

طراحی و ساخت دستگاه جت پلاسما جهت چاپ نانوذرات مس بر روی دستمال کاغذی حاوی سوسپانسیون دو قارچ آسپرژیلوس و پنی سیلیوم و بررسی خاصیت ضد قارچی آن

زهرا قربانی^۱، محمد تقی احمدی^۱، میثم رحمانی^{۲*}

^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، آذربایجان غربی

^۲گروه مهندسی برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران

چکیده

بررسی خاصیت ضد قارچی دستمال کاغذی حاوی نانوذرات مس با استفاده از تجهیزات طراحی شده شامل دستگاه انفجار الکتریکی سیم و چاپگر جت پلاسما از جمله اهداف مورد نظر در این تحقیق می باشد. به همین منظور، ابتدا نانوذرات مس در اندازه‌های مختلف توسط دستگاه انفجار الکتریکی سیم سنتز شده و اندازه‌ی نانوذرات محلول در آب مقطر به وسیله‌ی دستگاه DLS تعیین شده است. سپس با استفاده از دستگاه جت پلاسما نانوذرات مس بر روی سطح انعطاف‌پذیر دستمال کاغذی چاپ گردید. مزیت استفاده از این چاپگر به واسطه‌ی چاپ یکنواخت نانوذرات با کمترین مقدار است. برای بررسی خاصیت ضدقارچی دستمال کاغذی- های حاوی نانوذرات مسی، از سوسپانسیون دو قارچ آسپرژیلوس و پنی سیلیوم استفاده شده است. تصاویر نانوفوکوس گرفته شده از نمونه های دستمال کاغذی بیانگر پخش یکنواخت نانوذرات بر روی سطح نمونه به علت حضور پلاسما می باشد. همچنین تغییرات خلصت ضد قارچی دستمال های کاغذی به وسیله تغییر پارامترهایی از قبیل تغییر سایز نانوذرات و تغییر غلظت بررسی شده است. میزان رشد قارچ بر روی دستمال کاغذی نیز توسط دوربین دیجیتالی مشاهده گردید و خاصیت ضد قارچی (کاهش رشد یا توقف رشد) اثبات شد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات مس، انفجار الکتریکی سیم، چاپگر جت پلاسما، ضد قارچ، دستمال کاغذی.

ایمیل نویسنده مسئول: meisam.rahmani@bzte.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۳/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۸

۱- مقدمه

نانوذرات فلزی، اکسیدهای فلزی، کربنی و سیلیکاتی از جمله نانوذرات معدنی به شمار می روند. البته نانوذرات بر اساس خصوصیتی که دارند به انواع نانوذرات هادی، نیمه هادی و مغناطیسی دسته بندی می شوند. در فناوری نانو هنگامیکه مواد تا سایز نانو کاهش می‌یابند، دارای ویژگی های جدید و متفاوتی از نظر الکتریکی، کاتالیزوری [۲]، مغناطیسی، بیولوژیکی [۳]، سختی، سطح فعال زیاد و واکنش پذیری شیمیایی و اپتیکی، و... در مقایسه با سایز بزرگشان می باشند. دلیل منحصر به فرد بودن نانوذرات نشات

در علم نانو، ذره‌ای در مقیاس نانو همانند یک واحد کامل رفتار می کند. ذرات نانویی بر حسب سائزشان به ذرات ریز در گستره ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر و ذرات بسیار ریز گستره‌ی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر طبقه بندی می شوند [۱]. نانوذرات تنوع و گستره ای وسیعی دارند، بنابراین می‌توان آنها را از جنبه‌های مختلف نظیر نوع ماده، اندازه، ساختار و کاربرد دسته بندی نمود. بر اساس نوع ماده، نانوذرات به دو دسته‌ی آلی و معدنی تقسیم می‌شوند. نانوذرات آلی شامل دو گروه نانوذرات زیستی و نانوذرات پلیمری می‌شوند. نانوذراتی مانند

مساحت سطح بالا دارای فعالیت ضد میکروبی بهتری می باشند، چون میانگین اندازه‌ی باکتری‌ها در محدوده‌ی چند میکرونی است و به همین دلیل بکارگیری موادی با سایز نانومتری منجر به افزایش کارایی ضد میکروبی می گردد. علاوه بر نانوذرات فلزی، از اکسید این فلزات نیز به عنوان ضدباکتری استفاده می شود. از جمله نانوذرات فلزی ضدباکتری می توان به نانوذرات مس و اکسید مس، نانوذرات نقره، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، نانوذرات روی و نانوذرات طلا اشاره کرد. نتایج یک تحقیق حاکی از آنست که نانوذرات اکسید فلزی اثر ضدباکتری بسیار خوبی دارند [۱۰]. نانوذرات بر پایه‌ی مسی به دلیل داشتن قیمت پایین در مقایسه با فلزات نجیب مانند طلا و نقره، قابلیت دسترسی آسان و دارا بودن خواص مشابه به نانوذرات فلزی دیگر مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند [۱۱]. در تحقیق دیگری نشان داده شده است که مواد در سایز نانو ویژگی‌های جدیدی از خود بروز می دهند و یکی از این خصوصیات مقابله‌ی نانوذرات علیه انواع باکتری‌ها و قارچ‌ها می باشد [۱۲].

۱-۱- روش های سنتز نانومواد

اندازه، شکل، توزیع، مورفولوژی ترکیب، درجه‌ی خلوص و بلوری و راندمان تولید تا حد زیادی به روش های سنتز نانوذرات بستگی دارد [۱ و ۱۳]. روش‌های تولید نانوذرات بر اساس رویکرد آغاز به دو صورت بالا به پایین و پایین به بالا می باشد [۱] و به سه گروه فرآوری نانوذرات از فاز مایع، سنتز نانوذرات در فاز گازی و فرآیندهای حالت جامد طبقه بندی می شود. همچنین از روش های سنتز نانوذرات می توان به روش های سل - ژل، روش میکرو و نانومولسیون، هیدروترمال و سلووترمال، تجزیه حرارتی، سونوشیمی، مایکروویو، فرآیند تراکم گاز بی اثر، رسوب شیمیایی فاز بخار، تخلیه قوس الکتریکی، آلیاژسازی مکانیکی، کاهش شیمیایی، الکترولیز (الکتروشیمیایی) و روش انفجار الکتریکی سیم اشاره کرد.

روش انفجار الکتریکی یک رویکرد بالا به پایین می باشد و برای اولین بار در سال ۱۷۷۴ توسط نیرن توصیف شده است [۱۴]. این روش یک تکنیک ساده جهت تولید نانوذرات

گرفته از نسبت ابعادی و یا نسبت زیاد سطح به حجم می باشد [۴]. امروزه با پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری نانو، تحقیقات زیادی به منظور بکارگیری نانوذرات در زمینه های ضد میکروبی و ضد باکتری انجام شده است [۵]، که از آن جمله می توان به نانوذرات مس اشاره کرد که به دلیل دارا بودن خاصیت ضد قارچی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران واقع شده است. میکروارگانیسم‌های زیادی شامل انواع مختلف قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، هاگ‌ها و جلبک‌ها در محیط پیرامون انسان به عنوان میکروب شناخته می شوند، بطوریکه امروزه مقاومت میکروب‌ها به مواد ضد میکروبی معمول افزایش پیدا کرده است. از طرفی هم تعدادی از عوامل ضد میکروبی به شدت سمی و مضر می باشند و به همین دلیل انگیزه بالایی برای شناسایی روش های نوین، مقرون بصره و غیرمضر وجود دارد [۶ و ۷]. بکارگیری عوامل ضدباکتری در مواردی نظیر صنعت نساجی، ضد عفونی کردن آب، پزشکی و بسته بندی مواد غذایی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد [۷]. شناسایی مواد مناسب ضد میکروبی که از رشد عوامل بیماری زا جلوگیری می کنند، یک هدف مطلوب به شمار می رود. عواملی نظیر تشکیل کلنی، رشد سلول باکتری و تشکیل ماتریکس‌های بیوفیلمی فشرده میکروبی، باکتری‌ها را در مقابل سیستم دفاعی میزبان مقاوم می کند، در حالیکه نانوذرات از تشکیل این عوامل دفاعی میکروب ممانعت کرده و جلوی رشد باکتری را می گیرد [۸]. از گذشته تا امروز، خاصیت ضدباکتری مس و ترکیبات حاوی مس موضوعی شناخته شده می باشد [۵]. برای اولین بار در سال ۱۸۸۲ از نمک‌های مسی به عنوان قارچ کش معدنی استفاده شد.

