

ارزیابی میزان تراکم الیاف آزبست در هوای حوزه تنفسی

کارگران و در فضای یک محیط صنعتی

* مهندس شهره خرد پیر

** دکتر فتح‌اله مضطرزاده

*** دکتر منصور غیاث‌الدین

کلمات کلیدی:

آزبست، آلودگی هوا، آزبست - سیمان، الیاف زیان آور آزبست، نسبت طول به قطر، حوزه تنفسی، آستانه مجاز، شیفت کار.

چکیده:

میزان مواجهه کارگران با الیاف آزبست (پنبه نسوز) با استفاده از روش انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد (برای اولین بار در کشور) و براساس ملاک الیاف زیان آور آزبست (طول) $5\mu m <$ ، قطر $3\mu m <$ و نسبت طول به قطر $5:1 \leq$ در یکی از کارخانجات تولید کننده محصولات آزبست - سیمان اندازه‌گیری شده است. نمونه‌های جمع‌آوری شده فردی (نمونه‌های منفرد از حوزه تنفسی کارگران) و محیطی (از فضای کارخانه)، توسط میکروسکوپ نوری با کنتراست فازی و براساس ملاک الیاف زیان‌آور آزبست مورد بررسی قرار گرفته‌اند. میزان تراکم الیاف آزبست برای ۸ ساعت مواجهه کارگر یا معادل آن برحسب تعداد لیف در میلی لیتر هوا (f/ml) محاسبه شده و میانگین تراز مواجهه و محدوده غلظت الیاف در واحدهای مورد بررسی به تفکیک کارگاه همراه با نتایج نمونه‌های محیطی ارائه شده است. نتایج در مقایسه با آستانه مجاز (f/ml) $0/2$ نشان می‌دهد که $3/83\%$ از کارگران مورد مطالعه بیش از حد مجاز در معرض الیاف هستند و کلیه کارگاههای مورد بررسی به عنوان منابع انتشار آلاینده موجب پراکندگی الیاف در فضای کارخانه می‌گردند (۱۳-۵ برابر حد مجاز). آزمون اختلاف میانگین‌ها در دو کارگاه پرداخت لوله‌بلند و کوتاه در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد که اختلاف متوسط تراکم مواجهه افراد در دو کارگاه مذکور معنی‌دار نمی‌باشد و طول لوله در میزان مواجهه تأثیری ندارد (۹ و $10/975$ و $0/05 = \alpha$). همچنین میزان مواجهه در شیفت کار ۸ ساعته به طور متوسط کمتر از نصف میزان مواجهه در شیفت کار ۱۲ ساعته اندازه‌گیری شده است. آزمون اختلاف میانگینها اختلاف میزان مواجهه در دو شیفت کار معنی‌دار است (۱۷ و $10/95$ و $0/05 = \alpha$).

* - عضو هیات علمی گروه محیط‌زیست و انرژی، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی.

** - پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی.

*** - دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

سروآغاز:

(مانت)(۱۷) می شوند. در مرحله بعد الیافی که طول، قطر و نسبت طول به قطرشان (۱۸) در بررسی میکروسکوپی با ملاک شمارش الیاف زیان آور پنبه نسوز مطابقت داشته باشد، شمرده می شوند. در حالی که اعتبار نسبت سستی طول به قطر ($1:3 >$) همچنان به قوت خود باقی است [۱۱ و ۱۰]، نسبت جدید ($1:5 \geq$) به عنوان ملاکی معتبر اعلام شده و در مقالات علمی انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد [۱۲ و ۱۳ و ۱۴] مورد حمایت پژوهشگران قرار گرفته است. در استاندارد این مرجع ذکر شده که بانسبت طول به قطر $1:5 >$ احتمال نفوذ الیاف آزبست به اعماق ریه ها بیشتر و مدت ماندگار شدنشان در کیسه های هوایی طولانی تر است و در نتیجه بیماری زایی چنین الیافی بالقوه بیشتر از سایر نسبتهای طول به قطر الیاف آزبست می باشد [۱۵].

در مقاله حاضر نتایج حاصل از شمارش الیاف آزبست در نمونه های فردی (۱۹) (نمونه های منفرد از حوزه تنفسی کارگران) و نمونه های محیطی (از فضای کارخانه) با توجه به نسبت طول به قطر $1:5 \geq$ برای اولین بار در کشور بر طبق روش انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد [۸] در یکی از کارخانجات تولید کننده محصولات آزبست - سیمان مورد بررسی قرار گرفته است.

نمونه گیری و روش بررسی:

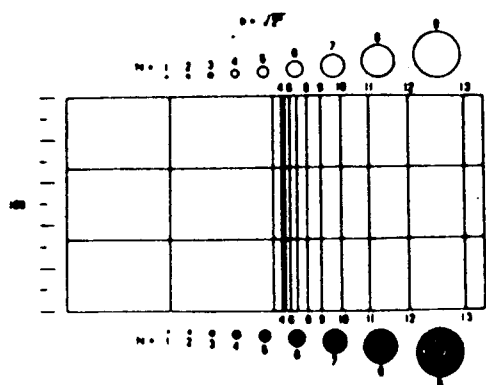
در روش انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد (ASTM D۴۲۴۰-۸۳) [۸] نمونه برداری از هوا توسط مجموعه ای شامل فیلتر، نگاهدارنده فیلتر، فلومتر^(۲۰)، پمپ مکنده هوا، لوله های رابط و غیره انجام می شود. پس از شفاف کردن فیلتر با بخار استن الیاف جمع آوری شده بر روی آن توسط میکروسکوپ نوری با کتراست فازی^(۲۱) مورد مطالعه قرار می گیرند و چنانچه ابعادشان با ملاک الیاف زیان آور آزبست ($5 \mu m >$ طول، $3 \mu m <$ قطر و نسبت طول به قطر $1:5 \geq$) مطابقت داشته باشد، شمارش می شوند و سپس نتایج بر حسب تعداد لیف در میلی لیتر هوای نمونه برداری شده محاسبه و به صورت fiber/ml یا f/ml گزارش می شود.

میکروسکوپ نوری مورد استفاده مجهز به تجهیزات کتراست فازی است و دارای عدسیهای شیشی (۲۲/۰/۱۰x) و (۷۵/۰/۴۰x) و عدسی چشمی (۵/۱۲x) است که به ترتیب

آزبست (۱) یا آزبستوس از لغت یونانی به نام غیر قابل خاموش شدن و یا فسادناپذیر مشتق شده و از نظر علمی واژه ای است که برای معرفی گروهی تجارتي از کانیهای سیلیکاته که به حالت لیفی در طبیعت یافت می شوند، به کار برده می شود [۱]. کانیهای آزبست از خصوصیات مطلوب و استثنایی برخوردارند و در یکی از دو گروه معدنی سرپنتاین (۲) و آمفیبول (۳) طبقه بندی می شوند. از مهمترین انواع این کانیها می توان به آزبست سفید رنگ یا کریزوتایل (۴) از گروه سرپنتاین و آزبست آبی رنگ یا کروسیدولایت (۵) و آزبست قهوه ای رنگ یا آموزایت (۶) از گروه آمفیبول اشاره کرد [۲].

