



طراحی و ارائه یک بسته نرم‌افزاری مبتنی بر روش Control Banding جهت ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد

مسعود شفیعی مطلق^۱، حامد آقایی^۱، محمد جواد عصارى^۲، مرتضی سلطانی محمدی ثمر^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۰۱

تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: هرچند توسعه فناوری نانو سبب ایجاد مشاغل جدید و افزایش رشد اقتصادی گردیده، ولی نبود اطلاعات کافی در رابطه با سمیت و حدود مجاز مواجهه شغلی نانو مواد همواره نگرانی‌هایی را ایجاد نموده است. در این مطالعه، یک بسته نرم‌افزاری ساده مبتنی بر روش Control Banding برای ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد طراحی و ارائه گردید.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی، از نرم‌افزار C # 2010 جهت طراحی بسته نرم‌افزاری استفاده گردید. ابتدا اصول کلی روش ارزیابی ریسک Control Banding توصیه شده توسط موسسه ملی بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH) به دقت مورد بررسی قرار گرفت. سپس، کلیه فاکتورهای اصلی و فرعی همراه با اهمیت (وزن) و تاثیر آن‌ها در سطح ریسک مواجهه شغلی با نانومواد به‌طور دقیق در طراحی نرم‌افزار لحاظ گردید. در نهایت، بسته پیشنهادی جهت ارزیابی ریسک مواجهه فردی با نانومواد، در چند آزمایشگاه تحقیقاتی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: براساس این نتایج، در ایستگاه‌های کار با نانوتیوب‌های کربنی چنددیواره (MWNT) و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO₂)، به ترتیب سطوح ریسک متوسط (RL2) و قابل قبول (RL1) به دست آمد.

نتیجه‌گیری: بسته نرم‌افزاری پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار ساده، معتبر، سریع و سهل‌الوصول جهت ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در صورت نیاز به اجرای اقدامات کنترلی، قادر خواهد بود راهکارهای مناسبی جهت بهبود شرایط کاری به کارکنان ارائه نماید.

کلیدواژه‌ها: نانومواد، ارزیابی ریسک، روش Control Banding.

مقدمه

نماید، سرمایه‌گذاری قابل توجهی در این فناوری توسط دولت‌ها و صنایع در سراسر جهان انجام شده است [۵]، پیش‌بینی می‌شود که در پانزده سال آینده در سطح دنیا در حدود ۲ میلیون کارگر جدید در محیط‌های شغلی با نانومواد مهندسی شده مواجهه داشته باشند [۷] و با افزایش تولید و استفاده از نانومواد، پتانسیل مواجهه کارگران با این مواد افزایش یابد [۸].

دستورالعمل‌هایی به‌منظور انجام ایمن کار با نانومواد توسط سازمان‌ها و نهادهای بهداشت حرفه‌ای مختلف ارائه شده است [۹-۱۳]. با این وجود، استفاده از این دستورالعمل‌ها به‌درستی مشخص نبوده و اعتبارسنجی موثر بودن کنترل‌های مواجهه و روش‌های اندازه‌گیری نانومواد کماکان به‌عنوان یک اولویت تحقیقاتی مطرح می‌باشد. در شرایط کنونی با توجه به عدم وجود حدود

فن‌آوری نانو شامل مجموعه‌ای از رویکردها است که به تولید و استفاده از مواد در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌پردازد [۱]. در این محدوده اندازه، ساختارهای مهندسی شده، دستگاه‌ها و سیستم‌ها با توجه به اندازه خود می‌توانند عملکرد و خصوصیات جدید داشته باشند. بر اساس مطالعات انجام شده تفاوت زیادی بین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مواد در مقیاس نانو با مواد اولیه‌ی درشت‌تری که نانومواد از آن‌ها تولید شده، وجود دارد [۲، ۳]. در سال‌های اخیر فن‌آوری نانو رشد سریعی در بین صنایع مختلف مانند داروسازی، پزشکی، کشاورزی، الکترونیک، فیبر نوری و انرژی داشته است [۴]. با توجه به این‌که فن‌آوری نانو می‌تواند شغل‌های جدید و رشد اقتصادی بالایی ایجاد

۱- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران.

