

مجموعه پایش فناوری نانو - تحلیل شماره ۹

روند پیشرفت فناوری نانوسولوز در ایران و جهان



الهام بازیار، داود قریلو

مرکز پایش فناوری
rasad@nano.ir

◀ دو دهه، از اولین سنتز نانوساختارهای سلولزی می‌گذرد. در طی این مدت، کشورها با سرمایه‌گذاری روی تحقیقات دانشگاهی موفق شدند کاربردهای متعدد فناوری نانوسولوز را شناسایی کنند و با سرمایه‌گذاری در بخش خصوصی و دولتی و جذب کارآفرینان و کارشناسان، فناوری نانوسولوز را در برخی زمینه‌ها تجاری‌سازی کنند. نتایج پژوهش‌ها و دستاوردهای این حوزه در قالب مقاله، اخبار علمی و گزارش‌های سالانه

از سوی نهادهای مختلف ملی و بین‌المللی دنیا منتشر شده است. هدف از این مقاله آشنایی و بررسی محتوایی اخبار فناوری نانوسولوز، روند و میزان پیشرفت و جهت‌گیری توسعه فناوری نانوسولوز در ایران و دنیا است. نتایج این بررسی در ارائه چشم‌اندازی واقعی برای محققان و سیاست‌گذاران و تبیین و تعیین نقشه راه گسترش فناوری نانوسولوز و شناسایی و پرکردن فضاهای خالی تحقیقاتی و صنعتی کمک می‌کند.

۱ مقدمه

سلولز به عنوان ماده زیست‌تخریب‌پذیر که به سادگی از چوب بدست می‌آید همیشه مورد توجه صنایع بوده است. با ظهور فناوری نانو و تولد نانو ساختاری به نام «نانوسولوز» فصل تازه‌ای در دنیای سلولز آغاز شد که می‌تواند نویدبخش کاربردهای تازه‌ای در این صنعت باشد. در این گزارش به توضیح و بررسی نانوساختارهای سلولزی و روش‌های تولید

آن پرداخته می‌شود. در ادامه موضوع کاربردهای این ماده ارزشمند به رشته تحریر آمده و در ادامه به میزان گسترش بازار و تجاری شدن نانوسولوز در دنیا و ایران و پیش‌بینی بازار جهانی فناوری نانوسولوز اشاره می‌شود.

۲ نانوسولوز و روش‌های سنتز آن

شاید بتوان سلولز را فراوان‌ترین ماده آلی روی کره

زمین دانست که ساختار داخلی سلول‌های گیاهی را تشکیل می‌دهد. این ماده یک پلی‌ساکارید هوموپلیمری خطی از ترکیبات طبیعی بوده که منابع آن از جنگل‌ها، گیاهان و حیوانات تأمین می‌شود. واژه نانوسولوز را می‌توان به تمام طیف نانو ساختارهای سلولزی اطلاق کرد. این ماده برای اولین بار در سال ۱۹۸۹، تحت شرایط فشار و دمای زیاد حاصل از خمیر چوب، میکروفیبریل بدست آمد.

روش‌های مختلفی برای تولید سلولز پیشنهاد شده است، که برحسب منبع استخراج می‌تواند روش‌های تولید این ماده را در دو دسته کلی قرار داد:

۱ نانوفیبرهای سلولزی CNF^۱: در این دسته سلولزهای میکرو/نانوفیبریلی شده MFC^۲ / NFC^۳ و سلولز نانوکریستالی CNC^۴ قرار دارند. چوب،

پالپ، فیبرهای طبیعی، گیاهان به صورت کلی، جنگل‌ها و کشاورزی از منابع این دسته هستند. **۲ نانوسلولز باکتریایی**: به نانوسلولز به دست آمده از انواع باکتری‌ها گفته می‌شود. تخمیر باکتریایی (روش پایین به بالا) روش دیگری برای تولید NCC^۵ است و به نام سلولزهای باکتریایی BNC^۶ در اغلب مطالعات نامیده شده است [۱].

نانوسلولزها دارای تنوع ساختار بوده به طوری که آنها را به سه دسته مختلف تقسیم‌بندی کرده‌اند [۲]. همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، «میکرو/نانوسلولزهای فیبریل شده»، «میکروسلولزهای میله‌ای، کریستال‌های منفرد» و «بیوسلولز و سلولز میکروبی»، سه نوع مختلف نانوسلولزها را تشکیل می‌دهند.

جدول ۱. انواع نانوسلولز بر حسب نوع نانو ساختار

روش تهیه	ابعاد	منبع	نوع نانوسلولز	
از پیش‌ماده چوبی و ماده همگن‌کننده در فشار بالا	قطر ۵-۶۰ نانومتر و طول چند میکرومتر	چوب، سیب‌زمینی، چغندر قند، کتان، کنف	میکرو/نانو سلولز فیبریل شده	MFC/NFC
به روش هیدرولیز اسیدی و محلول‌های غلیظ نمک‌های معدنی و اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک	قطر ۵-۷۰ نانومتر و طول ۱۰۰-۲۵۰ نانومتر	چوب، کاه گندم، پوست درخت توت، جلبک و باکتری‌ها	میکروسلولزهای میله‌ای، کریستال منفرد کوچک	NCC
سنتز باکتریایی	قطر ۲۰-۱۰۰ نانومتر	قندها و الکل‌ها با وزن ملکولی پایین	بیوسلولز و سلولز میکروبی	BNC

جدول ۲. روش‌های سنتز نانوسلولز

روش‌ها	انواع
روش‌های مکانیکی	روش‌های مکانیکی - شیمیایی
	خرد کردن
روش فیزیکی	عملیات تحت امواج فرا صوتی
	میکروویو
	تابش اشعه گاما
روش شیمیایی	هیدرولیز اسیدی
	هیدرولیز بازی
	عملکرد حلال آلی
	عملکرد مایعات یونی
روش زیستی	عمل آنزیمی مواد سلولزی و تخریب ساختار اولیه
روش ترکیبی	ترکیبی از روش‌های شیمیایی و تصفیه مکانیکی و هم‌وزنه کردن