استفاده گسترده ی قارچ کش‌هایی که پایه‌ی نمک‌های مسی مختلف دارند نیز به دلیل طیف وسیع فعالیت‌های ضدقارچی می باشد. همچنین قارچ‌ها براحتی نسبت به قارچ کش‌های مسی که مخلوطی از سولفات مس با آهک یا بر پایه‌ی هیدروکسی مس یا اکسی کلرید مس می باشند و توانایی کنترل بسیاری از بیماری های برگی و میوه ای را دارا هستند و باعث تخریب بسیاری از فرآیندهای متابولیکی قارچ‌ها می شوند، مقاوم نمی شوند [۹]. نانوذرات به دلیل

ماهیت غیرتعادلی و عدم نیاز به رآکتورهای خلاء بزرگ در زمینه‌های متنوع زیستی و پزشکی بکار گرفته می‌شود. از انواع پلاسماهای سرد اتمسفری میتوان کرونا، میکرو هالو کاتد، پلاسما جت فشار اتمسفری، تخلیه الکتریکی قوس-های خزنده، تخلیه الکتریکی سد دی الکتریک و سوزن‌های پلاسما نام برد [۱۸].

جت پلاسما یکی از انواع پلاسماهای سرد فشار اتمسفری است که بر اساس تخلیه‌ی سد دی الکتریک ایجاد می‌گردد. پلاسما جت شامل دو الکتروود متحدالمركز می‌باشد که در بین آن مخلوطی از گازها جریان دارد. به دلیل توانایی تولید پلاسما در فضایی که تنها محدود به الکتروودها نیست، جت پلاسما سرد فشار اتمسفری نقش برجسته‌ای در کاربردهای با پردازش پلاسما دارد [۱۹]. جت پلاسماها در دو نوع ساختار طولی و عرضی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ساختار طولی میدان الکتریکی در راستای شارش گاز می‌باشد و پلاسما در اثر تخلیه‌ی الکتریکی بین دو الکتروود تولید می‌شود. در تولید جت پلاسما از گازهای مختلفی مانند اکسیژن، آرگون و نیتروژن و از ترکیب آن‌ها می‌توان استفاده کرد. نکته قابل توجه اینکه نوع گاز، میزان شارش گاز و ولتاژ اعمالی در ایجاد پلاسما و در طول جت اهمیت دارند [۱۷].

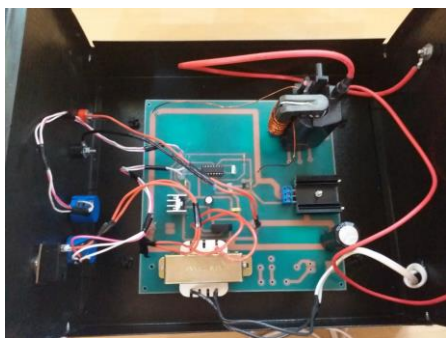
فرایند چاپ نانوذرات بر روی بسترهای انعطاف‌پذیر عملی چالش‌برانگیز می‌باشد. روش‌ها و تکنیک‌های معمول مانند رسوب بخار فیزیکی، کندوپاش مغناطیسی، فوتولیتوگرافی، و رسوب بخار شیمیایی برای موادی که نمی‌توانند تحت خلاء زیاد پردازش شوند مناسب نیستند. به‌علاوه این روش‌ها و تکنیک‌های گران‌قیمت با سرمایه و تجهیزات قابل توجهی همراهند. البته این تکنیک‌ها برای سطوح دوبعدی کم‌هزینه می‌باشند اما با این حال از معایب آن می‌توان به وضوح کم، تولید آلاینده‌های آلی و نیاز به اعمال حرارت برای چاپ اشاره کرد [۲۰]. روش‌هایی مانند چاپ جوهر افشان و آئروسول از جایگزین‌های اخیر می‌باشند که این تکنیک‌ها نیز نیاز به اعمال حرارت پس از رسوب برای ایجاد فیلم یکنواخت و حذف آلاینده‌های آلی دارند [۲۰]. از محدودیت‌های روش چاپگر جوهرافشان اینست که جوهر چاپی حتماً باید مایع باشد و از طرفی همه مواد به آسانی بصورت مایع تولید نمی‌شوند و اینکه این دستگاه نمی‌تواند

فلزی و اکسید فلزی توسط انفجار سیم‌های جامد انعطاف‌پذیر است که فقط سیم فلزی و الکتریسیته مصرف می‌کند و ضایعات کمتری تولید می‌کند. در برخی از تحقیقات برای ممانعت از شکل‌گیری اکسید از حلال‌های آلی و یا گازهای بی‌اثر استفاده شده است. با این حال نتایج نشان دهنده‌ی آنست که انفجار نانوذرات مسی در حلال‌های آلی به دلیل وجود مقدار زیادی عنصر کربن در حلال باعث تشکیل کربن گرافیتی بر روی سطح نانوذرات می‌شود. در این روش سیم می‌تواند داخل آب حاوی اسیدآسکورویک بعنوان عامل کاهنده برای کاهش اکسیداسیون مس منفجر گردد و گاهی نیز از آسکورویک اسید برای کاهش یون‌های مس به نانوذرات مسی استفاده می‌شود. این حقیقت که اضافه کردن عامل کاهنده به محیط انفجار از اکسیداسیون نانوذرات جلوگیری می‌کند، اشاره به استفاده از روش‌های شیمیایی جهت کنترل شیمی سطح نانوذرات دارد. در روش انفجار الکتریکی سیم تنها با ایجاد جریان‌های الکتریکی می‌توان سیم‌های فلزی ماکروسکوپی را تبخیر لحظه‌ای کرد، که این جریان به پارامترهای موجود در مدار بستگی دارد [۱۵].

۲-۱- پلاسما

پلاسما گازی است یونیزه حاوی فوتون‌ها، الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، اتم‌ها، رادیکال‌های آزاد و مولکول‌های برانگیخته و غیر برانگیخته که دائماً در حال برهمکنش با یکدیگر می‌باشند. پلاسما به عنوان حالت چهارم ماده یک محیط شیمیایی پرانرژی است که ترکیبی از ذرات و تابش‌های مختلف می‌باشد و یک منبع متفاوت شیمیایی که معمولاً در حالت‌های دیگر ماده موجود نیست [۱۶]. از نظر فشار پلاسما به دو دسته‌ی کلی پلاسماهای فشار پایین و فشار اتمسفری طبقه بندی می‌شود. نوع فشار اتمسفری از دیدگاه ماکروسکوپی، یک پلاسما سرد است و دمای آن در محدوده‌ی دمای اتاق می‌باشد [۱۷]. از انواع مختلف پلاسما می‌توان به پلاسماهای داغ، گرم و پلاسماهای سرد اشاره کرد. پلاسماهای سرد یا پلاسماهای غیر حرارتی بر اساس تخلیه‌ی الکتریکی ایجاد می‌شود و به دلیل دارا بودن ویژگی‌ها و مزایایی مانند دمای پایین، وجود گونه‌های فعال،

برای تولید پلاسمای فشار اتمسفری در این تحقیق، از یک منبع تغذیه متناوب ولتاژ بالا استفاده شده است، بطوریکه قادر به تولید ولتاژ تا سقف ۳۰ KV می‌باشد. در شکل ۱ چیدمان داخلی منبع تغذیه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود علاوه بر مدار خود دستگاه، یک ترانسفورمر به ورودی مدار متصل شده است تا برق شهری را گرفته و ولتاژ و جریان آن را متناسب با نیاز دستگاه تنظیم کند.



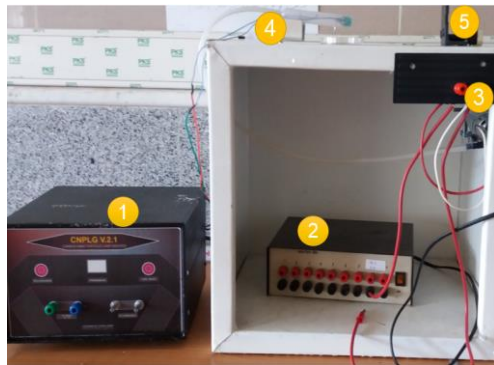
شکل ۱. نمای داخلی دستگاه منبع تغذیه ولتاژ بالا.

