

## ارزیابی ریسک انفجار گردوغبار قابل اشتعال در برخی از صنایع مرتبط در شهرستان شاهرود

زهرا مرادپور<sup>۱</sup>، سجاد فرهادی<sup>۲</sup>، صدف علی‌محمدی<sup>۳</sup>، مریم شیریان<sup>۳</sup>، اکرم اورسجی<sup>۳</sup>، قاسم حسام<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران  
<sup>۲</sup> کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۳</sup> کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران

\* نویسنده مسئول: قاسم حسام، مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات سلامت محیط و کار، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران. ایمیل: ghasem\_hesam@yahoo.com

DOI: 10.21859/johe-03024

### چکیده

**مقدمه:** گردوغبار قابل اشتعال ذراتی هستند که وقتی در هوا تحت شرایط خاصی پراکنده می‌شوند خطر انفجار را به همراه دارند. پراکندگی ذرات گردوغبار در مقدار و غلظت کافی می‌تواند سبب احتراق سریع و انفجار شود. هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک گردوغبار قابل اشتعال در برخی از صنایع مرتبط در شهرستان شاهرود بود.

**روش کار:** در این مطالعه از روش NIOSH ۰۵۰۰ جهت بررسی غلظت گردوغبار در کارخانه‌های موردبررسی، استفاده شد. سپس جهت بررسی ریسک جرقه‌زنی، ارزیابی ریسک به روش تجزیه و تحلیل حالات خطر و اثرات ناشی از آن (FMEA) صورت پذیرفت. همچنین منابع اصلی احتمالی انفجار ثانویه نیز توسط مشاهده و مصاحبه با مدیران و سرپرستان مشخص شد.

**یافته‌ها:** نتایج بررسی غلظت گردوغبار قابل انفجار در بین صنایع موردبررسی نشان داد بیشترین تولید گردوغبار مربوط به صنایع PVC با غلظت  $43 \pm 74$  میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد. نتایج ارزیابی ریسک FMEA نیز نشان داد وسایل و تجهیزات انتقال مواد، خشک‌کن‌ها، تجهیزات برشکاری و سوراخ‌کاری، موتورها و تابلو برق‌ها از پر ریسک‌ترین وسایل و تجهیزات در ایجاد جرقه و اشتعال می‌باشند. همچنین بررسی‌ها نشان داد، سیلوها با ظرفیت نگهداری بالایی که دارند می‌توانند مهم‌ترین منابع احتمالی انفجار ثانویه باشند.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد غلظت گردوغبار قابل انفجار نسبت به حداقل غلظت قابل انفجار بسیار پایین می‌باشد ولی با توجه به منابع وسیع جرقه‌زنی و منابع بزرگ ذخیره‌سازی محصولات پودری که وجود دارد، توجه به انفجار گردوغبار در برخی از این صنایع، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱

### واژگان کلیدی:

گردوغبار

انفجار

ارزیابی ریسک

صنعت

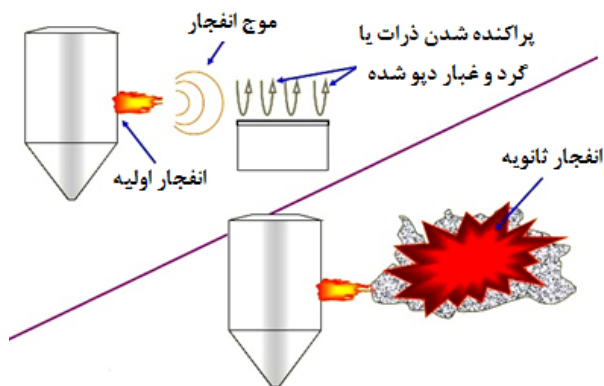
تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

### مقدمه

در هوا تحت شرایط خاصی پراکنده می‌شوند خطر انفجار را به همراه دارند. انفجار گردوغبار زمانی اتفاق می‌افتد که یک توده شناور گردوغبار مخلوط با هوا توسط یک عامل شروع‌کننده در یک محفظه بسته مشتعل شده و فشار گازهای حاصل از اشتعال به شدت افزایش یابد (۱، ۲). خطر انفجار گردوغبار قابل اشتعال در صنایع مختلفی از جمله مواد شیمیایی، مواد غذایی (مثل آبنبات، شکر، ادویه، نشاسته، آرد و علوفه) غلات، کود، تنباکو، لاستیک و پلاستیک، کاغذ و کارتن، چوب و مبلمان، منسوجات، آفت‌کش‌ها، مواد دارویی،

