

## بررسی تاثیر مواد افزودنی بر هدایت گرمایی چندسازه‌سیمان - الیاف گیاهی

محمد مهدی فائزی پور<sup>۱</sup>، زهرا نقی زاده<sup>۲\*</sup>، قنبر ابراهیمی<sup>۳</sup> و یحیی همزه<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۳</sup>استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۴</sup>دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

### چکیده

در این پژوهش چندسازه‌های الیاف - سیمان نوع A و B با هدایت گرمایی کم تولید شد. چندسازه‌های نوع B از ۱۵ و ۲۵ درصد الیاف گیاه دم‌اسبی (*Equisetum telmateia*)، صفر، ۷ و ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و صفر، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر سبک، ساخته شدند. در چندسازه‌های نوع A به جای خاکستر سبک، صفر، ۰/۰۸ و ۰/۱ درصد میکرو پودر آلومینیوم (همه بر پایه جرم خشک سیمان)، برای تولید چندسازه‌هایی با چگالی و ضخامت اسمی  $1/1 \text{ g/cm}^3$  و  $13 \text{ mm}$  مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده از بررسی تاثیر این مواد بر هدایت گرمایی چند سازه‌های یاد شده نشان داد که افزایش میزان هر کدام از آنها اثر معنی-داری بر کاهش هدایت گرمایی چندسازه‌های تولید شده داشته است. کمترین ضریب هدایت گرمایی در چندسازه‌های A مربوط به چندسازه‌ی ساخته شده از ۲۵ درصد الیاف، ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و ۰/۱ درصد پودر آلومینیوم بود که برابر  $0/14 \text{ W/mK}$  تعیین شد. در چندسازه‌های نوع A با افزایش پودر آلومینیوم تا ۰/۱ درصد، ژل میکروسیلیس تا ۱۰ درصد و ۲۵-۱۵ درصد الیاف، هدایت گرمایی به ترتیب در حدود ۳۶، ۳۴/۷۸ و ۴۲/۸۶ درصد کاهش یافت. کمترین ضریب هدایت گرمایی در مورد چندسازه‌های نوع B معادل  $0/17 \text{ W/mK}$  و مربوط به چندسازه‌ی دارای ۲۵ درصد الیاف، ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و ۳۰ درصد خاکستر سبک تعیین شد. در چندسازه‌های نوع B با افزایش خاکستر سبک تا ۳۰ درصد، ژل میکروسیلیس تا ۱۰ درصد و ۲۵-۱۵ درصد الیاف، هدایت گرمایی به ترتیب در حدود ۱۸/۳۹، ۵/۳۷ و ۶۲/۴۷ درصد کاهش نشان داد.

**واژه های کلیدی:** چندسازه الیاف سیمان، ژل میکروسیلیس، پودر آلومینیوم، گیاه دم اسبی، خاکستر سبک، هدایت گرمایی

## مقدمه

امروزه در حدود ۵۰٪ از انرژی مصرفی مربوط به ساختمان‌ها است و به دلایلی مانند مکانیزاسیون، طراحی نامناسب بنا، الگوهای نادرست مصرف انرژی و استفاده‌ی نادرست از مواد عایق، هدر رفت انرژی زیادی در این بخش دیده می‌شود (Roaf et al., 2010). عایق‌های پوششی از جمله پشم شیشه (فایبرگلاس)، الیاف، بلوک-های بتنی عایق دارای پلی‌استایرن، پلی‌اورتان، پلی-ایزوسیانوریت، ورمی‌کولیت و یا پرلیت، عایق‌های انعکاسی، فوم‌های سخت، فوم‌های پاشش شونده و ورق (پانل) های ساختمانی با لایه‌ی مغزی عایق، انواعی از عایق‌های ساختمانی‌اند که بسته به شرایط موجود، مورد توجه قرار می‌گیرند. الیاف مصنوعی که در ساخت مواد عایق استفاده می‌شوند، شامل، الیاف کربنی، پشم سنگ، پشم شیشه، پشم سربراره، الیاف شیشه، الیاف گرافیت، الیاف سرامیکی و آزبست هستند. استفاده از این الیاف هزینه‌بر بوده و ناهنجاری‌های سلامتی و محیطی را ایجاد می‌کنند (Bilba et al., 2004; Coutts, 1992). از این رو، الیاف طبیعی جایگزین مناسبی برای الیاف مصنوعی هستند. نوعی از الیاف طبیعی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، الیاف گیاه دم‌اسبی<sup>۱</sup> است. دم‌اسبیان<sup>۲</sup> تنها گیاهان آوندی شناخته شده‌ای هستند که به سیلیس نیازمندند (Epstein, 1999) و سیلیس به عنوان جایگزین لیگنین در دیواره‌ی یاخته‌ای این گیاه، انشعاب‌ها را راست نگه می‌دارد (Kaufman et al., 1973; Soni et al., 1971) از سوی دیگر با توجه به ناسازگاری مواد لیگنوسولوزی با سیمان (Simatupang et al., 1991) و کاهش مقاومت مکانیکی چندسازه سیمانی در نتیجه‌ی تاثیر قلیایی موجود در سیمان بر لیگنین الیاف طبیعی (John et al., 2005; Karade, 2010)، استفاده از روش‌های رویارویی با عامل‌های بازدارنده‌ی گیرایی سیمان ضروری به نظر می‌رسد. شماری از این شیوه‌ها در تحقیقات زیادی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. (Arsene et al., 2007; Eusebio

et al., 2004; Juarez et al., 2007; Khedari et al., 2001; Sudin & Swamy, 2006; ASHRAE<sup>3</sup>, 2001) و در این تحقیق استفاده از خاکستر سبک<sup>۴</sup> مورد بررسی قرار گرفت. این ماده یکی از فرآورده‌های جانبی صنایع مختلف است که آلاینده به شمار می‌آید. یکی از راه‌های کاهش آلودگی حاصل از آن، استفاده از آن در ساخت فرآورده‌های جدید مانند چندسازه‌های سبک وزن و عایق و کاربرد آنها در ساختمان‌سازی است (Boustingorry et al., 2005; Duman et al., 2002; Kearsley & Wainwright, 2001; Laukaitis et al., 2005)

لازم به یادآوری است که در سال‌های اخیر استفاده از پودر آلومینیوم به عنوان یک عامل فوم‌کننده در ساخت بتن‌های سبک بسیار مورد توجه قرار گرفته است و این در حالی است که تا کنون در مورد استفاده از آن در ساخت چندسازه‌های سیمانی هیچ گونه بررسی صورت نگرفته است. همچنین در زمینه ویژگی‌های گرمایی چند سازه‌های سیمان-الیاف گیاهی تاکنون تحقیقات زیادی انجام نشده است. از این رو در این پژوهش از الیاف گیاه دم‌اسبی، ژل میکروسیلیس، خاکستر سبک و پودر آلومینیوم برای ساخت چندسازه‌هایی با هدایت گرمایی کم استفاده شد و اثرگذاری‌های هر یک از مواد یاد شده در ویژگی‌های چندسازه‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش سیمان نوع دو کارخانه‌ی آبیگ مورد استفاده قرار گرفت. گیاه دم‌اسبی (*Equisetum telmateia*) از جنگل‌های شمال ایران در فصل تابستان گردآوری و به مدت یک ماه در هوای آزاد خشک شد. از آنجا که برای جداسازی الیاف همراه با حفظ سیلیس روش‌های سودا-پراکسید هیدروژن (Sun et al., 2000) و سودا-اکسید آلومینیوم (Tutus and Eroglut, 2003) بسیار کارآمد بودند، در این پژوهش از ترکیبی از این دو روش با نام سودا-پراکسید هیدروژن-اکسید آلومینیوم

