

تولید آجر و بلوک سفالی سبک با استفاده از افزودنی پلی استیرن منبسط

Lightweight Bricks and Clay Blocks Production Using EPS Additive

سهراب ویسه^{۱*}، علی اکبر یوسفی^۲

۱- تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، صندوق پستی ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

۲- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۱۷

آجر معمولی وزن زیادی دارد و باعث سنگین شدن ساختمان و در نتیجه آسیب پذیری آن در برابر نیروهای زلزله می شود. از این رو لازم است تا با کاهش چگالی، افزون بر سبک کردن آجر، ویژگی های عایق کاری گرمایی آن نیز بهبود یابد. از موادی که به عنوان افزودنی تخلخل زا به مواد اولیه آجر اضافه می شود، دانه های پلی استیرن منبسط است. در این مقاله، بخشی از یافته های طرح پژوهشی تولید آجر سبک با استفاده از دانه های پلی استیرن منبسط ارائه می شود. در این طرح دانه بندی اسفنج، تعیین نسبت و چگونگی اختلاط و دمای پخت بررسی شده است. بررسی ها نشان می دهد، با افزودن ۱/۵ درصد وزنی دانه های پلی استیرن منبسط به خاک آجرپزی، چگالی بدنه به 0.98 g/cm^3 و مقاومت فشاری آن به حدود $9/8 \text{ MPa}$ می رسد. چنین آجری به عنوان آجر معمولی باربر قابل استفاده است. با افزودن ۲ درصد وزنی دانه های پلی استیرن منبسط به خاک، چگالی بدنه به حدود 0.9 g/cm^3 کاهش می یابد، در حالی که مقاومت فشاری به حدود $6/9 \text{ MPa}$ می رسد. این نوع آجر را می توان به عنوان آجر معمولی غیرباربر استفاده کرد. رسانندگی گرمایی آجرهای سبک ساخته شده با ۱/۵ درصد وزنی از دانه های پلی استیرن منبسط 0.36 W/mK به دست آمد که در مقایسه با آجرهای معمولی به مقدار یک سوم کاهش یافته است. تولید آزمایشی آجرهای سبک با افزودنی دانه های پلی استیرن منبسط در کارخانه آجر ماشینی موفقیت آمیز بود، به طوری که آجرهای ساخته شده دارای مقاومت و جذب آب استاندارد و کیفیت مناسب بودند.

بسیار ش

فصلنامه علمی- ترویجی

سال دوم، شماره ۳.

صفحه ۲۴-۱۸، ۱۳۹۱

ISSN: 2252-0449

چکیده



سهراب ویسه



علی اکبر یوسفی

واژگان کلیدی

آجر سبک، اسفنج پلی استیرن، چگالی، رسانندگی گرمایی، مقاومت فشاری

مقدمه

همه آجرها به درجات مختلفی متخلخل اند. تخلخل از خشک شدن و در پی آن پخت ناشی می‌شود. بدین ترتیب که خارج شدن رطوبت موجود در گل فضاهای خالی به جای می‌گذارد. چنانچه افزودنی‌هایی به مواد اولیه اضافه شود، حجم فضاهای خالی را می‌توان به روش کنترل شده‌ای افزایش داد. با افزایش حجم فضاهای خالی وزن آجر کم می‌شود. این امر خواص مشخصی از جمله افزایش مقاومت گرمایی در محصول نهایی پدید می‌آورد. مزیت دیگر آجرهای سبک کاهش وزن جابه‌جا شده و در نتیجه هزینه‌های کمتر حمل و نقل است.

هوادار کردن با پلاستیک‌ها یکی از روش‌های سبک‌سازی آجر و بلوک‌های سفالی در کشورهای صنعتی است. روش سبک‌سازی با اسفنج پلی‌استیرن، دارای حق امتیازی به نام پروتن است که در آن از اسفنج پلی‌استیرن برای ایجاد تخلخل درشت استفاده می‌شود [۱]. برخی از کارخانه‌های آجر از دانه‌های پلی‌استیرن منبسط پیش‌ساخته استفاده می‌کنند، اما برای تولید انبوه، دارا بودن سامانه تولید اسفنج اساسی است. ماده خام از خوراک‌دهنده دستگاه کف‌ساز به وسیله مارپیچ خارج و به طرف سهم‌بندی کننده حمل می‌شود. ماده خام در داخل دستگاه کف‌ساز درحالی که به‌طور یکنواخت مخلوط می‌شود، در برابر بخار اشباع قرار می‌گیرد. با این کار، دانه‌های استیرن ریز پر از هوا با قطرهایی در محدوده ۰/۵ تا ۳ mm و میانگین چگالی ظاهری 12 kg/m^3 تشکیل می‌شود. سپس، اسفنج پلی‌استیرن آماده از میان خشک‌کن عبور داده می‌شود تا دانه‌های مجزا در هوای گرم (۵۰ تا ۶۰°C) خشک و تثبیت شوند.

