اثر کاربرد پودر سنگ آهک بر خواص آجر ساختمانی

سهراب ویسه[i]؛ ناهید خدابنده[ii]

چکیده

در این تحقیق، پودر سنگ آهک حاصل از ضایعات سنگبری سنگهای کربناتی بعنوان افزودنی تخلخل زا در آجر بررسی شد. با نسبت های مختلف خاک و پودر سنگ آهک، نمونه‌های آجر ساخته شد. آزمایش‌های اندازه‌گیری چگالی بدنه، جمع شدگی‌های خشک‌شدن و پختن، جذب آب، مقاومت فشاری و ضریب هدایت حرارتی به عمل آمد. پس از یافتن درصد بهینه‌ی افزودنی در آزمایش‌ها، تولید نیمه صنعتی سفال سبک و همچنین آجر سبک سوراخ دار با استفاده از پودر سنگ آهک ضایعاتی با موفقیت انجام شد. علاوه بر سبک شدن آجر ناشی از خروج CO2 در هنگام پخت، وجود کلسیت از جمع‌شدگی پخت و متراکم شدن بدنه جلوگیری کرد. مقاومت فشاری در درصدهای نسبتاً کم کلسیت افزایش یافت. استفاده از این افزودنی، خواص عایق کاری حرارتی آجر را نیز بهبود بخشید.

کلمات کلیدی

آجر، مواد افزودنی، سنگ آهک، جمع‌شدگی، چگالی بدنه، عایق کاری حرارتی، تخلخل‌زایی

Effects of Limestone Powder on Properties of Structural Bricks

S. Veiseh; N. Kodabandeh

ABSTRACT

In this research limestone powder of stone processing factories as pore-forming material in brick was investigated. Brick samples were made with different proportions of brickmaking clay and limestone powder. Tests for determination of body density, drying and firing Shirinkages, water absorption, compressive strength and thermal conductivity were performed. After obtaining optimum percentage of additive, lightweight bricks and blocks using limestone were produced in pilot plant scale. In addition to mass decreasing due to CO2 removing, calcite prevent firing shirinkage and density increase. Compressive strength increased in relatively low percentages of calcite. Additive caused improvement of insulation properties.

KEYWORDS

Brick, additive, limestone, shrinkage, body density, thermal insulation, pore-forming

[i] عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن veiseh@bhrc.ac.ir

[ii] کارشناس مصالح ساختمانی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن khodabandeh@bhrc.ac.ir

۱- مقدمه

آجرهای سبک دارای مزایای زیادی است که از جمله می‌توان کاهش چگالی آجر و در نتیجه، کاهش جرم ساختمان و افزایش مقاومت آن در برابر نیروهای زلزله، بهبود خواص عایق کاری حرارتی نسبت به آجرهای معمولی و به دنبال آن، کاهش مصرف انرژی، کاهش وزن جا به جا شده و بالاخره هزینه های کمتر حمل و نقل را نام برد. به مواد اولیه خاک آجرپزی افزودنی‌های تخلخل‌زا اضافه می‌شود تا هنگام پخت در کوره بدنه‌ی آجر را سبک کند [۲].

این افزودنی‌ها به دو نوع آلی و معدنی تقسیم می‌شود. یکی از مواد افزودنی تخلخل‌زای معدنی، سنگ‌آهک است. نوعی از سنگ‌آهک که در تولید آجر مصرف دارد، سنگ‌آهک پرکلسیم یا کلسیتی است. هنگام استفاده از مواد سوختنی به عنوان عامل تخلخل زایی، مقدار کاهش در مقاومت به طور اساسی تحت تأثیر شکل و اندازه ذرات است که تعیین و کنترل آن نسبتاً ساده است. برخلاف آن، شرایط بدست آمده با افزودنی های معدنی، مانند پودر سنگ آهک، پیچیده‌تر است چون وجود آنها ممکنست به طور قابل ملاحظه‌ای دوره واکنش سینتر شدن را طی پخت تغییر دهد و نوع متفاوتی از خمیره‌ی بدنه‌ی آجر به وجود آید. از طرف دیگر، این مواد امکان تأثیر مثبت بر مقاومت ساختار بدنه‌ی آجر را فراهم می‌سازد و ممکن است برای چگالی یکسان بدنه به مقاومت بالاتری دست یافت [٦].

کلسیت وزن مخصوص ظاهری آجر را کاهش و تخلخل و جذب آب را افزایش می‌دهد[۳].

