده است. Inframat در حال حاضر مشغول یافتن یک شریک تجاری برای این فناوری است.

#### INMAT LLC (۲۶) (۷)

Inmat به عنوان برنامه توسعه‌ای مشترک شرکت Hoechst Research and Technology آغاز به کار کرد و هم‌اکنون یکی از تولیدکنندگان اصلی لاستیک است. در سال ۱۹۹۷ این پروژه به یک موفقیت فناوری بزرگ دست یافت و آن، تولید نانو کامپوزیت انعطاف‌پذیر لاستیک بوتیل / ورمیکولیت بود. نفوذ گازها در این محصول ۸۰ برابر کمتر از لاستیک بوتیل است.

فناوری این شرکت بر این اصل استوار است که اگر پرکننده‌های غیر قابل نفوذ به گونه‌ای در کنار هم قرار گیرند که بتوانند مسافتی را که یک مولکول گازی سیر می‌کند افزایش دهند، نفوذ مولکولها در یک لایه نازک پلی‌مری می‌تواند به طرز قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. هرچه نسبت ظاهری ذرات پرکننده بزرگ‌تر باشد، یعنی نسبت پهنا به ضخامت آنها بزرگ‌تر باشد، توانایی آنها برای جلوگیری از نفوذ مولکولهای گازی که سعی دارند از لایه نازک خارج شوند، بیشتر می‌شود. اختراع اصلی Inmat که در فناوری پوشش نانو کامپوزیتی و سایر کاربردها به کار می‌رود در سال ۲۰۰۰ ثبت شد. اولین کاربرد تجاری پوشش‌های انسدادی ساخته شده توسط Inmat که Air D-Fense نام دارند در توپ تنیس دو لایه‌ای Wilson است. هسته داخلی این توپ با پوشش انسدادی Air D-Fense پوشیده شده است و باعث می‌شود که فشار هوای داخل حفظ شده و جست و خیز آن نسبت به توپ‌های معمولی حداقل دو برابر بیشتر شود. سایر کاربردهای بالقوه سیستم Air D-Fense شامل لاستیک‌ها، قلم‌های نقاشی، دستکش‌های حفاظتی لاستیکی، تجهیزات شناورسازی، بالش‌های هوایی و کفش‌های مسابقه است. فروش Inmat در سال ۲۰۰۵ در حدود ۵۰۰ هزار دلار بوده است.

#### KABELWERK EUPEN AG (۲۷) (۷)

KABELWERK Eupen یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان کابل مخابرات، تلویزیون و کابل‌های توزیع قدرت است. این شرکت با همکاری Sud - Chemie AG یک سری از کابل‌های EVA / LDPE که با نانو سفال پر شده‌اند ساخته، که مقاومت بالایی در برابر مشتعل شدن دارند.

#### LG CHEM (۲۸) (۷)

LG Chem، بخشی از شرکت LG و یک تولیدکننده چند منظوره مواد شیمیایی با سرمایه ۶/۸ میلیارد دلار است. این شرکت توانسته است با قالب‌گیری دمشی تک لایه‌های HDPE با قابلیت نفوذناپذیری بالا بسازد که شامل ۳ الی ۵ درصد خاک رس نانومقیاس است و در ظروف تولوئن و سیال‌های سبک هیدروکربنی استفاده می‌شود. مطابق گزارش این شرکت، نثر حلال‌های هیدروکربنی در این محفظه‌ها نسبت به HDPE خالص حدود ۴۰ تا ۲۰۰ برابر کاسته شده است.

#### MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD (۲۹) (۷)

Matsushita Electric Works (MEW) یک شرکت چند منظوره با سرمایه ۱۲/۶ میلیارد دلار است که در پنج زمینه تجاری فعالیت دارد: مواد سازه‌ای الکتریکی، محصولات ساختمانی، لوازم خانگی، سیستم‌های کنترل خودرو و مواد پلاستیکی. مارک‌های National Electronics و Panasonic به این شرکت تعلق دارند. این شرکت از فناوری نانو در تعدادی از محصولاتش استفاده می‌کند و اخیراً به منظور تجاری‌سازی باتری‌های خورشیدی CdSe / P3HT که دارای کاربردهای ساختمانی هستند، با شرکت Nanosys توافق‌نامه همکاری امضاء کرده است.

#### MITSUBISHI CHEMICAL CORP (۳۰) (۷)

Mitsubishi Chemical یک شرکت شیمیایی با سرمایه ۱۸/۲ میلیارد دلار است که از محصولات نانو خاک رس شرکت Nanocor در نایلون‌ها به عنوان لایه‌های انسدادی قابل استفاده در بطری‌های PET چند لایه و لایه‌های نازک برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌کند. نانو کامپوزیت نایلونی این شرکت که Imperm N نامیده می‌شود به صورت تجاری در اروپا برای بطری‌های PET چند لایه به منظور نگهداری مشروبات الکلی استفاده می‌شود. این محصول در حال ارزیابی کاربرد این محصول در بطری نوشابه‌های گازدار است. سایر کاربردهای آینده Imperm ظرف‌های چند لایه گرماشکل برای نگهداری پنیر و گوشت و نیز فیلم‌های چند لایه انعطاف‌پذیر برای نگهداری خلال سیب زمینی و رب گوجه فرنگی هستند.

