غبار پنبهٔ نسوز

پال هولت ●

چکیده

پنبهٔ نسوز یا پنبهٔ کوهی ازهزاران سال پیش به‌عنوان یك مادهٔ سودمند شناخته شده است. این ترکیب درمصنوعات سفالی عصرحجریافت شده، و حدود ۲ تا ۳ هزار سال پیش درساخت فتیلهٔ چراغ و بافت پارچه به‌کارمی‌رفت. بعداً یعنی درقرن نوزدهم، پنبهٔ نسوز به عنوان یك مادهٔ اولیهٔ مهم صنعتی مورد توجه قرارگرفت. اخیراً این ترکیب درساخت منسوجات، مواد پرکنندهٔ رنگ، مصالح پوششی سقفها و عایق‌بندی ساختمان به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرارمی‌گیرد. پنبهٔ نسوز علی‌رغم کاربرد وسیعی‌که دارد، به‌دلیل خطرهایی‌که ذرات آن برای بهداشت و سلامت جامعه در بردارد، اخیراً درکشورهای صنعتی به‌شدت زیرکنترل قرارگرفته است. در این مقاله سعی براین است‌که ماهیت زیانبار این ترکیب مورد بررسی قرارگیرد.

واژهٔ پنبهٔ نسوز به برخی از سیلیکاتهای معدنی لیفی طبیعی، اطلاق می‌گردد. اگرچه انواع متعددی از این مادهٔ معدنی وجود دارد، ولی فقط چهاریا پنج نوع‌آن از نظر صنعتی حائزاهمیت‌اند. این ترکیبات از نظر کانی‌شناسی به دوگروه سرپنتین[1] و آمفیبول[2] تقسیم می‌شوند.

● کریسوتیل[3] که تنها پنبهٔ نسوز سرپنتینی است یکی از مهمترین نوع‌آنها به شمار می‌رود. برای نمونه جهت پی‌بردن به‌اهمیت‌آن کافی است بدانیم‌که درسال ۱۹۷۵ حدود ۱۲۰ هزار تن ازاین ترکیب به‌انگلیس وارد شد. کریسوتیل‌یك‌منیزیم‌سیلیکات آبدار به‌فرمول تقریبی $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ است (ترکیب نمونه‌های پنبهٔ نسوزبه‌دست‌آمده ازمنابع مختلف ممکن است اندکی بایکدیگر تفاوت داشته باشند). این ترکیب دارای الیافی طویل، سفید و انعطاف‌پذیر بوده و تنها پنبهٔ نسوزی است که به‌راحتی قابل ریسندگی و تبدیل به‌پارچه است.

● کروسیدولیت[4] یك پنبهٔ نسوزآبی رنگ با فرمول تقریبی $Na_2O.Fe_2O_3.3FeO.8SiO_2.H_2O$؛ استودرساختارآن Fe(II) و Fe(III) وجود دارد. الیاف کروسیدولیت قوی ولی شکننده بوده وچون نسبت به اکثر مواد شیمیایی مقاوم‌اند از آنها در ساختن صافی برای اسیدها و بازهای قوی استفاده می‌شود.

● آموزیت[1]، که اغلب به‌آن پنبهٔ‌نسوزقهوه‌ای گفته می‌شود، دارای فرمول تقریبی $3MgO.11FeO.16SiO_2.H_2O$ است. این ترکیب نیزالیاف طویل و بسیارمحکمی دارد.

● انواع دیگرپنبهٔ نسوز مثل آنتوفیلیت[2] (یك نوع منیزیم سیلیکات) و ترمولیت[3] (نوعی سیلیکات مضاعف منیزیم و کلسیم) از اهمیت صنعتی کمتری برخوردارند. ترمولیت به صورت یك ناخالصی متداول (به‌میزان صفرتا پنج درصد) درترکیب کریسوتیل وجود دارد.