پودر سنگ‌آهک نوعی افزودنی برای ایجاد تخلخل میکرونی است. در اینجا تخلخل زایی دارای دو منشأ است [۱۱]:

۱- دی اکسید کربن از کربنات کلسیم جدا می شود.

۲- از جمع شدگی پخت و در نتیجه از متراکم شدن بدنه جلوگیری می‌کند.

آزمایش های انجام شده برروی آجر سبک ساخته شده با نوع خاصی از خاک‌رس‌های آجرپزی (که دارای مواد کربناتی کم و مقادیر مساوی کانی‌های رسی ایلیت و کائولینیت است) و افزودنی پودر سنگ‌آهک نشان داد که تخلخل به وجود آمده بسیار کم است. حداکثر کاهش در چگالی بدنه‌ی آجر که با ۱۵ درصد پودر سنگ‌آهک در ۹٦۰ درجه سانتیگراد به دست آمد تنها ۰/۱ گرم بر سانتی متر مکعب بود. عاملی که اهمیت بسیار زیادی دارد این است که علیرغم کاهش مختصر در چگالی بدنه، مقدار مقاومت فشاری بیش از ٤۰ درصد افزوده شده است. افزودن این ماده حتی اثرات مطلوبی بر مقاومت خمشی – کششی داشته است که با ۱۵ درصد پودر سنگ‌آهک عملاً دو برابر شد [٦].

نتایج بسیار مطلوب به دست آمده در اینجا کمتر به تشکیل تخلخل میکرونی مربوط است و بیشتر به این واقعیت ارتباط دارد که شبکه‌ی بدنه‌ی آجر در نتیجه تشکیل انواع دیگری سیلیکات، مقاومت بیشتری به دست آورده است.

با افزودن سنگ آهک کلسیتی به مواد اولیه‌ی آجرپزی می‌توان به اهداف زیر رسید [٤]:

- کاهش چگالی بدنه‌ی آجر
- بهبود رفتار انبساط و جمع شدگی در محدوده‌ی دمای پخت نهایی
- افزایش مقاومت بدنه

ارزیابی محاسباتی و نموداری داده‌ها نشان داد که مطلوب‌ترین مقدار پودر چاک به عنوان افزودنی در محدوده‌ی بین ۵ تا ۱۰ درصد وزنی قرار دارد. برای کاهش بیشتر در چگالی بدنه، مواد افزودنی سوختنی باید افزوده شد. بر اساس داده‌های گردآوری شده، از مواد تخلخل‌زای متفاوت می‌توان مخلوط تخلخل‌زایی را شامل افزودنی های تخلخل‌زای ریز و درشت ازجمله پودر سنگ آهک، فوم پلی‌استایرن، لجن کاغذسازی، پودر چاک و خاکستر بادی تهیه کرد.

افزودنی پودر سنگ‌آهک به علت خروج دی اکسید کربن در مرحله پخت، کاهش جمع شدگی پخت و تشکیل تخلخل ریز، چگالی بدنه آجر را کاهش می دهد. مزیت اصلی آن، اثر مثبت بر کسب مقاومت بدنه آجر است که عمدتاً در ارتباط با تشکیل مقدار زیادی سیلیکات های کلسیم می‌باشد. به عنوان بخشی از بهینه سازی بدنه رسی، به وسیله ترکیبی از افزودنی‌های تخلخل زای ریز و درشت، بلوک ها و آجرهای سبک سوراخ‌دار قائم آزمایشگاهی با چگالی‌های بدنه حدود ۱/۲ گرم بر سانتی متر مکعب ساخته شد که مقاومت فشاری میانگین ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در خاک کم آهک و ۸۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در مورد خاک با مقادیر بیشتر کلسیت به دست آمد. حجم سوراخها در هر دو مورد حدود ٤۰ درصد بوده است [٦].

با انجام آزمایش های مختلف، تأثیر حجم سوراخ ها بر مقاومت فشاری آجرهایی که در آن‌ها از پودر سنگ آهک به عنوان ماده تخلخل‌زا استفاده شده بود با تغییردادن ضخامت جداره بین ۵ و ۹ میلی‌متر بررسی شد. نتایج نشان داد که تقریباً با همان نسبتی که حجم سوراخ ها زیاد می‌شود مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. این بدان معناست که باید مقاومت ساختار بدنه را در اینجا افزایش داد [۱۰].