<sup>3</sup> American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers

<sup>4</sup> Fly ash

<sup>1</sup> *Equisetum telmateia*

<sup>2</sup> *Equisetaceae*

استفاده شد. بدین منظور گیاه خشک شده، به مدت ۲۴ ساعت در محلولی حاوی ۱۲٪ هیدروکسید سدیم، ۳٪ اکسید آلومینیوم و ۹٪ پراکسید هیدروژن قرار گرفت. نسبت وزنی مایع (لیکور) به ماده‌ی چوبی خشک ۱/۸ بود. پس از آن نمونه‌ها از محلول خارج شده و به مدت ۳ دقیقه تحت تیمار گرمایی با دمای  $105^{\circ}\text{C}$  قرار گرفتند. جداسازی الیاف در دستگاه فیبر کننده (دفیراتور) انجام شد و الیاف به دست آمده در دمای محیط خشک شده و از هم جدا شدند. نمونه‌ها برای رسیدن به رطوبت صفر درصد به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با دمای  $^{\circ}\text{C}$   $103 \pm 2$  قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از فلوئورسانس اشعه ایکس<sup>۱</sup> نشان داد که الیاف دارای ترکیباتی مانند،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  هستند و ۸۳/۲۳٪ از میزان اولیه سیلیس موجود در گیاه، در الیاف باقی مانده است.

در این تحقیق دو نوع چندسازه‌ی A و B ساخته شد. چندسازه A شامل سطوح ۱۵ و ۲۵ درصد الیاف، صفر، ۷ و ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و صفر، ۰/۸ و ۰/۱ درصد پودر آلومینیوم بود و در چندسازه‌ی B به جای پودر آلومینیوم از سطوح صفر، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر سبک استفاده شد. میزان آب اختلاط نیز برابر رابطه weatherwax محاسبه شده است:

$$W(\text{ml}) = 0.25 C (\text{g}) + 2.7 F (\text{g}) \quad (1)$$

W: حجم آب، C: جرم سیمان و F: جرم الیاف چگالی ( $1/1 \text{ g/cm}^3$ )، ضخامت اسمی (۱۳ mm)، دما، زمان، فشار پرس و سطح استفاده از کلرید کلسیم (۵ درصد) جزء عامل های ثابت در نظر گرفته شدند. برای چندسازه‌ی B در آغاز، سیمان، الیاف و خاکستر سبک با هم مخلوط شدند، ژل میکروسیلیس و پس از آن محلول کلرید کلسیم به آن‌ها اضافه شد و در مورد چندسازه‌ی A، در آغاز الیاف و سیمان با هم مخلوط شده و ژل میکروسیلیس به مخلوط اضافه شد. پس از افزودن محلول کلرید کلسیم، پودر آلومینیوم به درون ماتریس وارد شد. مواد در هر کدام از مخلوط‌ها به مدت ۲ دقیقه‌ی دیگر با هم مخلوط شدند و سپس کیک مواد در قالبی به ابعاد  $270 \times 350 \text{ mm}$  تشکیل شد. کیک تولیدی به مدت ۵ دقیقه در پرس سرد با فشار  $30 \text{ Kg/cm}^3$  فشرده شد تا

ژل میکروسیلیس مورد استفاده، ساخت شرکت فراورده‌های شیمیایی ساختمان، مناسب‌ترین افزودنی بتن برای کاهش نفوذپذیری، افزایش دوام، روانی و مقاومت مکانیکی و شیمیایی بتن در مناطق ساحلی شمال و جنوب ایران که در معرض شدید خوردگی شیمیایی به-ویژه یون کلر و سولفات قرار دارند، است. این فرآورده خاکستری رنگ و ژله‌ای، برابر استاندارد ASTM C1202 C494 Type G & ساخته شده و با نام تجاری SF-1 به فروش می‌رسد. چگالی و اسیدیته‌ی ژل میکروسیلیس به ترتیب  $1/5 - 1/4 \text{ g/cm}^3$  و ۱۰-۹ بوده و بدون یون کلر و غنی از  $\text{SiO}_2$  می‌باشد.

پودر آلومینیوم ساخت شرکت Eager Plastics, Inc آمریکا با درصد خلوص ۹۹/۹٪، به شکل کروی، رنگ خاکستری و اندازه‌ی ذرات کمتر از ۵ میکرون می‌باشد. چگالی این پودر برابر  $0/7 \text{ g/cm}^3$  بوده و پخش لیزر از مناطق سطحی آن برابر  $1061 \text{ cm}^2/\text{ml}$  است.

زغال کک در فرایند کوره وزشی، گازهای احیاکننده را تولید می‌کند. میزان کربن، خاکستر، رطوبت، مواد فرار، گوگرد و اندازه ذرات آن به ترتیب ۸۵-۹۰٪، ۱۳-۵٪،

<sup>1</sup> X- Ray Fluorescence (XRF)

گرما در واحد سطح با گرادیان دما متناسب است. هدایت گرمایی چند سازه با استفاده از قانون فوریه به دست آمد:

$$Q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2)$$

$Q$ : ولتاژ،  $\Delta x(m)$ : فاصله دو مرکز سوراخ‌ها،  $\Delta T$ : اختلاف دمای ترموکوپل‌ها،  $A (m^2)$ : مساحت سطح عمود بر جهت جریان،  $k(W/mK)$ : ضریب هدایت گرمایی. همچنین به منظور بررسی اثر ترکیبات شیمیایی موجود در تخته‌ها بر هدایت گرمایی آن‌ها، آزمون XRD در پژوهشگاه مواد و انرژی (مشکین دشت) روی شماری از نمونه‌ها انجام شد. برای انجام این آزمون نمونه‌های تهیه شده از چندسازه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در استون نگهداری شده و سپس در دمای  $40 \pm 3$  درجه سلسیوس و در خلاء خشک شدند. ۱۵ گرم آرد با اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون از نمونه‌ها تهیه شده و نمونه‌ها با دستگاه Philips, D- Expert 3040 با تشعشعی تا محدوده  $2\theta$  ۸۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج به دست آمده از ارزیابی ضریب هدایت گرمایی با آزمون تجزیه واریانس در طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و تیمارهای بهینه با مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن تعیین شدند.