سیلیکاتهای لیفی طبیعی بسیارزیادی وجود دارندکه زیرعنوان پنبهٔ نسوز طبقه‌بندی نمی‌شوند. بیش‌از ۱۰۰ نوع ازاین سیلیکاتها گزارش شده‌اند. یك نوع از این ترکیبات، اریونیت[4] (نوعی زئولیت) است. این ترکیبات سیلیکاتهای آبدار آلومینیم، فلزات قلیایی و فلزات قلیایی خاکی هستند. ساختار آنها را می‌توان با حذف و جانشینی کاتیونهایشان تغییر داد. اریونیت به صورت دسته‌های بلورهای شعاعی‌ویا الیاف نازك پشم مانند وجود داشته و دارای ساختاری ایده‌آل است.

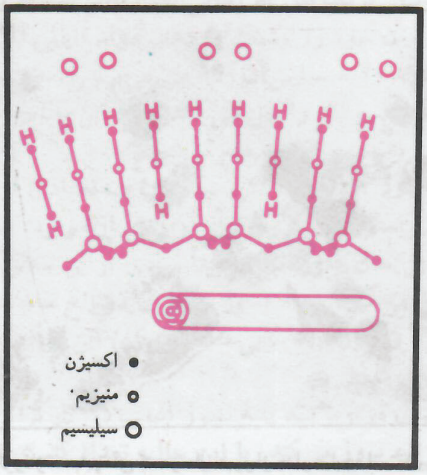
$$[(Na_2,K_2,Ca,Mg)_{4.5}Al_9Si_{27}O_{72}.27H_2O]$$

پنبهٔ نسوزسیلیکاتهایی متشکل ازچندلایه است ولی ترتیب قرار گرفتن لایه‌ها درسرپنتین کریسوتیل باآمفیبول کاملا متفاوت است. بلورهای کریسوتیل ازلایه‌های متناوب بروسیت[5] $(Mg(OH)_2)$ و سیلیس ساخته شده است. واحدهای بروسیت درمقایسه با واحدهای سیلیس ازیکدیگر فاصلهٔ بیشتری دارند؛ بنابراین، این دو لایه فقط درصورتی با یکدیگر مطابقت دارندکه شبکهٔ بلوری، اندکی انحنا پیداکند. این موضوع سبب استوانه‌ای شکل شدن بلورهای کریسوتیل می‌گردد (شکل ۱). اگر شعاع انحنا خیلی بزرگ و یا خیلی کوچك باشد، نحوهٔ جفت شدن لایه‌ها تغییرمی‌کند. حاصل چنین تغییری، یك استوانهٔ توخالی‌ویا پرشده ازیك مادهٔ بی‌ریخت شبیه سرپنتین است. ضخامت دیوارهٔ این استوانه به اندازهٔ ۱۰ لایهٔ شبکهٔ بلوری است ولیفچهٔ کریسوتیل که معمولا قطری معادل ۰٫۰۲۵ μm دارد، قادراست دارای‌قطری درحدود ۰٫۰۱ μm باشد.

● پال هولت، استاد بازنشسته بخش شیمی دانشگاه ریدینگ می‌باشد.این دانشگاه در وایت نایتس انگلیس واقع شده است.

1. Serpentine 2. Amphibole 3. Chrysotile 4. Crocidolite

1. Amosite 2. Anthophyllite 3. Tremolite
4. Erionite 5. Brucite



شکل ۱. ساختار کریسوتیل. لایه‌ها در جهت انحنا پیوستگی دارند و عمود بر سطح برش‌اند. محور لیف نیز عمود بر سطح برش است.

الیاف کریسوتیل از تجمع این لیفچه‌ها به‌صورت موازی تشکیل می‌شود.

آمفیبول بـه صورت الیاف است، چون شبکهٔ بلوری آنهـا درجهت‌دوبعدی(سطح) به‌مراتب‌آسانتر ازبعد سوم(حجم) می‌شکند و لیفچه‌های آن ضخیمتر از لیفچه‌های کریسوتیل است.