علاوه بر مثلث شناخته‌شده آتش یعنی اکسیژن، حرارت و منبع سوخت، پراکندگی ذرات گردوغبار در مقدار و غلظت کافی می‌تواند سبب احتراق سریع و شناخته‌شده‌ای به‌عنوان شعله‌وری انفجاری شود. اگر این رویداد توسط یک محفظه مثل ساختمان، اتاق، ظروف و یا تجهیزات فرایند محدود شود، می‌تواند منجر به افزایش فشار و انفجار شود. این پنج عنصر (اکسیژن، حرارت، سوخت، پراکندگی و فضای محبوس‌کننده) به‌عنوان پنج‌ضلعی انفجار گردوغبار شناخته‌شده‌اند (۱، ۲). گردوغبار قابل اشتعال ذرات بسیار ریزی هستند که وقتی

گذشته به دلیل انفجارهای ثانویه می‌باشد [۱، ۵].



تصویر ۱: نمای شماتیک انفجار ثانویه گردوغبار قابل انفجار

صنایعی که تولید گردوغبار قابل اشتعال می‌کند در ایران بسیار زیاد می‌باشد و اطلاعات کارگران و سرپرست‌ها در مورد گردوغبار قابل اشتعال و ریسک انفجار آن بسیار محدود می‌باشد. شهرستان شاهرود نیز دارای صنایع بسیاری می‌باشد که برخی از این صنایع از جمله صنایع پلاستیک، چوب و کاغذ، آرد، خوراک دام، ذرت، نساجی، قند و شکر و صنایع فلزی، گردوغبار قابل اشتعال تولید می‌کنند و ریسک انفجار در این صنایع وجود دارد. بر این اساس مطالعه حاضر باهدف ارزیابی ریسک گردوغبار قابل انفجار در برخی از صنایع مرتبط در شهرستان شاهرود انجام شده است.

### روش کار

این مطالعه به صورت مقطعی در شهرستان شاهرود صورت پذیرفت. غلظت گردوغبار در کارخانه‌های مورد بررسی با استفاده از روش NIOSH ۰۵۰۰ که هم برای سنجش غلظت گردوغبار کل در منطقه تنفسی افراد و هم برای سنجش غلظت محیطی گردوغبار استفاده می‌شود، اندازه‌گیری شد. بر اساس این روش، نمونه‌برداری توسط پمپ و فیلتر ۳۷ میلی‌متری PVC انجام شد. دبی پمپ نمونه‌بردار بر روی ۲ لیتر بر دقیقه تنظیم گردید و با توجه به حجم هوای عبوری مورد نیاز که طبق روش ۷ تا ۱۳۳ لیتر می‌باشد، مدت‌زمان نمونه‌برداری ۳۰ دقیقه تعیین گردید. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شد و غلظت گردوغبار در محل‌های مورد بررسی، بر اساس روش وزن سنجی و با استفاده ترازو آزمایشگاهی مدل KERN ۷۷۰ محاسبه گردید. تعداد کارخانه‌هایی که برای نمونه‌برداری انتخاب شدند با توجه به تعداد کل کارخانه‌هایی که گردوغبار قابل انفجار منتشر می‌کنند و سطح اطمینان ۹۵ درصد، با استفاده از نرم‌افزار Stata، ۱۶ عدد محاسبه گردید.

رنگ، زغال‌سنگ، فلز (مثل آلومینیوم، کروم، آهن، منیزیم، روی)، عملیات بازیافت و ... وجود دارد [۱].