۳- کارشناس کامپیوتر گرایش نرم افزار، شرکت آویژه، همدان، ایران.

مدیریت ریسک‌های شغلی در برابر "عدم قطعیت" می‌باشد [۲۱، ۲۲]، برای اولین بار توسط اداره بهداشت و ایمنی انگلستان^۳ در سال ۱۹۹۹ به منظور کنترل مواد خطرناک برای سلامتی انسان ارائه شد [۲۳]. همچنین یک مدل مفهومی Control Banding نیز توسط مینارد ارائه شده که همانند مدل اصلی، چهار رویکرد کنترلی را بر اساس شاخص‌های "اثر" و "مواجهه" پیشنهاد می‌نماید [۱۹]. این مدل، پارامترهای مختلف نانومواد (شکل، اندازه و مساحت سطح) را با میزان مواجهه (مقدار مصرف) ترکیب کرده و با توجه به سطح ریسک به دست آمده، رویکرد کنترلی مناسب را ارائه می‌دهد [۱۹].

با توجه به استفاده روز افزون از مواد در مقیاس نانو خصوصاً در آزمایشگاه‌های سطح کشور و کمبود اطلاعات سم‌شناسی در رابطه با نانومواد، وجود ابزاری ساده، سریع، سهل الوصول و معتبر جهت ارزیابی محیط کاری افراد تحت مواجهه با نانومواد ضرورت دارد. در نتیجه هدف از انجام این مطالعه، طراحی و ارائه یک بسته نرم‌افزاری ساده مبتنی بر روش Control Banding توصیه شده توسط موسسه ملی بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH) برای ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد می‌باشد.

روش بررسی

در این مطالعه تجربی، ابتدا اصول کلی روش ارزیابی ریسک (CB) Control Banding توصیه شده توسط NIOSH برای ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد مورد بررسی قرار گرفت [۱۵، ۲۰]. فرآیند تعیین سطح ریسک در روش CB، به‌طور کلی بر مبنای دو فاکتور اصلی شدت مواجهه و احتمال مواجهه با نانو مواد، می‌باشد. شدت مواجهه و احتمال مواجهه هر یک دارای فاکتورهای فرعی می‌باشند که با توجه به درجه اهمیت، به هریک از این فاکتورها، امتیاز و وزن مشخصی داده شده است. کلیه فاکتورهای اصلی

