

مطالعه‌ی نقش آزبست در کامپوزیت‌های سیمانی، معضلات زیست محیطی و بررسی جایگزین‌های آن

محمد سعید صفدری*، علی اله وردی**

*دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

**دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز تحقیقات سیمان

چکیده

پیشینه‌ی استفاده از آزبست در زندگی بشر به بیش از 4500 سال قبل بر می‌گردد. الیاف آزبست در انواع گوناگونی از کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. طی دوره‌ی اوج مصرف آزبست در کشورهای صنعتی، حدود 3000 کاربرد فهرست شده بودند. به دلیل محدودیت‌های اخیر بر اثر معضلات زیست محیطی آزبست، و تغییرات بازار مصرف، بیشتر این کاربردها کنار گذاشته شده و باقی آن‌ها نیز تحت مقررات بسیار سخت قرار دارند. یکی از کاربردهای گسترده‌ی الیاف آزبست قوام بخشی به کامپوزیت‌های سیمانی است. اگر چه الیاف جایگزینی برای الیاف آزبست در صنایع سیمان شناسایی شده‌اند ولی این الیاف به دلیل ویژگی‌های خاصشان همچنان در صنایع سیمان بسیار کاربرد دارند. در این مطالعه علاوه بر بررسی مشخصات الیاف آزبستی، نقش این الیاف در صنعت سیمان، معضلات زیست محیطی این الیاف و همچنین جایگزین‌های شناخته شده‌ی آن‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند.

1) مقدمه

آزبست یا آزبستوز کلمه‌ای است با ریشه‌ی یونانی به معنای خاموش نشدنی و فناپذیر، که به گروهی از سیلیکات‌های معدنی (از جمله سیلیکات‌های آهن و منگنز) با ترکیبات پیچیده به صورت الیافی و کریستالی اطلاق می‌گردد [1و2]. الیاف آزبست از سالیان بسیار دور مورد استفاده‌ی بشر قرار می‌گرفته‌اند. این الیاف به دو گروه کانی سرپانتین‌ها¹ و آمفیبول‌ها² تعلق دارند. گروه سرپانتین تنها یک نوع کانی آزبست مانند را شامل می‌شود که کریزوتایل³ نام دارد. پنج کانی آزبست مانند دیگر آنتوفیلیت⁴، گرونریت (آموزیت)⁵، ریبیکیت

¹-Serpentine

²-Amphibole

³-Chrysotile

(کروسیدولیت)^۶، تریمولیت^۷ و آکتینولیت^۸، متعلق به گروه آمفیبول هستند [3و4]. از ویژگی‌های اصلی الیاف آزبست که استفاده از آن‌ها را در صنایع بسیار متداول گردانده است، می‌توان به عایق رطوبتی، حرارتی و الکتریکی، اشتعال ناپذیری، قوام بخشی به ماتریس‌ها (سیمان، پلاستیک و رزین‌ها)، ویژگی‌های اصطکاکی (مواد اصطکاک‌زا) و پوششی، و خنثی بودن شیمیایی (به جز در اسیدها) آن‌ها اشاره کرد [5]. ویژگی‌های قوام بخشی الیاف آزبست در صنایع تولید محصولات سیمان-آزبست که در ساخت و ساز و صنایع آب فعال هستند، بسیار مورد توجه است. محصولات سیمان-آزبست مانند تخته، لوله و ورق نماینده بیشترین مصرف صنعتی آزبست در سال 1988 بوده اند و 80٪ بازار مصرف آزبست را شامل می‌شدند. با تغییر بازار و گذشت بیش از دو دهه، امروزه محصولات سیمان-آزبست حدود 98٪ بازار فروش الیاف آزبست را در بر می‌گیرند [6]. در کشورهای در حال توسعه، به طور گسترده‌ای از لوله‌های سیمان-آزبست استفاده می‌شود، بطوریکه 30٪ لوله‌های انتقال آب رسانی شهری در هندوستان را شامل می‌شود. همچنین 19٪ از شبکه آبرسانی کانادا نیز از جنس سیمان-آزبست است. از دیگر محصولات سیمان-آزبست می‌توان به لوله‌های سیمان-آزبستی، ناودانی‌ها و صفحات ایرانیت، که در صنایع گوناگون بکار می‌روند، اشاره کرد [7].