جدول ۳. طبقه‌بندی کاربردهای نانوسلولز بر حسب حجم بازار فعلی دنیا

کاربردهای در حجم انبوه	کاربردهای در حجم اندک	کاربردهای نو و تازه
قطعات بدنه خودرو قطعات داخلی خودرو صنعت سیمان جایگزین پلاستیک/فیبر در صنعت بسته‌بندی پرکننده‌های صنعت بسته‌بندی پوشش‌های صنعت بسته‌بندی فیلم‌های صنعت بسته‌بندی پرکننده‌های صنعت کاغذ پوشش‌های صنعت کاغذ مراقبت‌های شخصی: ترکیبات بهداشتی و جاذب پوشاک و نساجی	آبروژل‌ها در صنعت نفت و گاز ساختارهای آبروژلی قطعات داخلی صنایع هوافضا فیلتراسیون آب و هوا پوشش‌های دیواری گچ ساختمانی ^۷ عایق‌سازی حرارتی و عایق‌سازی صوتی اصلاح‌کننده‌های صنعتی خالص‌سازی صنعتی آب رنگ‌سازی لوازم آرایشی شخصی مواد جانبی داروها حسگرهای طبی، محیطی و صنعتی	دیودهای نوری آلی - الکترونیکی (OLED) سیستم‌های فتونیک فیلم‌ها صنایع مواد افزودنی دارویی

با توجه به تنوع ساختاری و کاربردی نانوسلولزها، روش‌های مختلفی برای سنتز این مواد وجود دارد که در جدول ۲ ذکر شده است [۲].

بیشترین سهم تولید نانوسلولز، متعلق به نانوفیبریل‌های سلولزی CNF و با استفاده از فرآیندهای مکانیکی است. همچنین در سال‌های اخیر، روش‌های جدیدی به منظور بالابردن و بهبود ویژگی‌های نانوسلولز ابداع شده که از هر دو نوع ساختار CNF و CNC استفاده می‌شود [۳].

۳ کاربردهای نانوسلولز

نانوسلولز از جمله موادی است که قابلیت کاربرد در طیف وسیعی از محصولات را داراست به طوری که از خودروسازی تا صنعت پوشاک و نساجی، از مزایای این ماده بهره‌مند هستند. در ادامه به معرفی این کاربردها پرداخته می‌شود.

برای بررسی بخش بازار، می‌توان از نقطه‌نظر حجم مصرف نانوسلولز، بازار نانوسلولز در صنایع مختلف را مورد بررسی قرار داد. بر این اساس، می‌توان کاربردهای نانوسلولز را در سه بخش حجم انبوه، حجم اندک و کاربردهای نوظهور تقسیم‌بندی کرد. بررسی این مورد می‌تواند در نقشه‌راه و تصمیم‌گیری‌های تحقیقاتی و تجاری مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۳) [۴].

نوع دوم طبقه‌بندی، بر اساس پتانسیل‌های کاربردی نانوسلولز (بالقوه یا بالفعل) و بدون توجه به استقبال بازار است که در جدول ۴ ذکر شده است. [۲، ۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰]. بدیهی است که در این طبقه‌بندی کاربردهای شناخته شده از نانوسلولز ذکر شده است.

روش های فیزیکی
 عملیات تحت امواج فرا صوتی
 عملیات تحت امواج میکروویو
 تابش پرتوی گاما

روش های شیمیایی
 هیدرولیز اسیدی
 هیدرولیز بازی
 عملکرد حلال آلی
 عملکرد مایعات یونی

روش های زیستی
 عمل آنزیمی مواد
 سلولزی و تخریب
 ساختار اولیه

روش های
 روش های
 خردایش



روش های ترکیبی
 ترکیبی از روشهای
 شیمیایی و تصفیه
 مکانیکی و
 هموزنه کردن

قائوس

Cellulose



نانوفیبرهای سلولزی

Cellulose Nano Fiber
CNF

- ۱- Nano Fibril Cellulose (NFC)
- ۲- Micro Fibril Cellulose (MFC)

نانوبلورهای سلولزی

Nano Cellulose Crystalline
NCC



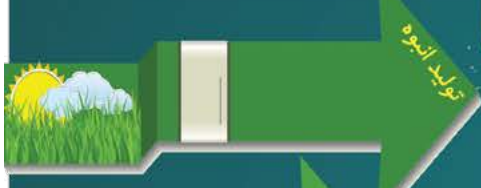
بدنه خودرو
قطعات داخلی خودرو
صنعت سیمان



جایگزین پلاستیک/فیبر در صنعت بسته‌بندی
پرکننده‌های صنعت بسته‌بندی
پوشش‌های صنعت بسته‌بندی
فیلم‌های صنعت بسته‌بندی



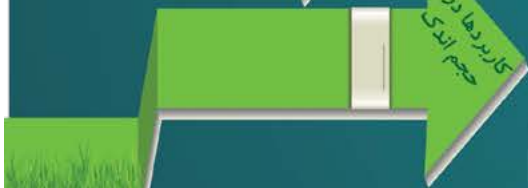
پرکننده‌های صنعت کاغذ
پوشش‌های صنعت کاغذ



مراقبت‌های شخصی: ترکیبات بهداشتی و جاذب
پوشاک و نساجی



آئروژل‌ها در صنعت نفت و گاز
ساختارهای آئروژلی
قطعات داخلی صنایع هوافضا



رنگ‌سازی
لوازم آرایشی شخصی
ترکیبات دارویی



فیلتراسیون آب و هوا
پوشش‌های دیواری گچ ساختمانی
عایق‌سازی و عایق‌سازی صدا
اصلاح‌کننده‌های صنعتی
خالص‌سازی صنعتی آب
حسگرهای طبی، محیطی و صنعتی



دیودهای نوری آلی (OLED)
الکترونیکی
سیستم‌های فتونیک



فیلم‌ها
مواد افزودنی دارویی

ای مکانیکی
مکانیکی-شیمیایی
مکانیکی



سلولزهای باکتریایی

Bacterial Nano Cellulose
BNC

بیشترین کاربردها در بازار (روز دنیا)

۴ رشد فناوری نانوسلولز در جهان ۱.۴ دلایل اهمیت نانوسلولز

با توسعه فناوری نانو محصولات متنوع و فراوانی تولید می‌شود که بسیاری از آنها از یک سو زیست‌تخریب‌ناپذیر بوده (و یا به کندی تجزیه می‌شوند) و از سویی دیگر سمی و خطرناک هستند، به طوری که نه تنها باعث آلودگی محیط اطراف خود شده بلکه در طول زمان باعث ایجاد انواع بیماری‌های ناشناخته و نابودی بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهان نیز می‌شوند. به همین دلیل لزوم کاهش آلودگی محیط زیست و حفاظت از منابع طبیعی و بقاء درختان، گیاهان و حیوانات به یکی از اولویت‌های جوامع بشری تبدیل شده

است. نانوسلولز از جمله نانوساختارهای غیرسمی بوده که با کمک آن می‌توان سرعت نابودی محیط زیست را کاهش داد و مانع از زوال محیط با پسماندهای صنعتی شد. فناوری نانوسلولز به دلیل ویژگی‌هایی همچون فراوانی ماده اولیه در طبیعت، تجدیدپذیری، زیست‌تخریب‌پذیری، تجزیه‌پذیری، مقاومت حرارتی بالا، استحکام نزدیک به فولاد، سبک بودن و قابلیت تولید محصولات مفید و جدید به شدت مورد توجه محققان و صنعت‌گران است. این ویژگی‌ها موجب ترغیب سیاست‌گذاران و تصمیم‌سازان کشورها برای همسوز کردن تحقیقات دانشگاهی و صنعتی به سوی تجاری‌سازی این فناوری در دنیا شده‌است.

