

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی



## اهمیت و کاربردهای نانو مواد در صنایع خمیر و کاغذ

علی اصغر تاتاری<sup>۱\*</sup>، میترا غریب ورسنی<sup>۱</sup>، محمدرضا پورپيله کش<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجویان کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش آموخته کارشناسی صنایع چوب و کاغذ مرکز آموزش عالی غیر انتفاعی ساعی گرگان

### چکیده

در کنار تأمین مواد خام اولیه مورد نیاز برای صنایع مختلف چوب، مسأله استفاده از تکنولوژی‌ها و پیشرفت‌های علمی جدید به منظور بهینه سازی تولید و افزایش کیفیت و سرعت تولید دارای اهمیت می‌باشد. امروزه استفاده از پیشرفت‌های جدید در عرصه صنایع خمیر و کاغذ بخش مهمی از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. یکی از جدیدترین پیشرفت‌های علمی سالیان اخیر مبحث نانو تکنولوژی می‌باشد. تکنولوژی نانو واژه‌ای است کلی که به تمام تکنولوژی‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو یعنی یک تا صد نانومتر اطلاق می‌شود. در صنایع خمیر و کاغذ از نانو تکنولوژی، بطور عمده‌ای در مقیاس‌های مختلف تولید (آزمایشگاهی، پایلوت و در مواردی صنعتی) استفاده می‌شود. در شرایط موجود، صنایع خمیر و کاغذ با چالش‌هایی مثل تأمین مواد اولیه و افزایش نرخ تولید مواجه است و کارخانجات هر گونه پیشرفت را که کارایی و کیفیت را در عین کاهش قیمت‌ها افزایش دهند، خواهند پذیرفت. اگرچه صنعت خمیر و کاغذ به دنبال نانو فناوری کم هزینه است، اما محققین نباید نسبت به این صنعت بی توجه باشند چون هزینه کم به اندازه کافی بواسطه حجم مصرفی موجود در صنعت جبران می‌گردد. در چنین شرایطی نانو تکنولوژی، پتانسیل‌های عظیمی برای بهبود محصولات موجود و ایجاد زمینه‌های جدید به صنعت کاغذ سازی را معرفی کرده است. این تکنولوژی می‌تواند در بخش پر کننده‌ها، بهبود کیفیت کاغذ (ویژگی‌های نوری و مکانیکی)، عامل پوشش دهنده سطحی بکار گرفته شود. تحقیق و پیشرفت در بخش نانو تکنولوژی به طور حتم نتایج بسیار مفیدی را ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** نانو تکنولوژی، صنایع خمیر و کاغذ، پرکننده، فرصت‌ها و چالش‌ها، مقیاس نانو

### ۱- مقدمه

نانو تکنولوژی ابتدا در سال ۱۹۵۹ به وسیله ریچارد فاینمن در یک سخنرانی تحت عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» مطرح شد. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم ابعاد مولکول‌ها و اتم‌ها را مستقیماً تغییر دهیم. فن آوری نانو، بر پایه دست کاری و تغییر تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها استوار است بدین منظور که بتوان ساختاری پیچیده را با خصوصیات اتمی تولید کرد (تاتاری و غفاری، ۱۳۹۲). نانو تکنولوژی یکی از تکنولوژی‌های جدید است که در زمینه‌های گسترده با سرعتی بالا در حال رشد است. بسیاری معتقدند که نانو تکنولوژی عامل انقلاب صنعتی آینده و کلید ایجاد نوآوری‌ها و علوم کاربردی جدید خواهد بود. در سال‌های اخیر قابلیت‌ها و مزایای کاربردی نانو تکنولوژی توجه جهانی را به خود جلب کرده و سرمایه گذاری‌های دولت‌ها از اواسط دهه ۱۹۹۰ در این زمینه افزایش داشته است (رسالتی و آریایی منفرد، ۱۳۸۶). تاریخچه صنعت کاغذ سازی حدوداً به ۲۰۰۰ سال پیش بازگشته و در طی زمان این فرآیند به طور روبه رشدی تکامل یافته است. با توجه به مصرف زیاد درختان به عنوان یک منبع تأمین مواد سلولزی و همچنین امکان تولید هر روزه هزاران تن کاغذ در یک کارخانه مدرن کاغذسازی، می‌توان گفت که این صنعت به شدت تحت تاثیر آزمایش‌های انجام شده مربوط به

\* [asghar.tatari2007@yahoo.com](mailto:asghar.tatari2007@yahoo.com)