2) ویژگی‌های الیاف آزبست

کانی‌های رشته‌ای آزبست، سیلیکات‌های آبدار هستند، بنابراین رفتار آن‌ها به عنوان تابعی از دما نخست به واکنش‌های آب‌زدا در آن‌ها بستگی دارد. ساختار کریزوتایل تا دمای 550 درجه سانتیگراد پایدار است. رفتار رشته‌های آمفیبول تحت گرم شدن پیوسته مشابه کریزوتایل است، هرچند دماهای آب‌زدایی و تبلور مجدد در آن متفاوت است [8]. رشته‌های آزبست به ویژه کریزوتایل می‌توانند طی خردایش مکانیکی دچار تجزیه‌ی حرارتی شوند. در تجهیزات ساینده پر انرژی مانند آسیای توپی، انرژی‌های برخوردی به شدت متمرکز می‌توانند سبب بی شکل شدن ساختار بلوری شوند [9]. مقاومت کششی ذاتی یک رشته آزبست مجزا، براساس نیروی پیوند Si-O-Si در زنجیره سیلیکات، می‌تواند نزدیک به 10 گیگا پاسکال باشد. با این وجود، رشته‌های آزبست صنعتی مقاومت بسیار کمتری را نشان می‌دهند، زیرا انواع مختلفی از نقص‌های ساختاری و شیمیایی در آن‌ها وجود دارد [10]. مقاومت کششی اندازه گیری شده رشته‌های کریزوتایل در حدود 4/4-1/1 گیگا پاسکال

⁴ -Anthophyllite

⁵ - Amosite

⁶ -Crocidolite

⁷ - Tremolite

⁸ - Actinolite

گزارش شده است [11]. مقاومت کششی آموزیت و کروسیدولیت قابل مقایسه با کریزوتایل است. در مورد آمفیبول‌ها، مقاومت کششی به شدت تحت تاثیر درصد آهن است. روند مشاهده شده‌ی افزایش مقاومت کششی آمفیبول‌ها از ترمولیت به آموزیت و کروسیدولیت به طور مستقیم به درصد آهن رشته‌ها وابسته است [12]. تغییرات مقاومت کششی رشته‌های آزبست به عنوان تابعی از دما همچنین به طور بارزی جدا کننده‌ی کریزوتایل و آمفیبول‌ها از یکدیگر است. کریزوتایل مقاومت کششی خود را تا دمای 500 درجه سانتیگراد حفظ می‌کند تا جایکه واکنش‌های دهیدروکسیله شدن آغاز شود. از طرف دیگر آمفیبول‌ها کاهش مقاومت کششی را از دمای 200 درجه سانتیگراد نشان می‌دهند. برای نمونه در دمای 350 درجه کروسیدولیت 50٪ مقاومت کششی اولیه خود را از دست می‌دهد [11 و 12]. هر چند رشته‌های آزبست را نمی‌توان به عنوان سیلیکات‌های محلول در آب در نظر گرفت، ولی مواجهه طولانی مدت کریزوتایل یا آمفیبول‌ها با آب (به ویژه در دمای بالا) به شسته شدن پیوسته و آرام اجزای سیلیکاته و فلزی آن‌ها منجر می‌شود. در مورد رشته‌های کریزوتایل (در مقدار مشخصی آب)، لایه بروسیت کم و بیش به سرعت به صورت جزئی حل شده و افزایش pH محلول را نیز سبب می‌شود. pH متعادل برای یک مخلوط آبی کریزوتایل به 10/5-10 می‌رسد [10]. کریزوتایل و آمفیبول‌ها، هر دو درجه بالایی از بی اثری شیمیایی را به سمت شرایط قلیایی در دوره‌های طولانی نشان می‌دهند. در دمای بالا، واکنش با بازها (NaOH , KOH , Ca(OH)_2) طی دوره‌های زمانی کوتاه نیز دارای اهمیت هستند. برای نمونه حمله دهیدروکسید پتاسیم به کروسیدولیت در دمای بالای 100 درجه سانتیگراد گزارش شده است [13]. ضریب اصطکاک الیاف کریزوتایل، آمفیبول‌ها و رشته‌های شیشه‌ای به ترتیب کاهش می‌یابند. مقاومت الکتریکی بالای رشته‌های آزبست از ویژگی‌های بارز این الیاف است و از این ویژگی به طور گسترده‌ای در صنایع مرتبط با عایق بندی الکتریکی استفاده می‌شود [14]. همانند سیلیس و بسیاری از کانی‌های سیلیکاته، الیاف آزبست واکنش پذیری شیمیایی قابل توجهی دارند. به ویژه، سطح به شدت قطبی رشته‌های کریزوتایل جذب سطحی (فیزیکی یا شیمیایی) انواع مختلف مواد آلی و غیرآلی را تسریع می‌کنند [11 و 14].