در سال‌های اخیر فناوری نانوسلولز به عنوان یک پتانسیل بالقوه در رشد اقتصاد دنیا مورد توجه سرمایه‌گذاران قرار دارد و تجاری‌شدن آن و محصولات مرتبط موجب رشد اقتصادی و اشتغال‌زایی پایدار در بخش صنایع می‌شود و غیرسمی بودن آن نیز در افزایش سلامت جوامع و محیط زیست اثر مستقیم خواهد داشت. البته تحقیقات موفق این بازار نیازمند استقبال عمومی و دولتی در حوزه تحقیق و توسعه، داشتن نقشه راه مشخص، ابداع، همکاری و مشارکت و تجاری‌سازی است.

۲.۴ فناوری‌های تجاری‌سازی شده نانوسلولز
در حال حاضر کشورهای متعددی فناوری تولید

جدول ۴. طبقه‌بندی انواع نانوسلولز براساس کاربرد نانوسلولز

کاربردهای شناخته شده (توسعه یافته و یا در حال توسعه)	حوزه کاربردی
به‌عنوان افزودنی برای ماندگاری بالاتر چربی‌زدایی	صنعت کاغذ و چوب
افزایش استحکام پیوند فیبر و تقویت کاغذ و کارتن	منسوجات
جاذب باکتری و خواص ضد الکترومغناطیس ضد حریق در پزشکی و نظامی	صنایع غذایی و بسته‌بندی
حامل عطر و طعم	
تثبیت‌کننده سوسپانسیون	
جایگزین کم کالری برای مکمل کربوهیدرات	
برای محصولات نرم و له در تراشه، ویفر، سوپ‌ها، سبزی‌ها، سس‌ها و دسرها	
بسته‌بندی ایمن و ضدباکتری برای بسته‌بندی مواد غذایی	
یخ خشک آئروژل‌های نانوسلولز در دستمال‌های بهداشتی، تامپون، پانسمان زخم و پوشک بچه	
ترکیب خشک نانوسلولز به صورت قرص در درمان بیماری‌های رودهای	
فیلم‌های نانوسلولز برای غربالگری ترکیبات بیولوژیکی و رمزگذاری اسیدهای نوکلئیک ترکیب بیولوژیکی	
فیلتر نانوسلولزی در انتقال آزاد گلبول سفید خون	پزشکی و داروسازی
ساخت رگ‌های مصنوعی، ارتوپدی در شکستگی به عنوان کامپوزیت	
درمان سوختگی با غشا نانوسلولزی	
فرمولاسیون برای حلق و دهان شامل نانوسلولز و ترکیب پلی هیدروکسید شده آلی	
تولید بافت ماهیچه با استفاده از موهای نانوسلولز [۴۱]	
ادوات پزشکی داخل بدن [۱۶]	
عامل پوشش کامپوزیتی در لوازم آرایش مثل رژ، مو، ابرو و ناخن	آرایشی و بهداشتی
ماسک بیونانوسلولز دارای اسانس‌ها و ویتامین‌های مختلف، برای شادابی پوست و درمان بیماری‌های پوستی [۴۲]	
افزافه کردن به پلاستیک، کامپوزیت، پوشش‌ها، فیلم‌های رنگ، فوم و صنعت بسته‌بندی ایمن از جمله در مواد غذایی	کامپوزیت
بازیابی نفت به عنوان یک مایع شکست هیدروکربن تشکل‌های نفتی	بازیافت نفت
بهینه‌سازی فرآیند استخراج نفت و گاز [۶]	

ادامه جدول ۴. طبقه‌بندی انواع نانوسلولز براساس کاربرد نانوسلولز

حوزه کاربردی	کاربردهای شناخته شده (توسعه یافته و یا در حال توسعه)
صنایع الکترونیکی	OLED-FOLED - نانو کامپوزیت با انتقال نوری بهبود یافته در نورمتری
	تقویت‌کننده در پلاستیک‌های شفاف و برای ساخت صفحه نمایش‌های قابل خم شدن
	قابلیت ذخیره انرژی بالا در الکترودهای باتری [۱۹ و ۲۰]
	استفاده در ترانزیستورها با خواص مکانیکی و شفافیت بالا [۱۸]
صنایع خودروسازی	استفاده از نانو کامپوزیت در بخش‌های داخلی و خارجی خودرو و کاهش وزن ده درصدی خودرو
	جایگزین لاستیک با نانو کامپوزیت به منظور استفاده در قطعات نواری و پرس‌های خودرو
	جایگزین قطعات پلی‌آمید مثل پروانه فن رادیاتور با نانو کامپوزیت پلی پروپیلن
	استفاده از نانوپوشش‌ها در جلوگیری از خوردگی داخل لوله‌های فلزی مصرفی در صنعت کشتیرانی مقاوم به ترکیبات محلول در آب شور
ساختمان‌سازی	افزودن نانوسلولز به لاک و افزایش استحکام سه برابری در برابر خراش و سایش
	استحکام و چسبندگی خوب
	افزودن نانوسلولز به رنگ جهت رفع بوی بد آزاردهنده و ریزش و هدر رفت
تصفیه‌سازی	جداسازی سموم و آلاینده‌های عناصر سنگین از آب و تصفیه آب شهری [۸]
	جذب نفت و آلاینده‌های نفتی از سطح دریاها [۵]

نانوسلولز و محصولات آن را از مرحله تحقیق و توسعه به مرحله تولید انبوه و تجاری‌سازی رسانده‌اند. آمریکا، کانادا، فنلاند، سوئد، سوئیس، هلند، نروژ، آلمان، فرانسه، چین و ژاپن کشورهای پیشرو در این حوزه هستند [۱،۴،۲۶،۲۷]. در آمریکای شمالی بالاترین سهم مربوط به آمریکا بوده و آلمان همین رتبه را در بازار اروپا و چین و ژاپن نیز در آسیا دارند.