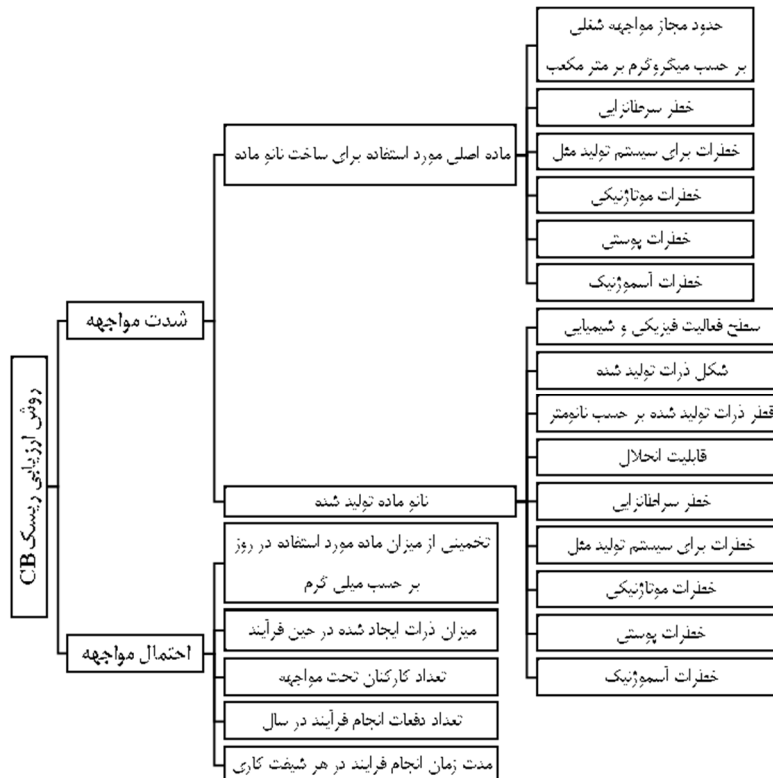
مجاز مواجهه شغلی مشخص و همچنین نبود اطلاعات کافی در رابطه با میزان سمیت اغلب نانومواد، به‌منظور ارزیابی خطرات و تعیین سطوح کنترلی مناسب جهت حفظ سلامتی افراد در معرض مواجهه با نانومواد می‌بایستی از یک استراتژی مناسب بهره گرفت [۱۴]. رویکرد سنتی بهداشت حرفه‌ای به‌منظور کنترل مواجهه با ترکیبات زیان‌آور در محیط کار اندازه‌گیری غلظت این مواد در هوای تنفسی کارگران، مقایسه غلظت به دست آمده با حدود مواجهه مجاز برای این مواد و اجرای اقدامات کنترلی به‌منظور کاهش غلظت تا مقادیر کمتر از حدود مواجهه مجاز می‌باشد [۱۵]. درخصوص نانومواد شاخص‌های مواجهه متفاوتی مانند مساحت کلی ذرات [۱۶، ۱۷] و همچنین تعداد ذرات [۱۸] به جای جرم پیشنهاد شده است. هرچند تاکنون یک شاخص مواجهه مناسب که مورد توافق سازمان‌های بین‌المللی باشد ارائه نشده [۱۸، ۱۹] و به همین دلیل روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه قابل اعتمادی نیز از جانب سازمان‌های ذیربط برای نانومواد توصیه نشده است [۱۵]. علاوه بر این محدودیت‌ها، اطلاعات سم‌شناسی اندکی از نانومواد به‌منظور تعیین حدود مجاز مواجهه وجود دارد [۱۱]. لذا با عنایت به وجود چنین موانعی، استفاده از روش سنتی ارزیابی ریسک بهداشت حرفه‌ای برای نانومواد با محدودیت فراوانی همراه است.

یک رویکرد جایگزین قابل قبول که توسط موسسه ملی بهداشت و ایمنی شغلی^۱ (NIOSH) برای ارزیابی ریسک نانومواد به‌خصوص در محیط‌های آزمایشگاهی توصیه شده و در حال حاضر نیز در آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور^۲ (LLNL) مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از روش Control Banding می‌باشد [۲۰]. استراتژی Control Banding یک راه حل ساده برای کنترل مواجهه نیروی انسانی با ترکیبات موجود در محیط کار ارائه می‌دهد [۱۵]. رویکرد Control Banding که در اصل ارائه یک چهارچوب برای

^۱. National Institute for Occupational Safety and Health

^۲. Lawrence Livermore National Laboratory

^۳. Health and Safety Executive



شکل ۱- نمودار روش ارزیابی ریسک CB با تمامی فاکتورهای اصلی و فرعی

وجود چنین محدودیت‌های بتواند فرایند ارزیابی ریسک را به سرانجام رساند.

به طور کلی سطح ریسک در ۴ دسته تقسیم بندی شده است و هر یک از سطوح ریسک RL1 تا RL4 دارای مفهوم مختص خود می‌باشند که از RL1 به RL4 ریسک افزایش می‌یابد. برای کلیه سطوح ریسک، اقدامات کنترلی خاصی پیشنهاد داده شده است که با افزایش میزان ریسک، جنبه‌های کنترل آلودگی اقدامات پیشنهادی بیشتر خواهد شد. اقدامات کنترلی به صورت خلاصه بدین صورت است:

۱. سطح ریسک RL1: استفاده از سیستم تهویه عمومی
۲. سطح ریسک RL2: استفاده هم‌زمان از سیستم تهویه عمومی و موضعی
۳. سطح ریسک RL3: کنترل آلودگی در منبع تولید (به طور مثال محصورسازی منبع تولید آلودگی)