انفجار گردوغبار می‌تواند سبب رویدادهای فاجعه‌بار از دست دادن زندگی، صدمات و تخریب ساختمان‌ها شود. انجمن ایمنی شیمیایی و بررسی خطر آمریکا، ۲۸۱ حادثه ناشی از گردوغبار قابل اشتعال را در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ بررسی کرد که این حوادث سبب مرگ ۱۱۹ کارگر، صدمه به ۷۱۸ نفر و آسیب گسترده به تأسیسات صنعتی متعدد شده است [۳، ۴]. ۱۱۵ کشته و ۲۰۰۰ زخمی در معدن زغال‌سنگ هلند، ۵۸ کشته و ۱۷۷ زخمی در کارخانه نساجی چین، ۴۳ کشته در کارخانه ذرت آمریکا، ۳۶ کشته و ۱۰ زخمی در کارخانه غلات آمریکا، ۱۴ کشته و ۳۶ زخمی در کارخانه شکر آمریکا، ۶ کشته و ۳۸ زخمی در کارخانه پلی‌اتیلن آمریکا، ۵ کشته و ۲۲ زخمی در کارخانه لاستیک ژاپن، ۴ کشته و ۳۷ زخمی در کارخانه آرد لندن و ۵ کشته و ۲ زخمی در کارخانه آلومینیوم نروژ، تنها نمونه‌هایی از خسارات انفجار گردوغبار قابل اشتعال می‌باشد. در بسیاری از این حوادث، کارفرما و کارگران از وجود خطر انفجار گردوغبار قابل اشتعال، غافل بوده‌اند [۵]. در مطالعه‌ای که عبادت و همکاران (۲۰۱۰) جهت بررسی ریسک انفجار گردوغبار قابل اشتعال انجام داده‌اند نتایج نشان داد، ۴ عامل شناسایی مکان‌های تجمع گردوغبار قابل اشتعال، مشخص کردن ویژگی‌های انفجاری گردوغبار، شناسایی منابع بالقوه جرقه‌زنی و طراحی سیستم به‌گونه‌ای که انتشار گردوغبار به حداقل برسد از عوامل مهم در کنترل ریسک انفجار می‌باشد [۴].

اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای (OSHA) هنگام اعمال تجدیدنظر در استاندارد مدیریت مواد شیمیایی خطرناک، ذرات قابل انفجار را جزء مواد شیمیایی خطرناک تعریف نموده است. مواد شیمیایی نظیر گردوغبارهای قابل اشتعال باید دارای برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی (MSDS: Material Safety Data Sheet) و برچسب‌گذاری مناسب باشند. افرادی که در معرض گردوغبارهای قابل اشتعال قرار می‌گیرند باید بر اساس استاندارد مدیریت مواد خطرناک، آموزش لازم را در این زمینه دیده باشند [۴، ۶]. انفجار اولیه یا اصلی در تجهیزات فرایندی در یک منطقه که گردوغبار در آن تجمع پیدا کرده است ممکن است گردوغبار تجمع یافته بیشتری را در هوا رها سازد یا سبب آسیب به یک سیستم محدودکننده (مثل لوله، ظروف یا سیستم جمع‌آوری‌کننده گردوغبار) شود. در نتیجه گردوغبار انباشته‌شده، در هوا پراکنده می‌شود و ممکن است سبب یک یا چند انفجار ثانویه شود (تصویر ۱). این انفجارها به دلیل افزایش غلظت گردوغبار پراکنده‌شده، می‌تواند مخرب‌تر از انفجار اولیه باشد. بسیاری از مرگ‌ومیرها و صدمات در حوادث

FMEA، منابع اصلی احتمالی انفجار ثانویه و شاخص شدت انفجار (Kst) که برای هر آلاینده‌ای محاسبه شده و در متون مختلف آمده است، نتایج تحلیل گردید.

### یافته‌ها

نتایج ارزیابی غلظت گردوغبار قابل انفجار در جدول شماره ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین میزان تولید گردوغبار قابل انفجار در بین صنایع مورد بررسی مربوط به صنایع پلاستیک می‌باشد. صنایع کارتن‌سازی، آرد و چوب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. مقایسه غلظت گردوغبار قابل انفجار با حداقل غلظت قابل اشتعال نیز نشان داد، غلظت‌های اندازه‌گیری شده بسیار پایین‌تر از حداقل غلظت قابل اشتعال می‌باشند. منابع اصلی دپوی ذرات و گردوغبار که می‌تواند منبع انفجار ثانویه باشد به همراه ظرفیت نگهداری در جدول شماره ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد سیلوها با ظرفیت نگهداری بالایی که دارند می‌توانند مهم‌ترین منابع احتمالی انفجار ثانویه باشند.