کاهش در چگالی بدنه به حدود ۱/۲۵ گرم بر سانتی متر مکعب با افزودنی‌های کاهنده‌ی وزن، دامنه‌ی تولید آجرهای عایق حرارت را به طور قابل ملاحظه‌ای وسعت می‌دهد. سبک‌سازی آجر، افزایش مقاومت حرارتی آن را نیز به دنبال دارد. هرچند این امر پدیده‌ای مثبت تلقی می‌شود، ولی به دلیل افت مقاومت فشاری آجر، لازم است روند تحول این دو پارامتر به طور همزمان بررسی شده و تعیین گردد تا چه میزان می‌توان وزن حجمی آجر و در نتیجه ضریب هدایت حرارتی آن را کاست بدون این که مقاومت فشاری آجر از حدود قابل قبول کمتر شود[۷].

ظرفیت باربری و عایق‌کاری حرارتی به نوع ملات بنایی مورد استفاده بستگی دارد. به‌عبارت دیگر، اگر بخواهیم بهترین نتیجه را با استفاده از آجرهای سبک کسب کنیم، لازم است ملاتی متناسب با آن پیش‌بینی شود تا از بروز پل‌های حرارتی و افت کیفیت دیوار از بعد انتقال حرارت حتی‌الامکان جلوگیری شود. بدیهی است نوع ملات باید به گونه‌ای باشد که مقاومت فشاری دیوار بیش از حد افت نکند.

پیش شرط اصلی برای تولید بلوک ها وآجرهای سبک با عایق‌کاری حرارتی خوب، مقدار قلیایی خاکی (آهک ، دلومیت و غیره) زیاد در بدنه رسی است. در نتیجه، هنگام استفاده از مواد اولیه‌ی کم آهک می‌توان این مقدار را با افزودنی‌هایی مانند پودر سنگ‌آهک یا چاک زیاد کرد. این کار نه تنها باعث می‌شود مقاومت بدنه‌ی آجر افزایش یابد، بلکه همچنین رفتار خشک شدن و پخت را بهبود می بخشد. بنابراین از تشکیل ترک‌های خشک شدن و پخت (که از مقاومت محصولات رسی می کاهد) جلوگیری می کند[٦].

مشخص شده است که با ماده‌ی خام غنی از آهک انتشار فلوئور (F) معمولا در سطح کم است. علت آن است که در طی پخت، فلورید هیدروژن (HF) از رس خارج شده و در منطقه پیش گرم کن کوره با آهک مواد اولیه‌ی آجرپزی واکنش می‌کند تا فلورید کلسیم در بدنه‌ی آجر به وجود آید. فلورید کلسیم نسبت به ترکیبات فلوئور موجود در مواد اولیه، در دماهای زیاد مقاوم‌تر است، بنابر این تا حد زیادتری در آجر باقی می‌ماند و منتشر نمی‌شود [۹].

افزودن آهک به مواد اولیه‌ی آجرپزی اهمیت خاصی در تولید بلوک‌ها وآجرهای رسی سبک دارد. بویژه از آنجا که آهک نه تنها به کاهش انتشار فلورین کمک می‌کند، بلکه همچنین با آزاد کردن CO_2 در طی فرآیند پخت به عنوان ماده‌ی تخلخل‌زا عمل می‌کند. این به نوبه خود کاهش مقدار مواد آلی افزودنی قابل اشتعال را ممکن می سازد و گازهای کربنیزاسیون دمای پایین منتشر شده را کم می‌کند[۵].

پژوهشگران، تاثیر کربنات‌های موجود در خاک رس بر خواص آجر از جمله مقاومت، رنگ، جذب آب، جمع‌شدگی پخت و پایداری در برابر یخبندان را بررسی کرده‌اند[۱].

۲- برنامه‌ی آزمایشگاهی

از برش و پرداخت سنگ‌های آهکی، پودر سنگ ریزدانه‌ای حاصل می‌شود که همراه با آب مورد استفاده برای خنک کردن اره‌ها و دستگاه‌های برش و صفحات ساینده‌ی پرداخت، به حوضچه‌های رسوب گل منتقل می‌شود. حجم این رسوبات بسیار زیاد است. پس از آنکه لجن‌های حوضچه خشک شد، گل‌سنگ را با صرف هزینه‌ی برداشت و مانند سایر زباله‌ها دفع می‌کنند. بررسی‌ها نشان داد جمعاً ٤/٥ میلیون تن لجن در سنگ بری‌های سراسر کشور ایجاد می‌شود. از این ماده معدنی ارزشمند تقریباً هیچ استفاده‌ای نمی‌شود. در حالی‌که علاوه بر خلوص کربنات کلسیم در گل‌سنگ اکثر واحدها، این مواد بسیار ریزدانه است و قابلیت کاربرد برای صنایع مختلف را دارد. در این تحقیق به کاربرد این پودرها در تولید آجر پرداخته شد. از لجن کارخانه‌های سنگ بری واقع در شهر سنگ، ابتدای جاده‌ی قدیم تهران-قم نمونه‌برداری و آزمایش‌های دانه‌بندی و تجزیه‌ی شیمیایی بر روی آن انجام شد.