### NANOLEDGE ۲۱۷

Nanoledge در سال ۲۰۰۱ به عنوان شاخه‌ای از دانشگاه مونت پلیه تأسیس شد. این شرکت در تولید انبوه و تجاری سازی نانولوله‌های کربنی ساخته شده به روش تخلیه الکتریکی تبحر دارد. درآمد تخمین زده شده این شرکت در سال ۲۰۰۲، ۱۱۰ هزار دلار بوده است.

شرکت Nanoledge به همراه شرکت Babolat که یک کارخانه تولید کننده وسایل ورزشی است، بر روی توسعه راکت‌های تنیس مبتنی بر مواد نانولوله کربنی کار می‌کند. این شرکت توافق‌نامه‌های همکاری دیگری با چندین شرکت بزرگ در زمینه صنعت پلیمر دارد.

Nanoledge توانسته است الیاف نانولوله‌ای بسازد که تا ۱۰۰ درصد حاوی نانولوله کربنی است. این ماده تمام خواص الکتریکی، گرمایی و رفتاری نانولوله‌های کربنی را دارد و فراوری آن نیز ساده تر است.

### NANOCOR, INC ۲۲۷

Nanocor یک بخش فرعی از شرکت بین المللی AMCOL است. این شرکت بزرگ‌ترین تولید کننده عمومی خاک رس نانو مقیاس برای استفاده در نانو کامپوزیت‌های پلاستیکی است. این شرکت صاحب بیش از ۳۰ اختراع ثبت شده در آمریکا در زمینه فناوری‌های تولید خاک رس نانو مقیاس برای استفاده در پلاستیک‌ها و همچنین فناوری‌هایی در زمینه تولید نانو کامپوزیت‌هاست.

Nanocor تولید تجاری خاک رس را از سال ۱۹۹۸ آغاز کرد و هم اکنون انواع گوناگونی از محصولات مانند نانو پودر، مستریج و نانو کامپوزیت‌ها را تولید می‌کند. کاربرد اصلی آنها در بسته بندی محصولات، اجزای اتومبیل و سایر محصولات صنعتی است.

### NANOGATE TECHNOLOGIES GMBM ۲۳۷

این شرکت که در سال ۱۹۹۸ پایه ریزی شد، دارای تخصص بالایی در تولید نانو کامپوزیت‌های آلی - معدنی و نانو ساختارهای خود سامان است. فروش آن در سال ۲۰۰۱ در حدود ۴ میلیون دلار بوده است (نزدیک‌ترین سالی که اطلاعات آن در دسترس است) و در سال ۲۰۰۰ در حدود ۲/۲ میلیون دلار فروش داشت.

راهبرد Nanogate در بخش‌های زیر متمرکز است:

- فناوری سطح
  - پوشش‌های غیر چسبنده بر روی شیشه، سرامیک، فلزات و پلیمرها
  - سیستم‌های ضد خراش برای پلاستیک
  - سیستم‌های ضد خوردنده برای فلزات سبک
  - فناوری نانو سرامیک
  - مواد سرامیکی دما بالا که از کاربرد سیلیکون (SiC) ساخته می‌شوند.
- یکی دیگر از هدف‌های Nanogate یافتن شرکای راهبردی است؛ از این جمله می‌توان به همکاری تجاری با LOBA که یک شرکت شیمیایی آلمانی است اشاره نمود (Holmenkol Sport – Technologies Gmbm & Co). این همکاری در ابتدا در زمینه بازاربایی پوشش‌های چوب و تخته اسکی به نام Nanowax است، ولی در نهایت به انتقال این فناوری به سایر لوازم ورزشی مانند پوشش‌های ضد رسوب و دافع یخ در قایق‌ها می‌شود.

### NANOSYS, INC ۲۴۷

Nanosys یک شرکت خصوصی در کالیفرنیا است که بر روی توسعه پروژه‌های فناوری نانو در سه زمینه اصلی فعالیت دارد:

- فوتولتائیک
  - حسگرهای شیمیایی و زیستی
  - سطوح نانو ساختار (برای مثال، سطوح بسیار آب گریز که در آنها آب از سطح جدا می‌شود؛ سطوح ضد میکروب که از رشد باکتری جلوگیری می‌کنند؛ چسب‌های حالت جامد که قابلیت ایجاد پیوندهای صنعتی محکم از طریق برهم کنش‌های واندروالسی دارند).
- برای رسیدن به این اهداف، این شرکت در حدود ۱۲۰ اختراع ثبت شده دارد که همگی در مورد نانو مواد نیمه رسانای معدنی مانند نانوسیم‌ها، نانومیل‌ها و نقاط کوانتومی هستند. اگرچه Nanosys هنوز یک محصول تجاری معرفی نکرده است،



ولی از زمان تأسیس تاکنون نزدیک به ۸۰ میلیون دلار دارایی از طریق سهام و غیر آن جمع کرده است و احتمالاً فناوری فوتولتائیک آن به زودی تجاری می‌شود. این شرکت یک توافق‌نامه با شرکت Matsushita Electric Works برای تولید پیل‌های خورشیدی جهت استفاده و فروش در بازار مواد ساختمانی امضاء کرده است. Nanosys در سال ۲۰۰۳ اعلام کرد که حقوق انحصاری جهانی را در تجاری کردن فناوری باتری‌های خورشیدی نانو کامپوزیتی از آزمایشگاه ملی لارنس برکلی و دانشگاه کلمبیا دریافت کرده است.