تعداد نمونه‌ها در هر کارخانه نیز بر اساس قانون سه نسخه، سه نمونه اصلی و یک نمونه شاهد بوده است [۷] که نمونه‌های اصلی در پرغبارترین محل‌های کارخانه جمع‌آوری شده‌اند. جهت بررسی ریسک جرقه‌زنی نیز ارزیابی ریسک به روش تجزیه و تحلیل حالات خطر و اثرات ناشی از آن (FMEA) صورت پذیرفت. ارزیابی ریسک به روش FMEA رویکردی گام‌به‌گام برای شناسایی حلال بالقوه خرابی و شکست در فرآیند طراحی و تولید یک کالا یا ارائه یک خدمت و روشی سیستماتیک و سازمان‌یافته برای بررسی حالات شکست در سیستم می‌باشد [۸]. پس از انجام ارزیابی ریسک FMEA، ریسک‌های جرقه‌زنی از دیگر ریسک‌ها جدا گردید و نمره اولویت هر ریسک (RPN) با ضرب سه عدد احتمال، شدت و تشخیص محاسبه گردید و از بین آن‌ها ریسک‌های با بالاترین نمره اولویت ریسک انتخاب شدند. همچنین منابع اصلی احتمالی انفجار ثانویه نیز توسط مشاهده و مصاحبه با مدیران و سرپرستان مشخص شد. در نهایت بر اساس غلظت گردوغبار اندازه‌گیری شده توسط نمونه‌برداری، سطح ریسک جرقه‌زنی محاسبه شده توسط

نام صنعت	نوع گردوغبار تولیدی	تعداد کارخانه‌های مورد بررسی	غلظت گردوغبار (g/m <sup>3</sup> )	حداقل غلظت قابل اشتعال (g/m <sup>3</sup> )	K <sub>St</sub>
صنایع پلاستیک	PVC	۳	۰/۰۷۴ (۰/۰۴۳)	۲۰۰	*ST۱
صنایع کارتن‌سازی	کاغذ	۱	۰/۰۵۸ (۰/۰۱۵)	۶۰	**ST۲
صنایع آرد	آرد	۲	۰/۰۵۲ (۰/۰۳۱)	۶۰	ST۱
صنایع چوب	چوب	۱	۰/۰۴۴ (۰/۰۱۸)	-	ST۲
صنایع خوراک دام	گندم	۱	۰/۰۳۱ (۰/۰۱۲)	۸۰	ST۱
صنایع ذرت	نشاسته	۱	۰/۰۲۷ (۰/۰۱۵)	-	ST۲
صنایع نساجی	پنبه	۱	۰/۰۱۷ (۰/۰۱۱)	۱۰۰	ST۱
صنایع فلزی	آلومینیوم	۴	۰/۰۱۵ (۰/۰۱۲)	۳۰	***ST۳
صنعت قند و شکر	قند	۲	۰/۰۰۷ (۰/۰۰۷)	۲۰۰	ST۱

\* ST۱: قابلیت انفجاری ضعیف

\*\* ST۲: قابلیت انفجاری قوی

\*\*\* ST۳: قابلیت انفجاری بسیار قوی

نام صنعت	منبع	ظرفیت نگهداری (تن)
صنایع پلاستیک	دستگاه خردکن (crasher)	۰/۱-۰/۱۵
صنایع کارتن‌سازی	دستگاه خردکن (sheridder)	۰/۱-۰/۲
صنایع آرد	سیلوها	۱۰۰-۲۰۰
صنایع چوب	جمع‌آوری کننده گردوغبار	۰/۰۲-۰/۰۵
صنایع خوراک دام	سیلوها	۲۰-۵۰
صنایع ذرت	سیلوها	۱۰۰-۱۵۰
صنایع نساجی	دستگاه حلاجی	۰/۲-۰/۵
صنایع فلزی	جمع‌آوری کننده گردوغبار	۰/۰۳-۰/۰۵
صنعت قند و شکر	جمع‌آوری کننده گردوغبار	۰/۰۲-۰/۰۵

نوار نقاله و عدم وجود سیستمی برای کنترل انفجار اولیه از مهم‌ترین عوامل انفجار در این صنعت بوده است [۹]. در صنعت قند و شکر مورد بررسی در مطالعه حاضر نیز تمامی عوامل ایجادکننده انفجار که در مطالعه وردبروگن ذکر شده است، یافت می‌شود.