در صنعت، الیاف هوابرد (۷) آزبست در حین عملیات فرآوری و تولید و همین طور بر اثر عملیات مکانیکی به صورت الیافی بلند، باریک و انعطاف پذیر در محیط رها می گردند. الیاف استنشاق شده آزبست در مقابل عوامل بیگانه خوار محیط ریوی بسیار مقاومند و به دلیل عدم پاکسازی از کیسه های هوایی سالها در منطقه تنفسی ماندگار شده و در نهایت موجب بیماری می گردند [۳]. سازمانهای معتبر جهانی از جمله سازمان بهداشت جهانی (۸) [۴] و آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (۹) [۵] بر اساس شواهد موجود اعلام کرده اند که استنشاق الیاف آزبست برای انسان خطرناک است به طوری که علاوه بر ایجاد ضایعات پیشرونده و جبرانناپذیر تنفسی، ارتباط آن در بروز سرطان (ریه، پرده صفاق و غشای جنب) قطعی می باشد. در مورد گوارش الیاف آزبست و خطرات ناشی از آن نظرات متفاوتی ابراز شده که قبلاً در مقاله ای دیگر به آن اشاره شده است [۶].

ارزیابی گردو غبار آزبست در هوای حوزه تنفسی کارگران (۱۰) و در فضای محیط صنعتی با استفاده از فیلترهای غشایی (۱۱) و میکروسکوپ نوری (۱۲) صورت می گیرد. امروزه این روش به عنوان روش استاندارد (۱۳) مورد تأیید مراجع معتبری چون انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد (۱۴) [۸] انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی حرفه ای (۱۵) [۹] در کشور آمریکا و مجمع بین المللی در آزبست (۱۶) [۱۰] در کشور انگلستان می باشد. در این روش، الیاف پس از نمونه برداری از هوا، بر روی بستر مخلوطی از فیلتر و ماده شفاف کننده، تثبیت



شکل شماره (۱): گراتیکول پورتن

نمونه برداریها با رعایت تراکم حداکثر ۵ لیف در میدان گراتیکول در دوره‌های کار کارگران در صبح و بعد از ظهر با نمونه‌های متوالی در یک شیفت کار انجام شده است. تعداد ۱۴۰ نمونه فردی از ۴۲ کارگر از کارگاههای چهارگانه فوق الذکر توسط پمپهای قابل حمل و نقل ساخت کارخانه کاسلا^(۲۴) و تعداد ۲۴ نمونه محیطی از ۱۳ ایستگاه محیطی در کل کارخانه توسط پمپهای میلی‌پور^(۲۵) جمع آوری گردیده است. در نمونه برداری محیطی علاوه بر کارگاههای چهارگانه قسمتهایی از قبیل واحدهای غیر تولیدی، غذاخوری و واحدهای جنبی تولید (لاستیک سازی) مورد بررسی قرار گرفتند و موقعیت آسیاب ضایعات و نزدیک بودن آن به سالن غذاخوری موجب شد که در این پژوهش مورد توجه قرار گیرد. کلیه پمپهای در ابتدا و انتهای پروژه کالیبره شدند [۱۶].

قطر مفید و سطح مفید تعدادی از فیلترهای ۳۷ و ۴۷ میلیمتری مطابق روش توصیه شده در دستورالعمل انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد [۸] اندازه گیری شده که به ترتیب سطحی برابر $740/230 \text{ mm}^2$ و $963/113 \text{ mm}^2$ به دست آمده است.

بحث و نتیجه گیری:

نتایج حاصل از شمارش الیاف در نمونه‌های فردی با آستانه مجاز $0/2 \text{ f/ml}$ [۹ و ۱۷] مورد مقایسه قرار گرفته که به تفکیک کارگاه همراه با نتایج نمونه‌های محیطی در زیر شرح داده شده است.

بزرگنمایی $\times 500$ بر روی هر فیلتر نمونه هوا و فیلتر شاهد 100 میدان میکروسکوپی به طور تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. در تصاویر میکروسکوپ نوری (فتومیکروگراف) شماره ۱ الی ۴ تعدادی از الیاف منفرد آزبست که در این پژوهش نمونه برداری و عکس برداری شده‌اند را می‌توان ملاحظه نمود. مشخصات الیاف مذکور در زیر عکسها شرح داده شده است.

به منظور فراهم نمودن میدان میکروسکوپی با مساحت مشخص از یک گراتیکول^(۲۲) مناسب در عدسی چشمی میکروسکوپ استفاده می‌شود که به کمک آن به سهولت می‌توان الیاف را از مقایسه با تصاویر از پیش حک شده با اندازه مشخص بر روی گراتیکول و یا توسط خطوط درجه بندی شده با فواصل مشخص آن اندازه گیری و تعیین ابعاد نمود [۶]. در این پژوهش از گراتیکول پورتن^(۲۳) (G20) استفاده شده که کلیه ابعاد و فواصل آن (خطوط و دوایر) توسط خط کش میکرومتری با دقت $10 \mu\text{m}$ در بزرگنمایی $\times 500$ اندازه گیری و مساحت آن برابر $0/058 \text{ mm}^2$ و قطر دایره نهم آن برابر $12/2 \mu\text{m}$ تعیین شده است (شکل شماره ۱).

نمونه برداری از حوزه تنفسی کارگران و از هوای محیط کار در ۴ کارگاه اصلی تولید و پرداخت محصولات آزبست - سیمان شامل لوله‌های ۴ و ۵ متری، ورق، آردواز و غیره انجام گرفته است. خط تولید ورق و لوله از یکدیگر مجزا است لیکن آسیابهای مواد اولیه آنها در مجاور یکدیگر در یک سالن (کارگاه پلاک) قرار دارند. کارگاه پرداخت لوله بلند (لوله ۵ متری) توسط تیغه‌بندی از سالن مزبور جدا شده اما کارگاههای پرداخت لوله کوتاه (لوله ۴ متری) و آردواز به صورت دو کارگاه مجزا در مجاورت کارگاه پلاک قرار دارند. این کارخانه با عمری در حدود ۳۸ سال در جنوب شرقی تهران در منطقه‌ای صنعتی واقع شده است. در کارخانه مورد مطالعه از پنبه نسوز (سفید و آبی رنگ) به همراه سیمان و آب برای تولید انواع ورق صاف و موجدار و لوله استفاده می‌شود. این محصولات به دلیل استحکام و چگالی مناسب در ساختمان سازی و خطوط آبرسانی و دفع فاضلاب استفاده می‌شوند. حدود $3/33\%$ از کل افراد شاغل در کارخانه در قسمتهای تولیدی محصولات به کار اشتغال دارند.

به طور مستقیم و بعد از آن سلامت سایر کارگران را به طور غیرمستقیم در معرض خطر قرار می‌دهند. نتایج حاصل از نمونه‌های محیطی نیز در تایید این مطلب در کارگاه پلاک نشان می‌دهد که الیاف آزبست در محوطه آسیابهای مواد اولیه پراکنده می‌باشند و از این واحد به سایر نقاط انتشار می‌یابند. میانگین تراز مواجهه در کارگاه پلاک با تراکم $1/0 \text{ f/ml}$ به میزان ۵ برابر حد مجاز محاسبه شده است (جدول شماره ۲). در این کارگاه با رفع نواقص دستگاههای تولید لوله ۴ متری، محصور کردن محوطه عملیات آسیابها در درون یک محوطه بسته مجهز به مکنده‌های قوی و نیز نصب دستگاههای خودکار کیسه پاره کن در کنار آسیابهای مواد اولیه است که الیاف را به طور خودکار در آسیابها تخلیه می‌کند و می‌توان از پراکنده شدن الیاف به محیط اطراف جلوگیری به عمل آورد.