به ضخامت نهایی برسد. کیک فشرده شده که دارای استحکام نسبی بود، به مدت ۲۴ ساعت دیگر در پرس هیدرولیکی سرد نگه داشته شد. آنگاه چندسازه‌ها از قالب خارج شده و به مدت ۲۸ روز در یک محیط با رطوبت نسبی بیش از ۹۸٪ و دمای  $20 \pm 2^\circ C$  نگهداری شدند تا رطوبت آن‌ها به آرامی کاهش یابد و علاوه بر جلوگیری از تشکیل ترک‌های موئین، سیر گیرایی آن‌ها کامل شود. با توجه به وجود متغیرها در سطوح مختلف و سه تکرار از هر یک از شرایط ساخت، برای هر کدام از چندسازه‌های A و B، ۱۸ تیمار و ۵۴ چندسازه و در مجموع ۱۰۸ چندسازه ساخته شد. چندسازه‌ها پس از ۲۸ روز از اتاق مشروط سازی (کلیما) اولیه خارج شد و به مدت ۱۵ روز در یک اتاق مشروط سازی جدید با دمای  $21^\circ C$  و رطوبت نسبی ۶۵٪ قرار گرفتند. نمونه‌های آزمونی مورد نیاز برای اندازه‌گیری ضریب هدایت گرمایی برابر استاندارد ASTM C177-85 تهیه و تا آغاز اندازه‌گیری در شرایط استاندارد قرار گرفت.

به منظور اندازه‌گیری هدایت گرمایی در حالت خشک، نمونه‌ها در دمای  $50 \pm 2^\circ C$  قرار گرفته و وزن آن‌ها در فاصله‌های آغاز ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد، تا هنگامی که کاهش وزن از ۱٪ تجاوز نکند (ASTM C332). سپس سطح نمونه‌ها صیقلی شد تا تماس مناسبی بین منبع گرمایی و نمونه برقرار شود. هدایت گرمایی نمونه‌ها در دما و فشار هوای عادی اندازه‌گیری شد. در صورت وجود گرادیان دما در یک جسم انتقال گرما صورت می‌گیرد. بنابراین انرژی به راه هدایت انتقال یافته و شتاب انتقال

جدول ۱- کد مربوط به تیمارهای سری A

پودر آلومینیوم (%)									
۰/۱			۰/۰۸			۰			
۱۰	۷	۰	۱۰	۷	۰	۱۰	۷	۰	ژل میکروسیلیس
A	A	A	A	A	A	A	A	A	۱۵
۱۲۲	۱۱۲	۱۰۲	۱۲۱	۱۱۱	۱۰۱	۱۲۰	۱۱۰	۱۰۰	الیاف : سیمان (%)
A	A	A	A	A	A	A	A	A	
۲۲۲	۲۱۲	۲۰۲	۲۲۱	۲۱۱	۲۰۱	۲۲۰	۲۱۰	۲۰۰	۲۵

جدول ۲- کد مربوط به تیمارهای سری B

خاکستر سبک (%)										
۳۰			۲۰			۰			ژل میکروسیلیس %	الیاف : سیمان (%)
۱۰	۷	۰	۱۰	۷	۰	۱۰	۷	۰		
B	B	B	B	B	B	B	B	B	۱۵	
۱۲۲	۱۱۲	۱۰۲	۱۲۱	۱۱۱	۱۰۱	۱۲۰	۱۱۰	۱۰۰		
B	B	B	B	B	B	B	B	B	۲۵	
۲۲۲	۲۱۲	۲۰۲	۲۲۱	۲۱۱	۲۰۱	۲۲۰	۲۱۰	۲۰۰		

## بحث و نتیجه گیری

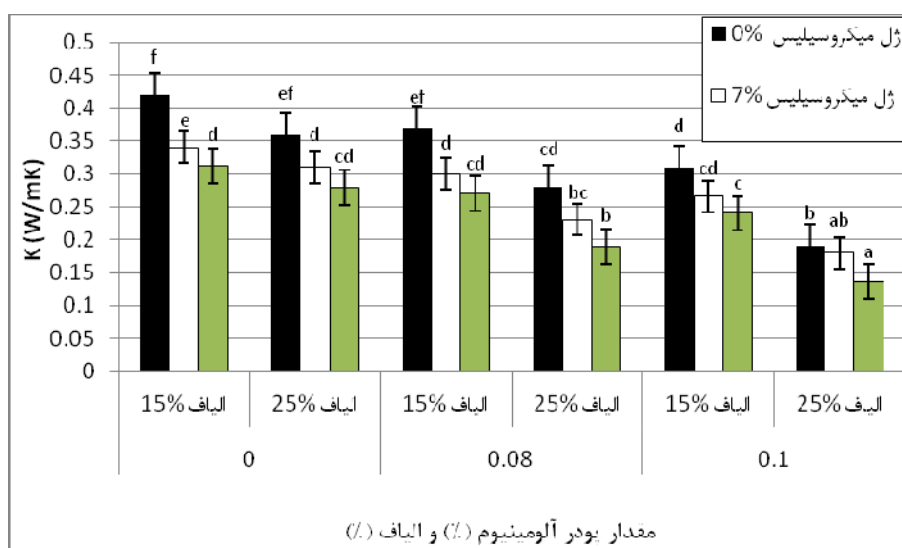
جدول ۳- میزان های محاسبه شده F برای اثرگذاری مستقل و متقابل متغیرها بر هدایت گرمایی چندسازه های الیاف- سیمان

K (W/mK)	منبع تغییرات در چندسازه های نوع B	K (W/mK)	منبع تغییرات در چندسازه های نوع A
۱۴۴۳/۸۹ **	الیاف	۱۴۴۳/۸۹ **	الیاف
۳۱۳/۰۴ **	ژل میکروسیلیس	۳۱۳/۰۴ **	ژل میکروسیلیس
۹۲/۱۶ *	خاکستر سبک	۳۱۳/۱۳ **	پودر آلومینیوم
۱۰/۰۰ *	الیاف × ژل میکروسیلیس	۱۰/۰۰ *	الیاف × ژل میکروسیلیس
۲۰/۰۸ *	خاکستر سبک × الیاف	۲/۸۳ **	پودر آلومینیوم × الیاف
۱۴/۹۸ **	ژل میکروسیلیس × خاکستر سبک	۱۳/۴۶ **	ژل میکروسیلیس × پودر آلومینیوم
۱۵/۸۷ **	الیاف × ژل میکروسیلیس × خاکستر سبک	۳/۶۸۱ **	الیاف × ژل میکروسیلیس × پودر آلومینیوم

\*\* با اعتماد ۹۹ درصد تفاوت معنی دار ، \* با اعتماد ۹۵ درصد تفاوت معنی دار

الیاف، نشان داده اند. با افزایش الیاف از ۱۵ به ۲۵ درصد، ژل میکروسیلیس از صفر به ۱۰ درصد و میکرو پودر آلومینیوم از صفر تا ۰/۱٪ ضریب هدایت گرمایی از  $0/42 \text{ W/mK}$  به  $0/14 \text{ W/mK}$  یعنی حدود ۶۶٪ میزان اولیه کاهش یافت. کمترین میزان ضریب هدایت گرمایی در چندسازه های نوع A مربوط به چندسازه ای دارای ۲۵٪ الیاف، ۱۰٪ ژل میکروسیلیس و ۰/۱٪ میکرو پودر آلومینیوم است که بر پایه گروه بندی دانکن در گروه a طبقه بندی شده و تیمار بهینه به شمار می آید. نتایج نشان داده اند در صورتی که میزان استفاده از الیاف کاهش یابد، با افزایش میزان استفاده از ژل میکروسیلیس یا خاکستر سبک و یا بر عکس می توان ضریب هدایت گرمایی را در حد بهینه ای نگه داشت.

نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل های آماری در جدول ۳ نشان می دهد که اثرگذاری های متقابل عامل های متغیر و همچنین اثرگذاری مستقل میزان ژل میکروسیلیس، الیاف و میکرو پودر آلومینیوم در چندسازه A و خاکستر سبک در چندسازه B بر هدایت گرمایی چندسازه های سیمانی مورد بحث و در شرایط این بررسی، در سطوح اطمینان یاد شده، معنی دار است. اثر متقابل میزان میکرو پودر آلومینیوم، ژل میکروسیلیس و الیاف بر هدایت گرمایی چند سازه A در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است (جدول ۳). همان طور که در شکل ۱ مشخص است، با افزایش میزان میکرو پودر آلومینیوم و ژل میکروسیلیس هدایت گرمایی کاهش می یابد. همچنین چندسازه های ساخته شده با ۲۵٪ الیاف هدایت گرمایی کمتری را نسبت به چندسازه های دارای ۱۵٪



شکل ۱- اثرگذاری متقابل میزان میکروبودر آلومینیوم، ژل میکروسیلیس و الیاف بر هدایت گرمایی چندسازه A

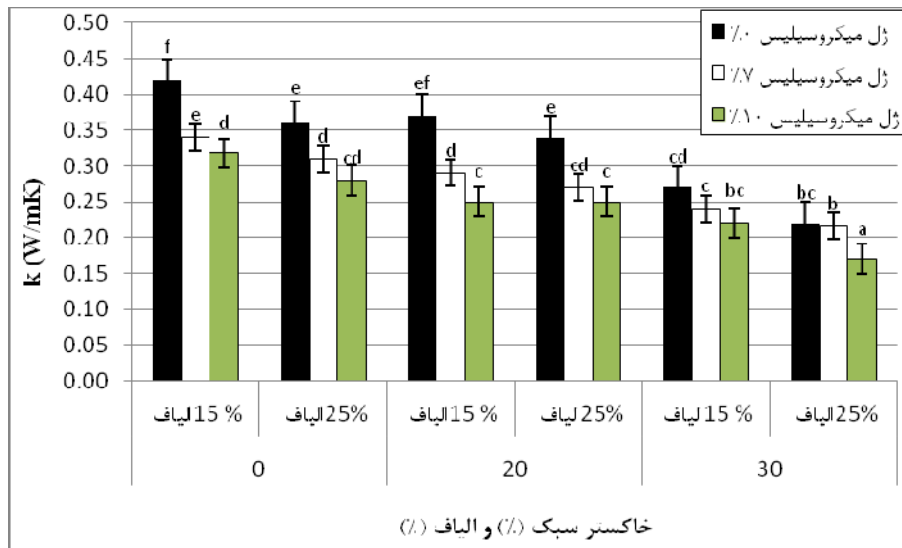
سبک و یا برعکس می‌توان ضریب هدایت گرمایی را در حد بهینه نگه داشت.

شکل ۳ الگویی از نمودار XRD<sup>1</sup> را برای چندسازه‌های دارای ۳۰٪ خاکستر سبک، ۲۵٪ الیاف و ۱۰٪ ژل میکروسیلیس ارائه می‌دهد. در  $2\theta$  ۳۴/۹ و  $2\theta$  ۲۹/۳ نقطه اوج (پیک)‌های مشخصی از مرحله های  $Ca_2SiO_4$  و  $Ca_3SiO_5$  و در  $2\theta$  ۱۶/۵ مرحله  $Ca_3AlSi(OH)_8O_4$  نمایان است. این مرحله ها نمایانگر وجود ترکیبات عایق گرما هستند. این ترکیبات از ایجاد واکنش‌های شیمیایی بین مواد اولیه به وجود آمده و پل‌های گرمایی موجود در چندسازه‌ها را کاهش داده و باعث افزایش ویژگی عایق (ایزولاسیون) شده اند.

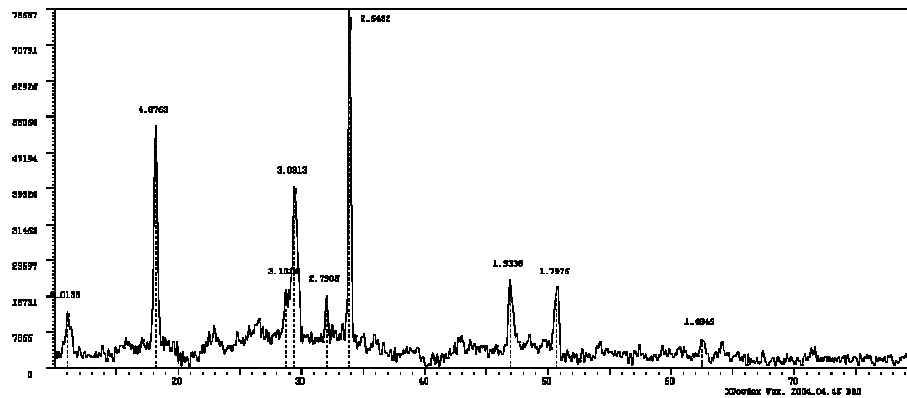
شکل ۴ الگویی از نمودار XRD را برای چندسازه‌های حاوی ۰/۱٪ میکرو بودر آلومینیوم، ۲۵٪ الیاف و ۱۰٪ ژل میکروسیلیس ارائه می‌کند. در  $2\theta$  ۱۸ و  $2\theta$  ۲۹/۳ به ترتیب نقطه اوج های مشخصی از مرحله های  $Ca(OH)_2$  و  $Ca_3SiO_5$  نمایان است. این ترکیبات مواد عایق گرما هستند و وجود آن‌ها در این چندسازه‌ها هدایت گرمایی را کاهش داده است.

شکل ۲ اثرگذاری متقابل خاکستر سبک، الیاف و ژل میکروسیلیس را بر هدایت گرمایی چندسازه‌های نوع B نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشخص است اثرگذاری متقابل خاکستر سبک، الیاف و ژل میکروسیلیس بر هدایت حرارتی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است. چندسازه‌های دارای ۲۵٪ الیاف دم‌اسبی، هدایت گرمایی کمتری را نسبت به چندسازه‌های دارای ۱۵٪ الیاف نشان داده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، با افزایش میزان خاکستر سبک و ژل میکروسیلیس هدایت گرمایی چندسازه‌ها کاهش می‌یابد. کم‌ترین میزان ضریب هدایت گرمایی در چندسازه‌های نوع B معادل ۰/۱۷ W/mK و مربوط به چندسازه‌ی دارای ۲۵٪ الیاف، ۱۰٪ ژل میکروسیلیس و ۳۰٪ خاکستر سبک است که بر پایه گروه بندی دانکن در گروه a طبقه بندی شده و تیمار بهینه به شمار می‌آید. با افزایش الیاف از ۱۵ به ۲۵ درصد، ژل میکروسیلیس از صفر به ۱۰ درصد و خاکستر سبک از صفر تا ۳۰٪ ضریب هدایت گرمایی از ۰/۴۲ W/mK به ۰/۱۷ W/mK یعنی حدود ۵۹٪ میزان اولیه، کاهش یافته است. نتایج نشان داده‌اند در صورتی که میزان استفاده از الیاف کاهش یابد، با افزایش میزان استفاده از ژل میکروسیلیس یا خاکستر