دانه‌های پلی‌استیرن از قسمت پایین خشک‌کن به‌طور مستقیم به درون سیلوهای انبار تخلیه شده یا به کمک هواکش‌های خاص به داخل آنها دمیده می‌شوند [۲]. هر سیلوی انبار دارای حجمی تقریباً معادل 100 m^3 است. تعداد سیلوها به دوره انبارش و مصرف روزانه بستگی دارد که در آن حداقل یک دوره نگه‌داری ۲۴ ساعته تضمین می‌شود. سپس، دانه‌های پلی‌استیرن از سیلوهای انبار خارج شده و به وسیله سامانه انتقال بادی به طرف سیلوهای تولید عبور داده می‌شوند. سیلوی تولید معمولاً درست در بالای مخلوط‌کن دوماحوری سامانه اکستروژن نصب می‌شود. از شیر قابل تنظیم اندازه‌گیر برای خارج ساختن دانه‌ها از سیلو استفاده می‌شود [۲].

باید دقت کرد، از به‌کار بردن مخلوط‌های رسی خیلی سفت برای اکستروژن به‌منظور جلوگیری از فشردگی بیش از اندازه دانه‌های اسفنج پلی‌استیرن باید اجتناب شود. اسفنج پلی‌استیرن در دهانه دستگاه اکسترودر به آن افزوده می‌شود. در صورت امکان باید

اکستروژن در خلأ انجام نگیرد. خاک رس‌های پرمايه با ماسه نسبتاً کم، مناسب‌ترین خاک برای اختلاط با اسفنج پلی‌استیرن هستند [۳]. برای تولید آجر سبک با افزودنی اسفنج پلی‌استیرن، از همان خشک‌کن‌ها و کوره‌های ساخت آجرهای بنایی استاندارد استفاده می‌شود. زمان خشک‌شدن با افزودن پلی‌استیرن معمولاً کوتاه می‌شود. فرایند واقعی پخت تحت تاثیر این مقدار کم از ماده اشتعال‌پذیر قرار نمی‌گیرد، بنابراین، عملیات کنترل خاصی لازم نیست [۴]. پلی‌استیرن منبسط بدون آنکه هیچ‌گونه خاکستری برجای بگذارد، در ۱۰۰ تا ۷۰۰°C تجزیه گرمایی می‌شود. گازهای استیرن و بنزن که در این فرایند آزاد می‌شوند به همراه گازهای دودکش از محیط عمل خارج می‌شوند [۵].

تجربی

مواد

در این پژوهش، از خاک آجرپزی معدن فرون آباد (کیلومتر ۲۳ جاده تهران- گرمسار) نمونه‌برداری شد. اسفنج پلی‌استیرن دانه‌ای تولیدی شرکت عایق پلاستیک به دو شکل ضایعاتی و نو استفاده شد.

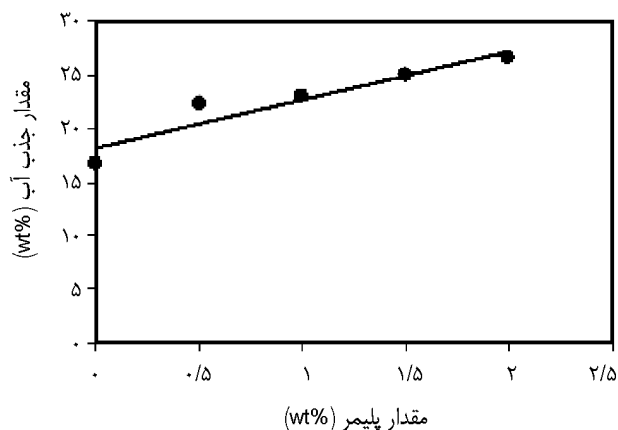
دستگاه‌ها

دستگاه‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش عبارتند از: گرم‌خانه اهرت نوع TK/L8 تا دمای ۲۵۰°C، کوره نابترم مدل N41/H تا دمای ۱۴۰۰°C، دستگاه مقاومت فشاری وایکام فرانس نوع WF556223، الک‌های استاندارد، مخلوط‌کن هویارت مدل N500، ترازوی متر، دستگاه کاساگرانده، دستگاه اندازه‌گیری رسانندگی گرمایی.