3) کاربرد الیاف آزبست در قوام بخشی به ماتریس‌های سیمانی

الیاف آزبست سال‌هاست که به منظور تولید محصولات سیمان-آزبست استفاده می‌شوند. افزودن الیاف آزبست به سیمان بازار جهانی بزرگی را اشغال کرده است. به عنوان مثال حدود 90 کشور در جهان محصولات سیمان-آزبست مصرفی صنایع ساختمان‌سازی را تولید می‌کنند. سالانه 3/5 میلیون تن آزبست در محصولات صنایع سیمان-آزبست مصرف می‌شود. از دلایل افزودن این الیاف به ماتریس‌های سیمانی می‌توان به افزایش مقاومت

خمشی و کششی، افزایش مقاومت ضربه‌ای، کنترل کردن ترک و شکست و تغییر در خواص رئولوژیکی یا جریان پذیری مواد تازه‌ی افزوده شده به ماتریس اشاره کرد [16 و 15]. در اوایل قرن بیستم، یک مهندس اتریشی به نام لودویک هاچک⁹ از ترکیب الیاف آزبست با سیمان، موفق به اختراع سیمان نسوز شد، که با استقبال جهانی روبرو گشت. سیمان آزبستی نسوز ترکیبی است که برای شکل‌دهی استفاده می‌شود. این نوع سیمان از ترکیب مواد عایق و اتصال دهنده که در برابر شعله و دمای بالا (نظیر محیط کوره، اجاق و مشعل‌ها) مقاوم هستند، تشکیل شده است [17]. از وظایف مهم آزبست در فرآیند هاچک، ایجاد فرم گیرندگی به حالت مرطوب و گیر انداختن ذرات سیمان، انتقال دادن مقاومت‌ها و مشخصات مکانیکی مذکور و ایجاد خواص دیگری مانند دفع شعله می‌باشد. علاوه بر این ویژگی‌ها، محصولات بدست آمده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند. تنها مشکل این محصولات مقاومت ضربه‌ای پایین آن‌ها می‌باشد [12]. از لوله‌های سیمان آزبستی، در خطوط انتقال آب به طور کلی استفاده می‌شود. هزاران مایل لوله‌های سیمان آزبستی در ایالات متحده نصب شده‌اند و تا ۷۰ سال آینده نیز نیازی به جایگزین ندارند [۱۸]. لوله‌های سیمان-آزبست از مخلوط همگن سیمان پرتلند و الیاف آزبست همراه و یا بدون سیلیس ساخته می‌شوند. این مخلوط باید عاری از هرگونه ماده‌ی خارجی که باعث افزایش فرسایش لوله‌ها گردد، باشد. آب مصرفی برای تولید لوله‌ها نباید اسیدی باشد. آب مصرفی با کمی قلیائیت، با pH حدود ۸ تا ۹ مناسب است. همچنین آب مصرفی باید عاری از مواد آلی باشد [۱۲ و ۹]. از لوله‌های سیمان آزبستی در صنایع تخلیه‌ی گاز، توزیع آب و انتقال فاضلاب، مجرای سیم‌های الکتریکی، مجرای تهویه هوای ساختمان‌ها و سیستم‌های گرمایش گازها استفاده می‌شود. لوله‌های سیمان آزبستی با گذشت زمان ممکن است خورده و نرم شده و مقاومت مکانیکی خود را از دست بدهند [۱۸]. همچنین دیوارهای از جنس سیمان-آزبستی برای پوشش بیرونی ساختمان‌های مسکونی و تجاری نیز استفاده می‌شوند. این دیوارها ممکن است به صورت بافته شده، شیاردار و یا همانند توفال‌های چوبی باشند. این دیوارها می‌توانند برای افزایش مقاومت در برابر شعله و حرارت به کار روند و تا زمانی که تخریب نشوند به سلامتی آسیب نمی‌رسانند [۱۲ و ۱۶].