«قیمت تمام شده» محصول از مهم‌ترین پارامترهای تجاری‌سازی هر فناوری است. روش‌های متعددی برای ساخت و سنتز محصول انجام می‌شود، اما ویژگی لازم برای تولید انبوه و یا نیمه‌انبوه یک محصول، مقرون به صرفه بودن آن از نظر اقتصادی است. رشد و گسترش فناوری نانوسلولز نیز از این موضوع مستثنی نبوده و در بین روش‌های متعدد تولید نانوسلولز و محصولات آن، روش‌های اندکی وجود دارد که شرط اقتصادی بودن را دارا هستند.

از نکات قابل توجه دیگر در فرآیند تولید نانوسلولز، «منبع تهیه» آن است. در حال حاضر رایج‌ترین منبع تولید نانوسلولز، جنگل‌ها، مراتع و پسماندهای کشاورزی است و دولت‌های پیشرو در این حوزه، از این منابع برای تولید انواع محصولات استفاده می‌کنند.

فناوری تولید نانوسلولز در برخی کشورها از جمله

آمریکا، کانادا، هلند و سوئد در بخش صنعت کاغذ و بسته‌بندی به بلوغ خود رسیده و در مرحله ساخت کارخانه‌های تولید نانوسلولز قرار دارد. به‌طوری‌که بیشترین سهم کاربرد نانوسلولز را در حوزه کاغذ و بسته‌بندی به‌خود اختصاص داده است. منبع تولید این محصولات به پسماندهای چوب در جنگل‌ها و مراتع، مانند پالپ و خاک اره، وابسته است [۶،۷،۸،۱۲،۱۳].

یکی از کاربردهای مهم این نانوسلولز استفاده از آن در بخش پالایش نفت و گاز است. یکی از بزرگترین کابوس‌های شرکت‌های نفتی، نشت مخازن عظیم نفت به دریا است که طی یک دهه گذشته این موضوع خسارات چند میلیارد دلاری به اقتصاد جهان تحمیل کرده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به اکوسیستم زمین وارد کرده است. علاوه بر نشت عمده نفت، مشکل نشت اندک فرآورده‌های نفتی که به صورت روزمره توسط نفت‌کش‌ها انجام می‌شود، آرام آرام به معضل بزرگی برای اکوسیستم آبی تبدیل می‌شود. برای رفع آلودگی نفت و مشتقات آن از سطح آب، با استفاده از پالپ چوب، می‌توان اسفنج نانوسلولزی با گروه‌های عاملی سیلانی و با ابعاد مورد نظر تولید کرد که قادر است ده‌ها برابر وزن خود، روغن معدنی یا روغن موتور جذب کند [۵] که با عملیاتی شدن این طرح‌ها در مقیاس

صنعتی، تحول بزرگی در سلامت محیط‌زیست روی خواهد داد. شرکت سلوفورس^۱ کانادا با داشتن خط تولید سلولز نانوبلورین از پالپ چوب و سایت تولید کاغذ از سال ۲۰۱۲، به منظور گسترش فناوری نانوسلولز در بخش نفت و گاز و جنگل‌داری، توانسته مبلغ ۴ میلیون دلار از مرکز توسعه فناوری تجدیدپذیر کانادا SDTC به عنوان حمایت مالی دریافت کند [۶].

با توجه به افزایش آلودگی آب و کاهش منابع ذخیره آن در دنیا به دلیل فاضلاب‌های شهری و صنعتی، فیلتراسیون آب آلوده از چالش‌های مورد بحث در جوامع بهداشت و سلامت دنیا است. ساخت این فیلترها با استفاده از پسماندهای ارزان قیمت از طریق عامل‌دار کردن نانوسلولز و تولید ورق‌های جاذب با ظرفیت فیلتراسیون بالا انجام می‌شود که می‌تواند یون‌های فلزی سنگین، آلاینده‌های سنگین و مواد آلی را از آب و پسماندهای کارخانه‌های رنگ جداسازی کند. در حال حاضر، از این پروژه در پساب‌های شهری اسپانیا بهره‌برداری می‌شود. آلودگی هوا

نیز همچون مشکل آب، از موضوعات نگران‌کننده زیستی است. در این راستا محققان سوئدی با استفاده از دو نوع خاک اره متفاوت، فیلترهای نانوسلولزی تولید کردند که علاوه بر تصفیه آب، در تصفیه هوا نیز کاربرد فراوان دارد. از ویژگی‌های

تولید می‌شود که باعث آلودگی محیط‌زیست شده و دفع پسماند آنها سخت بوده و ارزش افزوده چندانی نیز به‌دنبال ندارد. فناوری نانوسلولز ثابت کرده که می‌تواند با رفع این چالش، جایگزین مناسبی برای فیبرهای مبتنی بر مواد نفتی در کامپوزیت‌ها باشد. اضافه کردن نانوسلولز به عنوان تقویت‌کننده، علی‌رغم اینکه موجب سفت شدن پلیمر (تقریباً ۱۰ برابر) می‌شود، در مدت هفت ماه تجدیدپذیر شده و به آب و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود و در نتیجه خطری برای طبیعت ندارد [۱۴].

اما، هنوز در بسیاری از زمینه‌های صنعتی و بازار به دلایل مشخصی، مانند مقرون به صرفه نبودن اقتصادی، عدم سهولت در دسترسی به منابع، نداشتن بازدهی مناسب، نمی‌توان از این فناوری استفاده نمود و برای رسیدن به راه‌حل مناسب و برآورده شدن معدل قبولی شروط تجاری‌سازی، نیاز به بررسی و تحقیقات بیشتری است.

کاربرد فناوری نانوسلولز در بدنه خودروها، تجهیزات هوایی، پنل‌های خورشیدی و مدارات الکترونیکی انعطاف‌پذیر به دلیل ایجاد استحکام و مقاومت حرارتی بالا در قطعات مورد نیاز مورد توجه است. به‌همین منظور در دو وزارتخانه کشاورزی و جنگل‌داری آمریکا در سال ۲۰۱۴ محصول نانومقیاس سلولزی با استفاده از چوب تولید شد که به دلیل استحکام بالای حرارتی و کششی و بالا بودن سطح ویژه فعال نانوسلولز کاربرد بسیاری دارد و در حال حاضر در مرحله جذب سرمایه در بخش خصوصی و دولتی است.