روش

آزمایش‌های شیمیایی (تعیین درصد عناصر سیلیسیم، آلومینیم، کلسیم، منیزیم، آهن، کلرید، سولفات و افت وزن در اثر سرخ شدن در ۱۰۰۰°C) و فیزیکی (اندازه‌گیری حدود اتربرگ شامل حد حالت روانی، حد حالت خمیری و نشانه حالت خمیری، مانده روی الک شماره ۱۰۰) روی نمونه‌های خاک رس انجام شد. آزمایش دانه‌بندی نیز روی نمونه‌های اسفنج انجام گرفت.

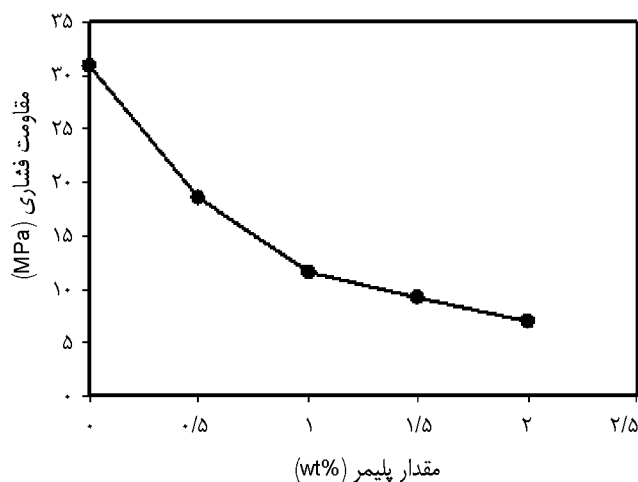
برای تعیین بهترین روش تولید، نسبت اختلاط و دمای پخت، نمونه‌های آزمایشی ساخته شد. گل خمیری در داخل قالب‌هایی به ابعاد داخلی $70 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ (تقریباً نیم‌آجر) ریخته و به روش دستی متراکم شد. نمونه‌ها به مدت ۳ روز در قالب و در دمای محیط نگه‌داری شدند. سپس، نمونه‌ها از قالب بیرون آورده و در



شکل ۲- تغییرات جذب آب نمونه‌های آجر نسبت به مقدار پلی‌استیرین منبسط به کار رفته.

نما مصرف کرد و تنها می‌توان از آن به عنوان آجر معمولی (توکار) بهره برد. شایان ذکر است، حد مجاز استاندارد ایران برای جذب آب آجر نما ۲۳ درصد است. این استاندارد برای آجر معمولی حدی را مشخص نکرده است.

در شکل ۳، تغییرات مقاومت فشاری آجر نسبت به درصد وزنی پلی‌استیرین منبسط آمده است. با افزودن اسفنج پلی‌استیرین، مقاومت فشاری باید به حدی کاهش یابد که از حدود مجاز استاندارد کمتر نشود. این شکل نشان می‌دهد، اگر هدف تولید آجر ناست نمی‌توان بیش از ۱/۵ درصد از اسفنج پلی‌استیرین به خاک رس افزود. زیرا، مقاومت فشاری از ۱۰ MPa (حداقل مجاز مقاومت فشاری برای آجر نما) کمتر می‌شود. افزودن ۱/۵ درصد از پلیمر، مقاومت فشاری را در حدی نگاه می‌دارد که همچنان می‌توان از آن به عنوان آجر معمولی در دیوار باربر استفاده کرد. زیرا، حداقل مقاومت فشاری



شکل ۳- تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های آجر در برابر مقدار پلی‌استیرین منبسط به کار رفته.