ضخامت لیفچهٔ کروسیدولیت درحدود۰٫۰۸μm ولیفچهٔ‌آموزیت حدود ۱μm٫۰ است. یك میکروسکوپ نوری با فازمعکوس قادر به‌تشخیص ذراتـی درحدود ۳μm٫۰ است، بنابرایـن لیفچه‌های بعضی از الیاف پنبهٔ نسوز کوچکتر از آن است‌که بتوان آنها را با این نوع میکروسکوپ تشخیص داد. انواعی از این لیفچه‌ها حتی از این مقدار نیزکوچکتربوده وفقط به‌وسیلهٔ میکروسکوپهای الکترونی خاصی قابل رؤیت است. خطرناکترین ذرات پنبهٔ نسوز انواع ریز و غیرقابل رؤیت‌آنها می‌باشد.

غبارپنبهٔ نسوز

پنبهٔ نسوزعلاوه بردیگرموارد استفادهٔ‌آن، درمصالح ساختمانی، از جمله نوعی سیمان نیزبه‌کار می‌رود. درسال ۱۹۷۶ حدود ۵۷۴۰۰ تن پنبهٔ نسوز صرفاً به‌همین منظور در انگلیس مورد استفاده قرار گرفت. علی‌رغم کاربرد وسیع این ترکیب، موضوع کنترل آن در هوا (آلودگی هوا به وسیلهٔ غبار پنبهٔ نسوز) اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. دربعضی ازمقالات‌وگزارشها به‌جملاتی برخورد می‌کنیم‌که نشان دهندهٔ شدت آلودگی هوا به‌وسیلهٔ غبارپنبهٔ‌نسوز است. این مقالات حاوی مطالبی به‌شرح زیراست: «هوا به قدری آلوده بود که اشیاء از فاصلهٔ ۵ ، ۶ متری قابل تشخیص نبودند» (دربازدید ازیك آسیاب پنبهٔ‌نسوز درآفریقای جنوبی)؛ ویا «گاهی درکارخانه رؤیت ماشین‌آلات ردیف دیگر امکان‌پذیرنبود و یا قادر به دیـدن همکاران خود از آن فـاصله نبودیم» (در یـك کارخانهٔ منسوجات درآمریکا درسال ۱۹۳۶)؛ دریك کارگاه فرانسوی برای بـافت پنبهٔ نسوز، غلظت غبار حـدود ۲۲۵۰ تـا ۴۰۰۰ ذره در سانتی‌متر مکعب گزارش شده است.

تا قبل از سال ۱۹۰۰ گزارشی مبنی برمرگ دراثرتنفس غبار پنبهٔ نسوزاعلام نشده است. نخستین گزارش موجود درسال ۱۹۰۰ مربوط به‌مرگ یك کارگر ۳۳ ساله درانگلیس‌است. قبلاً نیز ۱۰ نفر ازهمکاران این شخص که درقسمت بسته‌بندی پنبهٔ نسوز کار می‌کرده‌اند، و سن آنها درحدود ۳۰ سال بود، فوت کرده بودند. با توجه به این موارد، رشد سریعی در افـزایش مرگ و میرهای مربوط به‌تنفس غبار پنبهٔ نسوز مشاهده می‌گردد و احتمال می‌رود که این‌سیرصعودی دست‌کم تا اواخرقرن حاضر فزونی یابد. برآورد شده است کـه درانـگلیس بین سالهای ۱۹۸۰ تـا ۲۰۱۰ حـدود ۵۰۰۰۰ نفر براثرتنفس غبارپنبهٔ نسوز درمعرض خطرمرگ قرار می‌گیرند واین تعداد درآمریکا دست‌کم تاسال ۲۰۰۰ رقمی معادل ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ نفردرسال خواهد بود. درفاصلهٔ زمانی نخستین تماس با غبار پنبهٔ نسوز و بروز بیماری، معمولا یك دورهٔ کمون نسبتاً طولانی وجود دارد که به‌ندرت کمتراز ۲۰ سال‌است (اغلب بیش از۲۰ سال طول می‌کشد). اگرچه پنبهٔ نسوزبه‌طورگسترده‌ای درصنعت مورد استفاده قرارمی‌گیرد، بیماریهای مربوط به‌آن، در افرادی‌که دراین صنایع شاغل نیستند وبا پنبهٔ نسوز سروکارندارند نیزمشاهده می‌گردد.