و فرعی روش CB به‌طور کامل در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای انجام فرآیند ارزیابی ریسک توسط این روش، امتیاز فاکتورهای فرعی بر اساس اهمیت آن‌ها در فرایند ارزیابی ریسک وزن دهی شده و با یکدیگر جمع می‌شوند و برای هر یک از فاکتورهای اصلی شدت و احتمال مواجهه با نانومواد، امتیازی از ۰ تا ۱۰۰ به‌دست می‌آید. در نهایت امتیاز به‌دست آمده در ماتریس جدول ۱ قرار گرفته و سطح ریسک مشخص می‌شود. از آنجائی که در اغلب موارد اطلاعات کافی در رابطه با میزان سمیت نانومواد وجود ندارد، در نتیجه در این روش برای مواردی نظیر خطر سرطانزایی، خطرات پوستی و ... نانومواد، گزینه "ناشناخته (Unknown)" لحاظ و امتیازی نیز جهت محاسبه امتیاز نهایی ریسک برای این گزینه در نظر گرفته شده است تا این ابزار با

جدول ۱- ماتریس ارزیابی ریسک در روش CB

		احتمال مواجهه			
		بسیار نامحتمل (۰-۲۵)	احتمال کم (۲۶-۵۰)	محتمل (۵۱-۷۵)	ممکن (۷۶-۱۰۰)
شدت مواجهه	خیلی بالا (۷۶-۱۰۰)	RL3	RL3	RL4	RL4
	بالا (۵۱-۷۵)	RL2	RL2	RL3	RL4
	متوسط (۲۶-۵۰)	RL1	RL1	RL2	RL3
	کم (۰-۲۵)	RL1	RL1	RL1	RL2

لحاظ شده است. بنابراین، بعد از تکمیل اطلاعات اولیه در قسمت بالای نرم افزار، و ثبت اطلاعات مربوط به شدت و احتمال مواجهه، در نهایت امتیاز ریسک توسط نرم افزار محاسبه، و سطح ریسک مشخص خواهد شود. **شدت مواجهه (Severity):** همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده، اطلاعات مربوط به شدت مواجهه (Severity) به ۲ قسمت اطلاعات مربوط به ماده‌ی اصلی مورد استفاده برای ساخت نانوماده و نانوماده تولید شده تقسیم می‌شود. در این نرم افزار، اطلاعات ماده‌ی اصلی مورد استفاده برای ساخت نانوماده، در قسمت شماره ۲ شکل ۲ (Parent material)، در باکس‌های مربوطه وارد می‌گردد. اطلاعات نانوماده تولید شده، در قسمت شماره ۳ شکل ۲ (Nanoscale material) وارد می‌شود. لازم به یادآوری است تمام باکس‌هایی که در نرم افزار به زبان انگلیسی هستند فارسی آن‌ها در شکل ۱ آورده شده است. در انتهای وارد نمودن اطلاعات شدت مواجهه، برای آگاهی از وضعیت شدت مواجهه فرد، می‌توان از دکمه قرار داده شده در پایین صفحه که بدین منظور طراحی شده (قسمت ۴) استفاده نمود. در نتیجه امتیاز شدت مواجهه فرد (Severity score) و همچنین

سطح ریسک RL4: استفاده از راهنمایی متخصصین برای کنترل آلودگی
نرم افزار CB و نحوه استفاده از آن: در این بسته نرم افزاری مبتنی بر روش ارزیابی ریسک CB که توسط نرم افزار 2010 # C طراحی شده، کلیه فاکتورهای اصلی و فرعی همراه با اهمیت (وزن) و تاثیر آن‌ها در سطح ریسک به طور دقیق در داخل نرم افزار لحاظ شده است.

برای استفاده از نرم افزار همان طور که در شکل ۲ مراحل کار با شماره نشان داده شده است؛ ابتدا در قسمت بالای پنجره نرم افزار (قسمت شماره ۱)، باکس‌های مربوط به ثبت اطلاعات اولیه ماده مورد نظر (نام ماده، CAS number و ...)، توضیح در رابطه با نحوه کارکردن با ماده (Scenario Description) طبقه بندی فعالیت فرد (Activity Classification) و همچنین اقدامات کنترلی جاری هنگام ارزیابی ریسک (Current Engineering Control) تکمیل می‌گردد.