#### NANOSOLAR, INC (۲۵) (۷)

Nanosolar تک‌رشد در اکتبر ۲۰۰۱ تأسیس شد. این شرکت از نانو ساختارهای خودآرا و فناوری‌های فوتولتائیک آلی که برای اولین بار در آزمایشگاه ملی ساندا یا توسعه یافت و مجوز ساخت برای آنها صادر شد استفاده می‌کند. فناوری این شرکت بر روش‌های خودآرایی شیمیایی استوار است که در ساخت نانومتریس‌های نیمه رسانا که یکی از دو قسمت یک پیل خورشیدی است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. قسمت دیگر از طریق ماده پرکننده مناسب به دست می‌آید. سطوح مشترک تولید شده در پیل‌های Nanosolar در مقایسه با پیل‌های خورشیدی سیلیکونی حدود ۱۰۰۰ برابر بیشتر است (در هر واحد سطح) و این در حالی است که در مقایسه با آنها حدود ۱۰۰۰ برابر نازک‌تر نیز هستند. پیل‌های Nanosolar را می‌توان در حجم انبوه بوسیله فرآیند روکش دهی مبتنی بر حلال‌های ارزان قیمت ساخت.

#### .NEI CORP (۲۶) (۷)

شرکت Nanopowder Enterprises (NEI) Corp مشغول توسعه و ساخت مواد نانومقیاس برای کاربردهای گوناگون از قبیل پلیمرها و پوشش‌های پاششی گرمایی است. فروش فعلی این شرکت در حدود ۲۵۰ هزار دلار در سال است.

#### NEOMAX CO., LTD. (۲۷) (۷)

در سال ۲۰۰۴ شرکت‌های Sumitomo Special Metals و Hitachi Metals واحدهای عملیاتی آهنرباهای دائمی خود را با هم ترکیب و نام NeoMax را برای آن انتخاب کردند. محصولات این شرکت شامل کامپوزیت یا آلیاژهای نانومغناطیسی به نام Finemet است.

#### .NANOQUEST PTY, LTD (۲۸) (۷)

یک شرکت خصوصی با هدف تجاری‌سازی فناوری‌ها و کاربردهای نانو مواد است. یکی از این نانو مواد که هم اکنون در دست توسعه و بررسی است، خاک رس هیدروتالکیت سنتزی است. طبق گفته این شرکت این محصول هنوز در مرحله اولیه است و هیچ اختراعی برای آن به ثبت نرسیده است.

#### NOBEL POLYMERS (۲۹) (۷)

Nobel Polymers تولیدکننده محلول‌های پلاستیکی و ترکیبات رنگینه‌ای با کارکرد بالا است. این شرکت در سال ۲۰۰۳ نانو کامپوزیت ساخته شده از پلی‌پروپیلن را با نام Forte معرفی کرد. اولین کاربرد تجاری Forte در پستی‌های صندلی برای خودروی Honda Acura TL در سال ۲۰۰۴ بود. این محصول می‌تواند جایگزین پلی‌پروپیلن‌های پر شده با شیشه که باعث بروز مشکلات فرآوری، عیب‌های ظاهری و پیچ خوردگی می‌شوند، گردد. Forte دارای چگالی پایین به اندازه ۰/۹۲۸ g/cc، خواص مکانیکی فوق‌العاده و نیز کیفیت سطح بالا و قابلیت بازیافت شدن است. Noble ادعا می‌کند که نانو کامپوزیت Forte همچنین می‌تواند در ساخت میز فرمان مرکزی برای کامیون‌های سبک مدل ۲۰۰۶ مورد استفاده قرار گیرد. سایر کاربردهای آتی شامل مبلمان اداری (جایگزین شدن ۲۰ درصد برای پلی‌پروپیلن‌های شیشه‌ای) و ابزارآلات است، در اینصورت Forte باعث خواهد شد که وزن و احتمالاً قیمت آنها کاهش یابد.

#### Pentron CLINICAL TECHNOLOGIES LLC (۴۰) (۷)

Pentron تولیدکننده و توسعه‌دهنده محصولات دندانپزشکی مانند NanoBond است. این ماده یک چسب دندان نانو کامپوزیتی حاوی POSS می‌باشد.

#### .POLYONE CORP (۴۱) (۷)

Polyone یک شرکت خدمات پلیمری بین‌المللی است که در زمینه ترکیبات ترموپلاست، مخصوصاً سیستم‌های مواد افزودنی، رنگ و فرمولاسیون پلیمرها کار می‌کند. فروش سالانه این شرکت در حدود ۲ میلیارد دلار است. در سال ۲۰۰۳ این

شرکت همکاری راهبردی با Nanocor به منظور توسعه و تجاری سازی کاربردهای نانو کامپوزیت های جدید خاک رسی آغاز کرد. اولین نتیجه این همکاری راه اندازی خط تولید TM Nanoblend برای تولید مخلوط های نانوپلیمری ساخته شده از PE و PP است که شامل ۴۰ درصد نانو خاک رس است. مخلوط های Nanoblend به ویژه برای بخش های ترموپلاستیک اولفینی (TPO) در اجزای درونی و بیرونی خودروها مناسب هستند. مزیت این کاربردها پایداری ابعادی، وزن سبک تر و سفتی کمتر است. کاربرد مخلوط های Nanoblend در فیلم های نازک به منظور افزایش خاصیت انسدادی آنها، کاهش سفتی، HDT و انتقال و رهاسازی کنترل شده افزودنی هایی مانند حشره کش ها و رنگدانه ها در حال ارزیابی است. بعضی از واحدهای صنعتی مشغول ارزیابی این مخلوط ها برای بهبود خاصیت تأخیر در اشتعال آنها هستند.