- کارگاه پرداخت لوله بلند: در این کارگاه در مجموع ۴۲ نمونه فردی (۳۰٪) میزان مواجهه ۱۰ نفر از کارگران (۲۴٪) مورد بررسی قرار گرفته است (جدول شماره ۱). نتایج منعکس شده در جدول شماره (۳) نمایانگر آن است که کلیه کارگران (هر ۱۰ نفر) این کارگاه به واسطه کار با دستگاههای پرداخت لوله ۵ متری و مانشون (نوعی اتصالات لوله از جنس آزبست - سمیان) مواجهه‌ای بیش از حد مجاز دارند. به طوری که حداقل ۴ برابر و حداکثر ۳۱/۵ برابر حد مجاز در مواجهه با الیاف خطرناک پنبه نسوز می‌باشند. در عین حال که میزان مواجهه کلیه کارگران این کارگاه درخور توجه است، حداکثر میزان مواجهه مربوط به کارگر برشکار لوله ۵ متری به میزان $6/3 \text{ f/ml}$ می‌باشد. میانگین تراز مواجهه در واحدهای

- کارگاه پلاک: در این کارگاه (تولید لوله ۴ متری و انواع ورق) میزان مواجهه ۱۸ کارگر (۴۳٪ از کل کارگران مورد مطالعه) در مجموع ۵۸ نمونه فردی (۴۱٪ از کل نمونه‌های فردی جمع‌آوری شده)، ارزیابی شده است (جدول شماره ۱). بر طبق نتایج مندرج در جدول شماره (۲) مشخص می‌گردد که حداکثر میزان مواجهه مربوط به کارگران شاغل در آسیابهای مواد اولیه است و در این واحد میزان مواجهه آسیابان ورق $1/3$ برابر همکارش در آسیاب لوله می‌باشد ($5/3 \text{ f/ml}$ در مقایسه $4/2 \text{ f/ml}$). این اختلاف عمدتاً به واسطه حمل الیاف با جریان هوا از آسیاب لوله به سمت ورق قابل توجه است. اختلاف میزان مواجهه آسیابانها ($5/3 \text{ f/ml}$ و $4/2$) در مقایسه با کمک آسیابانها (هر دو نفر به میزان $2/3 \text{ f/ml}$) نیز به واسطه تفاوت نوع کار آسیابانها با کمکهاشان توضیح داده می‌شود. آسیابانها در محل تغذیه، در دهانه آسیابها کار می‌کنند و کیسه‌های حاوی الیاف آزبست را به طور دستی در آسیابها تخلیه می‌نمایند.

بر طبق نتایج مندرج در جدول شماره (۲) میزان مواجهه $61/1$ ٪ از کارگران مطالعه شده در کارگاه پلاک بیش از حد مجاز است (تعداد ۱۱ نفر از کل ۱۸ نفر) به طوری که حداقل $1/5$ برابر و حداکثر $26/5$ برابر حد مجاز مواجهه دارند. میانگین مواجهه کارگران در واحدهای مورد مطالعه در این کارگاه با افزایش فاصله نسبت به آسیابها از $17/5$ برابر حد مجاز به حد مجاز ($0/2 \text{ f/ml}$) کاهش یافته است. این امر نمایانگر خطرناکی از آسیابهای مواد اولیه به عنوان منابع اصلی انتشار آلودگی در فضای کارگاه پلاک است که در وهله نخست سلامت کارگران واحد خود را

جدول شماره ۱: توزیع فراوانی و درصد توزیع فراوانی نمونه فردی، تعداد کارگر مطالعه شده و تعداد کارگر با مواجهه

بیش از حد مجاز به تفکیک کارگاهها

نام کارگاه	نمونه فردی		کارگر		کارگر با مواجهه < حد مجاز	
	تعداد	%	تعداد	%	تعداد	%
پلاک	۵۸	۴۱	۱۸	۴۳	۱۱	۳۱/۴
پرداخت لوله بلند	۴۲	۳۰	۱۰	۲۴	۱۰	۲۸/۶
پرداخت لوله کوتاه	۱۸	۱۳	۵	۱۲	۵	۱۴/۳
آردواز	۲۲	۱۶	۹	۲۱	۹	۲۵/۷
جمع	۱۴۰	۱۰۰	۴۲	۱۰۰	۳۵	۱۰۰

جدول شماره ۲: تراکم الیاف آزبست در نمونه‌های فردی و محیطی به تفکیک واحدها در یک کارخانه آزبست - سیمان در

تهران، کارگاه پلاک

نمونه	واحد	تعداد نمونه	تعداد کارگر بررسی شده	تعداد کارگر با مواجهه < مجاز	میانگین* (f/ml)	محدوده تراکم* (f/ml)
فردی	آسیاب مواد ورق	۱۱	۲	۲	۳/۸ (۱۹)	۲/۳ - ۵/۳ (۱۱/۵ - ۲۶/۵)
	اولیه لوله	۸	۲	۲	۳/۳ (۱۶/۵)	۲/۳ - ۴/۲ (۱۱/۵ - ۲۱/۰)
	جمع	۱۹	۴	۴	۳/۵ (۱۷/۵)	۲/۳ - ۵/۳ (۱۱/۵ - ۲۶/۵)
	تولید ورق مرطوب	۲۱	۷	۷	۰/۵ (۲/۵)	۰/۳ - ۰/۸ (۱/۵ - ۴/۰)
	تولید لوله ۴ متری	۶	۳	-	۰/۲ (۱)	ثابت
	قالباسازی	۱۲	۴	-	۰/۲ (۱)	ثابت
جمع		۵۸	۱۸	۱۱	۱/۰ (۵)	۰/۲ - ۵/۳ (۱ - ۲۶/۵)
محیطی	محوطه آسیابها	۲	-	-	۰/۳	۰/۱ - ۰/۴

■ شیفت کار روزانه ۱۲ ساعت، بقیه کارگران ۸ ساعت.
* اعداد درون پرانتز نسبت به حد مجاز محاسبه شده‌اند.

مختلف این کارگاه در مقایسه با حد مجاز به ترتیب زیر می‌باشد. در واحد مذکور را در معرض خطر استنشاق روزانه الیاف آزبست قرار می‌دهند. نتایج حاصل از نمونه برداری محیطی در این کارگاه مویذ آن است که تراکم غلظت الیاف در نمونه‌های محیطی با افزایش فاصله نسبت به مرکز منابع انتشار آلاینده (پرداخت لوله بلند) کاهش نشان داده و از تراکم 0.3 f/ml به تراکم 0.1 f/ml رسیده است. (جدول شماره ۳).

برش و تراش لوله ۵ متری به میزان ۲۰ برابر، برش مرطوب مانشون به میزان ۱۳ برابر، تراش مانشون به میزان ۱۰ برابر و برش ضایعات لوله به میزان ۹ برابر حد مجاز. این ارقام مویذ آن است که دستگاه برش و تراش لوله ۵ متری به تنهایی بیش از $1/5$ برابر سایر دستگاههای این کارگاه گرد و غبار به محیط اطراف پراکنده می‌سازد.