نتایج مقایسه شاخص شدت انفجار (Kst) در بین گردوغبارهای مورد بررسی نیز نشان داد گردوغبار آلومینیوم با Kst برابر ۴۱۵ و درجه قابلیت انفجاری بسیار قوی، از خطرناک‌ترین گردوغبارهای موجود در صنایع مورد بررسی می‌باشد که در صورت افزایش غلظت می‌تواند سبب انفجاری قوی شود. مولینگ (۲۰۱۲) و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی گردوغبار قابل انفجار آلومینیوم انجام دادند، گردوغبار آلومینیوم را یکی از خطرناک‌ترین گردوغبارهای قابل انفجار معرفی کردند نتایج نشان داد ۴ پارامتر اندازه و غلظت گردوغبار آلومینیوم، میزان اکسیژن و اکسیداسیون، انرژی اشتعال اولیه و حالت انتشاری گردوغبار، از عوامل مهم در انفجار این گردوغبار می‌باشد [۱۰]. نتایج حاصل از بررسی منابع اصلی دپوی ذرات و گردوغبار که می‌تواند منجر به انفجار ثانویه گردد نشان داد سیلوها با ظرفیت نگهداری بالایی که دارند می‌توانند مهم‌ترین منابع احتمالی انفجار ثانویه باشند. ظرفیت نگهداری مواد پودری در برخی از سیلوها مانند سیلوهای ذخیره آرد، در حدود ۲۰۰ تن می‌باشد و در صورتی که موج انفجار اولیه بتواند این مخزن را متلاشی کند حجم عظیمی از گردوغبار قابل انفجار در محیط پراکنده می‌شود و انفجار این حجم از گردوغبار می‌تواند سبب تخریب بخشی از کارخانه یا حتی کل کارخانه شود. وردبروگن (۲۰۱۱) علت اصلی تخریب صددرصدی کارخانه تولید قند و شکر را انفجار ثانویه گزارش کرده است که ناشی از رسیدن موج انفجار به ۳ سیلوی بزرگ ذخیره شکر بوده است [۹]. جمع‌آوری‌کننده‌های گردوغبار، دستگاه خردکن و دستگاه‌های دیگر تجهیزات مهمی هستند که می‌توانند در صنایع مورد بررسی سبب انفجار اصلی شوند. در مطالعه‌ای که یوان و همکاران (۲۰۱۵) جهت بررسی تجهیزات درگیر در انفجار گردوغبار در صنایع مختلف انجام داده‌اند نتایج نشان داد مهم‌ترین عامل انفجار اصلی در صنایع غذایی، سیلوها، در صنایع فلزی و چوب، جمع‌آوری‌کننده‌های گردوغبار و در صنایع پلاستیک، خردکن‌ها می‌باشد که نتایج این مطالعه کاملاً منطبق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد [۱۱].

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک FMEA نیز نشان داد، تجهیزات انتقال مواد، خشک‌کن‌ها، تجهیزات برشکاری و سوراخ‌کاری، موتورها و تابلو برق‌ها از پر ریسک‌ترین تجهیزات در ایجاد

نتایج ارزیابی ریسک FMEA جهت شناسایی نقاط با ریسک بالای جرقه‌زنی و اشتعال در جدول شماره ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد تجهیزات انتقال مواد، خشک‌کن‌ها، تجهیزات برشکاری و سوراخ‌کاری، موتورها و تابلو برق‌ها از خطرناک‌ترین تجهیزات در ایجاد جرقه و اشتعال می‌باشند.

جدول ۳: نتایج ارزیابی ریسک FMEA جهت شناسایی نقاط با ریسک بالای جرقه‌زنی

نام صنایع	تجهیزات	RPN
صنایع پلاستیک	ماریچ انتقال	۲۸۰
صنایع کارتن‌سازی	خشک‌کن	۲۶۰
صنایع آرد	موتورها	۴۲۰
صنایع چوب	تابلو برق	۳۰۰
صنایع خوراک دام	نوار نقاله	۲۸۰
صنایع ذرت	تابلو برق	۳۰۰
صنایع نساجی	تابلو برق	۳۰۰
صنایع فلزی	برشکاری و سوراخ‌کاری	۴۸۰
صنعت قند و شکر	خشک‌کن	۲۰۰