Polyone خط تولید Maxxam LST را برای تولید کامپوزیت های نانو خاک رس/PP که از مخلوط های Nanoblend مشتق می شوند، راه اندازی کرده است. این شرکت می تواند با این محصول بر مشکلات پوسته شدن و توزیع ناقص خاک رس که در بسیاری از ترموپلاست های مهندسی دیده می شود، غلبه کند.

#### ROYAL DSM N. V ۴۲۷

Royal DSM یک تولید کننده ۱۱ میلیارد دلاری برای علوم زیستی و مواد با کارایی بالاست. این شرکت به همراهی شرکت Carbon Nanotechnologies مشغول توسعه نانو کامپوزیت های PE/SWNT با کارایی بالا هستند.

#### RTP ۴۳۷

RTP یک شرکت خصوصی پلاستیک های مهندسی است و توانسته است نانو کامپوزیت های نایلون را برای کاربردهای فیلم و ورقه به صورت تجاری در آورد. این شرکت ترکیبات پلیمری پر شده با نانولوله را با استفاده از نایلون، پلی کربنات و سایر پلیمرهای مهندسی می سازد. این ماده یکی از اصلی ترین پلیمرها در زمینه پلیمرهای پراکنده ساز بار ساکن مدل بالا می باشد.

#### SCIPERIO, INC ۴۴۷

Sciperio یک شرکت تحقیقاتی علمی-مهندسی است که به جای افزودن یک پرکننده برای شکل دادن رزین در یک مرحله مجزا، رهیافت تازه ای برای تولید نانو کامپوزیت های ترموست از مونومرهایی که بخشی از آنها غیر آلی هستند، ارائه داده است.

#### SHOWA DENKO K. K ۴۵۷

Showa Denko یکی از اصلی ترین تولید کننده های مواد صنعتی و شیمیایی در ژاپن است و در سال ۲۰۰۴ فروشی معادل ۷ میلیارد دلار داشت. این شرکت انواع مختلفی کامپوزیت های خاک رس/نایلون ۶۶ را با علامت تجاری Systemer تولید می کند.

#### SIM COMPOSITES, INC ۴۶۷

Sim Composites یک شرکت نوپا در تجاری سازی غشاهای الکتروشیمیایی نانو کامپوزیتی به منظور استفاده در پیل های سوختی و کاربردهای الکترو دیالیز است. غشاهای Sicopion این شرکت از نانوذرات سیلیکونی که در بین یک غشای پلیمری PEEK تحول یافته قرار گرفته اند ساخته می شود. فناوری غشای Sicopion باعث کم هزینه شدن سیستم (فرآیند تولید و مواد)، بهبود مدیریت آب در دماهای پایین و بالا و در نهایت پایداری گرمایی بالا می شود و در عین حال توان آن با مقدار مربوط به Nafion برابر است.

SIM همچنین مهارت فرآوری غشاء را توسعه داده و می تواند غشاهای ورقه ای و رولی مورد نیاز برای توسعه محصول و تست های آزمایشگاهی را تولید کند.

#### SOUTHERN CLAY PRODUCTS, INC ۴۷۷

SCP که قسمتی از Rockwood Specialties است، سازنده و فروشنده افزودنی های عامل دار است که بر پایه خاک رس طبیعی یا سنتزی ساخته شده اند. این شرکت از سال ۱۹۴۰ شروع به استخراج و فرآوری خاک رس مونت موریلونیت کرده است و افزودنی های خاک رس نانومقیاس با نام Closite را به فروش می رساند. این افزودنی ها از ورقه های سیلیکات آلومینیوم - منیزیم لایه لایه با ابعاد نانومقیاس که به روش های آلی اصلاح شده اند، تشکیل شده است. سطح این ورقه ها به منظور توزیع پذیری کامل با استفاده از فرآیندهای شیمی آلی اصلاح شده و با سیستم های ترموپلاست برای رسیدن به خواص زیر بهبود می یابد:



- افزایش قدرت
- بهبود خواص مقاومت به نفوذ گاز
- افزایش مقاومت در برابر آتش

#### SOUTHWEST NANOTECHNOLOGIES, INC (۴۸) (۷)

Southwest Nanotechnologies یک شرکت خصوصی و مستقل در زمینه مواد شیمیایی و تولید کننده نانولوله‌های کربنی است که در بسیاری از محصولات تخصصی قابل استفاده هستند. این شرکت در سال ۲۰۰۱ از سوی دانشگاه اوکلاهما به منظور تجاری‌سازی فناوری نانولوله‌ای که در این دانشگاه توسعه یافته است، با سرمایه‌گذاری Conoco دایر گردید. در حال حاضر شرکت مذکور مشغول ساخت یک واحد تولیدی برای ساخت نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره است. این شرکت از روش‌های کاتالیزوری متعلق به خودش که یک فرآیند پیوسته است کمک می‌گیرد.