از خاک آجرپزی معدن فرون‌آباد (کیلومتر ۲۳ جاده تهران- گرمسار) نمونه برداری شد و بر روی این نمونه‌ها آزمایش‌های تجزیه شیمیایی، اندازه‌گیری حدود اتربرگ و تعیین مقدار مانده روی الک نمره ۱۰۰، انجام گرفت.

برای تعیین بهترین نسبت اختلاط، نمونه‌های آزمایشی ساخته شد. ابتدا مواد اولیه، که شامل خاک و پودر سنگ آهک است، در آون در ۵±۱۱۰ درجه سلسیوس خشک و از الک شماره ٤٠ (٠/٤٢٥ میلی متر) عبور داده شد. مقدار مشخصی خاک در داخل جام مخلوط کن مکانیکی ریخته، مقدار معینی پودر سنگ آهک (طبق نسبت اختلاط مربوط) به آن افزوده شد. پس از مخلوط کردن کامل خاک و پودر سنگ آهک، مقدار لازم آب برای اختلاط به آن اضافه گردید. پس از جذب آب در مخلوط خاک و پودر سنگ آهک، مخلوط کن با سرعت کم و سپس با سرعت متوسط به کار انداخته شد و عمل اختلاط به طور کامل انجام گرفت. گل خمیری پس از ورز دادن، در داخل قالب‌هایی به ابعاد داخلی ۷۰ ×۱۰۰×۱۰۰ میلی متر (تقریباً نیم آجر) ریخته و به طریقه دستی و با استفاده از کوبه متراکم شد. در مرحله‌ی نهایی، سطح قالب به کمک کاردک صاف و دو طرف نمونه با قرار دادن دو صفحه شیشه‌ای کاملاً مسطح شد. نمونه‌ها در قالب و به مدت ۳ روز

در دمای محیط قرار گرفت. پس از خارج کردن از قالب، نمونه‌ها ابتدا در محیط آزمایشگاه و سپس در آون ۵ ±۱۱۰ درجه سانتی گراد کاملاً خشک گردید. پخت نمونه ها طبق نمودار دما- زمان مشخص صورت گرفت. آزمایش‌های اندازه‌گیری چگالی بدنه (روش ارشمیدس)، جمع شدگی خشک شدن، پخت و کل، جذب آب، مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی آجر با استفاده از روش ورق گرم کالیبره مطابق با استاندارد EN12664 بر روی نمونه‌های با ابعاد ۳۰۰×۳۰۰×۵۰ میلی متر انجام شد.

۳ – نتایج و تحلیل

در این تحقیق از خاک رس چسبنده با ترکیب شیمیایی جدول (۱) استفاده شد.

جدول (۱) : ترکیب شیمیایی خاک رس استفاده شده

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
LOI	۱۳/۸۹	Fe_2O_3	۵/۴۰
SiO_2	۴۸/۵۶	CaO	۱۴/۵۰
Al_2O_3	۱۳/۹۵	MgO	۲/۲۰
SO_3	۰/۴۹	Cl	۰/۰۱

حدود اتربرگ ودرصد وزنی مانده روی الک نمره ۱۰۰ این خاک به شرح جدول (۲) است:

جدول (۲): حدود اتربرگ ودرصد وزنی مانده روی الک نمره ۱۰۰ خاک رس استفاده شده

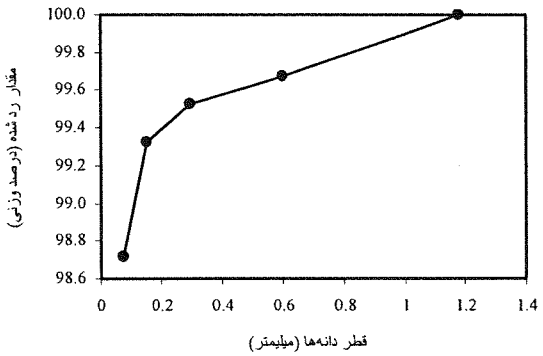
حد حالت خمیری (PL)، درصد	۱۸
حد حالت روانی (LL) ، درصد	۳۲
نشانه حالت خمیری (PI)، درصد	۱۴
درصد وزنی مانده روی الک نمره ۱۰۰	۲/۴