بیماری مربوط به‌پنبهٔ‌نسوز (آسبستوزیس) نخستین‌باردرارتباط با تنفس غبارپنبهٔ نسوزمشاهده شد . این بیماری نوعی فیبروز ریه است‌که درآن بافت اصلی بـه‌وسیلهٔ‌کلاژن (نوعی بافت پیوندی) جایگزین می‌گردد. در نخستین گزارشهای موجود، پزشك معالج بدون هیچ توضیح اضافی ذکر کرده است که بیمار ازنوعی سرطان ریه رنج می‌برد. ریچارد دال در سال ۱۹۵۵ بـر اساس اطلاعات حاصل از ۱۰۵ مورد مرگ و میر در کارگران صنایع پنبهٔ نسوز، ارتباط بین تنفس غبارپنبهٔ نسوز و سرطان ریه را به روشنی نشان داد. مطالعات وی ثابت‌کردکه به‌طورمتوسط این‌کارگران ۱۰ بار بیش از سایر افراد جامعه در معرض خطر ابتلا به‌سرطان ریه قرار دارند.

سیستم دفع غبار

ذرات غباری‌که تمام بخشهای بافت پوششی ریه بجز نایژکها را می‌پوشاند به سرعت توسط ریه دفع می‌شود. سلولهای پوششی نایژه‌ها و نایژکهای بزرگتر در سطوح خود دارای پرزهای شلاق مانندی (که به آنها سیلیا گفته می‌شود) هستند که ذرات غبار را به‌طرف بالا یعنی به‌سمت نای می‌رانندکه ازآنجا دراثرسرفه‌کردن دفع می‌شود. تعداد معدودی از ذرات غبار که قطری‌کمترازμm۴ دارند درمجاری تنفسی بزرگترمستقرمی‌شوند. این ذرات به قدری کوچك‌اند که توسط جریان هوا به‌خارج رانده نمی‌شوند و از این لحاظ مشابه ذرات گازعمل می‌کنند. این ذرات آن قدر کوچك‌اند که می‌توانند از بـاریکترین مجاری هوایی (یعنی نایژکها) عبور کرده واردکیسه‌های هوایی شوند. درنایژکهای کوچك وکیسه‌های هوایی، تاژك دفع غبار وجود ندارد.

یك ذرهٔ لیفی بـه‌طورطولی درمجاری تنفسی حرکت می‌کند و قابلیت نفوذ آن به درون کیسه‌های هوایی به ضخامت‌آن بستگی دارد. یك رشته به‌طول ۱۰μm یا بیشتردرصورتی‌که ضخامت آن

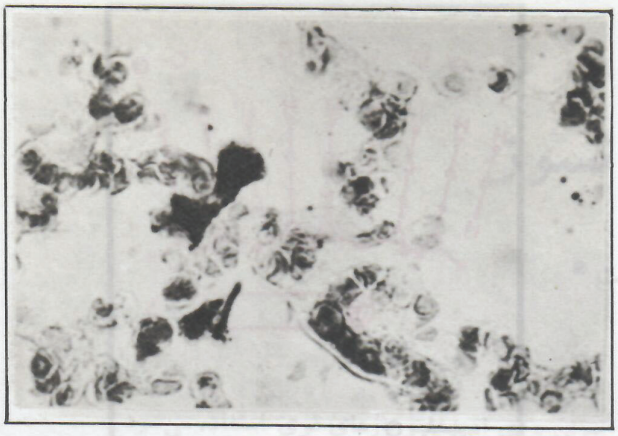
از ۴μm کمترباشد، می‌تواند خود را به کیسه‌های هوایی برساند. این ذرات پنبهٔ نسوزنوع خطرناك آن می‌باشد و مکانیسم خاصی جهت دفع آنها از کیسهٔ هوایی وجود دارد. ماکروفاژها سلولهای سرگردانی هستندکه در ریـه همانند یك رفتگرعمل می‌کنند. این سلولها قادرندکه هرذرهٔ خارجی و یا باکتری را، که با آن مواجه می‌شوند، ببلعند (شکل ۲). هرماکروفاژ قادر به‌بلعیدن صدها ذرهٔ غبار و الیاف طویـل بسیار نـازك است. عکسهای میکروسکوپی منتشر شده ، رشته‌های به طول ۱۰۰μm را درون ماکروفاژ نشان می‌دهند. این سلولها به‌ناحیه‌ای در نزدیکی قاعدهٔ ریه وارد شده و به سمت خارج و لبهٔ آن حرکت می‌کنند. آنها قادرند از دیوارهٔ کیسهٔ هوایی (شکل ۳)، جدار برونشهای بزرگ، دیوارهٔ عروق خونی و پردهٔ جنب عبورکنند.