#### SUD- CHEMIE AG (۴۹) (۷)

Sud- Chemie AG یک شرکت شیمیایی چند منظوره با سرمایه ۱/۲ میلیارد دلار است که یک محصول مبتنی بر خاک رس به نام Nanofil برای به تعویق انداختن آتش تولید می‌کند. اخیراً این شرکت موفق به توسعه کابل‌ها و سیم‌های EVA/PE عاری از هالوژن شده است. این کابل‌ها شامل ۳ الی ۵ درصد Nanofil SE ۳۰۰۰ و ۵۲ الی ۵۵ درصد تری هیدرات آلومینا یا هیدرواکسید منیزیم (که معمولاً با مقدار ۶۵ درصد استفاده می‌شود) هستند. نتایج نشان می‌دهد که این کابل‌ها دارای خواص مکانیکی بهتر، سطح صاف‌تر و سرعت قالب‌گیری بالاتر هستند.

#### TRITON SYSTEMS, INC (۵۰) (۷)

Triton Systems در سال ۱۹۹۲ به عنوان یک شرکت توسعه و تحقیق کاربردی با تمرکز بر تولید محصولات و فرآیندهای لازم برای بازارهای تجاری و دولتی پایه‌ریزی شد. این شرکت هم‌اکنون در توسعه خاک رس نانومقیاس به عنوان افزایش دهنده‌های خاصیت انسدادی EVOH در بسته‌بندی‌های با عمر طولانی، با ارتش آمریکا و ناسا همکاری می‌کند. بدین منظور، یک ظرف غذای آزمایشی تولید شده است که در آن، EVOH به همراه ۳ درصد از Cloisite (تولید شده توسط شرکت Southern Clay) در بین دو لایه از PP محصور شده است. این ظرف بدون نیاز به یخچال می‌تواند مواد غذایی را ۳ الی ۵ سال حفظ کند و بسیار کارآمد، قابل بازیافت و شفاف است.

#### .UBE INDUSTRIES, LTD (۵۱) (۷)

Ube Industries تولید کننده ۵/۲ میلیارد دلاری پلاستیک‌ها و مواد شیمیایی تخصصی، فلزات و ماشین آلات سازه‌ای است. این شرکت در تولید نانو کامپوزیت‌های تجاری، مانند «هیبریدهای نایلون/خاک رس» (NCH) از نایلون ۶ و کوپلیمر نایلون ۶/۶۶ برای کاربردهای ساختاری و فیلمی جزء رتبه‌های اول است. کاربردهای تجاری NCH شامل فیلم‌های انسدادی نایلون ۶ برای بسته‌بندی مواد غذایی و نیز پوشش‌های تنظیم زمان برای شرکت Toyota Motors است.

#### .UNITIKA , LTD (۵۲) (۷)

Unitika یک شرکت عمومی با سرمایه ۲ میلیارد دلار برای تولید الیاف، پلاستیک و محصولات شیمیایی است. این شرکت یکی از اصلی‌ترین تولید کننده‌های نانو کامپوزیت نایلون ۶ برای کاربردهای خودرو است. محصول Nylon M2350 با استفاده از فناوری انحصاری این شرکت ساخته می‌شود. در این فناوری در طول پلیمر شدن، از سیلیکات سنتزی شده شرکت Coop Chemicals استفاده می‌شود. نایلون M2350 در آمریکای شمالی توسط Toyota Tsusho بازاریابی و توزیع می‌شود. این نایلون از سوی Mitsubishi Motors برای ساخت پوشش موتور در مدل‌های GDI مورد استفاده قرار گرفته است. در این حالت نانو کامپوزیت باعث کاهش ۲۰ درصدی در وزن و پرداخت فوق‌العاده سطوح می‌شود. پوشش‌های چراغ‌ها و نیز دسته‌های چاقو جزء کاربردهای دیگر این محصول هستند.

#### .VALSPAR CORP (۵۳) (۷)

Valspar تولید کننده ۲/۴ میلیارد دلاری مواد بسته‌بندی، رنگ‌ها و پوشش‌ها است.

#### WILSON SPORTING GOODS CO. (۵۴) (۷)

این شرکت خصوصی، تولید کننده لباس و تجهیزات ورزشی است که در خط تولید محصولاتش از قبیل توپ تنیس با دوام

و دولایه‌ای، راکت‌های تنیس nCode TM و چوب گلف Wilson Staff از نانو کامپوزیت‌ها استفاده می‌کند.

#### ۵۵۷ .YANTAI HAILI INDUSTRY & COMMERCE CO., LTD

Yantai Haili تولیدکننده لوله‌های پلاستیکی ضدزلزله از نانو کامپوزیت‌های خاک رس است. اطلاعات بیشتری در مورد این محصول به دست نیامد.

#### ۵۶۷ .ZYVEX CORP

Zyvex یک شرکت خصوصی فناوری نانو است که در سال ۱۹۹۷ تاسیس شد. این شرکت انواع افزودنی‌های نانولوله کربنی را به منظور استفاده در رزین‌های اپوکسی و پلی‌اورتان تولید می‌کند. فناوری اصلاح سطح به کار گرفته شده توسط آن شرکت باعث توزیع آسان نانولوله‌های کربنی در حلال‌های مختلف (مانند آب) می‌شود و همچنین برهم‌کنش نانولوله و محیط میزبان را افزایش می‌دهد.