در این تحقیق از پودر سنگ آهک حاصل از ضایعات کارخانه‌های سنگ بری با ترکیب شیمیایی جدول (۳) استفاده شد:

جدول(۳) : ترکیب شیمیایی پودر سنگ آهک استفاده شده

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
LOI	۴۳/۷۳	CaO	۵۴/۳۲
SiO_2	۰/۷۲	MgO	۰/۲۰
Al_2O_3+Fe_2O3	۰/۷۵	Cl^-	۰/۲۴
SO_3	۰/۰۰	$CaCO_3$	۹۷/۰۰

لجن کارخانه سنگ بری، مورد آزمایش دانه‌بندی به روش تر قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۱) آمده است :



شکل(۱): نمودار دانه بندی لجن کارخانه سنگ بری

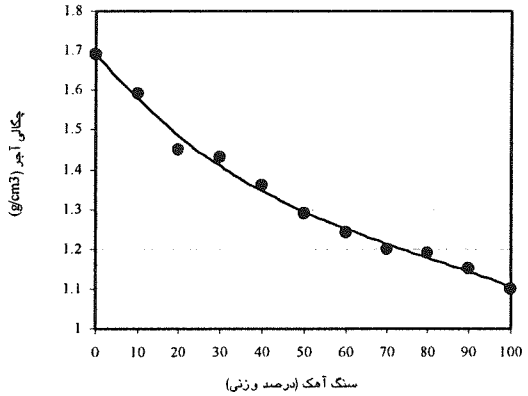
نتایج به دست آمده از آزمایش های انجام شده در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول (۴) : نتایج آزمایش نمونه های آجر

میزان سنگ آهک (درصد وزنی افزایشی)	چگالی بدنه (g/cm^3)	جذب آب (درصد وزنی)	مقاومت فشاری (kg/cm^2)
۰	۱/۶۹	۱۶/۷	۳۰۹
۱۰	۱/۵۹	۱۸	۳۷۴
۲۰	۱/۴۵	۲۰	۳۲۵
۳۰	۱/۴۳	۲۲/۷	۲۰۵
۴۰	۱/۳۶	۲۹/۷	۱۶۰
۵۰	۱/۲۹	۳۱	۹۲
۶۰	۱/۲۴	۳۵	۵۲
۷۰	۱/۲	۳۹/۷	۴۶
۸۰	۱/۱۹	۳۹	۴۵
۹۰	۱/۱۵	۴۵	۳۰
۱۰۰	۱/۱	۴۸	۲۲

در شکل (۲) رابطه‌ی بین چگالی بدنه و درصد وزنی سنگ آهک نشان داده شده است. چنانچه دیده می‌شود با افزایش میزان سنگ آهک، چگالی بدنه کاهش یافته است. به طوری که نمونه‌ی بدون سنگ آهک، چگالی حدود ۱/۷ گرم بر سانتی

متر مکعب دارد. در حالی که بیشترین میزان سنگ آهکی که در این آزمایش ها به خاک افزوده شده است (۱۰۰ درصد) چگالی را به حدود ۱/۱ گرم بر سانتی متر مکعب رساند.



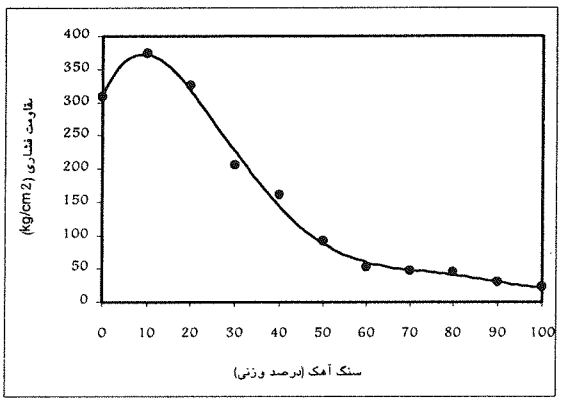
شکل(۲): رابطه بین چگالی بدنه و درصد وزنی سنگ آهک

رابطه ۱ تابع چگالی بدنه را در برابر تغییرات درصد وزنی سنگ آهک نشان می‌دهد :

$$y = -5 \times 10^{-7} x^3 + 0/0001\, x^2 - 0/0123\, x + 1/6903 \qquad (1)$$

ضریب تعیین منحنی رابطه ۱ برابر $R^2 = 0/9928$ به دست آمد.