نانوتکنولوژی قرار گرفته است. مواد با ساختار نانو دارای ابعاد ۲۰۰-۱ نانومتر بوده دارای ویژگی های منحصر به فرد (فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی و نوری) می باشند که متفاوت از مواد اولیه است. دو مزیت عمده که برای افزودن ذرات نانو در فرآیند کاغذ سازی بسیار اشاره می شود عبارتند از: افزایش کارایی در ماندگاری نرمه ها و آب گیری سریعتر. تاثیر آب گیری بیشتر نگرانی اصلی سازندگان کاغذهایی است که مقوای با گراماژ بالا تولید می کنند به ویژه اگر خمیر کاغذ از نوع مکانیکی باشد و از درجه روانی کمی برخوردار باشد (اکبرپور و غفاری، ۱۳۹۰). امروزه با توجه به کاربرد نانو تکنولوژی در عرصه های مختلف صنعتی، استفاده از نانو ذرات در صنعت کاغذسازی جایگاه ویژه ای یافته و روز به روز شاهد گسترش نوآوری ها و کاربردهای مربوط به آن می باشیم. در این زمینه یکی از مهم ترین نانوذرات مورد استفاده در کاغذسازی، نانو ذرات سیلیکای کلئیدی بوده که با توجه به اندازه ابعاد و خواص ویژه سطحی آن به همراه پلیمرهای کاتیونی نظیر نشاسته و یا پلی آکریل آمید کاتیونی، به عنوان ماده کمک نگهدارنده کاربرد فراوانی دارد (خسروانی، ۱۳۸۷؛ Ramsden، ۲۰۰۶).

## ۲- نانو ذرات بالقوه مناسب جهت کاربرد در پایانه تر کاغذسازی

### ۱-۲- نانو ذرات پرکننده

به طور سنتی، تحقیق و توسعه در زمینه نانو پرکننده ها یعنی پرکننده هایی با حداقل یک بعد در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و یا حتی در دامنه وسیع تر ۱ تا ۴۰۰ نانومتر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در حال حاضر، پیشرفت ها در زمینه نانو پرکننده ها (موارد تجاری شده و یا بخش هایی که هنوز در مرحله تحقیق و بررسی علمی است) برای کاربرد های پایانه تر کاغذ سازی عمدتاً می تواند شامل: نانو مواد معدنی<sup>۱</sup> موجود که به طور تجاری در دسترس هستند (مثل رنگدانه دی اکسید تیتانیوم) با ویژگی های مطلوب ویژه به طور مستقیم به ترکیب خمیر کاغذ قبل از تشکیل نوار تر کاغذ اضافه می شوند و هدف آن دستیابی به ویژگی های کاغذ عالی مثل پراکنش نور مطلوب برای ماتی و روشنی کاغذ است. اگرچه نانو کربنات کلسیم تحت شرایط مشخص به دلیل ضریب شکست نور بسیار کم کلسیت (در مقایسه با دی اکسید تیتانیوم) پراکنش نور ضعیفی دارد، اما استفاده از نانو کربنات کلسیم تجاری به لحاظ مصرف و شرایط عملیاتی، عملی است (اکبر پور و مشکور، ۱۳۹۱). آینده توسعه تحقیقات و توسعه در حوزه نانو پرکننده ها، با دیگر حوزه های نانو در کاغذسازی مثل مواد افزودنی پلیمری، نانو پیگمنت ها (رنگدانه ها) برای پوشش، سیستم های ماندگاری نانو، نانو عوامل آهاردهی، نانو الیاف برای پوشش دهی و کاغذهای هوشمند بر پایه نانو، می تواند انتظار رود. آینده کار و تحقیقات در مورد نانو پرکننده ها برای کاربردهای پایانه تر کاغذسازی با کمک تولید کنندگان کاغذ شناخت و طراحی بهتر در سطوح نانو امکان پذیر است. به طور قطع، تحقیقات و تلاش در این حوزه نتایج مفیدی ارائه خواهد داد و باعث ایجاد امکانات و محصولات جدید خواهد شد Shen و همکاران (۲۰۱۰).

### ۲-۲- چالش های نانو پرکننده ها

- هزینه بالا و محدودیت صنعتی شدن؛
- مشکل بودن کنترل ساختار و عملکرد نانو پرکننده ها؛
- قابلیت پراکنده شدن؛
- ماندگاری بسیار کم؛
- تاثیرات منفی احتمالی بر مقاومت های کاغذ؛
- بر هم کنش های مضر بالقوه بین نانو پرکننده ها با برخی از افزودنی های پایانه تر (محرابی و همکاران، ۱۳۹۰).

<sup>1</sup> Nano Mineral Materials (NMM)



### ۲-۳- نانو ذرات ژئولیت

ژئولیت‌ها گروهی از مواد معدنی با ترکیبی از کریستال‌های سیلیکات آلومینیوم هیدراته است که کاتیون‌هایی از خانواده فلزات قلیایی و قلیایی خاکی بوده و ساختمان شش بعدی نامحدودی دارد. در حال حاضر ژئولیت‌ها به عنوان غربال مولکولی، مبدل یون، جاذب و کاتالیزور مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در صنعت کاغذ به عنوان پرکننده، میکرو و نانوذرات کمک نگهدارنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. ژئولیت یک محصول غیرمعمول است که ساختار متخلخل آن بسیاری از ویژگی‌هایش را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از جمله ویژگی‌های مثبتی که موجب استفاده نانو ژئولیت‌ها در صنایع خمیر و کاغذ می‌شود، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- (۱) بهبود خواص نوری کاغذ و افزایش درجه روشنی آن؛
- (۲) بهبود حجیمی و ویژگی‌های چاپ؛
- (۳) کاربردهایی از قبیل تصفیه گاز، ضد لک کردن و فتوکاتالیتیکی با توجه به ساختار منفذدار آنها؛
- (۴) کمک به کاهش اصطکاک در سیستم تغذیه به ماشین کپی؛
- (۵) کاهش مشکلاتی مانند قیر و رسوبات پرکننده به علت توانایی در تبادل یون (تقی پور رستاقی و جلالی ترشیزی، ۱۳۹۱).

### ۲-۴- نانو سلولز

استفاده از نانو رشته‌های سلولزی به عنوان تقویت کننده در سیستم‌های پلیمری زیست تخریب پذیر، رشته جدیدی در نانو تکنولوژی محسوب می‌شود. نانو رشته‌های سلولز به دلیل تجدید پذیری، ویژگی‌های مکانیکی مطلوب و ناحیه سطح مخصوص بالا مورد توجه زیادی قرار دارند. مدول الاستیک نانو رشته‌های سلولز ۱۶۷/۵ گیگاپاسکال پاسکال بوده و افزودن آن به پلیمر باعث بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌ها (ویژگی‌های مکانیکی، بازدارندگی نسبت به گازها و حتی افزایش زیست تخریب پذیری نانوکامپوزیت‌ها) نسبت به پلیمر خالص و یا میکرو و ماکرو کامپوزیت‌ها می‌شود. فیبرهای سلولز دسته‌هایی از میکروفیبریل‌ها (فیبریل‌های ابتدایی) بوده که در آن مولکول‌های سلولز به صورت طولی توسط پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل‌شان به هم وصل شده‌اند. میکروفیبریل‌ها شامل نواحی تک کریستالی سلولز بوده که به نواحی آمورف متصل شده‌اند. هر فیبریل ۱۰-۵ نانومتر قطر و طولی در حدود چند صد نانومتر تا چندین میکرومتر دارد. در حین هیدرولیز اسیدی، میکروفیبریل‌ها متحمل شکستگی در نواحی آمورف شده و سلولز کریستالی یا رشته‌ها آزاد می‌شوند. به دلیل دارا بودن آرایش کریستالی، رشته‌های سلولز مدول بالایی داشته و به عنوان مواد تقویت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند (نوشیروانی و همکاران، ۱۳۹۰). ابعاد نانو سلولزهای مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- ابعاد نانو سلولز

نسبت طول به قطر	قطر (نانو متر)	طول (نانو متر)	ساختار سلولز
>۱۰۰۰	۲-۱۰	>۱۰۰۰۰	میکروفیبریل
۱۰۰-۱۵۰	۱۰-۴۰	>۱۰۰۰	MFC
۱۰-۱۰۰	۲-۲۰	۱۰۰-۶۰۰	ویسکر سلولز
~۱	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	MCC

منبع: (chauhan و chakrabarti، ۲۰۱۱)

### ۳- مزایای ذرات نانو

- استفاده از اندودکننده‌های بر پایه آب که غیر سمی بوده و سطوح صاف و محکم‌تری را ایجاد می‌کند؛
- بهبود صافی سطح و امکان چاپ پذیری بهتر کاغذ؛
- بهبود کیفیت کاغذ (ویژگی‌های نوری و مکانیکی) با افزودن نانو ذراتی مانند سیلیکا؛