در فاز طراحی نرم افزار، برای هر یک از فاکتورهای اصلی شدت و احتمال مواجهه به طور جداگانه Tab در نظر گرفته شده و در داخل هر Tab فاکتورهای فرعی

شکل ۲- صفحه اصلی و محل وارد نمودن اطلاعات شدت مواجهه در نرم افزار

شکل ۳- محل وارد نمودن اطلاعات احتمال مواجهه در نرم افزار

اطلاعات احتمال مواجهه را وارد نرم‌افزار نمود. مطابق شکل ۳، اطلاعات احتمال مواجهه، در باکس‌های قسمت (Probability) نرم‌افزار که توضیحات فارسی آن در نمودار شکل ۱ آورده شده است، وارد می‌گردد (قسمت ۵). در خاتمه وارد نمودن اطلاعات احتمال

محل قرارگیری در ستون عمودی ماتریس ارزیابی ریسک جدول ۱ (Severity band) نمایش داده می‌شود. **احتمال مواجهه (Probability):** پس از وارد نمودن اطلاعات مربوط به شدت مواجهه، بایستی

شکل ۴- قسمت نتیجه نهایی ارزیابی ریسک توسط نرم افزار

در قسمت ۷ شکل ۴ نتایج نهایی ارزیابی ریسک با رنگ نشان داده می‌شود؛ به صورتی که سطح ریسک RL1 با رنگ سبز، سطح ریسک RL2 با رنگ زرد، سطح ریسک RL3 با رنگ نارنجی و سطح ریسک RL4 با رنگ قرمز نمایش داده می‌شود.

یافته‌ها

نرم افزار پیشنهادی جهت ارزیابی ریسک مواجهه با نانومواد در ۳ ایستگاه کاری در آزمایشگاهی که دانشجویان با استفاده از تکنیک سل-ژل اقدام به سنتز نانو مواد می‌کردند مورد استفاده قرار گرفت. در ایستگاه شماره ۱ نانوتیوب‌های کربنی تک‌دیواره (SWNT)، در ایستگاه شماره ۲ نانوتیوب‌های کربنی چنددیواره (MWNT) و در ایستگاه شماره ۳ نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) توسط دانشجویان سنتز می‌گردید.

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته در ایستگاه‌های کاری ۱ و ۲، میزان مصرف روزانه نانوتیوب‌های کربنی حداکثر ۲ میلی‌گرم، و مدت زمان مواجهه دانشجویان کم‌تر از ۳۰ دقیقه بود. در ایستگاه شماره ۳ شرایط کاری مشابه ۲ ایستگاه قبلی بود با این تفاوت که

مواجهه در نرم افزار، برای آگاهی از وضعیت احتمال مواجهه می‌توان از دکمه طراحی شده بدین منظور که در پایین صفحه قرار گرفته (قسمت ۶) استفاده نمود. در نتیجه امتیاز شدت مواجهه فرد (Probability score) و همچنین محل قرارگیری در ردیف افقی ماتریس ارزیابی ریسک جدول ۱ (Probability band) نمایش داده می‌شود.

سطح ریسک: در نهایت، پس از وارد نمودن اطلاعات کامل شدت و احتمال مواجهه در نرم افزار، در قسمت ۷ که در شکل ۴ نشان داده شده است، سطح ریسک به‌دست آمده با استفاده از روش (CB) Nanotool Risk Level از طریق دکمه نتیجه ارزیابی ریسک (قسمت ۸) قابل مشاهده می‌باشد. لازم به یادآوری است که سطح ریسک محاسبه شده بر اساس ماتریس شکل ۱ می‌باشد. همچنین در کنار قسمتی از نرم‌افزار که سطح ریسک بدون اجرای اقدامات کنترلی نشان داده شده (Overall Risk Level Without Controls)، اقدامات کنترلی فنی مهندسی لازم نیز با توجه به سطح ریسک محاسبه شده، ارائه می‌گردد (Recommended Engineering Control Based on Risk Level).