4) معضلات زیست محیطی الیاف آزبست

طبق تعریف سازمان بهداشت جهانی¹⁰، الیاف مضر ذراتی هستند که طول بیش از ۵ میکرومتر، قطر کمتر از ۳ میکرومتر و نسبت طول به قطر بیشتر از ۳ دارند. سازمان بهداشت جهانی این الیاف را الیاف بحرانی معرفی می‌-

⁹ - Hatcheck

¹⁰ - WHO : World Health Organisation

کند [12]. محصولات آزبستی هنگامی که صدمه میبینند یا تخریب میشوند، استنشاق این الیاف می تواند منجر به بیماری های خطرناکی شود که از جمله ی این بیماری ها می توان به بیماری خطرناک سرطان ریه¹¹، مزوتلیوما¹² (که امکان ابتلا به آن، به در معرض آزبست آمفیوبولی قرار گرفتن وابسته است) و آزبستوسیس¹³ (نوعی از بیماری نئوموکونیوسیس¹⁴ که از بیماری های مرتبط با تجمع گرد و غبار در ریه است) اشاره کرد. قرار گرفتن در معرض الیاف آزبستی با غلظت بالا برای مدت طولانی منجر به مخاطره انداختن سلامتی می شود، گرچه الیاف آزبست در هوای محیط اطراف ما به مقدار کمی وجود دارند و در سلامتی اختلالی ایجاد نمی کنند [20]. افراد زیادی در معرض معضلات زیست محیطی ناشی از آزبست قرار دارند. از جمله ی این افراد میتوان به برق کارها، لوله کش ها، کارگرا، سقف سازها، گچ کارها و تخریب کارهای ساختمانی و معادن، نقاش- های ساختمانی و کسانی که در زمینه ی تاسیسات ساختمان ها فعالیت دارند، اشاره کرد [12]. مصرف آزبست از سال های 1980 میلادی در کشورهای صنعتی جهان به شدت کاهش یافته است، در حالیکه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، مصرف آن در حال افزایش است. در ایران مقدار مصرف آزبست، بیش از متوسط جهانی است. در کشورهای صنعتی مصرف آزبست در تولیدات سیمان رقیمی بین 70 تا 75 درصد مصرف کل را تشکیل می دهد، در حالیکه در ایران این مقدار حدود 95 درصد است. بر اساس مصوبه ای که در سال 1379 تصویب گردید، صنایع باید طی 7 سال به تدریج تمامی محصولات آزبستی را حذف می کردند، اما متأسفانه به دلیل عدم توجه دست اندرکاران در سال های اخیر علیرغم سپری شدن بیش از یک دهه، کارخانجات تولید کننده محصولات آزبستی همچنان از این ماده در تولید محصولاتشان استفاده می کنند. به دلیل ممنوعیت استفاده از این ماده در اغلب کشورهای دنیا قیمت آن در بازارهای جهانی رو به کاهش است و این موضوع سبب شده که میزان واردات محصولات آزبستی به کشور روز به روز افزایش یابد [20]. در سال های اخیر به منظور تعیین میزان آزبست هوای شهر تهران، تعدادی نمونه گیری از نقاط مختلف شهر گرفته شد. نتایج نشان دهنده ی میانگین غلظت 0/02 لیف بر میلی لیتر است که این میزان معادل 10 برابر حد مجاز (0/002 لیف بر میلی لیتر) ارایه شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست امریکا¹⁵ و حدود 400 برابر (0/00005 لیف بر میلی لیتر) غلظت آزبست در شهرهای کشورهای اروپایی است [21].

¹¹ - Lung cancer

¹² - Mesothelioma

¹³ - Asbestosis

¹⁴ - Pneumoconiosis

¹⁵ - Environmental Protection Agency (EPA)