نشانی، شماره تماس و سایت اینترنتی فروشندگان

**ABS INTERNATIONAL CORP.**

Kitamagoma  
Ohta-ku Tokyo 143-0021  
Japan  
Tel: 81-3-6708-7122  
Internet: www.abs-pro-am.com

**AGILENT TECHNOLOGIES**

395 Page Mill Rd.  
P.O. Box 10395  
Palo Alto, CA 94303  
Tel: 800/235-0312  
Internet: www.agilent.com

**ALCOA CLOSURE SYSTEMS  
INTERNATIONAL**

8550 West Bryn Mawr, 10th Fl.  
Chicago, IL 60631  
Tel: 773/380-7717  
Internet: www.alcoa.com

**ALPS ELECTRIC CO., LTD.**

1-7, Yukigaya-Otsuka-cho, Otaku  
Tokyo 145-8501 Japan  
Tel: 81(3)3726-1211  
Internet: www.alps.com

**ALTAIR NANOTECHNOLOGIES, INC.**

1725 Sheridan Ave., Suite 140  
Cody, WY 82414  
Tel: 307/587-8245  
Internet: www.altairinc.com

**BABOLAT NORTH AMERICA, INC.**

P.O. Box 3376  
Boulder CO 80307  
Tel: 877/316-9435  
Internet: www.babolat.com

**BASELL POLYOLEFINS CO. N.V.**

Hoeksteen 66  
2132 MS Hoofddorp  
P.O. Box 625  
2130 AP Hoofddorp  
The Netherlands  
Tel: (31) 20 44 68 644  
Internet: www.basell.com

**BAYER AG 51368**

Leverkusen  
Germany  
Tel: (49) 214/30-1  
Internet: www.bayer.com

**CARBOLEX, INC.**

234 McCarty Court  
Lexington, KY 40508  
Tel: 859/226-9210  
Internet: www.carbolex.com

**CARBON NANOTECHNOLOGIES, INC.**

16200 Park Row  
Houston TX 77084  
Tel: 281/492-5707  
Internet: www.cnanotech.com

**CLARIANT INTERNATIONAL AG**

Rothausstrasse 61  
CH-4132 Muttenz 1  
Switzerland  
Tel: 41 6 146 951 11  
Internet: www.clariant.com

**DEGUSSA AG**

Geb. 1040  
Rodenbacher Chaussee 4  
63457 Hanau-Wolfgang  
Germany  
Tel: (949) 6181-59-4885  
Internet: [www.advanced-nano.com](http://www.advanced-nano.com)

**Internet: www.advanced-nano.com**

DOW CHEMICAL CO.

2030 Dow Center  
Midland, MI 48674  
Tel: 989/636-1000  
Internet: www.dow.com

**EASTON SPORTS, INC.**

7855 Haskell Ave.  
Suite 200  
Van Nuys, CA 91406  
Tel: 800/632-7866  
Internet: www.eastonsports.com

**E. I. DU PONT DE NEMOURS AND CO.**

1007 Market St.  
Wilmington, DE 19898  
Tel: 302/774-1000  
Internet: www.dupont.com

**eSPIN TECHNOLOGIES, INC.**

100 Cherokee Blvd., Suite 325  
Chattanooga, TN 37405  
Tel: 423/267-6266  
Internet: www.nanospin.com

**EXATEC GMBH & CO. KG**

Friedrich-Ebert-Straße  
51429 Bergisch Gladbach  
Germany Tel: 49-(0)2204-842700  
Internet: www.exatec.de  
FOSTER CORP.  
45 Ridge Rd.  
Putnam, CT 06260  
Tel: 860/928-4102  
Internet: www.fostercomp.com

**FRONTIER CARBON CORP.**

Kyobashi Nissyoku Blvd.  
1-8-7 Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo  
Japan  
81-3-5159-6880  
www.f-carbon.com

**GE PLASTICS**

One Plastics Ave.  
Pittsfield, MA 01201  
Tel: 413/448-7110  
Internet: www.geplastics.com

**GENERAL MOTORS CORP.**

300 Renaissance Center  
Detroit, MI 48265  
Tel: 313/556-5000  
Internet: www.gm.com

**HOLMENKOL SPORT-TECHNOLOGIES  
GMBH**

Leonberger Strasse 56-62  
D-71254 Ditzingen  
Germany  
Tel: (49) 7156/357-260  
Internet: www.nanowax.com

**HONEYWELL SPECIALTY POLYMERS**

101 Columbia Rd.  
Morristown NJ 07962  
Tel: 800/446-3022  
Internet: www.aegisnylon.com

**HYPERION CATALYSIS INTERNATIONAL,  
INC.**

38 Smith Pl.  
Cambridge, MA 02138  
Tel: 617/354-9678  
Internet: www.fibrils.com

**INFRAMAT CORP.**

74 Batterson Park Rd.  
Farmington, CT 06032  
Tel: 860/678-7561  
Internet: www.inframat.com

**INMAT LLC**

216 Route 206, Suite 7  
Hillsborough, NJ 08844  
Tel: 908/874-7788  
Internet: www.inmat.com

**KABELWERK EUPEN AG**

Malmedyer Str. 9  
4700 Eupen  
Belgium  
Tel: 32 (0)87 597000  
Internet: www.eupen.com

**LG CHEM**

LG Twin Towers  
20, Yeouido-dong  
Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-721  
Korea  
Tel: 82-2-3773-5114  
Internet: www.lgchem.com

**MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.**

1048 Kadoma  
Kadoma, Osaka 571-8686  
Japan  
Tel: 81-6-6908-1131  
Internet: www.mew.co.jp

**MITSUBISHI CHEMICAL CORP.**

33-8, Shiba 5-chome, Minato-ku  
Tokyo, 108-0014 Japan  
Tel: 81-3-6414-3730  
Internet: www.m-kagaku.co.jp

**NANOLEDGE**

Cap Alpha  
Avenue de l'Europe - Clapiers  
34940 Montpellier Cedex 9  
France  
Tel: (33) 467 59 36 58  
Internet: www.nanoledge.com

**NANOCOR, INC.**

1500 W. Shure Drive  
Arlington Heights, IL 60031  
Tel: 847/394-8844  
Internet: www.nanocor.com

**NANOGATE TECHNOLOGIES GMBH**

Gewerbepark Eschbergerweg  
D-66121 Saarbrücken  
Germany  
Tel: (49) 681-980 52-0  
Internet: www.nanogate.de

**NANOSYS, INC.**

2625 Hanover St.  
Palo Alto, CA 94304  
Tel: 650/331-2100  
Internet: www.nanosysinc.com

**NANOSOLAR, INC.**

2440 Embarcadero Way  
Palo Alto, CA 94303-3313  
Tel: 650/565-8891  
Internet: www.nanosolar.com

**NEI CORP.**

Suite 102/103  
201 Circle Drive  
Piscataway, NJ 08854  
Tel: 732/868-1908  
Internet: www.neicorporation.com

**NEOMAX CO., LTD.**

No. 3 Sumitomo Bldg.  
4-7-19 Kitahama  
Chuo-ku Osaka 541-0041  
Japan  
Tel: (06)6220-8822  
Internet: www.neomax.co.jp

**NANOQUEST PTY, LTD.**

Level 27  
Central Plaza One  
345 Queen St.  
Brisbane, Australia  
Internet: www.nanoquest.com.au

**NOBLE POLYMERS**

4855 Thirty-Seventh St. SE  
Grand Rapids, MI 49512  
Tel: 616/975-4987  
Internet: www.noblepolymers.com

**Pentron CLINICAL TECHNOLOGIES LLC**

53 N Plains Industrial Rd,  
Wallingford, CT 06492  
Tel: 800/243-3969  
Internet: http://www.Pentron.com

**POLYONE CORP.**

33587 Walker Rd.  
Avon Lake, OH 44012  
Tel: 866/765-9663  
Internet: www.polyone.com

**ROYAL DSM N.V.**

Het Overloon 1  
6411 TE Heerlen  
The Netherlands  
Tel: 31-45-578-81-11  
Internet: www.dsm.nl

**RTP**

580 East Front St.  
Winona, MN, 55987  
Tel: 800/433-4787  
Internet: www.rtpcompany.com

**SCIPERIO, INC.**

6421 S. Air Depot Blvd., Suite B  
Oklahoma City, OK 73135  
Tel: 405/622-9296  
Internet: www.sciperio.com

**SHOWA DENKO K.K.**

13-9 Shiba-Daimon  
1-Chome, Minato-ku  
Tokyo, 105-8518  
Japan  
Tel: 81-3-5470-3235  
Internet: www.sdk.co.jp

**SIM COMPOSITES, INC.**

Saint-Augustin-de-De  
Quebec G3A 1V1  
Canada  
Internet: http://www.simcomposites.com

**SOUTHERN CLAY PRODUCTS, INC.**

5508 Highway 290 West  
Suite 260  
Austin, TX 78745  
Tel: 800/324-2891  
Internet: www.scprod.com

**SOUTHWEST NANOTECHNOLOGIES, INC.**

eTec Technology Accelerator  
710 Asp Ave., Suite 303  
Norman, OK 73069  
Tel: 405/217-8388  
Internet: www.swnano.com

**SUD-CHEMIE AG**

Lenbachplatz 6  
D-80333 Munich  
Germany  
Tel: 49-89-51-10-0  
Internet: www.sud-chemie.com

**TRITON SYSTEMS, INC**

200 Turnpike Rd.  
Chelmsford, MA 01824  
Tel: 978/250-4200  
Internet: www.tritonsystems.com

**UBE INDUSTRIES, LTD.**

1978-96, Kogushi  
Ube, Yamaguchi 755-8633  
Japan  
Tel: +81-836-31-2111  
Internet: www.ube-ind.co.jp

**UNITIKA, LTD.**

Osaka Center Bldg., 4-1-3, Kyutaro-machi,  
Chuo-ku  
Osaka, 541-8566  
Japan  
Tel: (81) 6-6281-5695  
Internet: www.unitika.co.jp

**VALSPAR CORP.**

1101 Third St. South  
Minneapolis, MN 55415  
Tel: 612/332-7371  
Internet: www.valspar.com

**WILSON SPORTING GOODS CO.**

8700 Bryn Mawr Ave.  
Chicago, IL 60631  
Tel: 312/714-6400  
Internet: www.wilson.com

**YANTAI HAILI INDUSTRY & COMMERCE  
CO., LTD.**

The 3F, B Site, No. 19 Building  
Fulai Shangcheng  
Hengshan Road, YETDZ  
Shandong Province  
China  
Tel: 0086-535-6100032  
Internet: www.ytpptt.sd.cn