بنابر مطالب فوق، مشخص می‌شود که سیستمهای مکنده‌ای که برای کنترل گرد و غبار بر روی دستگاههای برش و تراش در کارگاه لوله بلند نصب شده‌اند از کارایی کافی برخوردار نیستند و بخصوص عملکرد هواکشهای موضعی بر روی دستگاه برش و تراش لوله ۵ متری نیاز به یک بازنگری اساسی دارد. با طراحی صحیح سیستم تهویه صنعتی، تعبیه درست هواکشها و با تغییر دادن کلیه عملیات این کارگاه از برش و تراش خشک به مرطوب و همین‌طور بازسازی دستگاه قدیمی برش مرطوب مانشون و

میانگین تراز مواجهه در کارگاه پرداخت لوله بلند با تراکم $2/6 \text{ f/ml}$ به میزان ۱۳ برابر حد مجاز ارزیابی شده است. الیاف منتشر شده از دستگاههای مولد گرد و غبار در کارگاه پرداخت لوله بلند، سلامتی افراد شاغل در این کارگاه را به طور مستقیم در معرض خطر قرار می‌دهند و علاوه بر آن الیاف پراکنده شده، توسط جریان هوا حمل و به انتهای دیگر این سالن به واحد تولید لوله ۵ متری انتقال می‌یابند و به طور غیر مستقیم کارگران شاغل

از دو کارگر تراشکار لوله ۴ متری یکی حدود ۲ برابر دیگری در مواجهه با الیاف آزیست می‌باشد (مقایسه مواجهه ۱۳/۵ برابر حد مجاز با ۷/۵ برابر حد مجاز). از طرف دیگر میانگین تراز مواجهه این دو کارگر در واحد تراش لوله ۴ متری به میزان ۱۰/۵ برابر حد مجاز ارزیابی شده که نسبت به واحد مجاورش در برش لوله ۴ متری با میانگین ۱۲ برابر حد مجاز، کاهش نشان می‌دهد. بنابراین واضح است که موقعیت کاری دو کارگر تراشکار فوق الذکر در میزان مواجهه آنها با الیاف آزیست در واحد تراش ۴ متری تأثیر شگرفی داشته است. مشاهده حضور عملکرد افراد نیز مطلب فوق را تایید می‌کند. در بازدید از کارگاه پرداخت لوله کوتاه مشخص می‌گردد که آلاینده از دستگاه برش لوله ۴ متری به سمت تراشکار اول لوله ۴ متری منتقل و همین امر موجب می‌شود که میزان تراکم الیاف در هوای حوزه تنفسی او به میزان ۲ برابر

محصور کردن محوطه کارگاه پرداخت لوله بلند و عملیات مربوطه در درون یک محوطه بسته با مکندوهای قوی می‌توان میزان مواجهه افراد و میزان تراکم الیاف در فضای این کارگاه را به حد مجاز کاهش داد و از انتشار الیاف به سایر واحدهای کارخانه جلوگیری به عمل آورد.

- کارگاه پرداخت لوله کوتاه: در این کارگاه از مجموع ۵ کارگر شاغل (۱۲٪) جمعاً ۱۸ نمونه فردی (۱۳٪) تهیه شده است (جدول شماره ۱). از مطالعه نتایج مندرج در جداول شماره (۱) و (۴) مشخص می‌گردد که کلیه کارگران شاغل در این کارگاه در معرض مستقیم با محیط آلوده قرار دارند و حداقل ۴/۵ برابر و حداکثر ۱۳/۵ برابر حد مجاز در مواجهه‌اند. حداکثر میزان مواجهه مربوط به کارگران اول تراش لوله ۴ متری به میزان ۲/۷ f/ml است.

جدول شماره ۳: تراکم الیاف آزیست در نمونه‌های فردی و محیطی به تفکیک واحدها در یک کارخانه آزیست - سیمان در تهران، کارگاه پرداخت لوله بلند

نمونه	واحد	تعداد نمونه	تعداد کارگر بررسی شده	تعداد کارگر با مواجهه < مجاز	میانگین* (f/ml)	محدوده تراکم* (f/ml)
فردی	برش و تراش لوله ۵ متری	۱۵	۳	۳	۴/۰ (۲۰)	۱/۸ - ۶/۳ (۹ - ۳۱/۵)
	برش ضایعات	۶	۲	۲	۱/۸ (۹)	۱/۶ - ۱/۹ (۸ - ۹/۵)
	تراش مانشون	۱۶	۴	۴	۲/۱ (۱۰/۵)	۰/۸ - ۴/۱ (۴ - ۲۰/۵)
	برش مرطوب مانشون	۵	۱	۱	۲/۶ (۱۳)	ثابت (۱۳)
جمع		۴۲	۱۰	۱۰	۲/۶ (۱۳)	۰/۸ - ۶/۳ (۴ - ۳۱/۵)
محیطی	مرکز کارگاه	۱	-	-	۰/۳	ثابت
	تولید لوله ۵ متری	۴	-	-	۰/۱	۰/۱ - ۰/۲
	جمع	۵	-	-	۰/۲	۰/۱ - ۰/۳

■ شیفت کار در روزانه ۱۲ ساعت، بقیه کارگران ۸ ساعت.
* اعداد درون پرانتز نسبت به حد مجاز محاسبه شده‌اند.

کارگاه آردواز: در این کارگاه علاوه بر تولید آردواز، دستگاههای پرداخت آن از قبیل برش خشک و مرطوب و مته زنی تعبیه شده است. در این کارگاه ۲۲ نمونه فردی (۱۶٪) از ۹ کارگر (۲۱٪) مورد مطالعه قرار گرفته است (جدول شماره ۱). از آنجایی که باوسایل موجود امکان نمونه برداری فردی از کارگران تولید آردواز به آسانی میسر نمی‌باشد، مطالعه این واحد در نمونه برداری محیطی در نظر گرفته شد. وضعیت خاص کاری کارگران در تولید آردواز موجب می‌شود که فیلترهای نمونه هوای حوزه تنفسی به مواد شیمیایی (گازوئیل) شدیداً آغشته و غیر قابل بررسی گردند.

نتایج مندرج در جدول شماره (۵) نشان می‌دهد که کلیه کارگران مورد مطالعه در کارگاه آردواز به واسطه کار با دستگاههای مختلف پرداخت بیش از حد مجاز مواجهه با الیاف دارند، به طوری که حداقل به میزان ۴ برابر و حداکثر ۱۱ برابر حد

همکار تراشکار دیگرش، افزایش نشان دهد. طراحی عملیات در این کارگاه به طور صحیح انجام نگرفته و به دلیل کوچکی فضای کارگاه فاصله کافی نیز برای عملکرد کاری افراد در نظر گرفته نشده است، علاوه بر آن به دلیل عدم کارآیی کافی هواکشهای نصب شده بر روی دستگاه برش ۴ متری، الیاف منتشر شده از این دستگاه به سهولت به فاصله ۱ متری از آن به محل کار کارگر تراشکار اول لوله ۴ متری منتقل می‌شود.

براساس نتایج حاصل از نمونه برداری مشخص می‌شود که هواکشهای نصب شده بر روی دستگاهها از کارآیی کافی برخوردار نمی‌باشند و الیاف در فضای محدود این کارگاه پراکنده می‌باشند (مرکز کارگاه با تراکم 0.6 f/ml) (جدول شماره ۴). الیاف آزیست از این کارگاه با میانگین تراز مواجهه $9/5$ برابر حد مجاز می‌توانند به سایر نقاط کارخانه و بخصوص به واحد مجاور کارگاه پرداخت لوله کوتاه یعنی به سالن آزمایش لوله انتقال یابند.