در شکل (۳) نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های آجر نسبت به درصد وزنی سنگ آهک ارائه شده است:



شکل(۳): نمودار تغییرات مقاومت فشاری نمونه های آجر نسبت به درصدهای وزنی سنگ آهک

چنانچه ملاحظه می‌شود تا ۲۰ درصد وزنی سنگ آهک، مقاومت نسبت به آجر معمولی بیشتر است. در حالی که مقادیر بیشتر سنگ آهک، مقاومت فشاری را به طور توانی کاهش داده است.

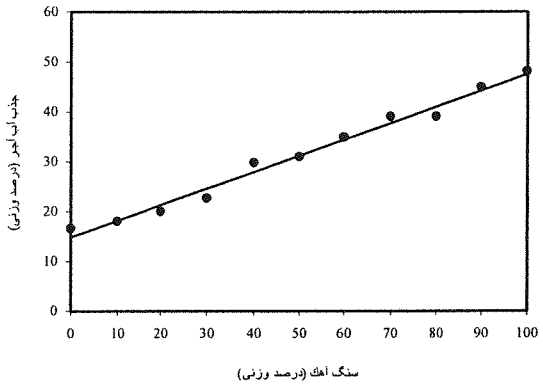
رابطه (۲) تابع مقاومت فشاری نمونه های آجر در برابر تغییرات درصد وزنی سنگ آهک است:

$$y = 7 \times 10^{-7} x^5 - 0/0002\, x^4 + 0/0242\, x^3 - 1/1731 x^2 + 15/727\, x + 310/08 \qquad (2)$$

ضریب تعیین منحنی رابطه ۲ برابر $R^2 = 0/995$ به دست آمد.

مطابق استاندارد ملی شماره (۷) ایران "آجر رسی" حداقل مجاز مقاومت فشاری برای آجر توکار باربر ۸۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و آجر توکار غیرباربر ٤٠ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. بنابر این، درصد بهینه افزودنی پودر سنگ آهک برای آجر توکار باربر ۵۰ درصد و برای آجر توکار غیرباربر ۸۰ درصد به دست آمد. پیشنهاد می‌شود تأثیر دمای پخت بر خواص آجرهای ساخته شده با درصدهای بهینه ماده افزودنی در پژوهش‌های آتی بررسی شود.

در شکل (٤) نمودار جذب آب در برابر درصد وزنی سنگ آهک نشان داده شده است:



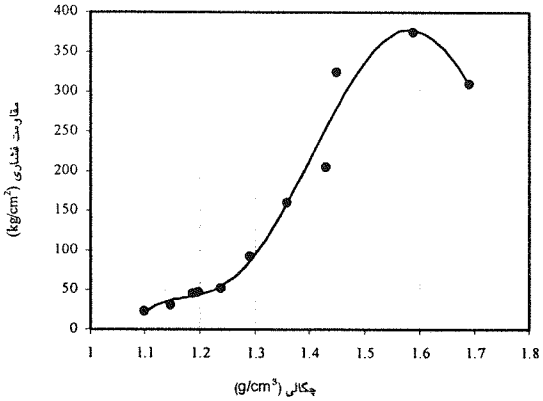
شکل (۴) : نمودار تغییرات جذب آب نمونه های آجر نسبت به درصدهای وزنی سنگ آهک

چنانچه دیده می شود با افزایش مقدار سنگ آهک، جذب آب نمونه‌های آجر به طور خطی افزایش می‌یابد. رابطه (۳) تابع جذب آب نمونه های آجر را در برابر تغییرات درصد وزنی سنگ آهک ارائه می‌دهد:

$$y = 0/3267\, x + 14/945 \qquad (3)$$

ضریب تعیین منحنی رابطه ۳ برابر $R^2 = 0/984$ به دست آمد.