**ZYVEX CORP.**

1321 North Plano Rd.  
Richardson, TX 75081  
Tel: 972/235-7881  
Internet: www.zyvex.com

# بخش ۸

## معرفی کارگروه صنعت و بازار

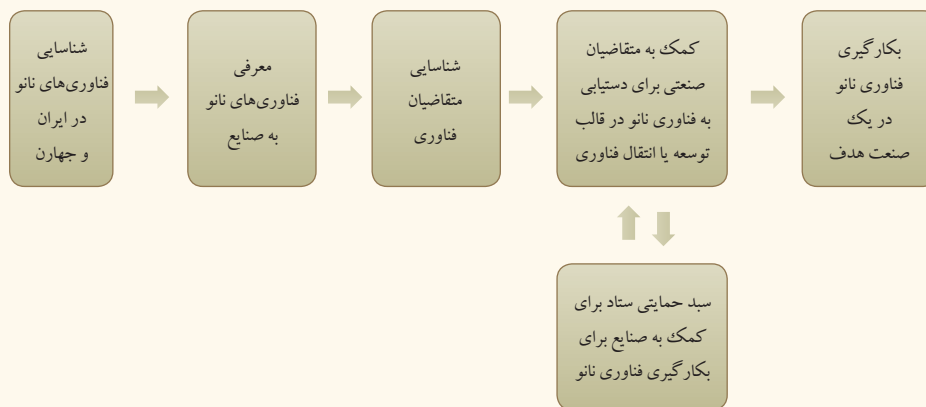


## ۸ معرفی کارگروه صنعت و بازار

کارگروه صنعت و بازار یکی از زیرمجموعه‌های اصلی ستاد ویژه توسعه فناوری است که با هدف ترغیب صنایع کشور برای به کارگیری فناوری نانو و حمایت از آن‌ها در این مسیر ایجاد شده‌است. رویکرد اصلی این کارگروه، آشناسازی صنایع کشور با کاربردهای فناوری نانو و تسهیل فرآیند انتقال فناوری از مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی و شرکت‌های فناور داخلی و یا منابع فناوری خارجی به متقاضیان صنعتی است.

صنایع هدف در برنامه‌های این کارگروه عبارتند از:

- صنایع مادر از جمله نفت و انرژی، دارو، خودرو، فولاد و... که اغلب دولتی هستند.
  - صنایع خصوصی در همه حوزه‌های صنعتی، در صورتی که متقاضی استفاده از فناوری نانو باشند.
- کارگروه صنعت و بازار در برنامه‌های خود رویکرد ایجاد تقاضا در صنایع برای استفاده از فناوری نانو و پاسخ به آن از طریق منابع فناوری داخلی و خارجی را دنبال می‌کند که اصطلاحاً رویکرد «کشش بازار» نیز گفته می‌شود این رویکرد به صورت شماتیک در شکل زیر نمایش داده شده‌است:



سرفصل‌های اصلی حمایت کارگروه صنعت و بازار از شرکت‌های متقاضی استفاده از فناوری نانو عبارتند از:

- حمایت از رصد فناوری و معرفی فناوری‌ها و بازار مرتبط با حوزه فعالیت شرکت‌های صنعتی
- حمایت از کارگزاران تخصصی برای معرفی فناوری نانو به صنایع
- حمایت از امکان‌سنجی به کارگیری فناوری نانو توسط شرکت‌های متقاضی
- جستجو و معرفی همکار تکنولوژیک از طریق منابع موجود در بانک عرضه فناوری
- حمایت از تحقیق و توسعه مورد نیاز برای تطبیق فناوری‌های موجود در کشور با نیازهای خاص صنایع
- تضمین فناوری‌های بومی در صورت به کارگیری توسط یک شرکت صنعتی
- ارائه تسهیلاتی از قبیل وام (بدون بهره یا کم‌بهره) و لیزینگ به شرکت‌های متقاضی استفاده از نانو به منظور انجام تغییرات احتمالی در خط تولید خود
- حمایت از اخذ استاندارد و مجوز و پرداخت بخش عمده هزینه‌های مربوط به دریافت استاندارد، تأییدیه و مجوزهای لازم پس از تولید محصول نهایی
- حمایت از نفوذ شرکت‌ها در بازار در قالب صدور ضمانت‌نامه‌ها برای شرکت در مناقصات، نقد کردن قراردادهای، کمک به حضور در قراردادهای بزرگ و همکاری با پیمانکاران بزرگ
- شرکت‌های توانمند در همه رشته‌های صنعتی در صورتی که از طریق رصد رقبا و یا نمایشگاه‌های صنعتی تخصصی در جهان، کاربردی از فناوری نانو در حوزه فعالیت خود را شناسایی نموده و علاقه‌مند به استفاده از آن باشند می‌توانند با کمک کارگروه صنعت و بازار ستاد اقدام به جذب فناوری مورد نظر نمایند. این کمک‌ها در قالب مشاوره‌های تخصصی در زمینه فناوری نانو و تسهیلات مختلف پیش‌بینی شده در سید حمایتی‌ستاد از شرکت‌های صنعتی خواهد بود.
- کارگروه صنعت و بازار همچنین آماده همکاری با کارگزاران مجرب برای معرفی فناوری به صنایع کشور است و در این راستا از کارگزاران دارای سابقه فعالیت در حوزه‌های صنعتی مشخص برای تسهیل ورود شرکت‌های صنعتی به فناوری نانو حمایت می‌نماید.