جدول شماره ۴: تراکم الیاف آزیست در نمونه‌های فردی و محیطی به تفکیک واحدها در یک کارخانه آزیست - سیمان در تهران، کارگاه پرداخت لوله کوتاه

نمونه	واحد	تعداد نمونه	تعداد کارگر بررسی شده	تعداد کارگر با مواجهه < مجاز	میانگین* (f/ml)	محدوده تراکم* (f/ml)
فردی	برش ۴ متری	۴	۱	۱	۲/۴ (۱۲)	ثابت (۱۲)
	تراش ۴ متری	۷	۲	۲	۲/۱ (۱۰/۵)	۱/۴ - ۲/۷ (۷ - ۱۳/۵)
	تخلیه و انتقال لوله	۷	۲	۲	۱/۵ (۷/۵)	۰/۹ - ۲/۰ (۴/۵ - ۱۰)
	جمع	۱۸	۵	۵	۱/۹ (۹/۵)	۰/۹ - ۲/۷ (۴/۵ - ۱۳/۵)
محیطی	مرکز کارگاه	۲	-	-	۰/۶	ثابت
	آزمایش لوله	۲	-	-	< ۰/۱	ثابت
	جمع	۴	-	-	~ ۰/۳	< ۰/۱ - ۰/۶

■ شیفت کار روزانه ۱۲ ساعت.

* اعداد درون پرانتز نسبت به حد مجاز محاسبه شده‌اند.

که الیاف منتشر شده از دستگاههای پرداخت آردواز به طور غیر مستقیم سلامت کارگران شاغل در تولید آردواز را به خطر می اندازد، این کارگاه به عنوان یکی دیگر از منابع انتشار آلاینده در فضای کارخانه ارزیابی می شود. هر چند که نتایج نمونه برداری محیطی تراکم الیاف در فضای این کارگاه را به میزان $0/2 \text{ f/ml}$ نشان می دهد، ذکر این نکته خالی از فایده نخواهد بود که با مرطوب کردن عملیات در کارگاه آردواز و رفع نواقص عملکرد هواکش های موضعی موجود می توان میزان پراکندگی الیاف را حتی به کمتر از تراکم گزارش شده نیز کاهش داد.

- سایر نمونه های محیطی: نتایج ۵۴٪ (۱۳ نمونه) از نمونه های محیطی در بررسی کارگاههای چهارگانه توضیح داده شده است (جدول شماره ۲ الی ۴). در این قسمت نتایج بررسی آن دسته از نمونه های محیطی (۴۶٪) که از واحدهای مختلف کارخانه جمع آوری شده، ارائه می گردد (جدول شماره ۶). نتایج مربوط به نمونه هایی که از واحدهای نزدیک و مجاور دو کارگاه پلاک و

مجاز در مواجهه مستقیم با الیاف خطرناک پنبه نسوز می باشند. حداکثر میزان مواجهه مربوط به کارگر برشکار خشک به میزان $2/2 \text{ f/ml}$ می باشد.

هر چند که استفاده از روش مرطوب به جای خشک به طور کامل نتوانسته گردوغبار ناشی از برش آردواز را کنترل نماید و تا حدود مواجهه مجاز کاهش دهد اما استفاده از روش مرطوب در مقایسه با روش خشک نتوانسته میزان مواجهه را به بیش از ۲ برابر حالت قبل کاهش دهد. این مطلب را می توان از مقایسه میانگین مواجهه کارگران در برش خشک به میزان $1/9 \text{ f/ml}$ با میانگین مواجهه در برش مرطوب به میزان $0/8 \text{ f/ml}$ نتیجه گیری نمود (به ترتیب با تراکم متوسط $9/5$ برابر و 4 برابر حد مجاز). میانگین مواجهه کارگران در سایر واحدها از قبیل مته زنی و برش ضایعات ورق قابل توجه و به میزان ۶ برابر حد مجاز می باشد. میانگین تراز مواجهه کارگران مورد مطالعه در کارگاه آردواز با تراکم f/ml $1/5$ ، به میزان $7/5$ برابر حد مجاز ارزیابی شده است. ضمن این

جدول شماره ۵: تراکم الیاف آزیست در نمونه های فردی و محیطی به تفکیک واحدها در یک کارخانه آزیست - سیمان

در تهران، کارگاه آردواز

نمونه	واحد	تعداد نمونه	تعداد کارگر بررسی شده	تعداد کارگر با مواجهه < مجاز	میانگین* (f/ml)	محدوده تراکم* (f/ml)
فردی	برش خشک	۱۲	۴	۴	$1/9 (9/5)$	$1/5 - 2/2$
	مته زنی	۴	۲	۲	$1/2 (6)$	$0/8 - 1/6$
	برش مرطوب	۲	۱	۱	$0/8 (4)$	ثابت (۴)
	برش ضایعات ورق	۴	۲	۲	$1/2 (6)$	ثابت (۶)
جمع		۲۲	۹	۹	$1/5 (7/5)$	$0/8 - 2/2$
محیطی	تولید آردواز	۲	-	-	$0/2$	ثابت

□ شیفت کار روزانه ۸ ساعت.

* اعداد درون پرانتز نسبت به حد مجاز محاسبه شده اند.

پرداخت لوله بلند جمع آوری شده اند نشان می دهد که الیاف از این دو کارگاه منتشر و موجب آلودگی محیط می گردند. این نمونه ها، ارزیابی مربوط به دو کارگاه مذکور را مجدداً تایید می کنند.

بهره گیری پایانی:

الف) ارزیابی تراکم آلاینده:

از مقایسه میانگین تراز مواجهه در کارگاههای مورد بررسی با آستانه مجاز 0.2 f/ml مشخص می گردد که کارگاه پرداخت لوله بلند با متوسط تراکم $0.2/6 \text{ f/ml}$ و به میزان ۱۳ برابر حد مجاز آلوده ترین کارگاه در کارخانه است (شکل شماره ۲). پس از آن به ترتیب کارگاه پرداخت لوله کوتاه با متوسط تراکم $0.1/9 \text{ f/ml}$ و به میزان $9/5$ برابر حد مجاز، کارگاه آردواز با متوسط تراکم $0.1/5 \text{ f/ml}$ و به میزان $7/5$ برابر حد مجاز و بالاخره کارگاه پلاک با متوسط تراکم $0.1/5 \text{ f/ml}$ و به میزان ۵ برابر حد مجاز قرار دارند. آزمون اختلاف میانگینها در کارگاههای پرداخت لوله بلند و کوتاه در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می دهد که اختلاف متوسط تراکم مواجهه افراد در دو کارگاه مذکور معنی دار نمی باشد

جدول شماره ۶: تراکم الیاف آزبست در سایر نمونه های محیطی در یک کارخانه

آزبست - سیمان در تهران

محدوده تراکم (f/ml)	تراکم الیاف (f/ml)	تعداد نمونه	واحد/کارگاه
ثابت	۰/۱	۱	بین کارگاههای پلاک و پرداخت لوله بلند
ثابت	۰/۲	۲	جنب کارگاه پرداخت لوله بلند
ثابت	< ۰/۱	۱	اداری
ثابت	< ۰/۱	۱	نگهبانی
ثابت	< ۰/۱	۱	لاستیک سازی
-	مردود	۱	آسیاب ضایعات
ثابت	۰/۱	۲	*
ثابت	۰/۲	۲	**
(۰/۱ - ۰/۲)	(۰/۳)	(۴)	(جمع)
< ۰/۱ - ۰/۲	~ ۰/۶ (۰/۱ ~ میانگین)	۱۱	جمع