همچنین مزایایی از جمله اشتغال روستاییان، احیاء جنگل‌های ملی و ایجاد ارزش افزوده نیز در این پروژه مورد توجه سیاست‌گذاران است [۱۵]. افزایش استحکام مواد کامپوزیتی از پارامترهای مهم در ساخت موتور جت، هواپیماها و فضاپیماها است و این مورد، با به‌کارگیری نانو ساختارهای سلولزی در کامپوزیت‌ها محقق می‌شود. به تازگی با بررسی عملکرد مروراید و مولکول‌های زیستی توانستند با چسباندن یک کاغذ نانوسلولزی به گرافن تقویت شده، روش جدیدی برای اتصال قطعات مواد کامپوزیتی به یکدیگر و بهبود ویژگی‌های مکانیکی آن ابداع کنند [۱۶].

بالا بودن مقاومت حرارتی و کششی قطعات کامپوزیتی، به سازندگان صنایع هوایی در ایمن بودن تجهیزات در شرایط متغیر جوی هنگام پرواز کمک فراوانی می‌کند. تولید نانوسلولز در برخی روش‌ها می‌تواند کاربرد چند منظوره داشته باشد. به طور مثال، شرکت ساپی^۹ کشور هلند از تولیدکنندگان بزرگ خمیرچوب، گرافیک، کاغذهای بسته‌بندی و فرآورده‌های خاص است که موفق به تولید انبوه و ارزان نانوسلولز با استفاده از پالپ چوب شده است و می‌تواند در کنار محصولات دیگر، جایگزین مناسبی نیز برای کامپوزیت‌های فایبرگلاس



دهد. این روش بسیار دقیق، سریع و قابل کنترل و غیر سمی بوده و تحول بزرگی را در حوزه تشخیص طبی ایجاد می‌کند [۹]. همچنین از نانوسلولز به عنوان آرایه‌های نشان‌دهنده بیماری یا عوامل بیماری‌زا نیز می‌توان استفاده کرد. براساس پتنت ثبت شده، نانوذرات سلولز رنگی می‌تواند موجب افزایش حساسیت آرایه‌ها شوند. این پروژه به‌وسیله‌ی دو شرکت بزرگ دی‌سی‌ان داینستیکز (شرکت تولید و خدمات بخش تشخیصی) و اساهی کاسی فایبرز (یکی از بزرگترین تولیدکنندگان فیبرهای سلولزی در جهان) تجاری‌سازی شده و در حال حاضر با کشورهای آمریکای شمالی و ژاپن قرار داد تجاری امضا کرده‌اند [۱۰]. از دیگر کاربردهای فناوری نانوسلولز در حوزه پزشکی در درمان زخم است [۱۱، ۱۲، ۱۳]. تولید نانوسلولز به‌صورت هیدروژلی که بتواند نسبت به pH محیط، عکس‌العمل نشان دهد از قابلیت‌های شناخته شده در حوزه درمان است. این هیدروژل در محیط‌های خنثی و قلیایی درجه تورم بالاتری نسبت به محیط‌های اسیدی دارد و تحول بزرگی را در بخش پزشکی ایجاد کرده است [۱۱].

از بزرگ‌ترین معایب محصولات بر پایه مواد نفتی، مثل کامپوزیت‌ها و پلاستیک‌ها، دیرتخریب‌پذیری یا تخریب‌ناپذیری آنها است. در جهان سالانه میلیون‌ها تن زباله پلاستیکی بر پایه مواد نفتی

این طرح ارزان بودن، تولید انبوه، ایجاد ارزش افزوده و افزایش تولید نانوسلولز است، به‌طوری‌که در حال حاضر کارخانه‌ای در سوئد، با استفاده از همین خاک اره‌ها تولید نانوسلولز خود را از دو کیلوگرم در روز به ۱۵ کیلوگرم در روز رسانده و ساخت فیلترهای نانوسلولزی افزایش داده است. از محصولات جانبی این پروژه، نانوبلورهای سلولزی است که موجب افزایش تولید آن از ۵۰ گرم در روز به ۶۴۰ گرم در روز شده است و در نظر دارند که از همین رویکرد در صنعت کاغذ به‌خصوص روزنامه نیز استفاده کنند [۷ و ۸]. بنابراین امکان تصفیه آب و هوا با کمک نانوسلولزها وجود داشته و این فناوری در صورت تجاری‌سازی می‌تواند ارزش اقتصادی بالایی به همراه داشته باشد.

یکی دیگر از کاربردهای مهم و جدید نانوسلولز در بخش پزشکی و مهندسی پزشکی است. پسماندهای بیمارستانی و پزشکی، زیست تخریب‌ناپذیر، سمی و آلوده به انواع بیماری‌های مسری و عفونی هستند و رها کردن آنها در طبیعت موجب گسترش بیماری‌های خطرناک و از بین رفتن محیط‌زیست می‌شود. یکی از این موارد استفاده از نانو سلولز در تست‌های تشخیص طبی است. در سال‌های اخیر فیلم‌های نانوفیبری تولید شده که روی زیرلایه مورد نظر مثل پوست تریق می‌شود تا با ماده مورد تست برهم‌کنش

باشد. همچنین به دلیل میزان نفوذ کم اکسیژن این محصول، می‌تواند در صنعت بسته‌بندی و در درمان زخم‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. این شرکت در دسامبر ۲۰۱۴ یک پروژه سه ساله را آغاز نموده تا برای رسیدن به اهداف مورد نظر، نانوسلولز CNF را در مقیاس تجاری تولید کند [۱۲ و ۱۳].

ادوات پزشکی در داخل بدن به دلیل تفاوت ساختاری، برای بافتی همچون پوست مشکل‌ساز است. با کمک فناوری نانوسلولز در این مورد و الهام از فرم ساختاری عروس دریایی، ادوات پزشکی را می‌توان طوری ساخت که دارای بدنه نرم و دهانه سخت باشد، به نحوی که این مشکل برای بیماران مرتفع شود. در این مدل ساخته شده، ساختار دهانه از جنس نوعی کامپوزیت با الیاف چیتین^{۱۰} است که درون نوعی پروتئین قرار دارد. سپس فیلم مورد نظر را با نانوبلورهای سلولز عامل‌دار کرده که با تابش نور به یکدیگر متصل می‌شوند. اما برای ایجاد گرادیان به یک انتهای ساختار نور تابیده نمی‌شود. شدت و زمان تابش باعث بیشتر شدن اتصالات و سخت‌تر شدن ساختارهای مؤثر می‌شود [۱۷].