- امکان استفاده از ماده اولیه ارزان تر و دستیابی همزمان به فرآورده‌های زیست تخریب پذیر؛
  - امکان بسته شدن سیستم آب با نانو تکنولوژی فیلتراسیون؛
  - بهبود کارایی ماندگاری مواد در ماشین کاغذ در نتیجه افزایش سرعت آگیری و بهبود شکل گیری ورقه کاغذ (مثلاً با سیلیس کلوئیدی) (رسالتی و آریایی منفرد، ۱۳۸۶ b؛ Jons، ۲۰۰۷).
  - بهبود مقادیر قابلیت آگیری (درجه روانی) و مقدار ماندگاری در گذر اول ذرات ریز موجود؛
  - بهبود کیفیت شکل گیری، مقاومت به عبور هوا و زبری سطوح کاغذ (اسدپور اتوئی، ۱۳۸۹).
- در کاغذسازی بیشترین استفاده از ذرات نانو مربوط به بهره گیری از ذرات نانو سیلیکا و سدیم مونت موریلونیت (بنتونیت)<sup>۱</sup> در پایانه تر کاغذسازی می باشد. ذرات نانو سیلیکا بصورت قابل ملاحظه‌ای قابلیت بهبود آگیری و ماندگاری را بهبود می بخشد و امکان استفاده از پرکننده بیشتر را در پایانه تر کاغذ فراهم می کند (خسروانی، ۱۳۸۷؛ رحمانی نیا، ۱۳۸۷).

#### ۴- نانو تکنولوژی در کاغذسازی قلیایی

اهمیت شیمی کاغذسازی و سطح چاپ در این زمینه مهم می باشد. برای ثابت بودن و افزایش کارایی فرایند، ماشین کاغذ باید به شیمی کاغذ قلیایی توجه بیشتری داشته باشد که شامل چگونگی پوشش دهی کاغذ بر اساس اصول نانو تکنولوژی، ایجاد یک سطح بدون عیب برای مرکب های دیجیتال مدرن و روتوگراور می باشد. "پوشش های نانوی خود آرا"<sup>۲</sup> در آینده راهی برای فراهم آوردن کاغذهای پوشش دار بدون فرا ساختارهای سنتی را ایجاد می کنند. برخی از خود آرایه های ذرات نانو شبیه نانو کامپوزیت ها در پوسته صدف دیده می شود، بنابراین یک پوشش نانو می تواند "خود پوشش"<sup>۳</sup> باشد و طی فرایند کاغذسازی بدون هر گونه فشار و اتوزنی گسترده ایجاد شود. در حال حاضر، ساختارهای نانوی خود به هم متصل شده نیمه هادی شبیه آهن ربای نانو و حافظه های اطلاعاتی مغناطیسی وجود دارند و نانو تکنولوژی می تواند محصولات کاغذ و مقوای "بی حرکت" را به نمونه های فعال آن تبدیل کند و به تکامل محصولات کارا تر کمک کند که تقاضای آنها را بیشتر کند (غفاری و همکاران، ۱۳۸۷).

#### ۵- نتیجه گیری

با توجه به این که صنعت کاغذ به منظور افزایش نرخ تولید تحت فشار زیادی می باشد، تحت چنین شرایطی نانو تکنولوژی پتانسیل های عظیمی را جهت بهبود محصولات موجود و ایجاد زمینه های تحقیقاتی جدید در صنعت کاغذسازی را موجب شده است. الیاف سلولزی به عنوان ساختار اصلی کاغذ و همچنین بسیاری از ترکیبات افزودنی مانند پرکننده ها و آهارها، جز ساختارهای حقیقی هستند که می توان از آنها نانوذرات تولید کرد. بنابراین استفاده از ذرات نانو یکی از زمینه های مستعد در صنعت کاغذ است که در دامنه های گسترده ای از محصولات به صورت نیمه تجاری (پایلوت) و عمدتاً به صورت پوشش دهی بر روی کاغذ کاربرد دارد. در حال حاضر، اگرچه کاربرد فناوری نانو به صورت تجاری در صنایع خمیر و کاغذ به دلیل عدم سازگاری با سیستم های فعلی تولید و هزینه بالای این مواد محدود است، ولی آنچه از مزایای این فناوری در آینده قابل پیش بینی است، افزایش کارایی در ماندگاری نرّمه ها و آگیری سریعتر از کاغذ تر و استفاده از مقادیر بیشتر پرکننده و نانوذرات کمک نگهدارنده برای ماشین های با سرعت بالا است که باعث افزایش بهره وری و بازده می شود.