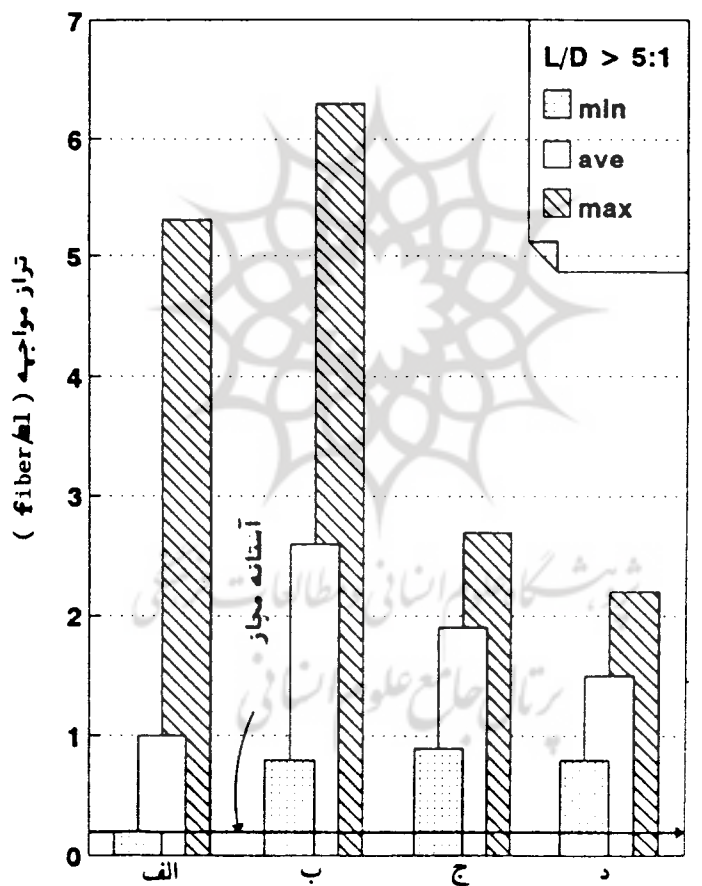
* آسیاب ضایعات فعال نبوده است.
** همزمان با نمونه برداری آسیاب ضایعات فعال بوده است.

گردوغبار بیش از حد مجاز است که سهم هر یک از کارگاهها نیز در جدول مذکور محاسبه شده است.

محدوده تغییرات و میانگین تراکم الیاف در هوای محیط کارخانه با توجه به کلیه نمونه‌های محیطی جمع‌آوری شده از ۱۳ ایستگاه، در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. میانگین f/ml ۰/۲ نشان می‌دهد که الیاف در فضای کارخانه پراکنده و کلیه افراد شاغل در کارخانه در خطر استنشاق روزانه الیاف قرار دارند. همچنین حمل الیاف توسط جریانات هوا می‌تواند موجب آلودگی مناطق همجوار گردد.

آزمون اختلاف میانگینها در کارگاههای پرداخت لوله بلند و کوتاه در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد که اختلاف متوسط تراکم مواجهه افراد در دو کارگاه مذکور معنی‌دار نمی‌باشد (۱/۱۷۵ و $\alpha = 0/05$) و طول لوله در میزان مواجهه تأثیری ندارد.

ارزیابی میزان مواجهه در کل کارگران مطالعه شده (۴۲ نفر) براساس نسبت طول به قطر $5:1 \geq$ نشان می‌دهد که افراد به طور متوسط در مواجهه با تراکم f/ml ۱/۶ به میزان ۸ برابر حد مجاز قرار دارند (جدول شماره ۷). همچنین نتایج به دست آمده در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که میزان مواجهه ۳۵ نفر (۳/۸۳٪) از کارگران مورد مطالعه به واسطه کار با دستگاههای مولد



ب: کارگاه پرداخت لوله بلند

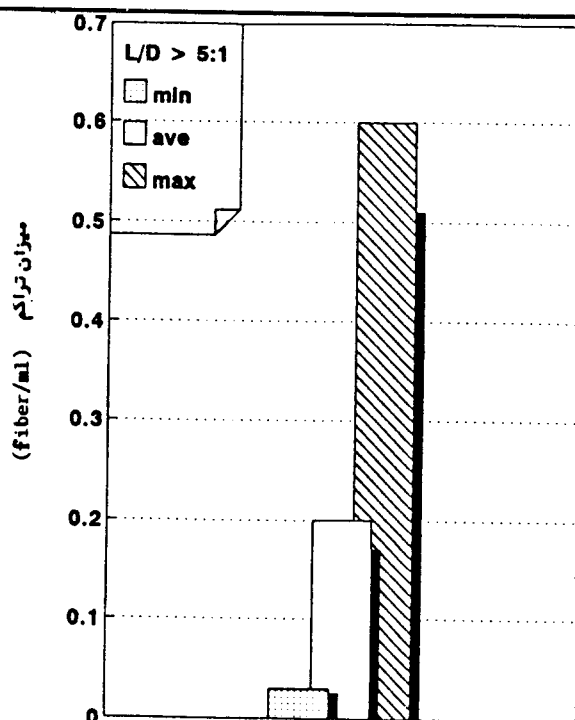
الف: کارگاه پلاک

د: کارگاه آردواز

ج: کارگاه پرداخت لوله کوتاه

شکل شماره ۲: نگراره محدوده تغییرات و میانگین تراز مواجهه کارگران با الیاف آریست به تفکیک کارگاهها

در یک کارخانه آریست - سیمان در تهران



شکل شماره ۳: نگاره محدوده تغییرات و میانگین تراکم لیاف آزیست در هوای محیطی در یک کارخانه آزیست - سیمان در تهران

۳۱/۵ برابر آن قرار دارند.

ب) مقایسه میزان مواجهه کارگران در شیفت کار ۸ و ۱۲ ساعته:

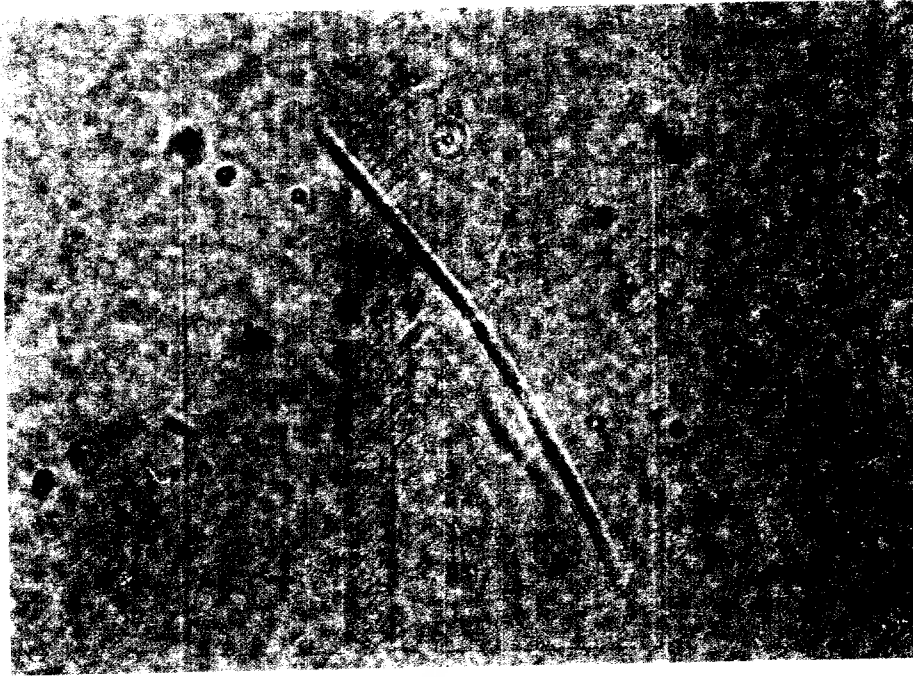
همانطور که در جدول شماره (۷) ملاحظه می شود ۳۵ نفر از کارگران مواجهه ای بیش از حد مجاز دارند که از این تعداد ۲۱ نفر (۶۰٪) در شیفت کار ۸ ساعته و ۱۴ نفر (۴۰٪) در شیفت کار ۱۲ ساعته به کار اشتغال دارند. کارگران در شیفت کار ۸ ساعته به طور متوسط در مواجهه با تراکم ۱/۰ f/ml به میزان ۵ برابر حد مجاز با حداکثر تراکم ۱۱ برابر آن و در شیفت کار ۱۲ ساعته به طور متوسط در مواجهه با تراکم ۲/۳ f/ml به میزان ۱۱/۵ برابر حد مجاز با حداکثر تراکم