5) الیاف جایگزین شناخته شده

اساساً در جایگزینی آزیست با دیگر مواد یا کانی‌های رشته‌ای باید به سه مشخصه‌ی عملی بودن جایگزینی از نظر فنی، کسب ایمنی با محصولات فاقد آزیست در مقایسه با محصولات آزیست‌دار و دسترسی به ماده جایگزین و همچنین در نظر گرفتن هزینه‌ها توجه کرد [8]. در برخی کاربردها به ویژه آن‌هایی که بر چندین ویژگی خاص رشته‌های آزیست استوار هستند، جایگزینی یک چالش مهم به شمار می‌آید. برای نمونه در کامپوزیت‌های سیمان، رشته‌ها باید مقاومت کششی بالا، توزیع خوب در سیمان پورتلند، و مقاومت بالا در محیط قلیایی داشته باشند. در چنین کاربردهایی، جایگزینی رشته‌های آزیست نیازمند مخلوطی از چند ماده است [9]. در دهه‌های اخیر جایگزین‌های فراوانی برای آزیست در صنایع مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن‌ها می‌توان به الیاف معدنی سنتز شده، شامل الیاف شیشه‌ای، معدنی و الیاف نسوز، الیاف مصنوعی¹⁶ که شامل الیاف آلی مصنوعی، الیاف کربنی و الیاف استیل باشند و الیاف طبیعی¹⁷ که الیاف طبیعی آلی و یکسری مواد معدنی صنعتی را در بر می‌گیرند اشاره کرد [10]. تقویت سیمان با رشته‌های شیشه‌ای مقاوم در برابر قلیایی‌ها، بیشتر در انگلستان صورت گرفته است که از سیمان پرتلند معمولی و پُرکننده‌های آلی همراه با الیاف شیشه‌ای استفاده شده است. در هلند الیاف شیشه‌ای، همراه با پلیمرهایی که سبب مقاومت الیاف در محیط قلیایی می‌شوند، استفاده شده است که به آن فرآیند تقویت سیمان با الیاف شیشه‌ای پلیمری می‌گویند. البته کاربردهای عملی الیاف شیشه‌ای به عنوان جایگزین آزیست در فرآیندهای ورق‌سازی مشابه هاجک، به خاطر مشکلات توزیع الیاف در دوغاب سیمانی و گیرش کم با ذرات سیمان چندان موفقیت آمیز نبوده است [11]. الیاف پلی‌اتیلن با مدول بالایی که دارند، در افزایش مقاومت خمشی و سختی و مقاومت ضربه‌ای در ماتریس‌های سیمانی موثر هستند. اگر در کنار الیاف پلی‌اتیلن خمیر کاغذ به کار گرفته شود، مقاوم ضربه‌ای و خمشی افزایش می‌یابد. کاربردهای خارجی این الیاف به خاطر تأثیرپذیری پلیمر در برابر اشعه ماورای بنفش محدود است [19]. الیاف پلی‌پروپیلن خواص خوبی دارند که در بعضی مواقع از آن‌ها در ماتریس‌های سیمانی استفاده می‌شود. این الیاف از نظر شیمیایی خنثی و در محیط قلیایی سیمان بسیار پایدار است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی ورقه‌های حاوی پلی‌پروپیلن نشان می‌دهند که این الیاف از خواص تقویت‌کنندگی و شکل‌پذیری خوبی برخوردار بوده و در کنترل ترک مناسب هستند [18]. الیاف پلی‌اکریلونیتریل نمی‌توانند به تنهایی به عنوان جایگزین آزیست مطرح باشند و دارای مقاومت نسبتاً پایینی می‌باشند. این الیاف به تنهایی در دوغاب سیمانی توانایی نگهداری ذرات سیمان را ندارند

¹⁶ - Synthetic

¹⁷ - Natural

و ذرات به راحتی از روی الیاف شسته می شوند، البته کمک فیلترهای خوبی هستند. معمولاً به عنوان جایگزین جزیی به همراه الیاف آزبستی یا دیگر الیاف به کار می روند و کارایی آن‌ها در ترکیب با آزبست به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش میابد [19]. الیاف آرامیدی نیز به عنوان جایگزین آزبست در صنعت سیمان مطرح هستند. از مهمترین آرامیده‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های سیمانی می‌توان به کولار اشاره کرد. این الیاف ممکن است در برابر حمله قلیایی‌ها آسیب پذیر باشند اما درصد آن بسیار کم است. نقطه انحلال و تجزیه آن‌ها نسبتاً پایین است و نمی‌توان آن را در دماهای بالا یا در مجاورت آتش به کار برد [18]. همچنین الیاف کربنی نیز به عنوان جایگزین مطرح هستند. الیاف کربنی بر پایه اکریلیک بیش از الیاف کربنی بر پایه قیر در افزایش مقاومت کامپوزیت‌ها تاثیر دارند. الیاف کربنی دارای مقاومت حرارتی بالا، پایداری در دماهای بالا و چسبندگی خوبی به سیمان می‌باشند. در محیط‌های قلیایی پایداری از الیاف شیشه‌ای می‌باشند و در برابر ساییدگی مقاوم هستند. افزودن مقدار بسیار کمی الیاف کربنی به سیمان باعث افزایش زیاد چقرمگی، مقاومت‌های خمشی، کششی و ضربه‌ای می‌شود. الیاف کربنی دارای هدایت الکتریکی بالا نیز می‌باشند که کاربردهای خاص دارند [11].