دستگاه کمپرسور یا متراکم کننده برای فشرده سازی گازها استفاده می‌شود. در حقیقت کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی، سیال را با سرعت به درون خود مکیده و سپس آن را فشرده می‌سازند. از این دستگاه در ساخت چاپگر جت پلاسما استفاده می‌کنیم تا هوای فشرده، نانوذرات را به سمت خروجی نازل ببرد و از آنجا بر روی سطح مورد نظر انتقال دهد. دستگاه انفجار الکتریکی سیم جهت تولید نانوذرات درون آب مقطر به وسیله عبور جریان الکتریکی قوی از بین دو الکترود مسی بکار می‌رود. این دستگاه شامل جوش اینورتر، مدار تقویت کننده جریان و مخزن انفجار است. پایانه‌های اینورتر به ورودی مدار تقویت کننده جریان وصل می‌شود، خروجی مدار نیز درون مخزن به صفحه مسی و سیم نازک مسی متصل می‌گردد. بنابراین صفحه و سیم مسی، بصورت دو الکترود مثبت و منفی درمی‌آیند. شکل های ۲ و ۳ چیدمان دستگاه انفجار الکتریکی سیم و مخزن انفجار را نشان می‌دهد.

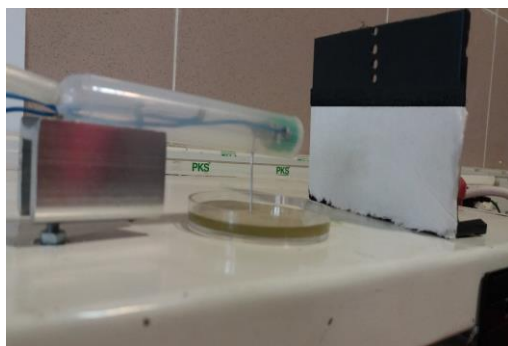
بر روی اشیا سه بعدی چاپ کند. همچنین در تکنیک آئروسول، ماده برای تبدیل به یک نوار نازک و صاف باید تا چندین هزار درجه گرم شود. از این رو، چاپ بوسیله این تکنیک بر روی پارچه یا مواد قابل اشتعال امکان پذیر نمی‌باشد. تکنیک جدیدی که در حال توسعه است استفاده از جت پلاسمای فشار اتمسفری می‌باشد که این روش معایب و کاستی‌های ذکر شده را از بین می‌برد و بر اساس تخلیه-ی سد دی الکتریک ایجاد می‌شود. از طرفی برای چاپ بر روی انواع پوشش‌های سه بعدی از قبیل کاغذ، پارچه و پلاستیک مناسب می‌باشد [۲۰]. لازم به ذکر است در روش چاپ جت پلاسمای فشار اتمسفری، چاپ با استفاده از پلاسما و میدان الکتریکی صورت می‌گیرد. نخستین بار به منظور مطالعه‌ی تاثیر پلاسما در فرآیند چاپ، نانوذرات کربنی چند دیواره بر روی بستر سیلیکونی چاپ شدند. این عمل یک بار با پلاسما و بار دیگر بدون پلاسما و در شرایط آزمایشی یکسان شامل زمان رسوب، جریان گاز و فاصله‌ی نازل و سطح انجام شد و نتایج بدست آمده بیانگر آنست که رسوب بدون پلاسما باعث کاهش مقدار نانولوله‌ها و چگالی کمتر نسبت به زمانی که پلاسما روشن است می‌شود. بنابراین پلاسما منجر به افزایش نرخ رسوب با یک چگالی بالا می‌شود [۲۰]. از مزایای این روش می‌توان به مواردی نظیر عدم نیاز به پمپ و محفظه‌ی خلا، امکان ثابت شدن نانوذرات در موقعیت، امکان استفاده بر روی هر نوع سطح، مصرف مقدار حداقل از نانوذرات، ضخامت نانومتری پوشش و عدم تاثیر بر روی خصوصیات ظاهری سطح، کنترل ساده‌ی الگوی چاپ، تغییر سیکل حرکت نازل، تطبیق پذیری روش و امکان استفاده از چند نازل، دوستدار محیط زیست و عدم تولید پساب صنعتی اشاره کرد [۲۰ و ۲۱]. همچنین این تکنیک می‌تواند در دستگاه‌هایی از قبیل تجهیزات قابل پوشش و حسگرهای بیولوژیکی، حافظه‌های منعطف و باتری‌ها و مدارهای مجتمع بکار برده شود و تولید آن‌ها را تسهیل نماید. تجهیزات قابل پوشش به منظور نظارت بر شرایط فیزیولوژیکی، مراقبت از بیمار، نظارت بر محیط زیست و استفاده‌ی شخصی طراحی می‌شوند [۲۰].

۲- بخش آزمایشگاهی

مشاهده است. تصویر محفظه ی پلاسما جت و محل قرار گیری نانوذرات و دستمال کاغذی نیز در شکل ۵ ثبت شده است.



شکل ۴. دستگاه چاپگر جت پلاسما. (۱) منبع تغذیه ولتاژ بالا، (۲) منبع تغذیه، (۳) کمپرسور هوا، (۴) محفظه، (۵) محل قرار گرفتن نمونه جهت چاپ نانوذرات بر روی آن.

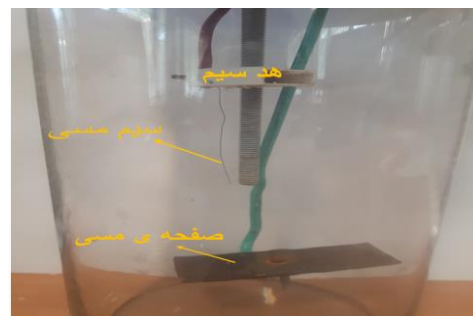


شکل ۵. تصویر محفظه ی پلاسما جت و محل قرار گیری نانوذرات و دستمال کاغذی.

برای آزمایش تولید نانوذرات به روش انفجار الکتریکی سیم، سیم‌های مسی به سطح مقطع یکسان $0.5/0$ میلی متر مربع و طول 200 mm آماده می‌کنیم. در هر مرحله از آزمایش درون مخزن 50 میلی لیتر آب مقطر ریخته، سپس سیم نازک مسی را درون مخزن و درون آب مقطر به‌وسیله ی لحیم کردن آن به سیستم هد سیم وصل کرده و به صفحه ی مسی داخل مخزن نزدیک می‌کنیم. سپس جوش اینورتر را روشن می‌کنیم به اینصورت که بر روی دستگاه اینورتر دو



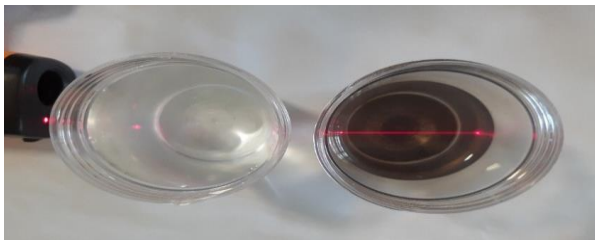
شکل ۲. دستگاه انفجار الکتریکی سیم. (۱) جوش اینورتر، (۲) مدار تقویت کننده جریان، (۳) مخزن انفجار.



شکل ۳. چیدمان مخزن انفجار.

وسایل و تجهیزات لازم جهت طراحی و ساخت دستگاه چاپگر جت پلاسما عبارتند از منبع تغذیه ولتاژ بالا، سر سرنگ، ظرف نگهداری نانوذرات، دو الکتروود مسی، کمپرسور هوا، سیم رابط و لوله پلاستیکی. محفظه ی آزمایش لوله‌ای از جنس پلاستیک می‌باشد که در انتهای آن یک نازل با قطر 3 mm تعبیه می‌کنیم. حول لوله دو الکتروود از جنس مس؛ یکی به شکل استوانه توخالی و دیگری یک حلقه از مس را به صورت هم محور، به فاصله ی 20 میلیمتری از هم قرار می‌دهیم و برای ایجاد پلاسما الکتروودها را به دو سر منبع ولتاژ بالا وصل می‌کنیم. میزان ولتاژ لازم برای تشکیل پلاسما در این فاصله 20 Kv می‌باشد و در این حدود جرقه مشاهده می‌شود. کمپرسور هوا را به محفظه متصل کرده و برای روشن شدن آن را به منبع تغذیه (15 V و 5 A) وصل می‌کنیم. سر سرنگ را داخل محفظه، بین دو الکتروود فرو می‌بریم و سر دیگر آن را داخل ظرف نگهداری نانوذرات قرار می‌دهیم. نحوه ی قرار گرفتن اجزای دستگاه و چگونگی اتصال آن‌ها در شکل ۴ قابل

شکل ۶. نمونه ای از نانوذرات تولید شده به روش انفجار سیم با جریان ۲۰۰ آمپر. (A) قبل از سانتریفیوژ و (B) بعد از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ rpm.



شکل ۷. نور لیزر تابیده شده به سمت چپ آب مقطر و سمت راست محلول حاوی نانوذرات مسی.

لازم به ذکر است جریان حین عبور از سیم نازک مسی تغییر می‌کند. رابطه‌ی (۱) وابستگی چگالی جریان عبوری از سیم (J) به جریان تولید شده توسط دستگاه اینورتر (I) و مساحت سطح مقطع سیم (A) نشان می‌دهد.

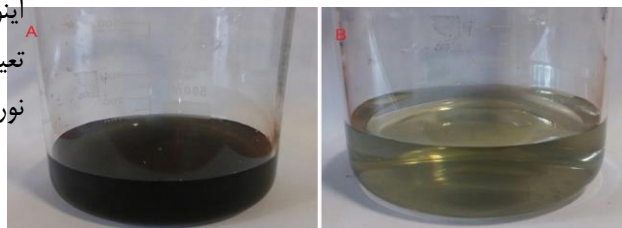
$$J = \frac{I}{A} \quad (1)$$

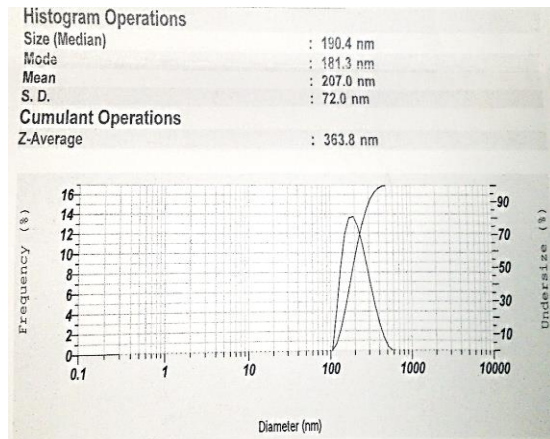
به عبارتی می‌توان گفت با افزایش جریان و کاهش سطح مقطع سیم، چگالی جریان عبوری از سیم افزایش می‌یابد و هرچه جریان بین سیم و صفحه‌ی مسی بیشتر باشد انرژی بیشتری در نقطه‌ی اتصال برقرار شده و دانسیته‌ی انرژی سیم بطور قابل توجهی بالاتر از انرژی پیوند می‌شود و ذرات کوچکتري تولید می‌گردد. برای نمونه، برای سیمی با سطح مقطع ۰.۰۵ میلی متر مربع و جریان ۲۰ آمپر چگالی جریان برابر $400 \text{ (A/mm}^2\text{)}$ می‌باشد، در حالیکه این مقدار برای جریان ۲۰۰ آمپر معادل $4000 \text{ (A/mm}^2\text{)}$ است. در نتیجه برای سیم‌های با سطح مقطع یکسان؛ با افزایش جریان اینورتر، چگالی جریان عبوری از سیم افزایش می‌یابد. جهت تعیین سایز نانوذرات در محلول از دستگاه DLS (پراکندگی نور دینامیکی) استفاده می‌کنیم.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

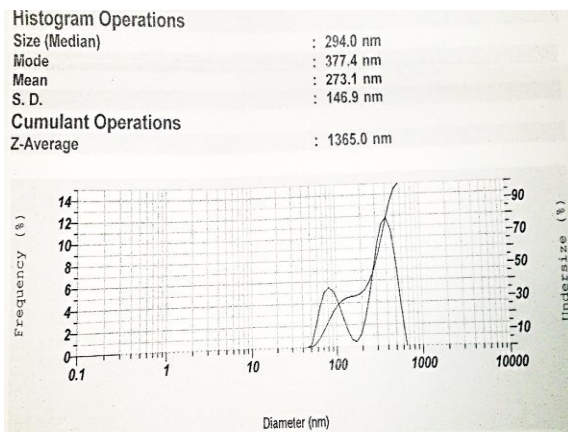
در شکل های ۸-۱۰ سایز میانگین ذرات مس که با جریان ۲۰۰ آمپر سنتز شده اند، نشان داده شده است. مطابق شکل

پیچ وجود دارد که یکی از آن‌ها امکان کنترل جریان از ۲۰ تا ۲۵۰ آمپر را داراست، و توسط پیچ دیگر امکان کنترل نیروی جرقه وجود دارد. با شارش جریان و اتصال این دو الکتروود، در زمان خیلی کوتاه چگالی جریان زیادی از مقطع کوچکی از سیم عبور می‌کند و انفجار رخ می‌دهد، نور و گاز در محیط پراکنده می‌گردد و نانوذرات در محیط مخزن، درون آب مقطر پراکنده می‌شوند. این فرایند تا زمانی که تمام سیم منفجر شود ادامه می‌یابد. غلظت نانوذرات تولیدی در محلول را می‌توان با تغییر ارتفاع سیم تغییر داد. فرآیند به صورت جداگانه برای جریان های ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ...، ۲۰۰۰ آمپر تکرار می‌شود. در مجموع تعداد ۱۰ نمونه نانوذره تولید می‌شود و با تغییر جریان سایز نانوذره نیز تغییر می‌کند. از این به بعد به منظور سهولت نانوذرات را از ۱ تا ۱۰ شماره گذاری می‌کنیم که به ترتیب نمونه ۱ مربوط به نانوذره-۱ است که با جریان ۲۰ آمپر سنتز شده، نمونه ۲ با جریان ۴۰ آمپر و به همین ترتیب نمونه ۱۰ تحت جریان ۲۰۰ آمپر تولید شده است. لازم به ذکر است چالش اصلی در تولید نانوذرات مسی حساسیت آن نسبت به هوا و محلول‌های آبی می‌باشد. در شکل ۶ نانوذرات تولید شده تحت جریان ۲۰۰ آمپر قبل و بعد از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ rpm در آب دیونیزه مشاهده می‌شود. رنگ سبز به علت وجود نانوذرات اکسید مس در محلول ایجاد شده است. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود به آب مقطر قبل از فرآیند انفجار لیزر تابانده شده و هیچ مسیری از نور لیزر در داخل آب دیده نمی‌شود اما زمانی که لیزر به آب مقطر بعد از انفجار سیم تابیده شده، بعلاوه وجود ذرات پراکندگی در نور لیزر اتفاق می‌افتد و مسیر نور لیزر به وضوح مشاهده می‌شود.





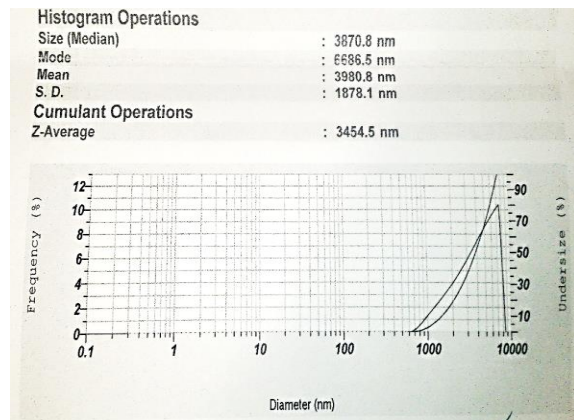
شکل ۹. تصویر DLS محلول حاوی ذرات مس سنتز شده تحت جریان ۲۰۰ آمپر؛ با سانتریفیوژ به مدت ده دقیقه و سرعت rpm ۳۰۰۰ (به مدت ۵ دقیقه تحت اولتراسونیک).



شکل ۱۰. تصویر DLS محلول حاوی ذرات مس سنتز شده تحت جریان ۲۰۰ آمپر و سانتریفیوژ به مدت سه دقیقه با سرعت rpm ۱۳۰۰۰.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت چاپ نانوذرات بر روی دستمال کاغذی عبارتند از دستمال کاغذی های تک لایه با مساحت ۵*۶ سانتی متر مربع، نانوذرات مس و دستگاه چاپگر جت پلاسما. دستگاه چاپگر جت پلاسما شامل لوله ای است که دو الکتروود مسی متحد المکز درون آن قرار داده شده است. به محض برقراری پتانسیل توسط منبع تغذیه ولتاژ بالا بین این دو الکتروود، پلاسما بین آنها تشکیل می شود. سپس نانوذرات مس از طریق سر سرنگ و توسط

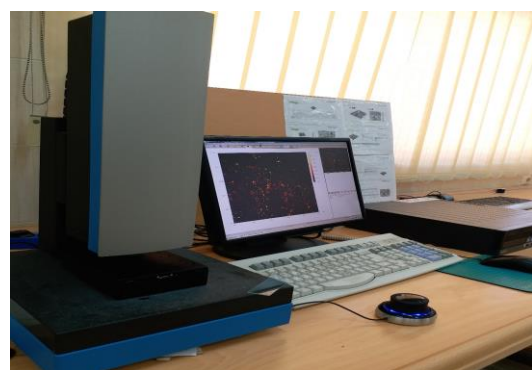
۸ میانگین اندازه ی ذرات برابر با $387.0/8$ nm است و توزیع اندازه ی ذرات بسیار گسترده می باشد؛ بدین سبب که ذرات کلوخه ای بوده و سایز آنها بسیار بزرگ است. در شکل ۹ میانگین اندازه ی ذرات تقریباً برابر $190/4$ nm است و همانطور که مشاهده می شود توزیع اندازه ی ذرات خیلی کمتر از نمونه ی اولیه شده است، قبل از این تصویر برداری محلول به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ با سرعت rpm ۳۰۰۰ و به مدت ۵ دقیقه تحت اولتراسونیک قرار داده شد. می توان گفت سانتریفیوژ باعث ته نشینی ذرات درشت و ناخالصی ها (جداسازی ذرات جامد از مایع) و اولتراسونیک باعث پراکندگی ذرات شده است. در شکل ۱۰ تصویر دو پیک مربوط به محلول حاوی ذرات سانتریفیوژ شده به مدت سه دقیقه با سرعت rpm ۱۳۰۰۰ مشاهده می شود که سایز میانگین برابر 294 nm می باشد. در اینجا نیز سانتریفیوژ باعث ته نشینی ناخالصی ها شده و قرار گرفتن سایز ذرات در بعد نانومتری در تصویر به وضوح قابل مشاهده است.



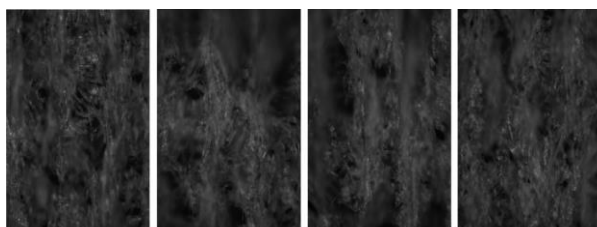
شکل ۸. تصویر DLS محلول حاوی ذرات مس سنتز شده تحت جریان ۲۰۰ آمپر.

تصاویر بحث نمود. تصاویر موجود در دو شکل ۱۳ و ۱۴ رنگی هستند و رنگ‌ها نشانگر محدوده خاصی از ضخامت می‌باشند، بطوریکه کمترین ضخامت (تیره ترین رنگ: سیاه) بیانگر مقادیر کمتر از $5/29 \mu\text{m}$ بوده و بیشترین ضخامت (روشن ترین رنگ: سفید) تا مقدار $117/75 \mu\text{m}$ را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۵ نیز رنگ‌های دیگر دارای ضخامت مابین دو مقدار فوق می‌باشند. نکته مهمی که باید بدان اشاره کنیم این است که در تمامی مراحل حجم یکسانی محلول به دستمال کاغذی تزریق کرده‌ایم تا بتوانیم تصاویر را با هم مقایسه کنیم. از روی تصاویر مشاهده می‌شود که دستمال کاغذی ساده دارای ضخامت زیادی است و رنگ-های روشن غالب می‌باشند. در تصویر دستمال حاوی آب مقطر، آب موجب کاهش ضخامت دستمال و جمع شدگی آن شده است و به همین سبب رنگ تیره‌تری نسبت به تصویر دستمال ساده رویت می‌گردد. در دستمال حاوی نانوذرات مس بدون اعمال پلاسما؛ مشاهده می‌کنیم که تنها در بخشی از تصویر افزایش ضخامت ایجاد شده است. در تصویر آخر نیز مشاهده می‌شود که تقریباً در بیشتر سطح افزایش ضخامت به وجود آمده است، به عبارتی نانوذرات بخاطر قرار گرفتن در معرض پلاسما باردار شده و به علت نیروی رانشی بین بارهای همنام، در فواصل معینی از هم قرار می‌گیرند و برخلاف نانوذراتی که بدون اعمال پلاسما با تراکم در یک منطقه بر روی دستمال چاپ شدند؛ در اینجا پراکندگی ذرات تقریباً در تمام سطح به وضوح دیده می‌شود.

کمپرسور هوا حمل شده و پس از عبور از ناحیه‌ی پلاسمایی، ذرات باردار شده و از طریق نازل به سمت دستمال کاغذی حرکت می‌کنند. پلاسما باعث می‌شود که با مقدار کمتری نانوذرات بتوان سطح را پوشش داد. همچنین نانوذرات در فواصل یکسانی از هم به دلیل نیروی الکترواستاتیکی قرار می‌گیرند. دستمال کاغذی به مساحت $6*5$ سانتی متر مربع برش می‌دهیم و آن را در فاصله‌ی ۵ سانتی متری مقابل نازل نصب می‌کنیم. نانوذرات حاصل از دستگاه انفجار سیم در دو حجم ۱ و $1/5$ سی سی از طریق نازل دستگاه پلاسما جت بر روی دستمال کاغذی پاشیده می‌شوند. عمل چاپ در ۱۰ و ۱۵ ثانیه صورت می‌گیرد. آزمایش را برای تمام نمونه‌های تولید شده به روش انفجار سیم با ۴ مرتبه تکرار در هر حجم انجام می‌دهیم. در نتیجه در مجموع ۸۰ نمونه دستمال کاغذی حاوی نانوذره در این مرحله تولید می‌شود. آزمایش در شرایط یکسان زمان تزریق، فاصله‌ی نازل با بستر (دستمال کاغذی) و میزان نانوذرات انجام می‌گیرد تا نتیجه و مقایسه‌ی درستی از آزمایش حاصل شود. سپس از دستمال کاغذی ساده، دستمال حاوی آب مقطر و دستمال حاوی نانوذرات مس با اعمال پلاسما و بدون پلاسما تصاویر نانوفوکوس می‌گیریم. شکل ۱۱ سیستم تصویربرداری نانوفوکوس را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۱. سیستم تصویربرداری نانوفوکوس.

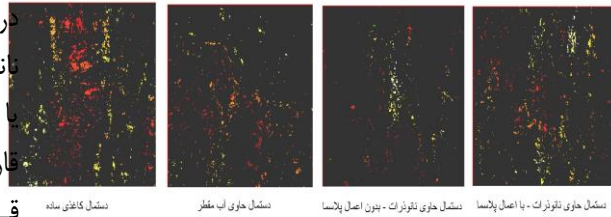


نمایش کافی ساده نمایش حاوی آب مقطر نمایش حاوی نانوذرات - بدون اعمال پلاسما نمایش حاوی نانوذرات - با اعمال پلاسما

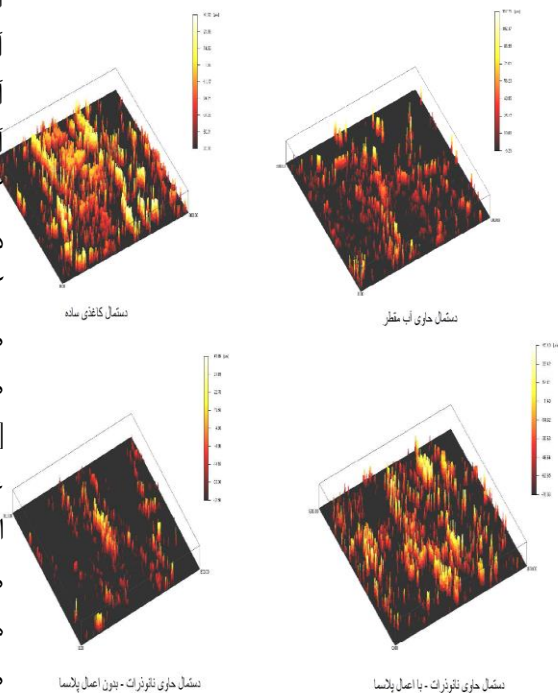
شکل ۱۲. تصویر نانوفوکوس از نمونه‌های مختلف دستمال کاغذی.