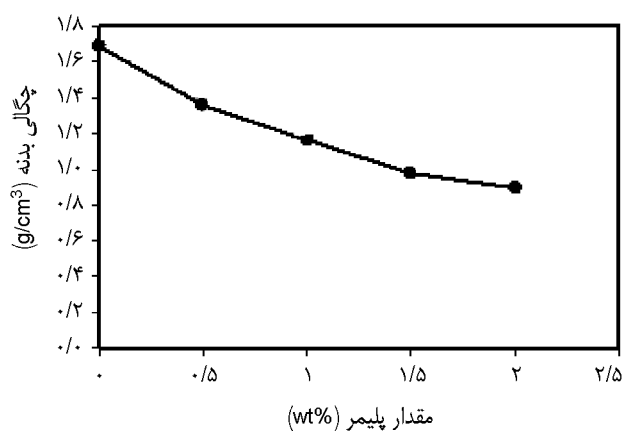
محیط آزمایشگاه و در گرم‌خانه در دمای $110 \pm 5^\circ\text{C}$ کاملاً خشک شدند. عمل پخت نمونه‌ها مطابق نمودار دما - زمان مشخص انجام گرفت. آزمون‌های اندازه‌گیری چگالی بدنه (روش ارشمیدس)، جمع شدگی حاصل از خشک شدن و پخت و جمع شدگی کل، جذب آب و مقاومت فشاری روی نمونه‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های تجزیه شیمیایی، درصد مانده روی الک نمره ۱۰۰ و حدود اتربرگ نشان می‌دهد، این خاک شامل بخش بزرگی رس است. دانه‌بندی اسفنج‌ها نشان می‌دهد، قطر قسمت عمده دانه‌های اسفنج پلی‌استیرین نو بین ۲ و ۳ mm است. توزیع اندازه دانه‌های اسفنج پلی‌استیرین ضایعاتی پهن‌تر و دانه‌ها نیز درشت‌تراند. شکل ۱، تغییرات چگالی نمونه‌های آجر را برحسب مقدار دانه‌های پلی‌استیرین منبسط به کار رفته در آن نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، با افزایش حدود ۱/۵ درصد وزنی از اسفنج پلی‌استیرین، چگالی آجر به کمتر از 1 g/cm^3 می‌رسد. چگالی آجری با ۱ درصد وزنی از دانه‌های پلی‌استیرین منبسط $1/17 \text{ g/cm}^3$ است و استفاده از ۲ درصد وزنی از این دانه‌ها چگالی آجر حاصل را به حدود 0.9 g/cm^3 کاهش می‌دهد.

شکل ۲، تغییرات جذب آب آجر را برحسب تابعی از مقدار دانه‌های پلی‌استیرین منبسط به کار رفته نشان می‌دهد. افزایش بیش از ۱ درصد از اسفنج پلی‌استیرین، مقدار جذب آب را به حدی افزایش می‌دهد که این نوع آجر را نمی‌توان به عنوان آجر



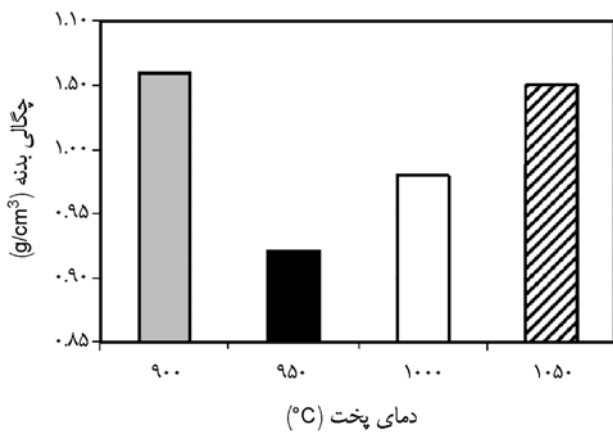
شکل ۱- تغییرات چگالی بدنه نمونه‌های آجر در برابر مقدار پلی‌استیرین منبسط به کار رفته.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته روی آجرهای سبک با ۱/۵ درصد دانه‌های پلی‌استیرن منبسط پخته شده در دماهای مختلف.

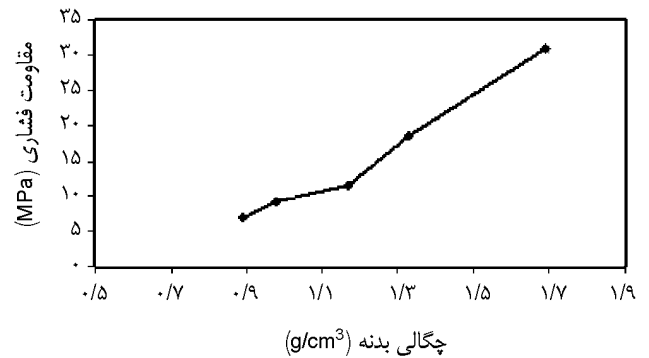
مقاومت فشاری (MPa)	جذب آب (%wt)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	دمای پخت (°C)
۵/۷	۳۰/۳	۱/۰۶	۹۰۰
۶/۷	۲۷/۵	۰/۹۲	۹۵۰
۹/۷	۲۵/۵	۰/۹۸	۱۰۰۰
۱۲/۵	۲۲/۵	۱/۰۵	۱۰۵۰

نسبت به حداکثر دمای پخت نشان داده شده است.