اگریك ماکروفـاژ حامل غبار از دیـوارهٔ نایژك عبورکند، به تاژکها رسیده و در اثر سرفه کردن به‌سمت خارج رانده می‌شود. چنانچه ماکروفاژ از دیوارهٔ عروق خونی عبورنماید، وارد جریان خون شده و به‌اعضای دیگربدن می‌رود. این امکان وجود داردکه ماکروفاژ به درون جنب راه یابد که دراین صورت تغییرمکان آن سبب انتشارغبارمی‌گردد. دراین صورت ذرات غبارتنفس شده قادر به‌ایجاد ضایعه درقسمتهای‌دیگری ازبدن خواهدبود. مثلاً فیبروز درکبد و طحال کارگرانی‌که بـا سیلیکات کار می‌کنند نیز مشاهده می‌شود. همچنین ممکن است‌که ابتلای به‌سرطان مثانه درکارگرانی که با مواد شیمیایی مشتق ازبنزیدین و نفتیل‌آمین سروکار دارند، بـه دلیل تنفس ذرات متصاعد شدهٔ حاصل از تقطیر بـازهای این ترکیبات در زمان تخلیص آنها باشد. بـررسیهای همه گیرشناسی نشان داده است کارگرانی‌که با پنبه نسوزکارمی‌کنند، در مقایسه با کل جامعه، بیشتر در معرض ابتلای بـه سرطان روده و معده، مجاری صفراوی‌وکلیه قرارمی‌گیرند؛ همچنین مزوتلیوما (نوعی سرطان ریه) تقریباً همیشه در اثر تنفس غبار پنبهٔ نسوز به وجود می‌آید.

مزوتلیوما

اگرغلظت غبارپنبهٔ نسوز تنفس شده زیاد باشد، بیماریهای ریوی مشخص می‌شوند. درصورت‌کم بودن غلظت غبار، بخش عمده‌ای

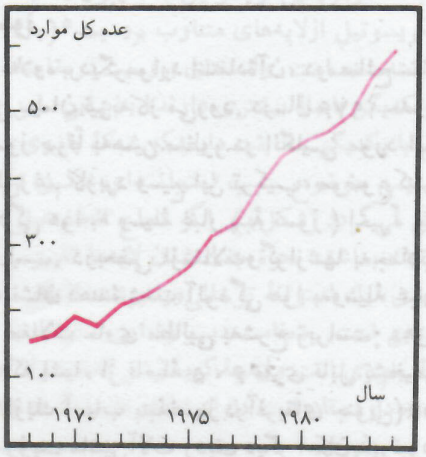
شکل ۲. ماکروفاژ حبابچه‌ای که ذرات غبار از جمله الیاف پنبهٔ کوهی را بلعیده است (برشی از ریه خوك هندی که ۵۰۰ بار بزرگ شده است).



شکل ۳. ماکروفاژ حبابچه‌ای که در حال عبور از جدار حبابچه است (برشی از ریه خوك هندی که ۷۰۰ بار بزرگ شده است).