در شکل ۵ نمودار مقاومت فشاری در برابر چگالی نمونه‌های آجر نشان داده شده است:



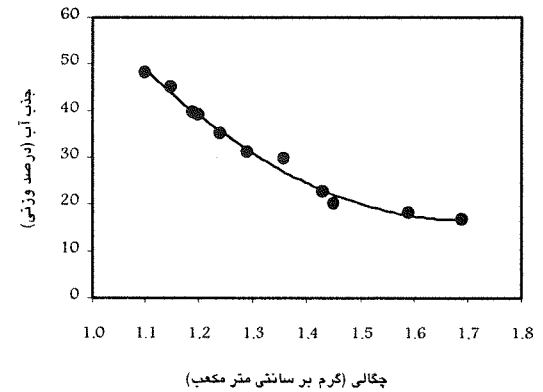
شکل (۵) : رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی بدنه در نمونه‌های آجر

چنانچه ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار چگالی نمونه‌های آجر تا حدود ۱/٦ گرم بر سانتی متر مربع مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. پس از آن، تا هنگامی که چگالی به چگالی آجر معمولی می‌رسد، مقاومت فشاری کم می‌شود. رابطه(٤) تابع مقاومت فشاری نمونه‌های آجر را در برابر تغییرات چگالی بدنه بیان می‌کند:

$$y = -۱۳٦۸۱\ x^٤ + ٦۸۰۳۷\ x^۳ - ۱۲٤۲٤٦\ x^۲ + ۹۹۲۰۰\ x - ۲۹۲۸۳ \qquad (٤)$$

ضریب تعیین منحنی رابطه ٤ معادل $R^2 = ۰/۹۷۲$ تعیین شد.

در شکل (٦) رابطه‌ی بین چگالی و جذب آب نمونه‌های آجر نشان داده شده است:

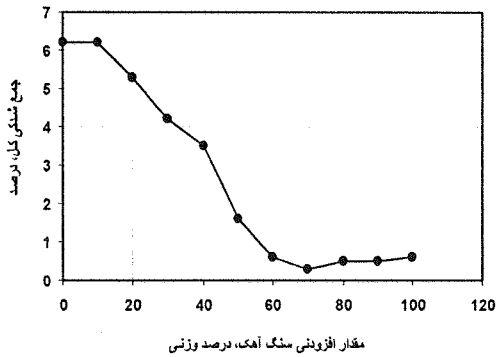


شکل(۶): رابطه‌ی بین چگالی بدنه‌ی آجر و جذب آب

چنانچه ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار چگالی نمونه‌های آجر، جذب آب آنها کاهش می‌یابد. رابطه (٥) تابع جذب آب نمونه‌های آجر را در برابر تغییرات چگالی بدنه بیان می‌کند:

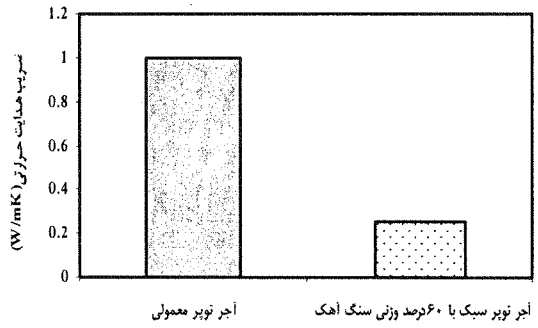
$$y = ۹۰/۱۳۹x^۲ - ۳۰٦/۱٦x + ۲۷٦/٥٤ \qquad (٥)$$

در شکل (۷) رابطه‌ی بین مقدار افزودنی پودر سنگ آهک و جمع شدگی کل نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود با افزودن سنگ آهک در محدوده‌ی ۱۰ تا ٦۰ درصد وزنی، میزان جمع شدگی کل به طور پیوسته کاهش یافته است. نتایج جمع شدگی خشک شدن و پخت نشان داد که بخش عمده‌ی کاهش جمع شدگی به جمع شدگی خشک شدن مربوط است.



شکل(۷): رابطه‌ی بین مقدار افزودنی پودر سنگ آهک و جمع‌شدگی کل

ضریب هدایت حرارتی آجر سبک با ٦۰ درصد وزنی پودر سنگ آهک ۰/۲٥٦ وات بر متر درجه کلوین به دست آمد. در شکل (۸) ضریب هدایت حرارتی آجر سبک با ٦۰ درصد وزنی پودر سنگ آهک با ضریب هدایت حرارتی آجر معمولی مقایسه شده است:



شکل (۸) : مقایسه ضریب هدایت حرارتی آجر سبک با سنگ آهک و آجر معمولی

چنانچه در شکل (۸) ملاحظه می‌شود افزودنی سنگ آهک ضریب هدایت حرارتی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است.