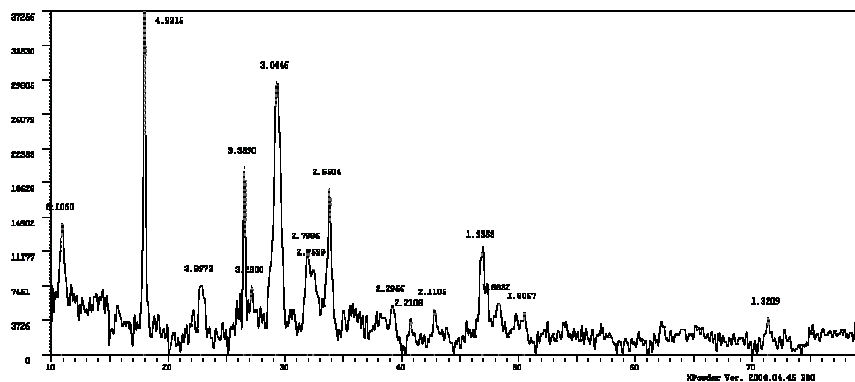
<sup>1</sup> X-ray diffraction



شکل ۲- اثرگذاری متقابل میزان خاکستر سبک، ژل میکروسیلیس و الیاف بر هدایت گرمایی چندسازه B



شکل ۳- نمودار XRD مربوط به چندسازه‌ی دارای ۳۰٪ خاکستر سبک، ۲۵٪ الیاف و ۱۰٪ ژل میکروسیلیس



شکل ۴- نمودار XRD مربوط به چندسازه‌ی دارای ۱٪ میکرو پودر آلومینیوم، ۲۵٪ الیاف و ۱۰٪ ژل میکروسیلیس

تأثیر منفی می‌گذارند بنابراین در این پژوهش سعی شده از روشی استفاده شود که هم لیفچه ای شدن الیاف در حد مناسب صورت گیرد و هم میزان زیادی از مواد مزاحم گیرایی سیمان حذف شوند. بدین جهت از یک مرحله تیمار گرمایی در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۳ دقیقه همراه با یک مرحله تیمار شیمیایی سودا-پراکسید هیدروژن-اکسید آلومینیوم استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از ۲۵٪ الیاف دم اسبی (بدون مواد افزودنی دیگر) چندسازه‌هایی با ضریب هدایت گرمایی  $0.36 \text{ W/mK}$  تولید کرده است.

لازم به یادآوری است که قندها و همی‌سلولزها از عامل‌های بازدارنده‌ی گیرایی سیمان به شمار می‌آیند و امروزه برای حذف آن‌ها از مخلوط‌های سیمانی تلاش‌های بسیاری انجام گرفته است. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به پیرولیز (شکست حرارتی) و تیمار قلیایی الیاف اشاره کرد. Boustingorry و همکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند که پیرولیز ملایم تأثیر زیادی بر همی‌سلولزها دارد و لیگنین تولیدی نیز آبریزتر و سخت‌تر از لیگنین اولیه است. همچنین Bilba و Ouensanga (۱۹۹۶)، از این روش برای کاهش میزان قندها استفاده کردند و نشان دادند که پیرولیز در دما و زمان  $200^{\circ}\text{C}$  و  $2\text{h}$  بیش‌ترین کاهش را در میزان قندها ایجاد کرده است. استفاده از پیش تیمار قلیایی نیز باعث کاهش میزان همی‌سلولزها، لیگنین و مواد استخراجی موجود در الیاف شد اما میزان آسیب به الیاف در این روش بیش‌تر از پیرولیز بود. بنابراین هدایت حرارتی چندسازه‌های سیمانی در حالت استفاده از ۲۵٪ الیاف پیرولیز شده و ۲۵٪ الیافی که تحت تیمار شیمیایی قرار گرفته‌اند، به ترتیب برابر  $0.46 \text{ W/mK}$  و  $0.62 \text{ W/mK}$  است که بیشتر از میزان ضریب هدایت حرارتی چندسازه‌های ساخته شده از ۲۵٪ الیاف دم اسبی ( $0.36 \text{ W/mK}$ ) است. برابر این نتایج چنانچه الیاف تنها تحت تیمار قلیایی قرار گیرند، نمی‌توانند هدایت گرمایی ماتریس را در حد بهینه ای کاهش دهند. از این رو در این پژوهش سعی شد، به گونه ای از ترکیب این دو روش استفاده شود که هم لیفچه ای شدن الیاف در حد مناسب صورت

شناخت هدایت گرمایی چندسازه بر حسب دما و در رطوبت‌های مختلف، برای استفاده از آن به عنوان یک عایق یا نگهداری در برابر آتش ضروری است. هدایت گرمایی به عامل‌های بسیاری از جمله، دما (Cerney et al., 2004)، ساختار چندسازه، نسبت اختلاط مواد در مخلوط، نوع مواد مورد استفاده، چگالی، رطوبت، خلل و فرج، توزیع و ارتباط آن‌ها باهم بستگی دارد (Neville, 1995).

### تأثیر الیاف بر ویژگی‌های چندسازه

ضریب هدایت گرمایی در مورد چندسازه‌های سیمانی ساخته شده با ۱۵٪ الیاف دم اسبی (بدون مواد افزودنی دیگر)، معادل  $0.42 \text{ W/mK}$  تعیین شد. این ضریب در مورد چندسازه‌های سیمانی دارای ۲۵٪ از الیاف مذکور (بدون مواد افزودنی دیگر)  $0.36 \text{ W/mK}$  به دست آمد (در هر دو نوع چندسازه A و B). برابر بررسی‌های Cristel Onesippe و همکاران (۲۰۱۰)، ضریب هدایت گرمایی ماتریس سیمانی (بدون الیاف) معادل  $0.6188 \text{ W/mK}$  گزارش شده است. بنابراین چندسازه‌های مورد بررسی در این پژوهش در حالتی که دارای ۱۵٪ الیاف دم اسبی بودند، نسبت به یک مخلوط سیمانی بدون الیاف حدود ۳۲٪ هدایت گرمایی را کاهش داده‌اند و میزان کاهش ضریب هدایت گرمایی در مورد چندسازه‌های سیمانی دارای ۲۵٪ الیاف دم اسبی معادل ۴۲٪ تعیین شد. از سوی دیگر چندسازه‌های سیمانی دارای ۱۵٪ الیاف دم اسبی (بدون مواد افزودنی دیگر)، در مقایسه با چندسازه‌های سیمانی حاوی ۱۵٪ الیاف آزیست (با ضریب هدایت گرمایی  $0.744 \text{ W/mK}$ )، ضریب هدایت گرمایی را ۴۳٪ کاهش داده‌اند.