یکی دیگر از کاربردهای جدید فناوری نانوسلولز که هنوز در مرحله بررسی و تحقیق قرار دارد استفاده از نانوسلولز در زمینه ساخت قطعات الکترونیکی انعطاف‌پذیر و شفاف است. به تازگی ترانزیستورهای اثر میدانی آلی انعطاف‌پذیر OFET با شفافیت بالا و خواص مکانیکی عالی، با استفاده از نانو کاغذهای ساخته شده از الیاف سلولزی نانومقیاس، ساخته شد. این نانو کاغذها نسبت به کاغذهای رایج، زبری کمتر، شفافیت بیشتر و پایداری حرارتی بهتری نسبت به پلاستیک‌ها دارند. این روش، پتانسیل بالای OFET‌های نانو کاغذ در نسل بعدی وسایل الکترونیکی انعطاف‌پذیر و شفاف را نشان می‌دهد [۱۸].

صنایع الکترونیکی از مواد نیمه‌هادی، حاوی عناصر سمی از جمله آرسنید گالیم به مقدار قابل توجهی استفاده می‌شود که متأسفانه در طبیعت تجدیدنپذیر و زیست‌تخریب‌ناپذیر بوده و به عنوان چالشی در بخش محیط‌زیست محسوب می‌شود. محققان با هدف حذف مواد سمی در ساخت مواد نیمه‌هادی، موفق به ساخت تراشه‌ای از جنس چوب شدند. بیشترین چیزی که در این تراشه نیمه‌هادی استفاده شده چوب است و فقط چند میکرون از مواد دیگر استفاده شده و با اطمینان می‌توان گفت که پسماند آن در طبیعت از بین رفته و به کود تبدیل می‌شود [۱۹]. مشکل وجود مواد سمی در مورد باتری‌های فعلی نیز، که دارای ترکیبات سمی و تخریب‌ناپذیر از جمله کادمیم هستند، وجود دارد و در همین راستا پژوهشگران با استفاده از پالپ چوب و تولید آئروژل نانوسلولزی، فوم الاستیک سه‌بعدی

با ظرفیت انرژی بالا و فضای کمتر طراحی کردند [۲۰]. همچنین آئروژل‌های نانوحفرهای سلولزی به‌دست آمده از سلولز باکتریایی نیز در ساخت الکترودهای ابرخازن کاربرد دارد که علاوه بر استفاده در صنعت الکترونیک در جذب آلودگی آب نیز بسیار مؤثر هستند [۲۱]. اما این چنین طرح‌ها نیاز به بررسی‌ها و تحقیقات بیشتری دارد تا به تجاری‌سازی و بهره‌برداری برسد.

۳.۴ مسائل ایمنی استفاده از فناوری نانوسلولز

نهادهای بین‌المللی استانداردهای جهانی، تلاش بسیاری در جهت بررسی اثرات نانو مواد بر سلامتی، محیط‌زیست و طبیعت کره زمین به‌خصوص انسان‌ها انجام می‌دهند. با ورود نانوسلولز به حوزه صنعت و فناوری، بررسی سلامت و ایمنی آنها نیز از سوی مراجع بین‌المللی استاندارد آغاز شده است. در همین راستا، موسسه ملی سلامت و ایمنی حرفه‌ای آمریکا^{۱۱} با مؤسسه مشارکت تحقیقات و راهنمای سلامت و ایمنی حرفه‌ای فناوری نانو^{۱۲} یادداشت تفاهم‌نامه‌ی همکاری در سال ۲۰۱۵ میلادی امضاء کردند. این تفاهم‌نامه در جهت ارتقاء دانش پایه مواد نانوسلولزی به منظور غلبه بر موانع تجاری‌سازی بازار، انجام تحقیقات سلامت و ایمنی حرفه‌ای و سلامت زیست‌محیطی EHS تدوین شده است. از سوی دیگر در قالب این تفاهم‌نامه امکان تهیه راهنمای ایمنی کار با محصولات و مسائل زیست‌محیطی بوجود می‌آید که این کار به توسعه راهنمای جدید مدیریت ریسک، پیشنهادات مربوط به اثرات بالقوه سلامتی انسان ناشی از انتشار مواد نانوسلولزی منجر می‌شود.

لازم به‌ذکر است که مؤسسه ملی سلامت و ایمنی حرفه‌ای آمریکا تحقیقات خود را در همین زمینه از سال ۲۰۱۲ شروع کرده و همچنان ادامه دارد [۲۲]. تاکنون اثری از سمیت این نانو ساختارهای سلولزی دیده نشده است، اما همچنان تلاش مراکز مختلف استاندارد، برای بررسی‌های بیشتر، ادامه دارد.

۵ پیش‌بینی بازار جهانی نانوسلولز در آینده

با توجه به مزایا و فواید فراوان نانوسلولز و پیش‌بینی بازار جهانی، این صنعت آینده بسیار درخشانی دارد به‌طوری‌که باعث تحول عظیمی در صنایع مختلف خواهد شد و نسل جدیدی از ادوات پیشرفته با کمک نانوسلولز تولید می‌شوند که معایب ادوات نسل‌های ماقبل خود را نخواهند داشت.

به‌طور مثال، نانولوله‌های کربنی به دلیل مزایایی که دارند بر حوزه‌های مختلف صنعتی اثرات فراوان گذاشته‌اند، ولی با ورود نانوسلولز به عرصه فناوری نانو، نانو سلولزها به‌عنوان رقیب جدی نانولوله‌های کربنی مطرح شده‌اند. شرکت ریسرچ اند مارکت به تازگی گزارشی

تحت عنوان پیش‌بینی بازار جهانی نانولوله‌های کربنی تا سال ۲۰۲۵ منتشر کرده و نانوسلولزها را از نظر ترکیبی، در مقایسه با نانو ساختارهای دوبعدی، رقیب جدی می‌داند [۲۳]. براین اساس پیش‌بینی شده که فناوری نانوسلولز در فاصله سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ رشد نوزده درصدی را تجربه می‌کند و در سال ۲۰۱۹ رقم مصرف آن به ۲۵۰ میلیون دلار می‌رسد [۲۴].