## بحث

این مطالعه باهدف ارزیابی ریسک گردوغبار قابل انفجار در برخی از صنایع مرتبط در شهرستان شاهرود صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که غلظت گردوغبار قابل انفجار در صنایع مورد بررسی بسیار پایین‌تر از حداقل غلظت قابل انفجار یا اشتعال می‌باشد. باین‌حال بیشترین غلظت گردوغبار قابل انفجار در صنعت پلاستیک و از نوع PVC بوده است. یکی از واحدهای صنعت PVC عمل باز یافت محصولات معیوب را بر عهده دارد و محصولات معیوب را پس از خرد شدن، مجدداً وارد چرخه تولید می‌کند. عمل خرد شدن، مخلوط کردن و انتقال مواد پودری جهت استفاده مجدد، سبب تولید گردوغبار زیادی می‌گردد. عدم کنترل منافذ انتشار گردوغبار، عدم استفاده از تهویه موضعی مناسب و عدم نظافت روزانه سطوح سبب پراکنده شدن گردوغبار در هوای محیط و تجمع گردوغبار بر روی سطوح می‌گردد که در صورت افزایش غلظت می‌تواند در اثر ایجاد جرقه توسط تجهیزات، سبب انفجار گردد. وردبروگن (۲۰۱۱) علت انفجار در کارخانه تولید قند و شکر در شهر ونت ورس آمریکا را مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد ۵ عامل نظافت نامناسب محیط کار، وجود مکان‌هایی برای انباشته شدن گردوغبارها، طراحی نامناسب تجهیزات انتقال شکر، ریسک جرقه‌زنی در

دهد. در مطالعه حاضر اندازه ذرات موردبررسی قرار نگرفت که می‌تواند به‌عنوان محدودیت این مطالعه مطرح گردد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه غلظت گردوغبار قابل انفجار و خطر انفجار در برخی از صنایع با ریسک بالای شاهرود موردبررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد غلظت گردوغبار قابل انفجار نسبت به حداقل غلظت قابل انفجار بسیار پایین می‌باشد ولی با توجه به منابع وسیع جرقه‌زنی که وجود دارد و عدد ریسک بالای این منابع جرقه‌زنی، توجه به انفجار گردوغبار در برخی از این صنایع، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین بررسی منابع احتمالی انفجار ثانویه نیز نشان داد ریسک انفجار ثانویه در صنایعی که دارای سیلوهای بزرگ جهت ذخیره‌سازی محصولات پودری می‌باشند بسیار بالا می‌باشد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی دانشجویی با کد اخلاق ۱۳۹۴،۱۳۹. IR.SHMU.REC است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شاهرود اجرا شده است.

### REFERENCES

1. Amyotte PR, Eckhoff RK. Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview. *J Chem Health Saf.* 2010;17(1):15-28. DOI: [10.1016/j.jchas.2009.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jchas.2009.05.002)
2. Hassan J, Khan F, Amyotte P, Ferdous R. A model to assess dust explosion occurrence probability. *J Hazard Mater.* 2014;268:140-9. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2014.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.017) PMID: [24486616](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24486616/)
3. Blair AS. Dust explosion incidents and regulations in the United States. *J Loss Prev Process Ind.* 2007;20(4-6):523-9. DOI: [10.1016/j.jlp.2007.03.012](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.03.012)
4. Ebadat V. Dust explosion hazard assessment. *J Loss Prev Process Ind.* 2010;23(6):907-12. DOI: [10.1016/j.jlp.2010.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.05.006)
5. Abbasi T, Abbasi SA. Dust explosions-cases, causes, consequences, and control. *J Hazard Mater.* 2007;140(1-2):7-44. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2006.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.007) PMID: [17194531](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17194531/)
6. Joseph G, Team CSBHI. Combustible dusts: a serious industrial hazard. *J Hazard Mater.* 2007;142(3):589-91. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2006.06.127](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.127) PMID: [16971043](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16971043/)
7. Lodge JP. *Methods of Air Sampling and Analysis.* 3rd ed: CRC Press; 1988.
8. Cody RJ. Anticipating risk for human subjects participating in clinical research: application of Failure Mode and Effects Analysis. *Cancer Invest.* 2006;24(2):209-14. DOI: [10.1080/07357900500524678](https://doi.org/10.1080/07357900500524678) PMID: [16537191](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16537191/)
9. Vorderbrueggen JB. Imperial sugar refinery combustible dust explosion investigation. *Process Saf Prog.* 2011;n/a-n/a. DOI: [10.1002/prs.10445](https://doi.org/10.1002/prs.10445)
10. Maoling L. Research on Protection Measures and Explosion about Aluminum Dust. *Procedia Eng.* 2012;43:516-8. DOI: [10.1016/j.pro-eng.2012.08.089](https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2012.08.089)
11. Yuan Z, Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dust explosions: A threat to the process industries. *Process Saf Environ Prot.* 2015;98:57-71. DOI: [10.1016/j.psep.2015.06.008](https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.06.008)
12. Taveau J. Secondary dust explosions: How to prevent them or mitigate their effects? *Process Saf Prog.* 2012;31(1):36-50. DOI: [10.1002/prs.10478](https://doi.org/10.1002/prs.10478)