### الف- تأثیر چگونگی جداسازی الیاف

در اینجا توجه به دو مسئله ضروری است نخست اینکه، لیفچه ای (فیبربله) شدن الیاف میزان سطح ویژه‌ی آن‌ها را افزایش داده و باعث بهبود اتصال و چسبندگی با ماتریس سیمان می‌شود و دوم اینکه، در مواد لیگنوسلولزی عامل‌هایی وجود دارد که بر گیرایی سیمان



### تأثیر خاکستر سبک

تولید هر کیلوگرم سیمان، ۱Kg گاز CO<sub>2</sub> تولید می‌کند که اثرگذاری های گلخانه‌ای دارد. بنابراین استفاده از مواد جایگزین سیمان دارای اثرگذاری های اقتصادی، فنی و بوم‌شناسی بهینه ای است (Arellano et al., 2010). از سوی دیگر چندسازه‌های سیمانی سبک مقاومت‌های مکانیکی کمی دارند. بنابراین بهتر است به جای سیمان از موادی مانند خاکستر سبک که باعث کاهش قلیائیت خمیر سیمان، بهبود دوام، مقاومت‌های مکانیکی و ثبات ابعاد و کاهش انتقال آب چندسازه می‌شوند، استفاده کرد. خاکستر سبک در حجم بسیار زیاد و در صنایع مختلف تولید می‌شود و  $Al_2O_3$ ،  $MgO$  و  $SiO_2$  از جمله ترکیبات مهم موجود در این ماده هستند که هدایت گرمایی آن‌ها به ترتیب برابر  $3 W/mK$ ،  $15$  و  $1/4$  است.

Demurboga و همکاران (۲۰۰۳)، بیان داشتند که هدایت گرمایی سیلیس بلورین ۱۵ برابر سیلیس آمورف است. طبیعی ست چندسازه‌ای که دارای سیلیس آمورف باشد هدایت گرمایی کمتری خواهد داشت (Fu et al., 1999). نتایج به دست آمده در این پژوهش، نشان داد که با افزایش خاکستر سبک در ترکیب این چندسازه، میزان هدایت گرمایی کاهش می‌یابد. با توجه به این مسئله که میزان سیلیس آمورف و اکسید آلومینیوم موجود در خاکستر سبک کارخانه‌ی ذوب آهن اصفهان بسیار زیاد (۴۰/۹٪) است، کاهش هدایت گرمایی ناشی از آن قابل توجه می‌باشد. چراکه سیلیس و همچنین اکسید آلومینیوم در ترکیب با سیمان، سیلیکات کلسیم و سیلیکات آلومینیوم را تشکیل می‌دهند که به ترتیب دارای هدایت گرمایی  $0/057$  و  $0/035$  (W/mK) هستند و باعث کاهش هدایت گرمایی ماتریس می‌شوند. همچنین لازم به یادآوری است که با افزایش میزان خاکستر سبک چگالی چندسازه تا حدودی کاهش می‌یابد و رابطه‌ی معکوس بین چگالی و هدایت گرمایی (Khedari et al., 2001)، نتایج بالا را تایید می‌کند.

گیرد و هم میزان زیادی از مواد مزاحم گیرایی سیمان حذف شوند و نتیجه‌ی آن کاهش هدایت گرمایی چندسازه‌های تولیدی در نتیجه استفاده از این الیاف بود.

### ب- تأثیر میزان الیاف:

با افزایش الیاف دم اسبی، هدایت گرمایی کاهش یافت. کاهش هدایت گرمایی ماتریس به علت تأثیر جداساز کننده الیاف است که میزان هدایت گرمایی‌شان کم‌تر از خمیر سیمان است (Benazzouk et al., 2008; Bouguerra et al., 1997). الیاف به دلیل ویژگی غیر قطبی بودنشان تمایل دارند تا هوا را در سطوح زبر و خشن خود زندانی نموده و به ماتریس سیمانی وارد کنند (Fedroff et al., 1996; Wang et al., 2006). همچنین هنگام اضافه شدن الیاف به ماتریس سیمان ممکن است مقداری هوا به درون چندسازه راه یابد و بنابراین با افزایش میزان هوا، پل‌های گرمایی در مخلوط کاهش یافته و باعث افزایش خاصیت جدا سازی چندسازه می‌شود (Benazzouk et al., 2008). از این رو نتایج غیر منتظره با انواع مختلفی از تخلخل مانند تخلخل درونی الیاف، تخلخل ناشی از بودن دسته های الیاف، تخلخل موجود در ماتریس سیمان پیش از اضافه کردن الیاف و تخلخلی که در هنگام وجود الیاف در ماتریس سیمان به وجود می‌آید، قابل توضیح است.

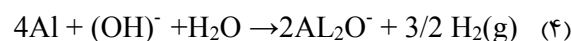
از سوی دیگر هدایت گرمایی چندسازه‌های سیمانی به تأثیر مخلوط الیاف و ماتریس سیمانی نیز مربوط است (Goual et al., 2006; John et al., 2005; Serge & Joekes, 2000). شایان یادآوری است که الیاف دم اسبی دارای میزان زیادی سیلیس هستند که در ترکیب با سیمان باعث تولید میزان قابل توجهی سیلیکات کلسیم می‌شود و با توجه به این نکته که سیلیکات‌های کلسیم دارای ضریب هدایت گرمایی پایینی هستند، کاهش هدایت گرمایی چندسازه در اثر افزایش میزان الیاف دم اسبی قابل توجه است.

### تاثیر ژل میکروسیلیس

لازم به یادآوری است که کاهش هدایت گرمایی ناشی از مصرف ژل میکروسیلیس، به وجود میزان زیاد سیلیس آمورف موجود در آن ربط دارد. بدیهیست که این ژل باعث کاهش میزان خلل و فرج موجود در چندسازه شده است و چگالی آن را به میزان بسیار کم افزایش داده است، اما نتایج نشان داد که میزان تاثیر ناشی از وجود سیلیس بیشتر از عامل چگالی بوده است.

### تاثیر پودر آلومینیوم

کاهش چگالی و در نتیجه کاهش هدایت گرمایی در مواد سیمانی به روش‌هایی مانند، اختلاط خمیر سیمان با فوم-های آلی، استفاده از سنگریزه‌های سبک و استفاده از مواد شیمیایی تولید کننده‌ی گاز انجام می‌شود (Cerney et al., 2004). یکی از این مواد شیمیایی پودر آلومینیوم است که در محیط قلیایی بسیار واکنش پذیر است و در اثر واکنش با آهک آزاد حباب‌های گاز هیدروژن آزاد می‌کند و روشن است که بسته به میزان آب و پودر آلومینیوم استفاده شده، میزان تولید گاز هیدروژن متفاوت است. این حباب‌ها در خمیر سیمان باقی مانده و حجم آن را گسترش می‌دهند اما خلل و فرج بسیار ریز موجود در ماتریس را تحت تاثیر قرار نمی‌دهند. غلظت مناسب خمیر و زمان کم گیرایی آن از فرار گاز جلوگیری می‌کند (Arellano et al., 2010).