در سال ۲۰۱۴ حجم مصرف نانوسلولز آمریکا در بخش حجم انبوه به‌طور متوسط ۵/۹ میلیون تن در سال و در بخش حجم اندک به‌طور متوسط حدود ۰/۴۸ میلیون تن در سال بوده است. همچنین بر طبق برآورد انجام شده، حجم متوسط مصرف جهانی نانوسلولز، حدود ۳۵ میلیون تن در سال اعلام شده که در این میان ایالات متحده آمریکا بیشتر از ۲۰ درصد حجم مصرفی دنیا (۶/۴ میلیون تن در سال) را به خود اختصاص داده است. [۲۵] اگرچه کاربردهای نو و تازه، در آینده می‌توانند بخش‌های مهمی از بازار را در برگیرند، اما فعلاً نمی‌توان حجم و درآمد پایه‌ای در بازار برای مصرف نانوسلولز در نظر داشت.

در حال حاضر بزرگ‌ترین حجم بازار مصرفی نانوسلولز به صنعت کاغذ و بسته‌بندی اختصاص دارد. حوزه‌های خودرو، ساختمان‌سازی، منسوجات و مراقبت‌های شخصی از جمله لوازم بهداشتی و آرایشی در رده‌های بعدی از نظر تقاضای نانوسلولز قرار دارند. البته در مورد اینکه رتبه اول در بین مصارف انبوه نانوسلولز به کدامیک از کاربردهای مذکور اختصاص دارد اتفاق نظر جامع وجود ندارد. به‌طور مثال مؤسسه فناوری نانو پایدار آمریکا براساس نقشه راه گسترش نانوسلولز در سال ۲۰۱۳، حجم بازار را به ترتیب در صنعت ساختمان‌سازی، منسوجات و محصولات جاذب برآورد کرده است [۲۶].

ArborNano شبکه ملی نانومحصول جنگل‌های کانادا در سال ۲۰۱۲ پیش‌بینی کرده که در فاصله زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۷ ظرفیت تولید نانوسلولز در کانادا به حدود ۸۰۰ تن در سال خواهد رسید که این رقم افزایش تولید ۸۰۰ درصدی را نشان می‌دهد. رشد چشم‌گیر تولید نانوسلولز حاکی از افزایش تقاضا این نانو ساختار در زمینه‌های مختلف است. در کانادا نیز بیشترین مصرف نانوسلولز بر روی صنعت کاغذ و بسته‌بندی و صنعت خودروسازی (کوسن، چراغ جلو و فرمان) به ترتیب با ۲۱ و ۲۰ در کانادا متمرکز است [۲۷]. این شبکه ملی، در حال حاضر هفت پروژه کاربردی نانوسلولزهای NCC را با هدف توسعه و تولید انواع کاغذ در دست اقدام دارد [۲۷ و ۲۸].

با وجود این اختلاف نظر، متوسط مصرف فعلی نانوسلولز در دنیا روی کاغذ، منسوجات و خودروسازی متمرکز شده است.

۴ موانع تجاری سازی نانوسلولز

علی‌رغم ویژگی‌های بالقوه و تلاش‌های تحقیقاتی در زمینه نانوسلولز، مشکلات قابل توجهی برای غلبه بر آنها وجود دارد. تولید نانوسلولز به عنوان روشی گران‌قیمت مطرح است و سعی بر آن است تا هزینه تولیدشان به حداقل برسد و از نظر اقتصادی برای تولید انبوه به صرفه باشد. مشخصه سیستماتیکی منابع سلولزی، خصوصیات و رفتارهایی از جمله ویژگی‌های سطحی، مکانیکی و رئولوژیکی و برهم‌کنش آنها با نسوج زنده به طور کامل تدوین نشده است. تمایل به تجمع ساختاری در نانوسلولز موجب شده تا اکثر تحقیقات، بر اصلاح سطوح مرتبط و عامل‌دار کردن آنها متمرکز شود [۲۹]. همچنین مطالعه و بررسی خواص بلورهای منفرد آن به آسانی امکان‌پذیر نیست و سعی می‌شود تا با استفاده از مکانیک کوانتوم تا حدودی خواص آنها پیش‌بینی شود [۳۰]. از این رو به‌دلایل مطرح شده، روند تحقیق و توسعه در بسیاری از زمینه‌های کاربردی نانوسلولز ادامه دارد.

۷ رشد فناوری نانوسلولز در ایران

فناوری نانوسلولز در ایران هنوز به بلوغ خود نرسیده و در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارد. ایران برای رسیدن به تجاری‌سازی فناوری نانوسلولز، مستلزم داشتن نقشه راه، مدیریت صحیح کلان، اختصاص بودجه مناسب، تدوین و اجرایی کردن پروژه‌های صنعتی و تجاری و به‌کارگیری متخصصان این صنعت است. هنوز این فناوری در ایران نیازمند تحقیقات بیشتری است. بیشتر مناطق ایران، خشک و نیمه‌خشک بوده و با محدودیت منابع طبیعی، آبی و جنگلی مواجه است، اما در برخی استان‌ها از جمله نواحی شمالی کشور، ایجاد کارخانه‌های تولید نانوسلولز و محصولات آن بسیار مؤثر و کارآمد می‌تواند باشد. در یکی از طرح‌های موفق داخلی، ژل نانوالیاف و کاغذهای ترکیبی نانوالیاف با انرژی کم و بسیار ارزان به‌دست آمده است. مرحله تهیه خمیر کاغذ کرافت قهوه‌ای از کف در ایران و بقیه مراحل در مرکز خمیر و کاغذ کشور

صنعتی امیرکبیر [۳۶]، دانشگاه تهران [۳۷]، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان [۳۸ و ۳۹] و دانشگاه شهیدبهشتی [۴۰] از جمله مراکزی هستند که طی پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه تولید و کاربرد نانوسلولز با استفاده از ضایعات چوب و کشاورزی به موفقیت‌های قابل توجهی رسیده‌اند. ویژگی‌های منحصر به فرد نانوسلولز که در بخش‌های پیشین به آن اشاره شده است، از دلایل مهم توجه محققان کشور ما به استفاده از الیاف حاصل از منابع لیگنوسلولزی موجود، شامل پسماندهای کشاورزی همانند ضایعات نیشکر، کاه گندم و کلس برنج و نیز گیاهان صنعتی نظیر کتان و کف، است [۴۱].