آزمون اختلاف میانگینها براساس دو شیفت کار ۸ و ۱۲ ساعته در سطح اطمینان ۹۵٪ براساس طول به قطر ۵:۱ نشان می دهد که اختلاف میزان مواجهه در دو شیفت کار معنی دار و میانگین تراز مواجهه در کارگران ۱۲ ساعته در مقایسه با ۸ ساعته به طور متوسط بیش از ۲ برابر افزایش یافته است (۱۷، ۱۰/۹۵ و $\alpha = 0.05$). از این بررسی نتیجه گیری می شود که با کوتاهاتر کردن شیفت کار روزانه به میزان ۴ ساعت در روز می توان میزان مواجهه کارگران را به کمتر از نصف تقلیل داد.

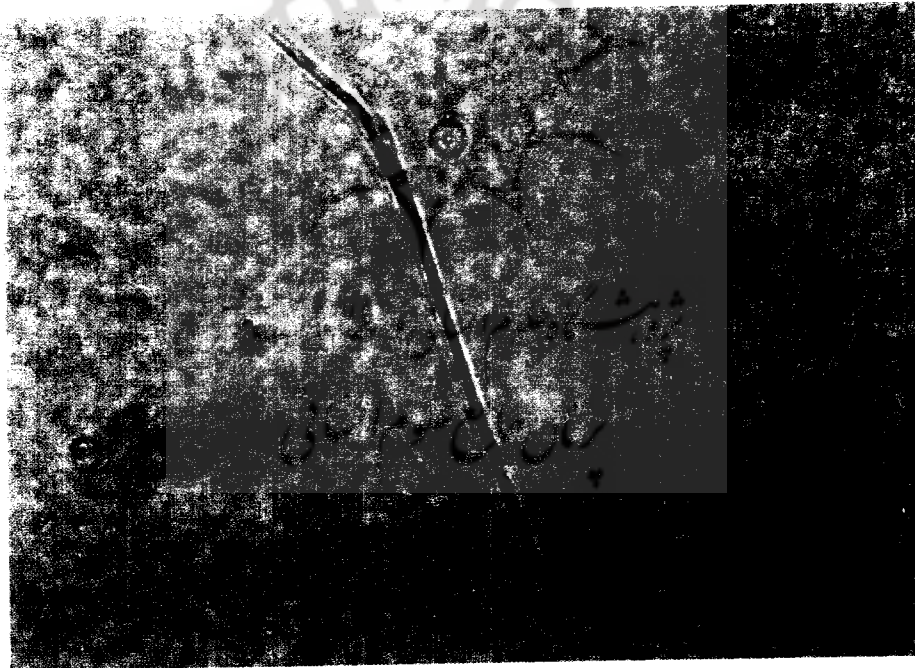
جدول شماره ۷: میزان مواجهه کارگران مطالعه شده به تفکیک شیفت کار روزانه

شیفت کار (h)	تعداد کارگر بررسی شده	تعداد کارگر با مواجهه < مجاز	میانگین* (f/ml)	محدوده تراکم* (f/ml)
۱۲	۱۸	۱۴	۲/۳ (۱۱/۵)	۰/۲ - ۶/۳ (۱ - ۳۱/۵)
۸	۲۴	۲۱	۱/۰ (۵)	۰/۲ - ۲/۲ (۱-۱۱)
جمع	۴۲	۳۵	۱/۶ (۸)	۰/۲ - ۶/۳ (۱ - ۳۱/۵)

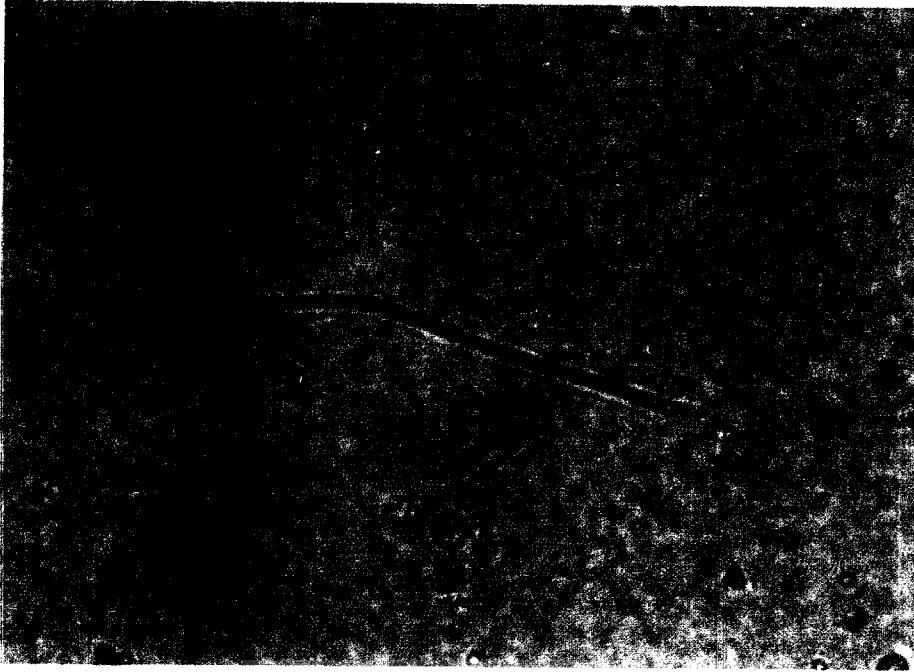
* اعداد درون پرانتز نسبت به حد مجاز محاسبه شده اند.



شکل شماره ۴: فتومیکروگراف از یک منفرد آزبست در نمونه هوای حوزه تنفسی در یک کارخانه آزبست - سیمان در بزرگنمایی $500 \times$ (طول لیف $38/5 \mu m$ ، قطر لیف: $10 \mu m$ و نسبت طول به قطر لیف: $38/5$).



شکل شماره ۵: فتومیکروگراف از یک منفرد آزبست در نمونه هوای حوزه تنفسی در یک کارخانه آزبست - سیمان در بزرگنمایی $500 \times$ (طول لیف $45/0 \mu m$ ، قطر لیف: $1 \mu m$ و نسبت طول به قطر لیف: 45).