جدول ۲- نتایج ارزیابی ریسک مواجهه دانشجویان با نانومواد با استفاده از نرم افزار CB

ایستگاه کاری	نامواده مصرفی	شدت مواجهه	احتمال مواجهه	سطح ریسک	اقدام کنترلی پیشنهادی
۱	نانو تیوب‌های کربنی چنددیواره (MWNT)	۵۲/۵	۲۸/۷۵	RL2	نصب سیستم تهویه موضعی مناسب
۲	نانو تیوب‌های کربنی تک جداره (SWNT)	۴۲/۵	۲۸/۷۵	RL1	نصب سیستم تهویه عمومی
۳	دی‌اکسید تیتانیوم (TiO ₂)	۴۳/۵	۱۸/۷۵	RL1	نصب سیستم تهویه عمومی

بود (جدول ۲). بنابراین جهت کاهش سطح ریسک مواجهه در ایستگاه کار با نانوتیوب‌های چنددیواره، نیاز به نصب سیستم تهویه موضعی می‌باشد. این یافته با نتایج مطالعه محمدیان و همکاران در سال ۲۰۱۳ که سمیت سلولی نانوتیوب‌های کربنی در سلول‌های اپیتلیال ریه انسان را مورد مطالعه دادند هم‌خوانی دارد. این محققین نشان دادند که در غلظت‌های کم نانوتیوب‌های چنددیواره سمیت سلولی بیشتری نسبت به نانوتیوب‌های تک‌دیواره ایجاد می‌کنند [۲۵]. بر اساس نتایج جدول ۲، شدت و احتمال مواجهه در ایستگاه کار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به دلیل مدت زمان مواجهه کم دانشجویان، در مقایسه با ایستگاه‌های کار با نانولوله‌های کربنی کار کم‌تر به دست آمد. یار احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳، ریسک مواجهه شغلی با نانومواد مهندسی شده در آزمایشگاه‌های شیمی را با استفاده از روش CB مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین احتمال و شدت مواجهه مربوط به کار با نانوتیوب‌های کربنی بوده است [۲۶]. هم‌سو بودن نتایج این مطالعات با نتایج ارزیابی ریسک در مطالعه حاضر، نشان‌دهنده حساسیت و دقت بالای نرم‌افزار پیشنهادی می‌باشد.

گسترش روزافزون فناوری نانو با توجه به مزایای فراوان استفاده از نانومواد در علوم مختلف، باعث شده که طیف وسیعی از افراد نظیر شاغلین آزمایشگاه‌ها، محققین، مهندسین و کارگران صنایع مختلف با نانوذرات مواجهه داشته باشند و تعداد این افراد نیز روز

میزان مصرف TiO₂ در مقایسه با نانوتیوب‌های کربنی کم‌تر، و دانشجویان به‌صورت ماهانه با نانوذرات TiO₂ مواجهه داشتند. نتایج ارزیابی ریسک در ایستگاه‌های کاری مذکور در جدول شماره ۲ آورده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با نانومواد، یک بسته نرم‌افزاری با استفاده از روش CB طراحی شده است. این نرم‌افزار که یک ابزار ارزیابی ریسک نیمه کمی می‌باشد، به‌منظور تکمیل مدل‌های سنتی ارزیابی ریسک بهداشت حرفه‌ای مبتنی بر نمونه‌برداری و تجزیه، ارائه شده است. در این رویکرد با استفاده از دو فاکتور شدت و احتمال مواجهه با ترکیبات نانومواد، سطح ریسک مواجهه و در نهایت راهکار کنترلی مناسب ارائه گردید [۲۴]. از آنجائی که در اغلب محیط‌های آزمایشگاهی دانشجویان با غلظت‌های کم انواع مختلف نانومواد مواجهه داشته و لزوم توجه به اجرای اقدامات کنترلی جهت کاهش ریسک مواجهه دانشجویان با نانومواد امری ضروریست، لذا دانشجویان نیز مانند سایر کاربران در صورت آشنایی مختصر با نانومواد و تهیه اطلاعات اولیه مورد نیاز می‌توانند از این نرم‌افزار استفاده نمایند.