5) نتیجه گیری

الیاف آزبستی، طی دهه‌های اخیر، در تولید بسیاری از محصولات صنعتی از جمله تولید سیمان آزبستی نقش اساسی ایفا کرده‌اند. با گذشت زمان و آشکار شدن معضلات زیست محیطی این الیاف، کاربرد آن‌ها در بسیاری از کشورها محدود شده و تلاش‌های فراوانی نیز در جهت شناسایی الیاف جایگزین صورت گرفته است. این در حالیست که بسیاری از صنایع، به خصوص در کشورهای در حال توسعه، به علت قیمت مناسب این الیاف و ویژگی‌های خاص آن‌ها همچنان از الیاف آزبستی در تولید محصولات گوناگون استفاده می‌کنند.

References :

1. Barry I. Castleman. Asbestos Medical and Legal Aspects, Aspen Publishers; 5th edition (2005).
2. Alleman, James E., Mossman, Brooke T. "Asbestos Revisited". Scientific American: 54-57. (1997).
3. M. Ross, R. A. Kuntze, R. A. Clifton. Definition for Asbestos and Other Health Related Silicates, ASTM STP 834, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., p.139-147, (1984).
4. W. J. Campbell and co-workers, Selected Silicates Minerals and Their Asbestiform Varieties, IC 8751, U.S. Bureau of Mines, Washington, D.C., p. 5-17, 33.(1997)

5. M. A. Bernarde, ed., Asbestos: The Hazardous Fiber, CRC Press, Boca Raton, Fla., p. 4, 30-38, 41, 80, (1990).
6. E. J. W. Whittaker, in R. L. Ledoux, ed., Short Course in Mineralogical Techniques of Asbestos Determination, Vol. 4, Mineralogical Association of Canada, Quebec, Canada, p. 16, 24-28, 30.(1979).
7. R. L. Virta, Asbestos, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2000 preprint, 7 p.(2001)
8. A. A. Hodgson, ed., Alternatives to Asbestos, The Pros and Cons, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1989)
9. Asbestos and Other Natural Mineral Fibers, WHO Environmental Health Criteria 53, World Health Organization, Geneva, Switzerland, (1986)
10. آزبست و جایگزین های آن در صنایع ، سمینار دکترا ، سید احمد حسینی ، دانشگاه علم و صنعت ایران ، دانشکده مهندسی شیمی ، 1379.
11. Leslie Michaels, Seymour S. Chissick, Asbestos: Properties, Applications, and Hazards, John Wiley & Sons, 1979
12. M.Kakemi & D.J Hannant, Effect of Autoclaving on Cement Composites Containing Polypropylene , Glass and Carbon Fibres ,Cement and Concrete Composites , vol.18, 61-66, (1996)
13. David Michaels, Doubt is Their Product: How Industry's Assault on Science Threatens Your Health, Oxford University Press, USA; 1 edition, (2008).
14. G.C. Bye, Thomas Telford, Portland Cement: Composition, Production And Properties, Thomas Telford, (1999).
16. D.J.Hannant, Fibre Reinforcement in the Cement and Concrete Industry, Material Science and Technology , vol.11, pp:853-861.(1995)
17. مشکلات و راهکارهای اجرایی در خطوط لوله آزبست سیمان ، رضا قلی زاده - امیرحسین آراسته
18. Zhihong Zheng & Dorel Feldman , Synthetic Fiber Reinforcement Concrete, Progress in Polymer Science , Vol.20, 185-210.(1995)
19. Elzea Kogel, Nikhil C. Trivedi, James M. Barker, Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Users. Society for Mining Metallurgy; 7 edition (2006)

21. حسین کاکویی، بررسی غلظت ییاف آزبست در هوای تنفسی ماموران راهنمایی و رانندگی در میداین شهر تهران، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، شماره 1388، 13.