ازآن از ریه دفع شده وقسمتی ازآن به‌پردهٔ جنب منتقل می‌گردد و بدین ترتیب زمینه‌ای جهت ایجاد مزوتلیوما به‌وجود می‌آید. دربسیاری ازموارد، مزوتلیوما با فیبروزی شدن بخش ناچیزی از ریه همراه است ومنجربه‌سرطان ریه نمی‌شود. چون امروزه مقدار پنبهٔ نسوزموجود درهوای کارخانه‌ها بیشتر و بیشترکنترل می‌شود، مزوتلیوما بیماری متداولتری شده است . قبلاً این بیماری بسیار نادربود ولی اخیراً ازیك روند افزایشی سالانه برخوردار شده است (شکل ۴). به دلیل فاصلهٔ زمانی‌طولانی‌بین‌نخستین تماس با غبار پنبهٔ نسوزوتشخیص مزوتلیوما،اکثر مرگ ومیرهای ناشی از این بیماری در سنین بالای ۴۵ سال به‌وقوع می‌پیوندد. چنانچه مرگ درسنین زیر ۲۴ سال اتفاق افتد، مبین آن است‌که بیمار در زمان کودکی درمعرض‌آلودگی به پنبهٔ نسوز قرارگرفته است.

کریسوتیل، کـروسیدولیت و آموزیت هرسه قادر بـه ایجاد مزوتلیوما هستند؛ ولی ظاهراً کریسوتیل‌کمتر در این امر شرکت می‌کند. این موضوع به دلیل واکنش‌پذیـری شیمیایی زیاد ایـن



شکل ۴. تعداد مرگ ناشی از مزوتلیوما در انگلیس، اسکاتلند و ویلز ۸۴ ـ ۱۹۶۷. به طوری که ملاحظه می‌شود پس از یك دورهٔ ۱۷ ساله تعداد مرگ ناشی از مزوتلیوما چهار برابر شده است.

ترکیب است. کریسوتیل به آسانی تحت تأثیر اسیدها قرار گرفته و لایهٔ بروسیت خود را ازدست می‌دهد. مواد قلیایی اثر کمتری بر روی‌آن دارند ولایهٔ سیلیس‌آن را ازبین می‌برند. بعضی ازترکیبات کی‌لیت ساز کریسوتیل را حل می کنند. بنابراین چنانچه کریسوتیل تنفس شود، به‌تدریج از ریه دفع می‌شود.

اخیراً ورود آموزیت و کروسیدولیت بـه‌تعدادی ازکشورهای صنعتی و نیزاستفاده از کریسوتیل دربرخی از موارد، ممنوع شده است. با این حال هنوزمقادیرنسبتاً زیادی ازاین سه‌ترکیب مورد استفاده قرارمی گیرد. پنبهٔ نسوز به‌عنوان مصالح ساختمانی کاربرد وسیعی دارد و هنوزضایعات بی‌حفاظ (روباز) این ترکیب درگوشه و کناریافت می‌شود.

بیماریهای مربوط بـه پنبهٔ نسوز اغلب در کارگرانی‌که با آن سروکاردارند، بروز می کند. با این حال، تعداد کثیری از بیماران مبتلا به‌مزوتلیوما دراثر تنفس غباراین ترکیب به‌طورغیرمستقیم به‌این عارضه دچار شده‌اند. چنین افـرادی اغلب درمجاورت یك کارگرآلوده به‌پنبهٔ نسوز زندگی و یا کار می کرده‌اند. آلودگی از راههای دیـگر نیز امکان دارد. در افـریقای جنوبی میزان وقوع مزوتلیوما درکل جامعه درمناطقی‌که کروسیدولیت یافت می‌شود، درمقایسه با نقاطی‌که فاقد این ترکیب هستند بالاتراست.

دربعضی از روستاهای‌ترکیه و یونان، میزان وقوع مرگ‌ومیر دراثرابتلا به‌مزوتلیوما زیاد است. دلیل این امر وجود ترمولیت درخاك این‌نواحی است‌که گاهی اوقات ازآن به‌عنوان یك‌مادهٔ‌سفید کننده جهت شستشو ویا پودربچه استفاده می‌شود. البته درترکیه روستاهای دیگری نیز وجود دارندکه در آنها علی‌رغم بالا بودن میزان وقوع مزوتلیوما، خاك حاوی مقادیر نسبتاًکمی پنبهٔ‌نسوز است. دراین نواحی اریونیت موجود درخاك، مادهٔ مشکوك جهت ایجاد بیماری محسوب می گردد. در بعضی از این روستاها میزان وقوع مزوتلیوما حتی از روستاهایی کـه در آنها ترمولیت وجود دارد نیزبیشتر است. آزمایشهای انجام شده برروی گروههایی از حیوانات نشان داده است‌که اریونیت بیشتراز کروسیدولیت سبب ایجاد مزوتلیوما می‌شود. دریکی ازاین آزمایشها از۲۴ موشی‌که غبار اریونیت تنفس کـرده بودند ، ۲۳ موش به مزوتلیوما مبتلا شدند.