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک توسط نرم‌افزار پیشنهادی، ریسک مواجهه دانشجویان در ایستگاه کار با نانوتیوب‌های کربنی چنددیواره نسبت به ایستگاه کار با نانوتیوب‌های کربنی تک‌دیواره، بیش‌تر

7. Roco MC. Environmentally responsible development of nanotechnology. *Environmental science & technology*. 2005;39(5):106A-12A.

8. Invernizzi N. Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor? *Journal of Nanoparticle Research*. 2011;13(6):2249-68.

9. Ostiguy C, Riediker M, Triolet J, Troisfontaines P, Vernez D. Development of a specific control banding tool for nanomaterials. Expert committee (CES) on physical agents French Agency for Food, Environmental, and Occupational Health and Safety, Maisons-Alfort Cedex. 2010.

10. Hodson L, Methner M, Zumwalde RD. Approaches to safe nanotechnology: managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 2009.

11. Maynard AD, Kuempel ED. Airborne nanostructured particles and occupational health. *Journal of nanoparticle research*. 2005;7(6):587-614.

12. Murashov V, Engel S, Savolainen K, Fullam B, Lee M, Kearns P. Occupational safety and health in nanotechnology and Organisation for Economic Cooperation and Development. *Journal of Nanoparticle Research*. 2009;11(7):1587-91.

13. Society R, Engineering RAo. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. 2004.

14. Kuempel ED, Geraci CL, Schulte PA. Risk assessment and risk management of nanomaterials in the workplace: translating research to practice. *Annals of occupational hygiene*. 2012;56(5):491-505.

15. Paik SY, Zalk DM, Swuste P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. *Annals of Occupational Hygiene*. 2008;52(6):419-28.

16. Tran C, Buchanan D, Cullen R, Searl A, Jones A, Donaldson K. Inhalation of poorly soluble particles. II. Influence of particle surface area on inflammation and clearance. *Inhalation toxicology*. 2000;12(12):1113-26.

17. Oberdörster G, Ferin J, Lehnert BE. Correlation between particle size, in vivo particle persistence, and lung injury. *Environmental health perspectives*. 1994;102(Suppl 5):173.

به روز در حال افزایش است. موضوع مهم قابل توجه تفاوت فاحش خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نانومواد در مقایسه با مواد اولیه‌ای درشت‌تری است که نانومواد از آن‌ها تولید می‌شوند. علاوه بر این، سرعت رشد فناوری نانو بسیار زیاد است و در مقابل آن کسب اطلاعات کافی و مستدل در رابطه با سم‌شناسی و خطرات نانومواد با توجه به ماهیت زمان‌بر بودن کشف همه خطرات، به‌کندی پیشرفت می‌کند. درچنین شرایطی که اطلاعات کاملی در رابطه با خطرات و سم‌شناسی نانومواد در دسترس نیست، وجود ابزار ساده و قابل اعتمادی که بتواند با توجه به محدودیت‌های موجود در این زمینه، یک ارزیابی اولیه جهت اولویت‌بندی و کنترل نسبی خطرات ارائه دهد، بسیار ضروری و حیاتی به‌نظر می‌رسد. ارزیابی ریسک توسط بسته نرم‌افزاری پیشنهادی در محیط‌های کاری در مواجهه با نانومواد، علاوه بر آشنا نمودن شاغلین و محققین با خطرات نانومواد مورد استفاده، درصورت نیاز قادر خواهد بود اقدامات کنترلی مناسبی جهت بهبود شرایط کاری به آنان ارائه نماید.

منابع

1. Oberdörster G. Safety assessment for nanotechnology and nanomedicine: concepts of nanotoxicology. *Journal of internal medicine*. 2010;267(1):89-105.