این شکل نشان می‌دهد، نمونه‌های پخت شده در دمای ۹۰۰ °C به علت عدم پخت کافی و تجزیه نشدن بعضی کانی‌ها، از چگالی بیشتری نسبت به نمونه‌های پخته شده در ۹۵۰ °C و ۱۰۰۰ °C برخوردارند. در حالی که در دمای ۱۰۵۰ °C به دلیل ازدیاد فاز شیشه‌ای و کم شدن فضای خالی، چگالی بدنه افزایش یافته است. شکل ۷، تغییرات مقاومت فشاری آجر سبک با ۱/۵ درصد اسفنج پلی‌استیرن را نسبت به دمای حداکثر نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، با ازدیاد دمای پخت مقاومت فشاری افزایش یافته است. علت آن را می‌توان به تشکیل کانی‌های جدید و افزایش فاز شیشه‌ای نسبت داد که استحکام بیشتر را سبب می‌شود. در شکل ۸، تغییرات جذب آب آجر سبک با ۱/۵ درصد دانه‌های پلی‌استیرن منبسط نسبت به دمای پخت ارائه شده است. ملاحظه می‌شود، با ازدیاد دمای پخت آجر مقدار جذب آب آن کاهش یافته



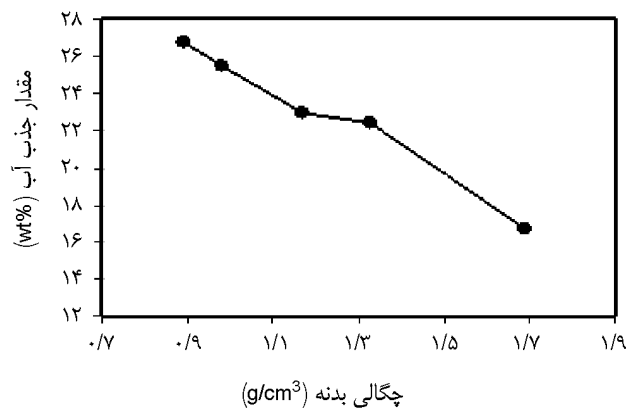
شکل ۶- تغییرات چگالی بدنه آجر سبک با ۱/۵ درصد دانه‌های پلی‌استیرن منبسط نسبت به دمای پخت.



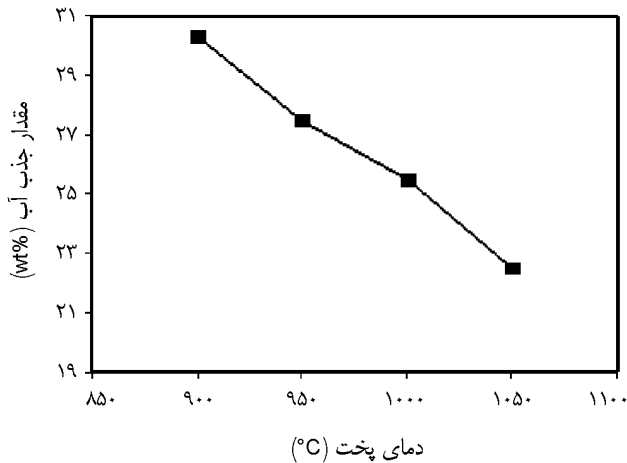
شکل ۴- رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی بدنه در نمونه‌های آجر پلیمری.

مجاز برای آجر معمولی در دیوار باربر ۸ MPa است.

شکل ۴، تغییرات مقاومت فشاری بدنه آجر را در برابر چگالی نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل برمی‌آید، می‌توان با چگالی بدنه برابر با ۱ g/cm³ به مقاومت فشاری حدود ۹ MPa دست یافت که کاملاً بیش از حداقل مجاز استاندارد برای آجر باربر توکار است. شکل ۵، رابطه بین جذب آب و چگالی در نمونه‌های آجر آزمایش شده را نشان می‌دهد. دیده می‌شود، با کاهش چگالی آجر مقدار جذب آب افزایش می‌یابد. به طوری که با تغییر چگالی از ۱/۷ به ۰/۹ g/cm³ مقدار جذب آب از حدود ۱۷ به ۲۷ درصد می‌رسد. از آنجا که مقدار بهینه دانه‌های پلی‌استیرن منبسط برای تولید آجر سبک با چگالی و مقاومت مناسب ۱/۵ درصد به دست آمده است، برای تعیین دمای پخت بهینه، خشت‌های ساخته شده با این مقدار از اسفنج، در دماهای ۹۰۰، ۹۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۵۰ °C پخته شدند. آجرهای ساخته شده با این شرایط تحت آزمون‌های مختلف قرار گرفتند که نتایج آنها در جدول ۱ ارائه شده است. در شکل ۶، نمودار ستونی تغییرات چگالی آجر سبک با ۱/۵ درصد اسفنج پلی‌استیرن



شکل ۵- رابطه بین جذب آب و چگالی در نمونه‌های آجر پلیمری.