۸ جمع‌بندی

شناخت کاربردهای و پتانسیل‌های نانوسلولز موجب ترغیب کشورها برای سرمایه‌گذاری روی این فناوری سبز شده است. آمریکا، کانادا، هلند، سوئیس در زمینه تولید نانوسلولز پیش‌تاز بوده و با بهره‌گیری از مراتع و جنگل‌ها سعی در بهره‌برداری از این فناوری دارند. در حال حاضر برخی کشورها با به‌دست آوردن فناوری استفاده از نانوسلولز در بخش صنعت کاغذ و بسته‌بندی اقدام به تولید انبوه و نیمه‌انبوه نانوسلولز با هزینه و پساب اندک نموده‌اند. گسترش و تکامل این فناوری در حوزه‌های دیگر نیاز به بررسی و تحقیقات بیشتر و گسترده‌تر دارد که در کشورهای متعددی این روند ادامه دارد. در واقع در بخش‌هایی از پتانسیل‌های نانوسلولز به مرز تجاری‌سازی رسیده و در دیگر حوزه‌ها نیاز به تحقیق بیشتر دارد. گسترش این فناوری در ایران به دلیل محدودیت منابع طبیعی و مراتع و وجود زمین‌های خشک و کویری از شرایط ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر کار در حوزه فناوری نانوسلولز در ایران در مقیاس آزمایشگاهی بوده و بیشترین حجم پژوهش در دانشگاه‌ها انجام می‌گیرد. با توجه به پتانسیل‌های این ماده در رفع معضلاتی نظیر آلودگی آب و هوا، لازم است صنایع مختلف نسبت به این فناوری سبز توجه بیشتری داشته باشند.

سوئد انجام شد. در صورت تجاری شدن این طرح، علاوه بر اینکه ارزش افزوده‌ای در کاغذهای بازیافتی ایجاد می‌شود، هزینه جاری تولید نانوالیاف سلولزی حاصل از خمیر، به کمتر از ۲۰ هزار تومان به ازای هر کیلوگرم می‌رسد و همچنین موجب بی‌نیازی ایران از واردات انواع کاغذ مرغوب به‌ویژه در مصارف کارتن‌سازی خواهد شد. اما متأسفانه به‌دلیل نبود دستگاه مناسب، در مرحله تحقیق و توسعه متوقف شده است [۳۱].

در حال حاضر طرح‌هایی نیز وجود دارند در مراحل اولیه تجاری‌سازی قرار گرفته‌اند. تولید فیلم کامپوزیتی نانوسلولزی با استفاده از ضایعات نیشکر یکی از این معدود پروژه‌های موفق است که محصول نهایی آن، از نظر مکانیکی و فیزیکی نسبت به نمونه‌های مشابه خود بدون حضور نانوسلولز، خواص بسیار عالی دارد و روش تولید آن نیز ساده، سریع و کم هزینه است. در حال حاضر برای بهره‌برداری از این طرح، قراردادی با سازمان صنایع کوچک البرز بسته شده تا این محصول نانوسلولزی در حجم اندک تولید شود. ضایعات نیشکر از جمله پسماندهایی است که در ایران سالانه ۴/۳ میلیون تن تولید می‌شود و دفع آنها نیز برای دولت هزینه در بر دارد، ولی با استفاده از این طرح علاوه بر اینکه ارزش افزوده قابل توجهی ایجاد می‌شود، از آلودگی محیط‌زیست نیز کاسته می‌شود [۳۲].

یکی دیگر از پروژه‌های کاربردی نانوسلولز که در حال حاضر در مرحله آزمایش‌های نهایی قرار دارد مربوط به حامل‌های دارویی است. در این طرح، با انجام اصلاحات شیمیایی روی سطح نانوذرات، روشی جدید برای تولید نانوذرات سلولزی از الیاف سلولزی ابداع شده است که محصول به‌دست آمده از آن کاربرد دارویی و ضد باکتری دارد. در حال حاضر این محصول روی بیش از ده نوع باکتری بیماری‌زا آزمایش شده و برای تجاری شدن باید اقدامات ویژه پزشکی و کلینیکی روی آن صورت گیرد. این محصول به‌وسیله‌ی یک پژوهشگر ایرانی با کمک دانشگاه کارولینای شمالی آمریکا به‌دست آمده است [۳۳].

دانشگاه صنعتی اصفهان [۳۴ و ۳۵]، دانشگاه

پی‌نوشت‌ها:

1. Cellulose Nano Fiber
2. Nano Fibril Cellulose
3. Micro Fibril Cellulose
4. Crystalline Nano Cellulose
5. Nano Cellulose Crystalline
6. Bacterial Nano Cellulose
7. Construction gypsum wallboard facing
8. Cellulofore
9. Sappi
10. chitin
11. NIOSH
12. P3NANO

1. Technological Indicators of Nanocellulose Advances Obtained from Data and Text Mining Applied to Patent Documents, Material Resaerch.2014;
2. <http://edu.nano.ir/index.php>
3. A BCC research material report -cellulose nanoparticles: processing, applications and global markets- jun 2015
4. market projections of cellulose nanomaterial-enabled produces- part1: applications, May 2014, TAPPI journal
5. <http://news.nano.ir/46874/1>
6. <http://news.nano.ir/48859/1>
7. <http://news.nano.ir/45566/1>
8. <http://news.nano.ir/48284/1>
9. <http://news.nano.ir/41606/1>
10. <http://news.nano.ir/44590/1>
11. <http://news.nano.ir/46493/1>
12. <http://news.nano.ir/48791/1>
13. <http://news.nano.ir/48464/1>
14. <http://news.nano.ir/41510/1>
15. <http://news.nano.ir/45624/1>
16. <http://news.nano.ir/36521/1>
17. <http://news.nano.ir/42227/1>
18. <http://news.nano.ir/44280/1>
19. <http://news.nano.ir/49603/1>
20. <http://news.nano.ir/49680/1>
21. <http://news.nano.ir/42062/1>
22. <http://news.nano.ir/49444/1>
23. <http://news.nano.ir/50087/1>
24. <http://news.nano.ir/50031/1>
25. Market projections of cellulose nanomaterial, part 1,
26. The economic impact of Nanocellulose (ArborNano: the Canadian Forest nanoproduct Network) March 2012, Washington DC
27. Annual report 2013-ArborNano (july 2014)
28. <http://news.nano.ir/35624/1>
29. <http://news.nano.ir/46255/1>
30. <http://news.nano.ir/45922/1>
31. <http://news.nano.ir/46224/1>
32. <http://news.nano.ir/36661/1>
33. <http://news.nano.ir/47610/1>
34. <http://news.nano.ir/46675/1>
35. <http://news.nano.ir/46889/1>
36. <http://news.nano.ir/46224/1>
37. <http://news.nano.ir/46685/1>
38. <http://news.nano.ir/49241/1>
39. <http://news.nano.ir/49358/1>
40. <http://news.nano.ir/36111/1>
41. <http://news.nano.ir/35522/1>
42. <http://news.nano.ir/31598/1>