2. Bakand S, Farshad AA. A review of nanotechnology and nanotoxicology (Editorial). *Iran Occupational Health Journal*. 2007;4(1):1-3.

3. Hullmann A. Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*. 2007;70(3):739-58.

4. Lane N, Kalil T. The national nanotechnology initiative: present at the creation. *Issues in Science and Technology*. 2005;21.

5. Goddard III WA, Brenner D, Lyshevski SE, Iafrate GJ. *Handbook of nanoscience, engineering, and technology*: CRC press; 2007.

6. Huang C, Notten A, Rasters N. Nanoscience and technology publications and patents: a review of social science studies and search strategies. *The Journal of Technology Transfer*. 2011;36(2):145-72.



18. Trout DB, Schulte PA. Medical surveillance, exposure registries, and epidemiologic research for workers exposed to nanomaterials. *Toxicology*. 2010;269(2):128-35.
19. Maynard AD, Aitken RJ. Assessing exposure to airborne nanomaterials: current abilities and future requirements. *Nanotoxicology*. 2007;1(1):26-41.
20. NIOSH. General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories. Centers for Disease Control and Prevention, DHHS (NIOSH), št publikacije 2012. p. 2012-147.
21. MONEY CD. European experiences in the development of approaches for the successful control of workplace health risks. *Annals of Occupational Hygiene*. 2003;47(7):533-40.
22. Zalk DM, Nelson DI. History and evolution of control banding: a review. *Journal of occupational and environmental hygiene*. 2008;5(5):330-46.
23. HSE. Health and Safety Executive (HSE). London: COSHH essentials, 1999.
24. Zalk DM. A simplified, qualitative strategy for the assessment of occupational risks and selection of solutions: Control Banding: TU Delft, Delft University of Technology; 2010.
25. Mohammadian Y, Shahtaheri SJ, Kakoei H, Hajaghazadeh M. Determination of toxicological indexes of carbon nanotubes and Chrysotile according to invitro cytotoxicity on Human Lung epithelium cells. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2013;10(4):33-44 [Persian].
26. Yarahmadi R, Dizaji RA, Farshad AA, Teimuri F. Occupational Risk Assessment of Engineered Nanomaterials by Control Banding Method in Chemistry Laboratories. *Journal of American Science*. 2013;9(42-47).

Designing and developing a software package based on control banding method for risk assessment of occupational exposure to nanomaterials

Masoud Shafiee Motlagh¹, Hamed Aghaei², Mohammad Javad Assari³
Morteza Soltani Mohammadi Samar⁴

Received: 2015/10/12

Revised: 2016/05/29

Accepted: 2016/09/22

Abstract

Background and aims: The development of nanotechnology has resulted in the creation of new job opportunities and economic growth. But, the lack of sufficient information about the toxicity and occupational exposure to nanomaterials has created concerns. In this study a simple software package based on Control Banding recommended by NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), for assessing the risk of occupational exposure to nanomaterials was designed and developed.

Methods: In this experimental study, C # 2010 software was used to design the software package. First, the general principles of Control Banding risk assessment method recommended by the National Institute of Occupational Health and Safety (NIOSH) was analyzed carefully. Then, all primary and secondary factors with their relative importance (weight) and influence on the risk level were considered in the software. Finally, the developed package was used to assess the individual exposure to nanomaterials in several research laboratories.

Results: The average (RL2) and acceptable (RL1) risk levels were obtained at work stations that manipulated multi-wall nanotubes (MWNT) and titanium dioxide nanoparticles (TiO₂) respectively.

Conclusion: The package could be used as a simple, reliable, fast, and easy tool to assess the risk of occupational exposure to nanomaterials. It also will be able to provide appropriate solutions to improve working conditions for employees if control measures are needed.

Keywords: Nanomaterials, Risk Assessment, Control Banding.

1. PhD student of Occupational Hygiene, School of Public Health and Student Research Center, University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

2. PhD student of Occupational Hygiene, School of Public Health and Student Research Center, University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

3. (**Correspondent author**) Assistance Professor, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research Center for Health sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

4. BS computer- software trends, Avizheh Company, Hamadan, Iran.