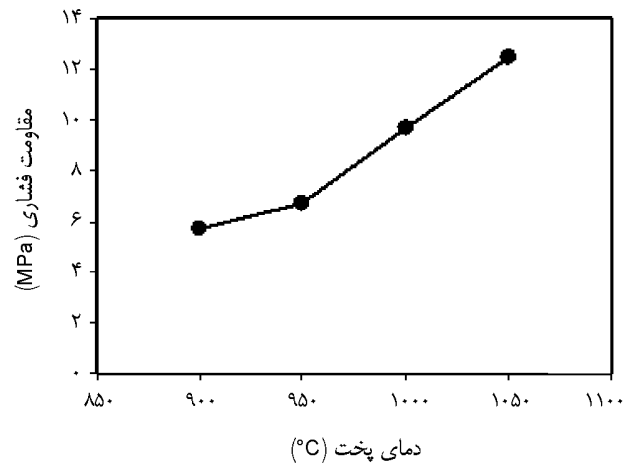
شکل ۸- تغییرات جذب آب بدنه آجر سبک با ۱/۵ درصد پلی استیرین منبسط نسبت به دمای پخت.

گرمایی آجر سبک با دانه‌های پلی استیرین منبسط نسبت به آجر معمولی بهبود یافته است.

بررسی اقتصادی

فرض می‌شود، برای ساخت هر قالب آجر معمولی ماشینی، مقدار ۱۳۰۰ g خاک و برای ساخت هر قالب آجر سبک ماشینی، مقدار ۱۳۰۰ g خاک و ۱۳ g اسفنج پلی استیرین (۱ درصد وزنی) مورد نیاز است. با توجه به قیمت روز متوسط هر قالب آجر ماشینی و هر کیلوگرم اسفنج پلی استیرین ضایعاتی و چنانچه از ۱ درصد اسفنج در تولید آجر سبک استفاده شود، افزایش هزینه تولید آجر سبک به ازای هر قالب حدود ۲۰ درصد است.

بخشی از این افزایش قیمت با کم شدن هزینه حمل آجر جبران می‌شود. باید توجه داشت، هزینه حمل آجر مانند بسیاری از مصالح ساختمانی برحسب وزن محاسبه می‌شود. از آنجا که عامل محدود کننده در بار کامیون وزن آن است، بنابراین آجرهای سبک بیشتری نسبت به آجر معمولی در یک کامیون قابل بارگیری است. با توجه به اینکه چگالی آجر معمولی $1/69 \text{ g/cm}^3$ و چگالی آجر سبک پلیمری با ۱ درصد اسفنج حدود $1/17 \text{ g/cm}^3$ است، در نتیجه به



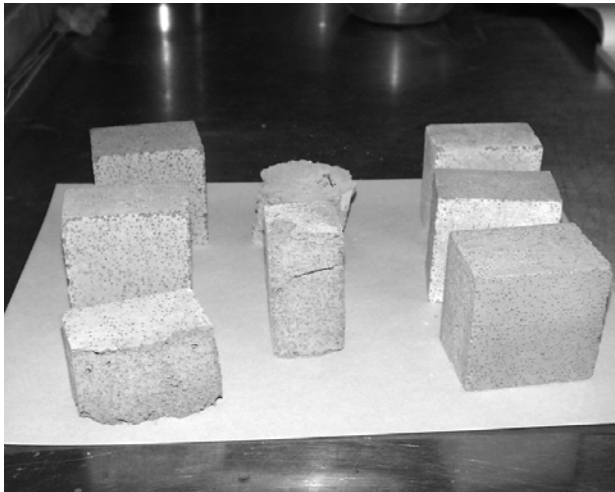
شکل ۷- تغییرات مقاومت فشاری بدنه آجر سبک با ۱/۵ درصد اسفنج پلی استیرین نسبت به دمای پخت.