دلیل اینکه چرا پنبهٔ نسوز ایجاد بیماریهای فیبروز و سرطان می‌کند هنوز مشخص نشده است. گمان می‌رود کـه بیماریزایی مربوط به نوع الیافی آن باشد، ولی تنفس بعضی از الیاف بسیار نازك قادر به ایجاد اثر مشابه پنبهٔ نسوز نیست. مثلا، هیچ‌گونه دلیل همه‌گیرشناسی وجود نداردکه نشان دهد الیاف شیشه قادربه ایجاد فیبروز، سرطان ریه و یا مزوتلیوما هستند. البته گزارشی مبنی برایجاد مزوتلیوما دراثر تزریق نوعی کروسیدولیت غیرلیفی به‌موش وجود دارد.

مطالب موجود در مورد خصوصیات پنبهٔ نسوز و سایر غبارها در ریه، بر روی اهمیت اندازهٔ ذره تأکید می‌کنند. اگر قطر ذرهٔ غباربیش از ۴μm باشد به‌سرعت از ریه دفع می‌شود، درحالی‌که اگر ذره‌کوچکترباشد، به‌مراتب‌کندتر دفع می‌شود. دراین صورت ممکن است این ذره پس از ورود به‌سلول به‌نقاطی از بدن که در خارج‌ریه‌قراردارند،منتقل‌شود.ذراتی که‌دارای‌ابعادکمترازمیکرون هستند، خطرناکترین نوع‌آنها محسوب می‌شوند. این ذرات براثر تبخیر قطرات ریز افشانهٔ محلولها و یـا سوسپانسیونها به وجود می‌آیند. متأسفانه تشخیص چنین ذراتی بسیارمشکل است.

ترجمهٔ محمداسماعیل فکری‌نژاد

• Asbestos dust
Paul Holt
Chemistry in Britain, September 1988

اثر ارتعاشات فراصوتی برای تهیهٔ اتر خشك و تتراهیدروفوران خشك

در آزمایشگاههای شیمی از اتـر خشك و تتراهیدروفوران (THF) خشك بـه‌طور روزمره استفاده می‌شود. معمولاً آنها رادرست قبل‌از مصرف، از طریق تقطیر حلالهـای نسبتاً خشك درمجاورت سدیـم فلزی وباکمك بنزوفنول‌کتیل به‌عنوان شناساگر تهیه می کنند. معمولاً پس از بازروانی طولانی در مجاورت قطعات بریده، شدهٔ سدیم و بنزوفنون، رنگ‌آبی- بنفش‌که نشانگرحلال خشك‌است حاصل می گردد. ماپی‌برده‌ایم به‌اینکه تحت اثرارتعاشات صوتی‌حاصل‌از یك حمام تمیزکننده فراصوتی معمولی (Dawe Sonicator کـه در ۵۰ kHz کارمی‌کند) ظهور رنگ‌آبی- بنفش بـا مصرف حداقل تکه‌های سدیم درکمتر از ۵ دقیقه صورت می گیرد. (کمتر از ۵۰ mg در ۱۰۰ ml اتر که یك بار در مجاورت $CaCl_2$ بدون آب تقطیر شده است). به‌این ترتیب حلال خشك‌را می‌توان مستقیماً به‌درون بالن واکنش‌که قبلاً درحمام روغن گرم‌قرارداده شده‌است، تقطیرکرد. امیدواریم این‌گونه کاربرد فراصوتی برای تهیه حلالهای‌خشك نظیر اتر و THF استفادهٔ روزمره یابد.

ترجمهٔ ثریا میرمحمدصادقی

• *Journal of Chemical Education*, October 1988