تصاویر نانوفوکوس بدست آمده را بر اساس تغییر ضخامت تحلیل می‌کنیم. در شکل ۱۲ بخش‌هایی تار مشاهده می‌شوند که بخاطر غیر یکنواخت بودن سطح دستمال ایجاد شده است، بنابراین نمی‌توان به صورت دقیق در مورد این

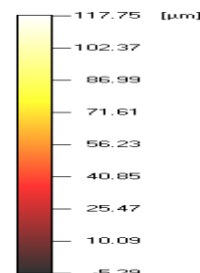
در بررسی خاصیت ضدقارچی دستمال کاغذی حاوی نانوذرات مس، هدف از بررسی خاصیت ضدقارچی کاهش و یا توقف رشد قارچ می‌باشد. در ادامه‌ی کار از آزمایشگاه قارچ شناسی دانشکده کشاورزی سوسپانسیون‌ی از دو نوع قارچ *آسپرژیلوس* و *پنی سیلیوم* به عنوان دو نمونه از شایع‌ترین قارچ‌ها [۲۲-۲۴] تهیه می‌کنیم. از شایع‌ترین گروه قارچ‌های ساپروفیت موجود در طبیعت می‌توان *آسپرژیلوس* ها را نام برد. تاکنون بیش از ۹۰۰ گونه *آسپرژیلوس* شناسایی شده است. کونیدی‌های غیر جنسی *آسپرژیلوس* در طبیعت به وفور یافت می‌شود. کلنی‌های *آسپرژیلوس* از رشد سریعی برخوردار می‌باشند. رنگ این کلنی‌ها در ابتدا سفید اما بسته به گونه‌های *آسپرژیلوس* درجاتی از رنگ‌های زرد، سبز، قهوه‌ای، آبی یا سیاه پیدا می‌کنند. رنگ پشت کلنی اغلب سفید متمایل به زرد طلایی می‌باشد. همچنین میسلیوم‌های رویشی *آسپرژیلوس* منشعب، بی‌رنگ و شفاف و دارای تیغه میانی می‌باشند [۲۲-۲۴]. لازم به ذکر است *آسپرژیلوس* نوعی از عفونت‌های قارچی فرصت طلب مشترک انسان و حیوان است که توسط گونه‌های مختلف قارچ *آسپرژیلوس* ایجاد می‌شود. بیماری‌هایی از اشکال موضعی گرفته تا عفونت‌های سیستمیک تهدید کننده حیات ناشی از *آسپرژیلوس* ها می‌باشند. *پنی سیلیوم* ها نیز یکی دیگر از شایع‌ترین قارچ‌های کندروی طبیعت، با تنوع فراوانی ۸۰۰ گونه می‌باشند که به آسانی و فراوانی بر روی خاک، مواد غذایی و گیاهی در حال تخریب و فساد یافت می‌شوند. همچنین بعضی در محیط‌های خشک‌تر و شرایط کم‌رطوبت نسبی زندگی می‌کنند و کونیدی‌های آن‌ها در طبیعت به وفور گسترده هستند [۲۲-۲۴]. اهمیت بالا و وجود تنوعات در این جنس نیاز به شناسایی گونه‌های آن را الزامی می‌کند. از سوی دیگر برای فهم روابط اکولوژیکی میان گونه‌ها و به حداقل رساندن خسارات آن‌ها، شناسایی دقیق گونه‌ها یک امر ضروری می‌باشد.



شکل ۱۳. تصاویر نانوفوکوس رنگی.



شکل ۱۴: تصاویر نانوفوکوس همراه یا درجه بندی سایز نانوذرات.



شکل ۱۵. درجه بندی سایز همراه رنگ مربوطه در تصاویر نانوفوکوس.

۳-۱- نحوه اثرگذاری نانوذرات مس بر روی دستمال کاغذی حاوی قارچ اسپرژیلوس

مطابق شکل ۱۸ با استفاده از دوربین دیجیتالی از دستمال های کاغذی تصویر گرفته و با هم مقایسه می کنیم. شکل های ۱۹-۲۸ نحوه ی اثرگذاری نانوذرات مس روی دستمال کاغذی حاوی قارچ اسپرژیلوس را نشان می دهد.

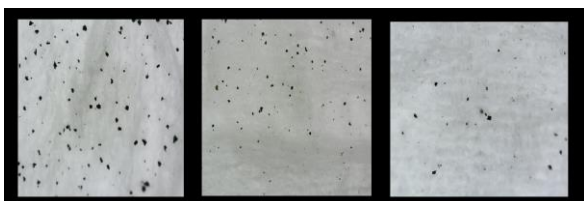


شکل ۱۸. چیدمان سیستم تصویر برداری از قارچ ها.



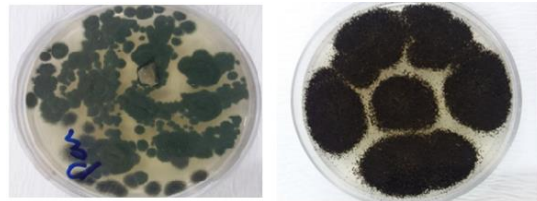
شکل ۱۹. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

اسپرژیلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۱ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۱ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۲۰. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

اسپرژیلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۲ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۲ با حجم ۱ سی سی.

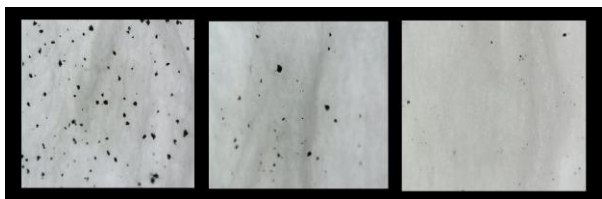


شکل ۱۶. قارچ های اسپرژیلوس و پنی سیلیوم

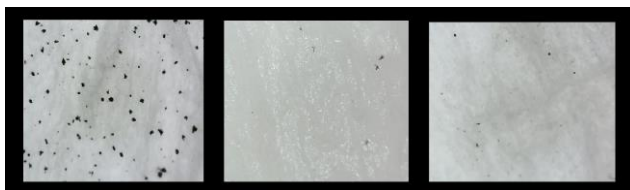
در آزمایش ابتدا سوسپانسیونی از دو نوع قارچ اسپرژیلوس و پنی سیلیوم را بر روی دستمال کاغذی فاقد نانوذرات بعنوان شاهد و دستمال های حاوی نانوذرات می زنیم. به منظور ایجاد محیط مناسب برای رشد قارچ و جهت برقراری رطوبت، درون ظرف در بسته کاغذ صافی آغشته به آب مقطر قرار می دهیم. سپس دستمال های کاغذی را گذاشته و درب ظرف را محکم می کنیم و نمونه ها را در محل تاریک و مرطوب قرار می دهیم. در نهایت بعد از حدود یک هفته که قارچ ها بر روی نمونه های شاهد رشد کردند، وضعیت رشد قارچ ها بر روی نمونه های حاوی نانوذرات نسبت به نمونه های شاهد بررسی می شود. ۹۰ نمونه در این مرحله قارچ به دستمال زده می شود که ۸۰ نمونه مربوط به دستمال های حاوی نانوذره و ۱۰ نمونه مربوط به نمونه های شاهد دو قارچ هستند که در شکل ۱۷ مشاهده می شود. از این ۸۰ نمونه، ۴۰ نمونه مربوط به قارچ های پنی سیلیوم و ۴۰ نمونه نیز مربوط به قارچ های اسپرژیلوس است به طوریکه برای هر غلظت ۲ تکرار انجام شده است.



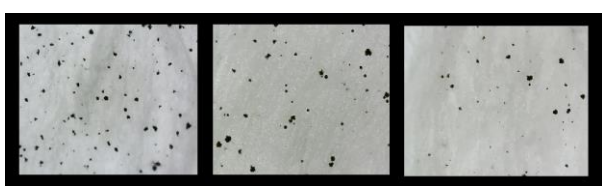
شکل ۱۷. دستمال کاغذی های حاوی قارچ.