باید یادآوری شود که PH این محیط در حدود ۱۲/۵ بوده و برای روبرویی با عامل‌های بازدارنده گیرایی که در الیاف موجود هستند، مناسب است و این مسئله در مقاومت‌های مکانیکی چندسازه تاثیرگذار است. میزان هدایت گرمایی هوا برابر با ۰/۰۲۴ W/mK است، بنابراین با افزایش هوا، هدایت حرارتی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داده‌اند که با افزایش میزان پودر آلومینیوم هدایت گرمایی چندسازه کاهش یافت و این به دلیل

افزایش میزان تخلخل درشت تولید شده در ماتریس می‌باشد (Arellano et al., 2010). این احتمال وجود دارد که اگر میزان بیشتری از پودر آلومینیوم با آب واکنش دهد و میزان باقی مانده آن در ماتریس کم‌تر باشد، چندسازه تولید شده دارای هدایت گرمایی کم‌تری باشد، زیرا پودر آلومینیوم یک رسانای خوب گرماست. همچنین به این علت که گاز هیدروژن تا حدودی با شتاب و در میزان قابل توجهی تولید می‌شود، فشار موضعی زیاد در بعضی از قسمت‌های سامانه تخلخل، ممکن است منجر به ایجاد ترک شده و در انتقال گرما تاثیرگذار باشد (Cerney et al., 2004). از سوی دیگر در اثر انجام واکنش آلومینیوم با ترکیبات مختلف موجود در ماتریس، ذرات بلورینی بر روی الیاف و یا به صورت پخش شده در ماتریس به وجود می‌آیند. به عنوان مثال، وجود  $\text{CaCO}_3$  یا بلورهای دیگری مانند کلسیم سیلیکات و آلومینات‌ها بر روی الیاف، مناطقی را ایجاد می‌کنند که در آن‌ها تماس و چسبندگی بین ماتریس و الیاف کم‌تر است و هدایت گرمایی کاهش می‌یابد. علاوه بر آن در هنگامی که ترکیبات آلومینوسیلیکاتی در محیط‌های دارای سیلیکات قلیایی و هیدروکسید قلیایی که دارای دمای مناسب هستند، قرار می‌گیرند، ژئوپلیمری تولید می‌کند که هدایت گرمایی پایینی دارد (Goual et al., 2006).

M.S. Goual و همکاران (۲۰۰۶)، ویژگی‌های رطوبتی یک نوع بتن سلولار رس پایه را مورد بررسی قرار داده و آنان نیز به این نتیجه رسیدند که با افزایش پودر آلومینیوم از صفر تا یک درصد (نسبت به مجموع جرم سیمان و رس) هدایت گرمایی از ۰/۲۸۱ W/mK تا ۰/۲۰۱ W/mK کاهش یافت.

Khedari و همکاران (۲۰۰۱)، با بررسی چندسازه‌های سیمان-الیاف نارگیل به این نتیجه رسیده‌اند که هدایت گرمایی و چگالی آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۲۵۴ W/mK و ۹۵۸ Kg/m<sup>3</sup> است. چندسازه‌های A (۲۵٪ الیاف، ۱۰٪ ژل میکروسیلیس و ۰/۱ میکرو پودر آلومینیوم) و B (۲۵٪ الیاف، ۱۰٪ ژل میکروسیلیس و ۳۰٪ خاکستر سبک) تولید شده در این پژوهش دارای چگالی بیشتر (۱/۱ g/cm<sup>3</sup>) اما هدایت گرمایی کمتری هستند.

## نتیجه گیری

هدف از این تحقیق استفاده از مواد جایگزین سیمان، برای کاهش مصرف سیمان همراه با حل چالش های زیست محیطی، کاهش مصرف الیاف مصنوعی و در نتیجه کاهش هزینه های تولید و در نهایت ساخت چندسازه هایی با هدایت گرمایی کم است که منجر به کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها شود. در این پژوهش، کمترین میزان ضریب هدایت حرارتی در چندسازه ی A برابر  $0.14 \text{ W/mK}$  و مربوط به چندسازه های ساخته شده از ۲۵ درصد الیاف، ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و ۱/۱ W/mK درصد پودر آلومینیوم و در چندسازه ی B معادل  $0.17 \text{ W/mK}$  و مربوط به چندسازه های ساخته شده از ۲۵ درصد الیاف، ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس و ۳۰ درصد خاکستر سبک بود. نتایج تجزیه XRD چندسازه ها، نشان داد که چندسازه های نوع A دارای ترکیبات عایق گرمایی مانند هیدروکسید کلسیم و سیلیکات کلسیم هستند و بنابراین

به دلیل دارا بودن ترکیبات عایق گرما، حفره های درشت و همچنین الیاف سلولزی متخلخل، دارای هدایت گرمایی پایینی هستند. در چندسازه های نوع B میزان سیلیکات کلسیم بیشتر است اما این نمونه ها بدون خلل و فرج درشت هستند. سیلیکات کلسیم و هوا با داشتن به ترتیب، ضریب هدایت گرمایی  $0.057$  و  $0.29 \text{ (W/mK)}$  دارای هدایت گرمایی پایینی هستند. بنابراین افزایش خاکستر سبک و ژل میکروسیلیس به علت ترکیبات شیمیایی شان و میکرو پودر آلومینیوم و الیاف به علت ساختار متخلخلی که در ماتریس سیمانی ایجاد می کنند و همچنین ترکیب شیمیایی شان، هدایت گرمایی چندسازه ها را کاهش دادند. چندسازه های نوع A و B به دلیل دارا بودن ضریب هدایت گرمایی پایین برای کاربردهای ساختمانی مانند قسمت (پارتیشن) بندی، عایق صدا و گرما مناسب هستند.

## منابع

- 1-American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Handbook of Fundamentals, Atlanta, GA, USA, 2001 [Chapter 23].
- 2-Arellano Aguilarr.R., Burciaga Diaz,O., Escalante Garcia, J.I.,(2010). Lightweight concretes of activated metakaolin-fly ash binders, with blast furnace slag aggregates. Construction and Building Materials 24:1166–1175.
- 3- Arsene, MA., Okwo, A., Bilba, K., Soboyejo, ABO., Soboyejo, WO.,(2007) Chemically and thermally treated vegetable fibers for reinforcement of cement-based composites. Mater Manuf Process;22:214–27.
- 4-Benazzouk,A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., Queneudec, M., (2008). Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modeling. Construction and Building Materials ,PP.573–579.
- 5-Bilba, K., Arsene, MA., Ouensanga, A.,(2004). First step of valorization of dictame fibers by elaboration of cementitious composites. In: Proccedings of NOCMAT conference, Pirassununga, October–November; p. 1–6.
- 6-Bilba, K., Ouensanga, A.,(1996). Fourier transform infrared spectroscopic study of thermal degradation of sugar cane bagasse. J Anal Appl Pyrol;38:61–73.
- 7-Bouguerra A, Laurent JP, Goual MS, Queneudec M. The measurement of the thermal conductivity of solid aggregates using the transient plane source technique. J Appl Phys 1997;30:2900–4.
- 8- Boustingorry, P., Grosseau, P., Guyonnet, R., Guilhot, B.,(2005) The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster. Cem Concr Res;35:2081–6.

- 9-Cerny,R.,Podebadska,J.,Totova,M.,Toman,J.,Drachalova,J.,Rovnanikova,P.,and Bayer,B.,(2004).Hygrothermal properties of glass fiber reinforced cements subjected to elevated temperature. *Materials and Structures/Materiaux et Constractions*, vol.37,November, pp 598-607.
- 10-Coutts, R.S.P.,(1992). From forest to factory to fabrication. In: Swamy RN, editor. In: *Proceedings of the 4th international symposium of fibre reinforced cement and concrete*. London: E & FN Spon; p. 31–47.
- 11-Demurboga, R., Gu, I R.,(2003). The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement Concrete Res*;33:723–7.
- 12-Duman, V., Mladenovic, A., Suput, JS.,(2002). Lightweight aggregate based on waste glass and its alkali-silica reactivity. *Cement Concrete Res*;32:223–6.
- 13-Epstein, E.,(1999).silicon.*Annual Review of Plant Biology*;50, pp. 641-664.
- 14-Eusebio DA. Manufacturing parameters on the properties of cement-bonded boards using sugarcane baggase. In: Jorge FC, editor. *ICECFOP1 – International conference on environmentally-compatible forest products*. Oporto, Portugal: Fernando Pessoa University; 22–24 September 2004. p. 149–60.
- 15-Fedroff, D., Ahmed, S., Savas, DZ.,(1996). Mechanical properties of concrete with ground waste tire rubber. *Transport Res Rec*;1532:66–72.
- 16- Fu,X.,Chung,D.D.L.,(1999).Effect of admixtures on the thermal and thermomechanical behavior of cement paste, *ACI Mater. J.* 96 (4) 455– 461.
- 17-Goual,M.S.,Bali,A.,de Barquin,F.,Dheilily,R.M.,Queneudec,M.,(2006). Isothermal moisture properties of Clayey Cellular Concretes elaborated from clayey waste, cement and aluminium powder. *Cement and Concrete Research* 36: 1768–1776.
- 18-John, VM., Cincotto, M.A., Sjostrom, C., Agopyan, V., Oliveira, C.T.A.,(2005). Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre. *Cem Concr Compos*;27:565–74.
- 19-Juarez, C., Duran, A., Valdez, P., Fajardo, G.,(2007). Performance of “Agave lecheguilla” natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. *Build Environ*;42:1151–7.
- 20-Karade,S.R.,(2010).Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and Building Materials* 24 :1323–1330.
- 21-Kaufman,P.B.,LaCroix,J.D.,Dayanandan,P.,Allard,L.F,Rosen,J.J.,Bigelow.W.C. (1973).Silicification of developing internodes in the perennial scouring rush (*Equisetum hyemale*).*Dedvelopmental Biology*;31(1),pp.124-135.
- 22-Kearsley, EP., Wainwright, P.J.,(2001). The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete. *Cement Concrete Res*;31:105–12.
- 23- Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., Hirunlabh, J.,(2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cem Concr Compos*;23:65–70.
- 24-Laukaitis,A.,Zurauskas,R.,Keriene.J.,(2005).The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement Concrete Comp*;27:41–7.
- 25-Neville, A.M.,(1995). Light weight concrete. In: *Properties of concrete*. United Kingdom: Wiley, John and Sons, Prentice Hall; ISBN 0582230705. p. 688–715.
- 26-Onesippe,C.,Passe-Coutrin,N.,Toro,F.,Delvasto,S.,Bilba,K.,Arsene,M.A.,(2010). Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations . *Composites: Part A* 41.549–556.
- 27-Roaf, S., Nicol, F., Humphreys, M., Tuohy, P., Boerstra, A.(2010). Twentieth century standards for thermal comfort: Promoting high energy buildings. *Architectural Science Review* 53 (1), pp. 65-77.
- 28-Serge,N.,Joekes,I.,(2000).Use of tire particles as addition to cement paste. *Cement Concrete Res*;30:1421–5.

- 29-Simatupang, M.H., Seddig, N., Habighorst, C., Geimer, R.L., (1991). Technologies for rapid production of mineral-bonded wood composite boards. In: Proceedings of the inorganic bonded wood and fiber composite materials forest products research society, Madison, WI; p. 14-7.
- 30-Soni, S.L., Kaufman, P.B., Bigelow, W.C. (1971). Studies on silicon accumulation in developing internodal epidermal cells of *Cyperus alternifolius*. *Micron*; 3(3), pp348-356.
- 31-Sudin R, Swamy N. Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration. *J Mater Sci* 2006;41:6917-24.
- 32-Sun, R.C., Tomkinson, J., Ma, P.L., Liang, S.F., 2000. Comparative study of hemicelluloses from rice straw by alkali and hydrogen peroxide treatments. *Carbohydrate Polymers*, 42 (2): 111-122.
- 33-Tutus, A., Eroglu, H. 2003. A practical solution to the silica problem in straw pulping. *Appita Journal*, 56 (2) : 111-115.
- 34-Wang, J., Carson, J.K., North, M.F., Cleland, D., (2006). A new approach to modelling the effective thermal conductivity of heterogeneous materials. *Int J Heat Mass Transfer*; 49:3075-83.

## Investigation on Effect of Additives on Thermal Conductivity of Herbaceous Fiber Reinforced Cement Composite

M. M. Faezipour<sup>1</sup>, Z. Naghizadeh<sup>\*2</sup>, Gh. Ebrahimi<sup>3</sup> and Y. Hamzeh<sup>4</sup>

### Abstract

In this research, fiber reinforcement cement composites (A and B) with low thermal conductivity were produced. Composites type B were produced by two levels of fibers (*Equisetum telmateia*), 15 and 25%, three levels of silica fume gel, 0, 7 and 10% and three levels of fly ash, 0, 20 and 30%. In composites type A fly ash was replaced by aluminium powder in three levels, 0, 0.08 and 0.1% (all percentage by weight) to manufacture composites with target density and thickness of 1.10 g/cm<sup>3</sup> and 13 mm respectively. Results of tests to determine effects of additives on thermal conductivity of mentioned composites have shown that the increasing amount of each of the mentioned additives would significantly affect thermal conductivity of the experimental composites. Least thermal conductivity coefficient was observed 0.14 W/mK in composites type A, consisting 25% fiber, 10% silica fume gel and 0.1% aluminium powder. In composites type A with increasing the aluminium powder to 0.1%, silica fume gel to 10% and fiber to 25%, the thermal conductivity reduced 36, 34.78 and 42.86 % respectively. Least thermal conductivity coefficient was measured 0.17 W/mK in type B composites containing 25% fiber, 10% silica fume gel and 30% fly ash. In composites type B with increasing the amount of fly ash to 30%, silica fume gel to 10% and fiber to 25%, the thermal conductivity did decrease in order of 39.18, 37.5 and 47.62%.

**Keywords:** Fiber cement composite, Silica fume gel, Aluminium powder, *Equisetum telmateia*, Fly ash, Thermal conductivity

---

\* Corresponding author: Email: zahranaghizadeh@yahoo.com