است. علت این مسئله را می‌توان بسته شدن فضاهای خالی آجر در اثر تشکیل شیشه و فازهای جدید از جمله مولیت دانست. برای بررسی اثر دانه‌بندی دانه‌های پلی استیرین منبسط بر ویژگی‌های آجر سبک پلیمری، نمونه‌های خشت با ۱/۵ درصد دانه‌های پلی استیرین منبسط به شکل نو و ضایعات الک نشده و ضایعات رده شده از الک $3/35 \text{ mm}$ ساخته و در دمای 1000°C پخته شدند.

نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف انجام شده بر این نمونه‌ها در جدول ۲ به اختصار آمده است. همان‌طور که از این جدول برمی‌آید، مقدار جذب آب نمونه‌های آجر سبک ساخته شده با پلی استیرین ضایعاتی و رد شده از الک $3/35 \text{ mm}$ کمتر از نوع دیگر است. در حالی که مقاومت فشاری آجر سبک پلیمری ساخته شده با پلی استیرین ضایعاتی رد شده از الک $3/35 \text{ mm}$ از آجرهای ساخته شده با افزودنی پلی استیرین الک نشده بیشتر است. علت این امر تخلخل کمتر این نوع آجر در نتیجه دانه‌بندی مناسب‌تر است. رسانندگی گرمایی آجر سبک با ۱/۵ درصد اسفنج پلی استیرین $0/36 \text{ W/mK}$ است. در شکل ۹، این مقدار با رسانندگی گرمایی آجر معمولی مقایسه شده است. بنابراین، خواص عایق‌کاری

جدول ۲- نتایج آزمون‌های جذب آب، چگالی و مقاومت نمونه‌های آجر سبک با ۳ نوع اسفنج پلی استیرین.

نوع مواد	مقدار جذب آب (%)	چگالی (g/cm^3)	مقاومت فشاری (MPa)
مواد نو الک نشده	۲۸/۵	۰/۹۲	۴/۷
مواد ضایعاتی الک نشده	۲۸/۷	۰/۸۹	۵/۹
مواد ضایعاتی رد شده از الک $3/35 \text{ mm}$	۲۵/۵	۰/۹۸	۹/۷



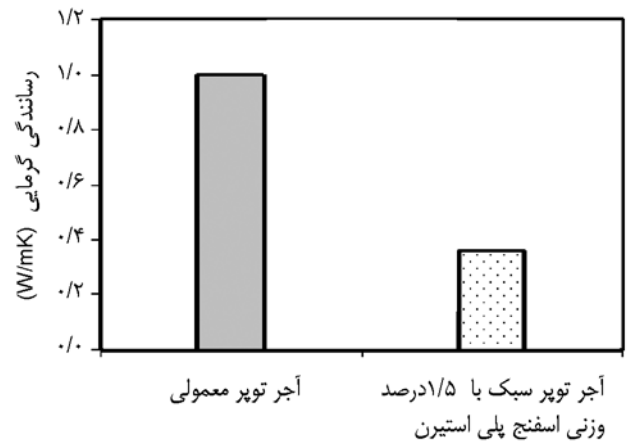
شکل ۱۰- نمونه‌های آجر سبک با استفاده از اسفنج پلی‌استیرن.

کاهش ذخایر سوخت فسیلی در جهان و افزایش قیمت این مواد، روز به روز بر اهمیت بهینه‌سازی مصرف سوخت افزوده می‌شود. استفاده از مصالحی که مقاومت گرمایی بهتری نسبت به مصالح سنتی داشته باشند به یک ضرورت انکارناپذیر تبدیل شده است. اگر فقط به این جنبه صرفه‌جویی توجه شود، استفاده از این نوع آجرها دارای توجیه اقتصادی است.

نتیجه‌گیری

از جمله موادی که می‌توان به‌عنوان افزودنی تخلخل‌زا در آجرپزی مصرف کرد، دانه‌های پلی‌استیرن منبسط است. این ماده برای ایجاد تخلخل‌های درشت استفاده می‌شود. خاک رس‌های پرمایه با ماسه نسبتاً کم برای اختلاط با پلی‌استیرن مناسب‌ترین خاک هستند. زیرا، پلی‌استیرن ماده غیرچسبنده بسیار مؤثری است. مشخص شده که مواد به‌کار رفته برای ایجاد تخلخل عموماً اثر مطلوبی بر رفتار خشک شدن بدنه‌های آجر دارند.

کاهش مقاومت فشاری در اثر افزودن دانه‌های پلی‌استیرن منبسط باید به حدی باشد که این مقاومت از حدود مجاز استاندارد کمتر نشود. افزودن ۱/۵ درصد از EPS، مقاومت را در حدی نگاه می‌دارد که همچنان می‌توان آن را به عنوان آجر معمولی در دیوار برابر مصرف کرد. با افزایش مقدار دانه‌های پلی‌استیرن منبسط چگالی بدنه کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش مقدار دانه‌های پلی‌استیرن منبسط به حدود ۱/۵ درصد وزنی، چگالی آجر به کمتر از 1 g/cm^3 و با افزودن حدود ۲ درصد از آن، چگالی به



شکل ۹- مقایسه رسانندگی گرمایی آجر سبک دارای دانه‌های پلی‌استیرن منبسط و آجر معمولی.

میزان ۳۰ درصد از وزن آجر و در نتیجه هزینه حمل آن کاسته می‌شود.

هزینه حمل مصالح یکی از ارقام درشت در فهرست هزینه‌های ساخت و ساز در کشور است. در برخی مناطق که آجر از مناطق دور حمل می‌شود، هزینه حمل با قیمت آجر در کارخانه تقریباً مساوی است. در این شرایط کاهش جرم که کاهش هزینه حمل را در پی دارد باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در قیمت تمام شده آجر و در نتیجه هزینه ساخت ساختمان‌های آجری می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که قسمت عمده دیوارهای ساختمان‌هایی که در کشور ساخته می‌شود با آجر و سفال است. بنابراین، توجه به کاهش جرم آجر و بلوک سفالی که مصالح اصلی در ساخت اکثر ساختمان‌های جدید شهری و روستایی است از جنبه کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله و حفظ سرمایه‌های ملی به هنگام بروز چنین حوادثی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. با استفاده از مصالح سبک مانند آجر و بلوک سفالی سبک با افزودنی EPS، مقاومت ساختمان در برابر زلزله و عمر ساختمان‌ها افزایش می‌یابد که کاربرد این‌گونه آجرها را از این جنبه نیز دارای صرفه اقتصادی می‌کند.

رسانندگی گرمایی آجر سبک با ۱/۵ درصد اسفنج پلی‌استیرن 0.36 W/mK است، در حالی که مقدار آن برای آجر معمولی حدود 1 W/mK است. بنابراین، رسانندگی گرمایی آجرهای سبک ساخته شده حدود یک سوم آجرهای معمولی است. آجرهای سبک در ساختمان به همین اندازه باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شوند. این موضوع رقم قابل ملاحظه‌ای را تشکیل می‌دهد که پس از چند سال افزایش هزینه آجر مصرفی را جبران می‌کند. با

ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. بنابراین، استفاده از آنها در ساختمان باعث صرفه‌جویی زیادی در مصرف انرژی می‌شود.

مراجع

1. Spitzner M.H. and Junge K., Reduction of the Thermal Conductivity of Clay Bricks, *Zi-Annual*, 15-27, 1998.
2. Schellbach G. and Jung E., Statically and Thermally Optimized Lightweight Clay Bricks of Blocks for Prefabricated Wall Panels, *Zi-Annual*, 122-135, 1991.
3. Hauck D. and Ruppik M., Influence of the Raw Material Composition on the Strength and Thermal Conductivity of Vertically Perforated Clay Bricks and Blocks, *Zi-Annual*, 54-80, 1998.
4. Haltz T. and Gehlken L., Mineral Raw Materials in the Brick and Tile Industry-Important Parameters in the Daily Practice of the Geoscientist, *Zi-Annual*, 23-31, 2001.
5. Bender W. and Hundle F., *Brick and Tile Making*, Abacus, Berlin, Bauverlag, 1982.
6. Pauls N., *Composition and Reduction of Low-temperature Carbonization Gases in the Production of Light Weight Bricks*, Annual for the Brick and Tile, Structural Ceramics and Clay Pipe Industries, Bauverlag GmbH, Wisbaden and Berlin, 1987.
7. Hauck D., Jung E., *Improvement of the Coefficient of Thermal Conductivity of Lightweight Clay Bricks and Blocks*, Annual for Brick and Tile, Structural Ceramics and Clay Pipe Industry, 108-121, 1991.
8. Tucker IR.J.F.E., Firing of Bricks from Clay Containing Combustible Components in Tunnel Kilns., *Ziegelindustrie Internat.*, **33**, 9-11, 1980.
9. Kolkmeier, H., Possible Alternatives for Obtaining Porosity of Masonry Brick, *Ziegelindustrie Internat.*, **42**, 192-197, 1989.

حدود 0.9 g/cm^3 کاهش پیدا می‌کند. سبک‌سازی آجر با ۱/۵ درصد از دانه‌های پلی‌استیرن منبسط رسانندگی گرمایی را به مقدار قابل