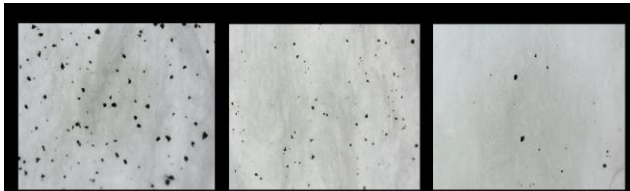
شکل ۲۵. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۷ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۷ با حجم ۱ سی سی.



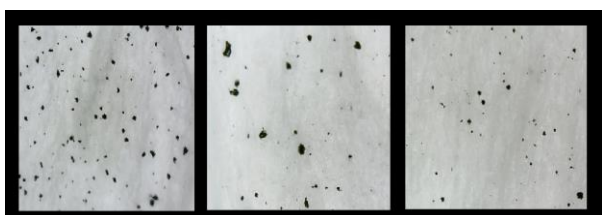
شکل ۲۱. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۳ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۳ با حجم ۱ سی سی.



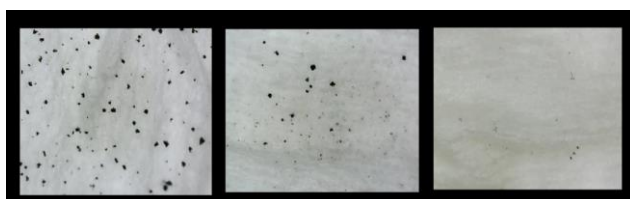
شکل ۲۶. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۸ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۸ با حجم ۱ سی سی.



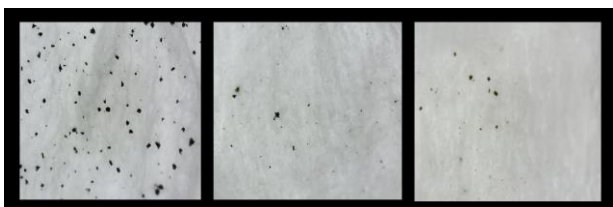
شکل ۲۲. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۴ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۴ با حجم ۱ سی سی.



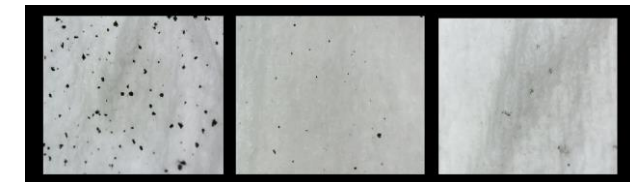
شکل ۲۷. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۹ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۹ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۲۳. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۵ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۵ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۲۸. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۱۰ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۱۰ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۲۴. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ اسپریلوس (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۶ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۶ با حجم ۱ سی سی.

۲-۳ - نحوه اثرگذاری نانوذرات مس بر روی دستمال کاغذی حاوی قارچ پنی سیلیوم

شکل ۳۲. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۴ با حجم ۱.۵

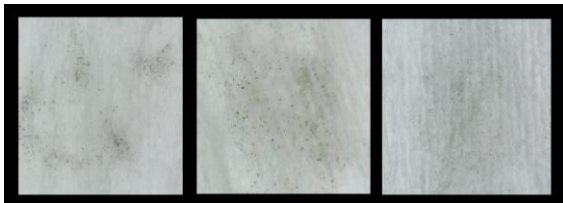
سی سی - نانوذرات نمونه ۴ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۳۳. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۵ با حجم ۱.۵

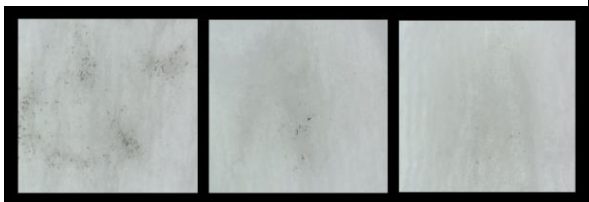
سی سی - نانوذرات نمونه ۵ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۳۴. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۶ با حجم ۱.۵

سی سی - نانوذرات نمونه ۶ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۳۵. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۷ با حجم ۱.۵

سی سی - نانوذرات نمونه ۷ با حجم ۱ سی سی.



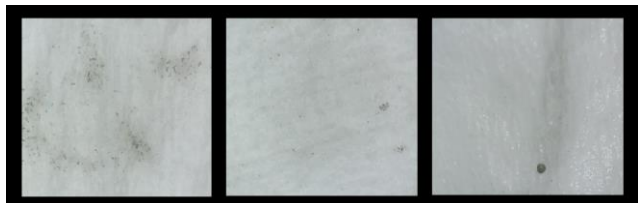
نحوه ی اثرگذاری نانوذرات مس روی دستمال کاغذی حاوی قارچ پنی سیلیوم در شکل های ۲۹-۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۹. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۱ با حجم ۱.۵

سی سی - نانوذرات نمونه ۱ با حجم ۱ سی سی.



شکل ۳۰. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۲ با حجم ۱.۵

سی سی - نانوذرات نمونه ۲ با حجم ۱ سی سی.

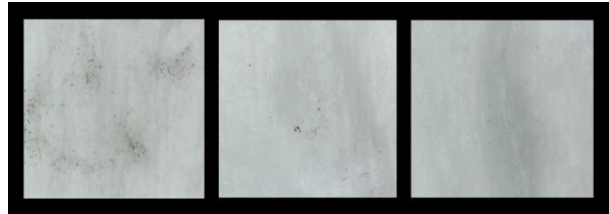
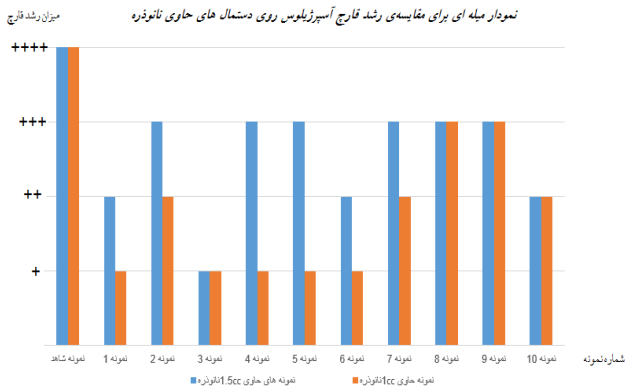


شکل ۳۱. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ

پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۳ با حجم ۱.۵

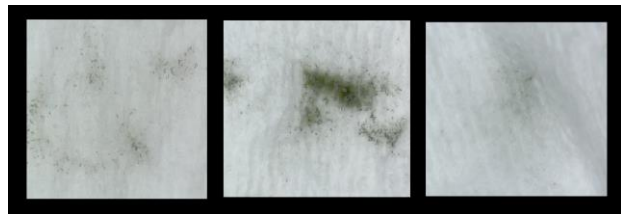
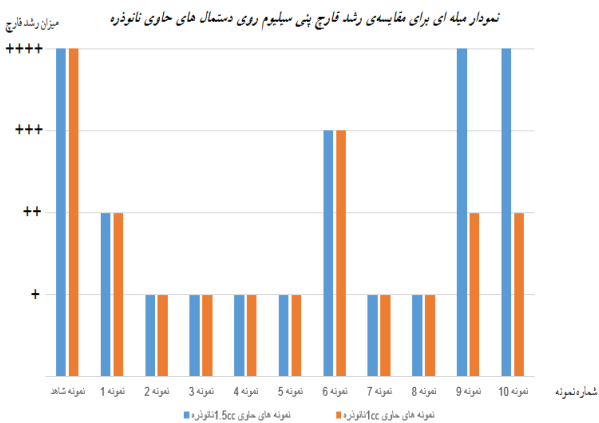
سی سی - نانوذرات نمونه ۳ با حجم ۱ سی سی.





شکل ۳۶. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۸ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۸ با حجم ۱ سی سی.

شکل ۳۹. نمودار میزان رشد قارچ آسپرژیلوس.



شکل ۳۷. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۹ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۹ با حجم ۱ سی سی.

شکل ۴۰. نمودار میزان رشد قارچ پنی سیلیوم.