<sup>1</sup> Montmorillonite (Bentonite)

<sup>2</sup> Self-decorated nanocoating

<sup>3</sup> Self-Coating



## منابع

- ۱- اسدپور اتوئی، ق. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر استفاده از ذرات نانو سیلیکای کلوئیدی و نرمه‌های فیبری کاتیونی بر بهبود ماندگاری فیلر و ویژگی‌های خمیر و کاغذ روزنامه، پایان نامه دکتری تخصصی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
  - ۲- اکبرپورا، و مشکور، م. ۱۳۹۱. کاربرد و چالش‌های نانو پرکننده در پایانه تر کاغذ سازی. ماهنامه تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۱۱(۶۹): ۵۵-۵۳.
  - ۳- اکبرپور، ا.، و غفاری، م. ۱۳۹۰. نگاه کلی به فن آوری نانو و اهمیت آن در صنایع خمیر و کاغذ. ماهنامه تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۱۰(۶۲): ۶۲-۵۸.
  - ۴- تاتاری، ع.ا.، و غفاری، م. ۱۳۹۲. کاربرد نانو تکنولوژی در صنایع کاغذ سازی، ماهنامه تخصصی صنایع چوب. مبلمان و کاغذ ایران، ۱۲(۷۸): ۵۹-۵۵.
  - ۵- تقی پور رستاقی، ع.، و جلالی ترشیزی، ح. ۱۳۹۱. استفاده از نانو زئولیت‌ها در صنایع خمیر و کاغذ. ماهنامه تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۱۲(۷۵): ۶۲-۶۰.
  - ۶- خسروانی، ا. ۱۳۸۷. بررسی امکان استفاده از سیستم نانوسیلیکای آنیونی-نشاسته کاتیونی به منظور بهره‌گیری از پرکننده بیشتر در کاغذهای ظرفیت. پایان نامه دکتری تخصصی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
  - ۷- رحمانی نیا، م. ۱۳۸۷. استفاده از سیستم نشاسته کاتیونی-نانو سیلیکا جهت بهبود آبگیری و مقاومت خمیر حاصل از بازیافت OCC، پایان نامه دکتری تخصصی رشته صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
  - ۸- رسالتی، ح.، و آریایی منفرد، م.ح.، ۱۳۸۶ a. کاربردهای نانو تکنولوژی در صنعت کاغذسازی (بخش اول). ماهنامه تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۷(۳۲): ۷۶.
  - ۹- رسالتی، ح.، و آریایی منفرد، م.، ۱۳۸۶ b. کاربردهای نانو تکنولوژی در کاغذسازی (بخش دوم). ماهنامه تخصصی صنایع چوب، مبلمان و کاغذ ایران، ۶(۳۴): ۶۶-۶۲.
  - ۱۰- غفاری، م.، اسداله زاده، م. ت.، و اکبرپور، ا. ۱۳۸۷. نانو تکنولوژی در کاغذ سازی. مجموعه مقالات اولین همایش دانشجویی بیولوژی و دنیای نوین. گرگان.
  - ۱۱- محرابی، ا.، رسالتی، ح.، و آریایی منفرد، م. ۱۳۹۰. مزایا و چالش‌های استفاده از نانو ذرات پرکننده در پایانه تر کاغذ سازی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی نانو مواد و نانو فناوری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود-ایران.
  - ۱۲- نوشیروانی، ن.، قنبرزاده، ب.، و انتظامی، ع.ا. ۱۳۹۰. مورفولوژی، زاویه تماس و ویژگی‌های رنگی فیلم‌های بیو نانوکامپوزیت نشاسته - پلی‌وینیل الکل - نانوکریستال سلولز. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(۲)، ۱۵۴-۱۴۱.
- 13- Jons, N. 2007. Nanotechnology in paper and packaging. The source for Critical Information and Insight™.
- 14-Ramsden, J. 2006. Potential for Nanotechnology in Paper Production, www.profitthroughinnovation.com.
- 15- Shen, J., Song, Z., Qian, X., Yang, F., Kong, F. 2010. Nanofillers for Papermaking Wet-End Applications, BioResources, 5(3), 1328-1331.
- 16- Chauhan, V., and Chakrabarti, S. 2011. Use of Nanotechnology for High Performance Cellulose and Papermaking Products, Cellulose Chemistry and Technology, 46(5-6): 389-400.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی