

## نویسندگان

احمد ظهیر میردامادی<sup>۱\*</sup>یداله بالاوری<sup>۲</sup>

\* a.zmirdamadi@gmail.com



## حریق در آزمایشگاه نانو

### چکیده

حریق و آتش‌سوزی در آزمایشگاه‌های نانو با توجه به ماهیت کار، تفاوت عمده‌ای در زمینه نوع ماده سوختنی با دیگر حریق‌ها دارد؛ در واقع به علت بسیار ریز بودن ذرات نانو و افزایش سطح تماس آنها، پتانسیل بالایی برای ایجاد حریق دارند در حالی که در آزمایشگاه‌های دیگر به علت بزرگ‌تر بودن ذرات، خطرات به مراتب کمتر است. هر نوع سهل‌انگاری در کار با مواد شیمیایی موجود در آزمایشگاه‌های نانو و عدم آگاهی بخشی لازم به پرسنل در این زمینه می‌تواند موجب انفجار و یا ایجاد حریق گسترده شود و آسیب بسیار جدی را برای پرسنل، تاسیسات آزمایشگاهی و ساختمانی ایجاد کند.

### واژه‌های کلیدی

آزمایشگاه نانو، حریق، نانوذرات.

### مقدمه

آزمایشگاه به محیط کاری اطلاق می‌شود که در آن عملیات‌های مختلفی مانند آزمایش‌های تجربی، تعیین مقدار کنترل کیفیت، اندازه‌گیری‌های گوناگون، شناسایی و تجزیه و تحلیل مواد، ناخالصی‌ها و غیره صورت می‌گیرد؛ انجام آزمایش در آزمایشگاه، به منظور دست یافتن به پاسخ بسیاری از سوالات و تحقق فرضیات، امری ضروری است. آزمایشگاه با توجه به تنوع کار و این که نیروهای کاری متخصص در رشته‌های مختلفی در آن مشغول به کار هستند یک محیط کار بسیار حساس و با اهمیت بوده و نیاز به دقت و توجه فراوانی دارد و قابل مقایسه با بسیاری از محیط‌های کاری دیگر نیست [۱]. یکی از اصلی‌ترین خطراتی که این محیط را تهدید می‌کند، حریق است. حریق با کوچکترین بی‌احتیاطی و قصور در محیط آزمایشگاه اتفاق می‌افتد و سبب خسارت‌های جبران‌ناپذیر مادی و حتی جانی خواهد شد. حریق از فعل و انفعال شیمیایی بین ماده سوختنی و اکسیژن با وجود حرارت (دما) به وجود می‌آید و منجر به ایجاد نور یا شعله می‌شود [۲]. از طرف دیگر، آزمایشگاه مکانی است که برای انجام آزمایش علمی از آن استفاده می‌شود. در هر آزمایشگاه، تجهیزات و مواد مشخصی وجود دارد تا بتوان با کمک آن‌ها آزمون‌های مورد نظر را انجام داد. در حال حاضر تمامی رشته‌های مهندسی و علوم پایه برای خود آزمایشگاه‌های مجهزی دارند و در میان این آزمایشگاه‌ها بعضی به علت وجود مواد شیمیایی، دارای خطرات بیشتری هستند. وجود مواد شیمیایی جامد با ویژگی انفجاری و مایعات با اشتعال سریع و همچنین گازهای سمی و قابل انفجار در این آزمایشگاه‌ها میزان خطر را بالا می‌برند. با کوچک‌ترین بی‌احتیاطی از ناحیه پرسنل و یا جرقه‌ای به ظاهر ساده خسارت جبران‌ناپذیری به وجود می‌آید [۱] که برای آن مثال‌های فراوانی قابل ذکر است؛ مثل انفجار کپسول هیدروژن در دانشگاه تربیت مدرس [۳]. البته چنین خطراتی در صنایع و نیز هنگام حمل و نقل مواد شیمیایی هم اتفاق می‌افتد به‌عنوان مثال، انفجار در پالایشگاه ماهشهر [۴] و انفجار قطار نیشابور [۵] و واژگونی تریلرهای حمل بنزین در جاده‌ها و آتش‌سوزی حاصل از آن‌ها در ذهن همه ما به‌عنوان خاطرات بد وجود دارند.

خواص مغناطیسی، رنگ، واکنش‌پذیری و غیره، در ابعاد نانو تغییر می‌کنند و ویژگی‌های جدیدی به وجود می‌آید. در نتیجه در مقیاس نانو مواد جدیدی ظهور می‌کنند که خواص قبلی خود را نداشته و دارای خواص جدیدی هستند. ابعاد کوچک، اجازه کارآمدی بیشتر در یک فضای معین را می‌دهند. مواد در مقیاس میکرومتر، به‌طور معمول خواص فیزیکی مشابه با حالت ماکروسکوپی را نشان می‌دهند اما مواد در مقیاس نانو خواص متفاوتی را در مقایسه با ابعاد ماکروسکوپی و معمولی نشان می‌دهند. برای توضیح بیشتر، فرض کنید یک شکل مکعبی با ابعاد یک متر مکعب داریم که شش وجه یک متر مربعی دارد، اگر آن مکعب را به دو بخش مساوی تقسیم کنیم در این صورت در مجموع به میزان دو متر مربع بر میزان وجه افزوده می‌شود. حال اگر این مکعب را به مکعب‌هایی در ابعاد نانو تبدیل کنیم مقدار زیادی بر اندازه سطح افزوده خواهد شد و این به مفهوم آن است که سطح فعال واکنش افزایش می‌یابد و بی‌شک افزایش سطح موجب افزایش در سرعت واکنش می‌شود [۷].

نانوذرات به دلیل اندازه و سطح زیاد و واکنش‌پذیری بسیار زیادی که از خود نشان می‌دهند کاربرد زیادی در صنایع پیدا کرده‌اند، همین ویژگی مفید آن‌ها سبب می‌شود هر روز مواد و ترکیبات نانویی بیشتری تولید و روانه بازار مصرف شود. به‌عنوان مثال، از نانوذرات و مواد متخلخل نانو ساختار به‌عنوان کاتالیست برای افزایش سرعت واکنش‌ها یا کاهش دمای لازم برای واکنش‌های گازها و مایعات به شکل موثری استفاده شده‌است.

در ده سال گذشته علم نانو مانند اسلحه‌ای موثر در دست‌انسان برای بهبود زندگی، افزایش رفاه و بالا بردن سلامت به کار گرفته شده‌است. این علم با تمام مزایایی که دارد عاری از نگرانی و خطر نیست و بزرگ‌ترین دغدغه بشر در زمینه نانو، ندانستن خطرات و عوارض کار با آن است که با توجه به سابقه و تجربه کم نمی‌توان تمامی خطرهای مربوط به آن را شناسایی کرد. یکی از مواردی که اطلاعات درباره آن بسیار جزیی است، حریق ترکیبات نانویی است؛ به‌دلیل ریز بودن آن‌ها سطح تماس بسیار بالایی دارند و همین عامل باعث افزایش واکنش‌پذیری آن‌ها می‌شود و در صورت بی‌توجهی در زمان کار با این مواد و یا در زمان انبارش و یا حمل و نقل، امکان ایجاد انفجار و حریق‌های بسیار گسترده زیاد است. برای درک بهتر موضوع حریق نانومواد و تفاوت آن با ذرات غیرنانویی، مقایسه‌ای بین فلز نقره و نانوذرات نقره بیان شده‌است تا تفاوت بهتر احساس شود (جدول (۱)).

فلز نقره در موقعیت ۴۷ جدول تناوبی قرار دارد و با نماد Ag نشان داده می‌شود که از کلمه لاتین Argentum گرفته شده‌است. این فلز، جامد، سفید جلا دار، شکل‌پذیر، نرم و چکش‌خوار است. در برابر اکسیداسیون مقاوم بوده اما زمانی که در معرض هوا قرار گیرد و ترکیب‌های گوگردی بر آن اثر بگذارد، تیره می‌شود. جرم حجمی آن ۱۰/۵۳، نقطه ذوب ۹۶۱، نقطه جوش ۲۲۱۲ و رسانایی گرمایی آن ۱/۰۱ کالری بر سانتیمتر مکعب است.

با توجه به اینکه در محیط آزمایشگاه‌ها مواد شیمیایی زیادی وجود دارد، بنابراین ماده سوختنی به‌صورت بالقوه فراهم است و از طرفی اکسیژن هم به‌عنوان عامل مهم ایجاد اشتعال (۲۱ درصد هوا) در همه جا موجود است. پس در چنین مکانی تنها ایجاد یک شعله یا جرقه کوچک و یا هر عامل ایجاد کننده حرارت موجب شروع واکنش زنجیره‌ای می‌شود که به حریق می‌انجامد [۲]. در این راستا و برای جلوگیری از ایجاد حریق مواد شیمیایی، لازم است نهایت دقت به کار رود و از تجهیزات به‌گونه‌ای صحیح و با مطالعه دقیق دستورالعمل‌های مربوط به آن‌ها استفاده شود. در این زمینه باید انجام دهنده آزمون قبل از هر نوع آزمایشی، آموزش لازم را دریافت کرده باشد. در واقع سرمایه اصلی هر آزمایشگاه، نیروی انسانی شاغل در آن است و برای رسیدن به این توانایی هزینه بسیار زیادی صرف شده‌است. این دقت در کار، در مورد نانومواد بسیار بیشتر از مواد غیرنانویی مورد نیاز است.