با بررسی نمودارهای مربوط به رشد قارچ آسپرژیلوس و پنی سیلیوم می‌توان نتیجه گرفت که نانوذرات در تمامی نمونه‌ها (بجز نمونه‌های ۹ و ۱۰ با حجم ۱.۵ سی سی نانوذره مربوط به قارچ پنی سیلیوم) باعث کاهش رشد قارچ شده است و زمانی که مقدار کمتری نانوذره در محیط (دستمال) وجود داشته باشد میزان رشد نسبت به حالتی که نانوذرات بیشتری باشد کمتر شده است. شاید به این دلیل که نانوذرات بیشتر موجب کلوخه‌ای شدن و بزرگتر شدن سایز می‌شود و ارتباط مستقیم با قارچ را از دست می‌دهد. با مقایسه کلی نمودارها به این نتیجه می‌رسیم که نانوذرات مس اثر بازدارندگی بسیار بهتری بر روی قارچ پنی سیلیوم نسبت به قارچ آسپرژیلوس داشته است، بطوریکه در نمونه ۴ قارچ پنی



شکل ۳۸. از سمت چپ به راست، دستمال حاوی: قارچ پنی سیلیوم (نمونه شاهد) - نانوذرات نمونه ۱۰ با حجم ۱.۵ سی سی - نانوذرات نمونه ۱۰ با حجم ۱ سی سی.

برای درک بهتر، میزان رشد قارچ را در شکل های ۳۹ و ۴۰ به صورت نمودارهای میله‌ای نشان می‌دهیم. در این نمودارها علائم روی محور عمودی بیانگر + رشد کم، ++ رشد متوسط، +++ رشد زیاد و ++++ رشد خیلی زیاد است. بر روی محور افقی نیز شماره نمونه‌های مورد استفاده قید شده است. میله‌های آبی و قرمز به ترتیب مربوط به دستمال‌های حاوی ۱.۵ و ۱ سی سی محلول حاوی نانوذره هستند.

[1] H. Sereshti, "Nanotechnology in Analytical Chemistry," Tehran University, 2016.

[2] L. R. Hirsch, R. J. Stafford, J. A. Bankson, S. R. Sershen, B. Rivera, R. E. Price, J. D. Hazle, N. J. Halas, and J. L. West "Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance," Proceedings of the National Academy of Sciences, 100, 13549-13554, 2003.

[3] R. Gyawali, S. A. Ibrahim, S. H. Abu Hasfa, S. Q. Smqadri, Y. Haik, "Antimicrobial activity of copper alone and in combination with lactic acid against Escherichia coli O157: H7 in laboratory medium and on the surface of lettuce and tomatoes," Journal of pathogens, 2011, 650968, 2011.

[4] P. Sen, J. Ghosh, A. A. Alqudami, P. Kumar, "Preparation of Cu, Ag, Fe and Al nanoparticles by the exploding wire technique," Journal of Chemical Sciences, 115, 499-508, 2003.

[5] E. Tabesh, H. Salimi, M. Kharaziha, "Design of antibacterial nanocomposite coating based on copper and chitosan for medical applications," The 10th Joint Conference and the 5th International Conference of the Iranian Society of Materials and Metallurgical Engineering and the Iranian Foundry Scientific Association, 2016.

[6] I. Sondi, B. Salopek-Sondi, "Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteri," Journal of colloid and interface science, 275, 177-182, 2004.

[7] M. J. Hajipour, K. M. Fromm, A. A. Ashkarran, D. J. Aberasturi, I. R. Larramendi, T. Rojo, V. Serpooshan, W. J. Parak, M. Mahmoudi, "Antibacterial properties of nanoparticles," Trends in biotechnology, 30, 499-511, 2012.

[8] M. Piriaei, "Antibacterial materials," Khajeh Nasiruddin Toosi University of Technology, 2017.

سیلیوم رشد قارچ بطور کامل متوقف شده است. از طرفی می توان میزان بهینه ای از نانوذره جهت نشان دادن فعالیت بهتر ضدقارچی برای هر نوع قارچ (با هرغلظتی) تعیین کرد. همانطور که در مورد قارچ اسپرژیلوس و پنی سیلیوم مشاهده می کنیم این میزان در حجم کمتر از ۱ سی سی می تواند باشد.

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق چاپ جت پلاسمای نانوذرات مسی روی دستمال کاغذی به منظور بررسی خاصیت ضدقارچی مورد بررسی قرار گرفت. ذرات در اندازه های مختلف توسط روش انفجار الکتریکی تولید شده و اندازه ی ذرات با روش DLS بدست آمد که نتایج بیانگر تولید نانوذرات مسی می باشد. نانوذرات مس سنتز شده توسط دستگاه چاپگر پلاسمای جت بر روی دستمال کاغذی قرار گرفتند، بطوریکه چاپ یکنواخت این ذرات بر روی سطح دستمال با تصویربرداری نانوفوکوس مشاهده شد. سپس سوسپانسیون قارچ های اسپرژیلوس و پنی سیلیوم بر روی دستمال زده شد و رشد این قارچ ها بر روی دستمال های حاوی نانوذرات مس و نیز دستمال بدون نانوذرات به عنوان شاهد مقایسه شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان می دهد که دستمال های حاوی نانوذرات مسی (ذرات در اندازه های مختلف) دارای خاصیت ضدقارچی هستند و نانوذرات باعث کاهش و در برخی موارد توقف رشد شده است. از مزایای روش بکارگیری در این تحقیق می توان به سادگی فرایند، سازگاری با محیط زیست، مقرون به صرفه بودن، تطبیق پذیر بودن، افزایش نرخ تولید و بازده اشاره کرد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را از دانشگاه ارومیه بابت انجام این تحقیق و پیشبرد پژوهش حاضر اعلام می دارند.

۶. منابع



- M. Meyyappan, "Plasma jet printing for flexible substrates," *Applied Physics Letters*, 108, 123103, 2016.
- [21] C. Kan, C. Yuen, W. Tsoi, "Using atmospheric pressure plasma for enhancing the deposition of printing paste on cotton fabric for digital ink-jet printing," *Cellulose*, 18, 827-839, 2011.
- [22] J. I. Pitt, "A laboratory guide to common *Penicillium* species," *CSI Res. Org. Div. Food Processing*, 1988.
- [23] C. Ramirez, "Manual and atlas of the *Penicillia*," Elsevier Biomedical Press, 1982.
- [24] J. P. Latgé, "Aspergillus fumigatus and Aspergillosis," *Clin Microbiol Rev.* 12, 310-350, 1999.
- [9] J. W. Deacon, *Fungal Biology*, 4th edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2006.
- [10] P. K. Stoimenov, R. L. Klinger, G. L. Marchin, K. J. Klabunde, "Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents," *Langmuir*, 18, 6679-6686, 2002.
- [11] A. Umer, S. Naveed, R. Naveed, M. S. Rafique, "Selection of a suitable method for the synthesis of copper nanoparticles," *Nano*, 7, 1230005, 2012.
- [12] Y. Xia, "Nanomaterials at work in biomedical research," *Nature materials*, 7, 758, 2008.
- [13] N. Mir, M. Loghman, F. Davar, "Introduction to the thermal destruction method for the synthesis of nanoparticles," *Nasaji Emrooz*, 11, 74, 2009.
- [14] E. C. Cnare, F. W. Neilson, "Large exploding wires-correlation to small wires and pause time versus length dependency," Sandia Corp., Albuquerque, N. Mex, 1959.
- [15] Y. A. Kotov, "Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders," *Journal of Nanoparticle Research*, 5, 539-550, 2003.
- [16] V. Nehra, A. Kumar, H. Dwivedi, "Atmospheric non-thermal plasma sources," *International Journal of Engineering*, 2, 53-68, 2008.
- [17] F. Sohbatzadeh, A. Hosseinzadeh, S. Mirzanezhad, S. Matlabi, M. Farhadi, M. Bagheri, A. Vali, M. Mortazavi, "Design and construction of a cold triple plasma jet at atmospheric pressure and its application in sterilization," *Journal of Iranian Physics Research*, 13, 363-374, 2013.
- [18] M. Radetić, D. Jucic, P. Jovančić, R. Trajlovic, "The Effect of Low-Temperature Plasma Pretreatment on Wool Printing," *Textile Chemist & Colorist & American Dyestuff Reporter*, 32, 55-60, 2000.
- [19] M. Laroussi, T. Akan, "Arc-Free atmospheric pressure cold plasma jets: a review," *Plasma Processes and Polymers*, 4, 777-788, 2007.
- [20] R. P. Gandhiraman, E. Singh, D. C. Diaz-Cartagena, D. Nordlund, J. Koehne,