در یکی از کارخانه‌های نزدیک تهران تولید نیمه صنعتی سفال سبک با استفاده از پودر سنگ آهک انجام شد. پس از اختلاط کامل خاک با ٤٠ درصد وزنی پودر سنگ آهک، مخلوط به داخل فیدر تغذیه شد. میزان آب مورد نیاز تنظیم و مراحل آسیاب کردن و شکل‌دهی به وسیله اکسترودر به روش معمول کارخانه انجام گرفت. مراحل خشک کردن و پختن با موفقیت انجام شد. آزمایش‌های اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی، جذب آب و ابعاد بر روی آجرها انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها رضایت‌بخش بود و مقاومت فشاری به کمتر از حداقل مجاز استاندارد کاهش نیافت. ترک‌خوردگی ناشی از خشک شدن و میزان جمع‌شدگی کمتر از سفال‌های معمولی بود.

اثر مثبت زیست محیطی یکی از مزایای استفاده از ضایعات پودری کارخانه‌های سنگ بری به شرح زیر است:

۱- کاربرد یک ماده ضایعاتی (که دور ریخته می‌شود) در تولید یک محصول ساختمانی باعث کاهش حجم زباله‌ها شده و به سلامت محیط زیست کمک می‌کند. ۲- با این روش مقدار برداشت خاک رس که ماده‌ای تجدید ناپذیر است، کاهش می‌یابد. ۳- با توجه به این که در ساختمان‌های ساخته شده با این آجرها، عایق کاری حرارتی بهتری انجام می‌شود، مصرف سوخت‌های فسیلی و ایجاد CO_2 برای گرمایش این ساختمان‌ها کمتر است.

از طرف دیگر در ساخت این آجرها به دلیل تجزیه کربنات کلسیم گاز CO_2 تولید می‌شود. از آنجا که دی اکسید کربن گاز گلخانه‌ای است باعث گرم شدن زمین و آسیب زیست محیطی می‌شود. اما این اثر منفی در برابر سایر مزیت‌های زیست محیطی تولید این آجرها قابل صرف نظر است.

٤- نتیجه‌گیری

با افزودن سنگ آهک کلسیتی به مواد اولیه‌ی آجرپزی می‌توان به اهداف کاهش چگالی بدنه آجر به علت تشکیل تخلخل ریز، کاستن جمع شدگی خشک شدن و پخت و در نتیجه جلوگیری از ترک و همچنین بهبود خواص عایق‌کاری حرارتی رسید. مزیت افزودنی سنگ آهک اثر مثبت بر کسب مقاومت بدنه آجر در درصدهای کمتر افزودنی است که عمدتاً با تشکیل سیلیکات های کلسیم در ارتباط است.

برای خاک آجرپزی مورد بررسی، درصد بهینه افزودنی پودر سنگ آهک برای آجر توکار باربر ۵۰ درصد و برای آجر توکار غیرباربر ۸۰ درصد به دست آمد.

مراجع

[۱] ویسه سهراب، "آجر رسی، خواص و تولید"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۷۳

[۲] ویسه سهراب، خدابنده ناهید، "آجر سبک با استفاده از خاک اره"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲

[۳] Bender, W., Hundle , F., "*Brick and Tile Making*" , Berlin: Bauverlag, pp.81-86, 1982

[٤] Freyburg, S., Finger F.A.(), "*Microstructure formation and durability of bricks*". Institute for Building Materials Science ,D-Weimar, , pp.32-41, 2001

[٥] Haltz T., Gehlken L. "*Mineral raw materials in the brick and tile industry-important parameters in the daily pratice of the geoscientist*", Zi-Annual, pp.23-31, 2001

[٦] Hauck D. Jung E., "*Improvement of the coefficient of thermal conductivity of lightweight clay bricks and blocks*", Annual for the Brick and Tile, structural ceramics and clay pipe industries, Bauverlag GMBH, Wiesbaden and Berlin, 1991

[۷] Hauck,D., Ruppik, M. "*Influence of the raw material composition on the strength and thermal conductivity of vertically perforated clay bricks and blocks*". Zi-Annual, pp.54-80, 1998

[۸] Freyburg, S., Finger F.A., "*Microstructure formation and durability of bricks*". Institute for Building Materials Science ,D-Weimar, , pp.32-41, 2001

[۹] Kolkmeier H., "*Possible alternatives for obtaining porosity of masonry brick*", Zi International, pp.9-11, 1980

[۱۰] Rimpel E. "*Influence of the mineral constituents and equilibrium moisture on thermal conductivity of bricks*". Zi-Annual, pp.28-52, 1998

[۱۱] Ruppik, M., Hauck, D., "*Influence of additives on shaping*". Zi-Annual, pp.34-46, 2000

[۱۲] Spitzner, M.H., Junge K. "*Reduction of the thermal conductivity of clay bricks*", Zi-Annual, pp15-27, 1998