بحث حریق یکی از مهمترین و محوری‌ترین مواردی است که در هر سه مقوله ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست تأثیرگذار است و پیشگیری و مقابله با آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توسعه صنایع، تنوع مواد شیمیایی اولیه و محصولات بسیار بالا رفته است که این تنوع، احتمال بسیار زیادی را از لحاظ ایجاد گسترش حریق در مبادی تولید، انبارها و در جریان حمل و نقل این محصولات فراهم می‌آورد. بسیاری از حریق‌ها غیرعمدی و ناشی از بی‌احتیاطی است. تا پیش از انقلاب صنعتی، آتش‌سوزی‌ها دلایل مشخصی داشتند و کنترل آن‌ها با روش‌های بسیار ساده مانند ریختن آب و یا جلوگیری از دمیده شدن اکسیژن به آتش قابل کنترل بود اما با تولید و استفاده از مواد شیمیایی و صنعتی و نیز استفاده بشر از ذخایر طبیعی کشف شده قابل احتراق و انفجار با وجود کاربرد فراوان و ایجاد تحول مثبت غیرقابل برگشت در زندگی انسان‌ها خطرات بزرگ‌تری را نیز با خود به همراه آورد. دیگر حریق یک مساله طبیعی نبود بلکه علاوه بر خطر سوختگی، خطر انفجار مهیب و یا مشکلات تنفسی و زیست محیطی غیرقابل جبران نیز به مخاطرات روزمره زندگی اضافه شد [۶].

حریق مواد شیمیایی، (سنتزی و یا نفت و گاز) با سوختن چوب و مواد طبیعی متفاوت است و علت آن هم پایین بودن دمای اشتعال و همچنین آزاد کردن سریع انرژی است. برای مثال، مواد منفجره در کسری از ثانیه و در اثر یک جرقه و یا اصطکاک ساده، انرژی خود را آزاد می‌کنند و یا دی‌اتیل‌تر در آزمایشگاه‌ها با باز گذاشتن درپوش ظرف به راحتی در محیط آزمایشگاه پخش شده و به حد انفجار خواهد رسید و یا سیلندرهای محتوی گازهای آتش‌گیر مانند اتان و استیلن و غیره در اثر انفجار، تخریب وسیعی را ایجاد می‌کنند. البته بیان این نکته لازم است که در آزمایشگاه‌ها مواد با اشتعال‌پذیری کم و یا غیرقابل اشتعال هم وجود دارند که بی‌خطر هستند.

اهمیت مقیاس نانو در تغییر خواص و ویژگی‌های مواد در این ابعاد است. خواصی که مواد در ابعاد معمولی دارند و مشخصه یک ماده هستند مانند استحکام، انعطاف‌پذیری، رسانایی الکتریکی،

با توجه به مثال بالا انتظار می‌رود نانوپودرها در مقایسه با پودرهای درشت‌تر و مشابه خیلی آسان‌تر مشتعل شوند به گونه‌ای که در برخی از فلزات، خطر انفجار به شدت افزایش می‌یابد بنابراین، علاوه بر اقدامات انجام گرفته برای پیش‌گیری و کنترل انتشار نانوذرات باید برای جلوگیری از مشتعل شدن آن نیز تدابیر لازم اتخاذ شود.

بر اساس آن چه بیان شد، تفاوت بین نانوذرات و مواد مشابه آن‌ها قابل توجه است اما نمی‌توان تنها به دلیل خطرات موجود، استفاده از مزیت‌های ذرات نانو را نادیده گرفت؛ در این راستا می‌توان با ارزیابی صحیح و انجام اقدامات کنترلی مناسب تا حد قابل قبولی از ایجاد حادثه حریق و انفجار جلوگیری نمود.

### راه کارهایی برای کاهش خطر حریق نانوذرات [۹]:

- کنترل الکتریسیته ساکن از طریق اتصال سیم ارت دستگاه‌ها به زمین به منظور حفاظت افراد و دستگاه‌ها و خنثی کردن ولتاژهای اضافه تولید شده در بدنه که باعث صدمه دیدن دستگاه‌ها و افراد می‌شود.

- جلوگیری از ایجاد جرقه‌های ناشی از جابجایی قطعات فلزی و همچنین فعالیت‌های مکانیکی.

- استفاده از لوازم ضد جرقه مثل کلیدها و روشنایی و تهویه و هود (امروزه برای جلوگیری از حریق، لوازم و تجهیزات برقی را طوری طراحی می‌کنند که جرقه آزاد نداشته باشند و حتی مصالح ساختمانی را به صورت نسوز و یا مقاوم در برابر حریق تولید می‌کنند).

- جلوگیری از پراکنده شدن ذرات نانو در محیط (می‌توان در زیر هود با قدرت مکش قوی و ضد جرقه و در انتها از یک مخزن جمع‌آوری کننده استفاده نمود تا از پراکنده شدن در محیط جلوگیری شود).

### رعایت نکات مهم و ضروری در زمان انجام آزمایش و کار با مواد شیمیایی [۱۰]:

- عدم استفاده از تجهیزات خارج از سرویس تعمیر نشده؛
- استفاده از حفاظ (فلزی یا توری) در حالتی که واکنش در معرض فشار است و از پمپ استفاده می‌شود؛

- توجه به تغییرات دمایی (سرد شدن و گرم شدن) در وسایلی که در معرض فشار و یا زیر خلاء قرار دارند؛

- کاهش دادن آهسته خلاء دستگاه تحت خلاء به منظور جلوگیری از ورود ناگهانی هوا یا ایجاد یک شوک حرارتی و مکانیکی؛

- به این نکته توجه شود که مخلوط مورد تبخیر را نباید

همچنین در نقطه ذوب، به شدت اکسیژن را جذب می‌کند. این فلز در تاریخ بشر از دیر باز به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. بیشتر کاربردهای نقره به قابلیت‌های آن به عنوان یک فلز گرانبها و همچنین توانایی رسانایی الکتریکی و گرمایی فوق‌العاده آن مربوط می‌شود. بیشترین کاربرد نقره در صنعت به ویژه صنایع الکترونیک است. مصرف نقره در صنعت رو به افزایش است و در سال ۲۰۱۰ با ۲۰/۷ درصد افزایش نسبت به سال قبل خود برخوردار بوده است. اما نانوذرات نقره به شکل پودری، خاکستری رنگ و بدون بو است. نقره در اثر عوامل مکانیکی و الکتریسیته ساکن انفجار ندارد و امکان دارد در دمای بالا قابل احتراق باشد و محصول احتراق آن اکسید فلز است و در زمان احتراق اگر مقدارش کم باشد باید از پودر شیمیایی خشک استفاده کرد و در حریق‌های بزرگ و وسیع از اسپری آب و یا کف استفاده می‌شود. اما در مورد نانوذرات نقره وضعیت به صورت دیگری است و این ذرات به راحتی در هوا می‌سوزند و در اثر سوختن، باعث انتشار گاز سمی اکسید فلز می‌شوند و در صورت نایمن کار کردن و پخش شدن ذرات و ایجاد گرد و غبار و معلق ماندن منفجر می‌شوند، لذا در زمان جابجایی این مواد باید از وارد شدن ضربه شدید به ظرف محتوی نانوذرات جلوگیری شود و آن را از کوچک‌ترین عامل جرقه‌زن دور نگه داشت. همچنین در این زمینه باید از ایجاد الکتریسیته ساکن حتی در لباس‌های مصنوعی جلوگیری شود و انبار نگهداری آن‌ها باید تاریک بوده و محیط آن کاملاً خشک و خنک و با تهویه مناسب ضد جرقه باشد. حتی ظروف خالی این مواد نیز ممکن است به علت داشتن ذرات غبار نانو بی خطرناک باشند و در صورت ایجاد حریق، برای اطفاء آن باید فقط از پودر خشک شیمیایی استفاده شود و به هیچ عنوان نباید از آب استفاده نمود [۸].

جدول شماره ۱: مقایسه بین فلز نقره و نانوذرات نقره

نانونقره	نقره	
پودر خاکستری رنگ و بی بو	جامد سفید جلادار و براق	۱
در اثر الکتریسیته ساکن انفجار دارد	ندارد	۲
به راحتی در هوای آزاد می‌سوزد	در هوای آزاد نمی‌سوزد	۳
در اثر ضربه شدید به ظرف محتوی نانوذرات نقره احتمال انفجار وجود دارد	احتمال انفجار در اثر ضربه شدید به ظرف محتوی آن وجود ندارد	۴
در زمان حریق به هیچ عنوان نباید از آب و کف استفاده کرد و برای اطفاء باید از پودر خشک استفاده شود	در زمان حریق می‌توان از اسپری آب و کف برای اطفاء حریق استفاده کرد	۵
در انبار خشک و خنک و تقریباً تاریک با تهویه مناسب و ضد جرقه نگهداری شود	در انبار معمولی و به دور از نور مستقیم خورشید می‌توان نگهداری نمود	۶

زیاد گرم نمود؛

• توقف تبخیر در محصول یا محلول حاوی پراکسید، آزید، پیکرات، پرکلرات، قبل از رسیدن به ماده خشک به علت وجود احتمال تجزیه و انفجار؛

• جدا نکردن بالن از روتاری، قبل از سرد شدن بالن؛

• استفاده از یک تله (ترپ) بین پمپ و دستگاه خلاء (به دلیل اینکه حلال وارد پمپ نشود؛ زیرا ورود حلال به پمپ، باعث خرابی پمپ می‌شود)؛

• اگر حلالی که قرار است تبخیر شود بسیار فرار باشد باید واکنشگرها قطره قطره به حلال بی‌اثر با کنترل جریان واکنش افزوده شوند و به دقت دمای محلول کنترل شود؛

• افزایش ندادن سریع دما (محلول سرد شده) زیرا باعث انفجار ناگهانی می‌شود؛

• توجه به زمان اثر دو ماده در واکنشی که شرکت دارند؛

• انجام مطالعه عمقی در خواص هر ماده ناپایدار و یا مشکوک به ناپایداری و یا تهیه مخلوط ناپایدار [۱].

### نیز به‌گیری

همان گونه که بیان شد، نانومواد می‌توانند باعث ایجاد حریق‌های بسیار گسترده‌تر و شدیدتر از مشابه معمول خود شوند و این با دانش حریق همخوانی دارد زیرا هر چه ماده سوختنی ریزتر و نازکتر باشد، بهتر می‌سوزد (تفاوت سوختن ورق کاغذ و تنه درخت) و به همان اندازه شدت حریق بیشتر و حریق گسترده‌تر است.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا باید برای جلوگیری از حریق در آزمایشگاه‌ها و به‌خصوص آزمایشگاه‌های سنتز نانومواد از تجهیزات ایمن استفاده کرد و تمامی نکات مربوط به نصب و استفاده دستگاه کاملاً رعایت شود و به کارکنان، چگونگی کار با مواد شیمیایی و تجهیزات آموزش داده شود؛ همچنین قوانین سختگیرانه‌ای توسط مسئولان ایمنی در آزمایشگاه‌ها اجرا شود تا خطر به کمترین میزان ممکن کاهش یابد.

### پی‌نوشت

۱. کارشناسی مهندسی صنایع و مدیر کیفیت پژوهشگاه مواد و انرژی
۲. کارشناسی ارشد شیمی و مدیر کیفیت پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی
۳. عضو کارگروه تخصصی استاندارد و کالیبراسیون شبکه آزمایشگاهی

### مراجع

- [۱] شناسایی و ارزیابی خطر آزمایشگاه‌های دانشگاه علوم پزشکی یزد با استفاده از چک لیست‌های استاندارد - غلامحسین حلوانی و همکاران فصلنامه علمی تخصصی طب کار شماره ۱ بهار ۱۳۹۰.
- [۲] اصول و مبانی حریق - مولف: ناصر رهبری.
- [۳] سایت خبری تحلیلی عصر ایران (۲۸ دی ۱۳۸۵ - کد خبر: ۱۰۰۲۹)
- [۴] باشگاه خبرنگاران جوان (۱۷ تیر ۱۳۹۵ - کد خبر: ۵۶۸۱۹۹۶)
- [۵] باشگاه خبرنگاران جوان (۴ بهمن ۱۳۹۲ - کد خبر ۴۷۱۶۸۵۲)
- [۶] فصلنامه حریق صنعتی - ۳۱ آذر ۱۳۹۵. آسیب شناسی مدیریت ریسک حریق
- [۷] سایت <http://edu.nano.ir> سیستم جامع آموزش فناوری‌نانو

[8] [www.msds.com](http://www.msds.com)

[۹] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۲۵ چاپ اول - آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانو مواد

[۱۰] ایمنی در آزمایشگاه‌های شیمی و زیست شیمی مولف: آندره پیکو و فیلیپ گرونویه ترجمه اسکندر علی‌پور و مرجان علی‌پور.