جرقه و اشتعال می‌باشند که تجهیزات و عمل برشکاری و سوراخ‌کاری در صنایع فلزی با ایجاد جرقه‌های بسیار در نقطه‌ای که گردوغبار فلزی نیز آزاد می‌گردد، بیشترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داد. تاواوو (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای عوامل اصلی تأمین‌کننده جرقه و حرارت جهت شروع آتش‌سوزی و انفجار را موردبررسی قرار دادند که نتایج نشان داد جرقه ناشی از ضربه با ۲۵ درصد، افزایش حرارت درونی با ۱۱ درصد، جرقه ناشی از اصطکاک با ۹ درصد، جرقه ناشی از الکتریسیته با ۹ درصد و شعله باز با ۸ درصد از مهم‌ترین عوامل تأمین‌کننده جرقه و حرارت جهت شروع آتش‌سوزی و انفجار می‌باشند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داده است که سیلوها، سیستم‌های جمع‌آوری‌کننده گردوغبار، تجهیزات خردکننده، سیستم‌های انتقال مواد، خشک‌کن‌ها، کوره‌ها، میکسرها و تجهیزات صیقل دهنده به ترتیب از مهم‌ترین تجهیزات درگیر در انفجار گردوغبار می‌باشند [۱۲]. نتایج این مطالعه نیز با نتایج مطالعه حاضر همخوانی نزدیک دارد. داشتن اطلاعات اندازه ذرات پراکنده‌شده در هوای صنایع مختلف نیز می‌تواند در بررسی احتمال انفجار این گردوغبار کمک‌کننده باشد و اطلاعات دقیق‌تری برای ارزیابی ریسک در اختیار تیم ارزیاب قرار

## Risk Assessment of Combustible Dust Explosions in Some Related Industries in Shahroud

Zahra Moradpour<sup>1</sup>, Sajjad Farhadi<sup>2</sup>, Sadaf Alimohammadi<sup>3</sup>,  
Maryam Shirian<sup>3</sup>, Akram Avarseji<sup>3</sup>, Ghasem Hesam<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Instructor, Department of Occupational Health Engineering, Occupational and Environmental Health Research Center, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran

<sup>2</sup> MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>3</sup> BSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran

\* Corresponding author: Ghasem Hesam, Instructor, Department of Occupational Health Engineering, Occupational and Environmental Health Research Center, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran. E-mail: Ghasem\_hesam@yahoo.com

DOI: 10.21859/johe-03024

Received: 17.04.2016

Accepted: 22.08.2016

### Keywords:

Dust  
Explosion  
Risk Assessment  
Industry

### How to Cite this Article:

Moradpour Z, Hesam G, Farhadi S, Alimohammadi S, Shirian M, Avarseji A. Risk Assessment of Combustible Dust Explosions in Some Related Industries in Shahroud. *J Occup Hyg.* 2016;3(2):27-32. DOI: 10.21859/johe-03024

© 2016 Hamedan University of Medical Sciences.

### Abstract

**Introduction:** Combustible dust particles when dispersed in the air under special conditions have a risk of explosion. Distribution of dust particles in sufficient amount and concentration can cause rapid ignition and explosion. The aim of this study was to assess the risk of combustible dust explosions, in the some related industries in shahroud.

**Methods:** To evaluate dust concentration, the NIOSH 0500 method was used. To determine the combustion risk, risk assessment was conducted using the Failure Mode Effects Analysis (FMEA). The main sources of possible secondary explosion were determined by observation and interviews with managers and supervisors.

**Results:** The concentration of combustible dust in industries showed that the most explosive dust generation was related to the PVC industry with a concentration of  $43 \pm 74$  mg per cubic meter. The FMEA risk assessment results also showed that the most risky equipment in creating sparks and combustion include conveyors, dryers, cutting and drilling equipment, motors and switchgear lightning. Also, the study showed silos with their high storage capacity can be the most likely sources of secondary explosions.

**Conclusions:** This study showed that combustible dust concentration is much lower than the minimum explosive concentration. However, due to the existence of combustion vast resources and huge storage resources of powder products, dust explosion in some of these industries is very important.