شکل شماره ۶: فتومیکروگراف از یک منفرد آزبست در نمونه هوای حوزه تنفسی در یک کارخانه آزبست - سیمان در بزرگنمایی $500 \times$ (طول لیف $37/0 \mu m$ ، قطر لیف: $1/0 \mu m$ و نسبت طول به قطر لیف: ۳۷).



شکل شماره ۷: فتومیکروگراف از یک منفرد آزبست در نمونه هوای حوزه تنفسی در یک کارخانه آزبست - سیمان در بزرگنمایی $500 \times$ (طول لیف $15/0 \mu m$ ، قطر لیف: $0/5 \mu m$ و نسبت طول به قطر لیف: ۳۰).

پیشنهادهای اجرایی:

9 - International Agency for Research on Cancer (IARC)

10 - Work's Breathing Zone

11 - Membrane Filter (MF)

12 - Optical Microscope (OM)

13 - Standard Method

14 - American Society for Testiong and Materials (ASTM)

15 - National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

16 - Asbestos International Association (AIA)

17 - Mount

18 - Aspect Ratio

19 - Personal Sampling

20 - Flowmeter

21 - Phase Contrast Optical Microscope (PCOM)

22 - Graticule

23 - Porton

24 - Cassella

25 - Millipore

پس از ارزیابی وضعیت کارخانه و براساس مشاهدات حضوری موارد زیر به منظور کاهش میزان آلودگی در کارخانه مورد مطالعه فهرست وار پیشنهاد می شود:

- ۱ - تصحیح شبکه های تهویه صنعتی موجود در کارگاهها.
- ۲ - تعمیر، تعویض و رفع نواقص هواکشهای موضعی و عمومی.
- ۳ - استفاده از روشهای مرطوب برای برش و تراش قطعات.
- ۴ - استفاده از دستگاه خودکار کیسه پاره کن در واحد آسیاب مواد اولیه.
- ۵ - محصور کردن عملیات مولد گردوغبار در کارگاههای تولیدی و پرداخت از جمله آسیابهای مواد اولیه و ضایعات، دستگاههای پرداخت لوله و پرداخت آردواز.
- ۶ - انتقال آسیاب ضایعات به مکانی دورتر از سالن غذاخوری و سایر واحدهای تولیدی و غیر تولیدی و محصور سازی کامل عملیات آن در محوطه بسته.

- ۷ - استفاده از مکنده های قوی برای جمع آوری الیاف و غبارگیریهای کیسه ای برای جداسازی آلاینده از هوا.
- ۸ - رعایت خانه داری صنعتی درحد مطلوب و استفاده از مکنده های صنعتی (جاروبرقی) برای تمیز کردن ضایعات از کف کارگاهها و انتقال ضایعات در وسایل در بسته به بیرون از کارگاهها.
- ۹ - آموزش صحیح افراد در کار با دستگاهها و آگاهی دادن به آنها در مورد خطرات واقعی ناشی از تماس با آزبست.
- ۱۰ - کاهش شیفت کار روزانه در منابع انتشار آلاینده.
- ۱۱ - آب پاشی محوطه کارخانه به طور دائم.

منابع:

- ۱ - خردپیر، ش؛ بررسی آلودگی آب از نقطه نظر الیاف آزبست و جنبه های بهداشتی ناشی از آشامیدن آن، ۱۳۷۴ فصلنامه محیط زیست، جلد هفتم، شماره دوم.
- ۲ - خردپیر، ش؛ «بررسی پراکندگی و غلظت الیاف پنبه نسوز و اثرات بیماری زای آن در کارخانه در تهران»، ۱۳۷۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- ۳ - مرجع شماره ۲، ص ۷۵-۵۹.
- ۴ - مرجع شماره ۲، ص ۹۶-۹۴.
- ۵ - مرجع شماره ۲، ص ۱۰۸-۱۰۹.
- 6 - AIA Standards. 1988. AIA, Lond., U. K., RTM 1., pp.1-21.
- 7 - American Conference for Governmental Industrial Hygienists TLVs, "Threshold Limit Values for Chemical

یادداشتها:

- 1 - Asbestos
- 2 -Serpentine
- 3 - Amphibloie
- 4 - Chrysotile
- 5 - Chrocidolite
- 6 - Amosite
- 7 - Airborne
- 8 - World Health Organization (WHO)

- Substances, Physical Agents and Biological Exposure Indices", 1991-1992, ACGIH, U.S.A.
- 8 - Annual Book of ASTM Standards, 1990. Vol. 11.03, ASTM, U.S.A., pp. 503-518.
- 9 - Annual Book of ASTM Standards. 1990. Vol. 11.03, ASTM, U.S.A.
- 10 - Biennial Report. 1986 - 1987. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- 11 - Chatfield, E. J. 1984. Fiber Definition in Occupational and Environmental Asbestos Measurements, ASTM, STP, 834.
- 12 - Cossette, M. 1984. Defining Asbestos Particulates for Monitoring Purposes. ASTM, STP, 834.
- 13 - Delaine, J. 1988. Asbestos Removal Management and Control, Gower Pub. Co. Ltd., U. K.
- 14 - NIOSH, Manual of Analytical Method. 1987. 3rd ed., NIOSH, U.S.A.
- 15 - World Health Organization. 1989. Occupational Exposure Limit for Asbestos, WHO/OCH, Annex 1,2.
- 16 - WHO. 1986. Asbestos and other Natural Mineral Fibers. WHO, Geneva, Sw., Criteria No. 53.
- 17 - Wylie, A. G. 1984. Membrane Filter Method for Estimating Asbestos Fiber Exposure, ASTM, STP, 834.



Abstract**Evaluation of Asbestos Fiber Concentration in Worker's Breathing Zone and Atmosphere of an Industrial Environment**

Shohreh Kheradpir* (MSc.)

Fathollah Moztarzahed** (Ph.D)

Mansour Ghiaseddin*** (Ph.D)

Occupational exposure to hazardous asbestos fibers on the basis of American Society for Testing and Materials criterion (length > 5mm, diameter < 3 μ m and length/diameter \geq 5:1) were monitored in an asbestos - cement factory for the first time in the country. By evaluating personal (from worker's breathing zone) and environmental samples (from plant's atmosphere) asbestiform fibers were counted and calculated as fiber/ml (f/ml) by Phase Contrast Optical Microscope. On the basis of 8-h time weighted average or its equivalent, average fiber levels and range of concentrations in each unit of workshops as well as, environmental concentrations were determined. The results indicated that 83.3% of workers are exposed to levels exceeding the Threshold Limit Value (TLV=0.2 f/ml) and all the studied workshops were considered as fiber emission sources (5-13 times the TLV). Test statistic on mean with 95% Confidence showed no significant difference between two finishing workshops, long and short pipes ($\alpha=0.05$, $t_{0.975,9}$). In addition, 8-h daily shift duration exposures on average are less than half of that observed in the 12-h shift. Test statistic with 95% confidence showed significant difference between mean exposure of daily shift durations ($\alpha=0.05$, $t_{0.95,17}$).

Key Words:

Asbestos, Air Pollution, Asbestos - Cement, Hazardous, Asbestos Fibers, Length per Diameter Ratio (L/D), Breathing Zone, Threshold Limit Value, Work Shift.

* - Energy Department, Materials and Energy Research Centre, P.O. Box 14155-4777, Tehran.

** - Ceramic Department, Materials and Energy Research Centre.

*** - School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences.