

## اسفنج شیشه‌ای؛ مزایا، کاربرد و تولید

مهران ویژه

تهران، شرکت افرنک گستر تابان

پیام‌نگار: mvijehco@yahoo.com

### چکیده

اسفنج شیشه‌ای اگرچه محصولی ناشناخته در ایران است ولی تولید آن در آمریکا حدود ۸۰ سال پیش آغاز شده و محصولی جا افتاده و پر مصرف در کشورهای صنعتی است. به جهت ضریب هدایت حرارتی پائین، از بهترین مواد عایق در ساختمان و صنایع است. خواص منحصر به فرد آن در مقایسه با سایر مواد خانواده عایق‌ها، باعث شده است که به عنوان ماده برتر و با کاربرد وسیعتر در موارد ویژه بکار گرفته شود. از جمله این خواص مقاومت فشاری بالا، خنثی بودن به مواد شیمیایی، دامنه کارکرد دمایی وسیع از منفی ۲۶۰ درجه تا مثبت ۶۰۰ درجه سلسیوس، چگالی پائین (در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم برمتر مکعب) و سبکی آن، استحکام و ثبات ابعادی، آتش گیر نبودن آن، مقاوم در مقابل حمله حیوانات جونده و حشرات موزی، عایق رطوبت، گرما، سرما و صوت را می‌توان نام برد. مزیت برجسته دیگر در تولید اسفنج شیشه‌ای، استفاده از شیشه بازیافت است. از آنجایی که شیشه رها شده پس از مصرف در طبیعت می‌تواند تا هزاران سال بدون تغییر باقی بماند، بکارگیری آن برای محصولی جدید با کاربرد وسیع و طولانی نشان از دوستدار طبیعت بودن این تولید است.

امروزه استفاده از اسفنج شیشه‌ای در صنایع ساختمان، پتروشیمی، شیمی، غذایی و دارویی، نظامی، نیروگاهی، کشتی‌سازی، ساخت بنادر، زیرسازی جاده‌ها در مناطق سردسیر، فضاهای ورزشی، استخر و آبنماها و غیره، جایگاه ویژه‌ای داشته و مصرف آن همچنان رو به افزایش است.

فرایند تولید اسفنج شیشه‌ای از ذوب مجدد شیشه خرده بازیافت با مقدار کمی بچ در کوره‌های الکتریکی به منظور دستیابی به شیشه خرده یکنواخت و همگون آغاز می‌گردد. سپس شیشه فوق آسیاب شده و با دانه‌بندی مناسب با مواد اسفنج‌ساز مخلوط و در قالب‌های بزرگ مکعب مستطیل ریخته می‌شود. قالب‌های مذکور وارد کوره تونلی می‌شود و تا دمای ۸۵۰ درجه و بر اساس منحنی خاصی، گرم و در طی آن اسفنج شیشه‌ای تشکیل می‌گردد. اسفنج شکل گرفته در قالب و در ادامه حرکت در کوره تونلی به آهستگی سرد شده و بدین ترتیب تنش زدایی می‌گردد. سپس از قالب خارج و به ابعاد استاندارد بریده و بسته‌بندی می‌شود.

سرمایه‌گذاری این تولید برای ۳۰۰۰۰ متر مکعب در سال حدود ۱۰ میلیون یورو و سی میلیارد ریال است. با توجه به قیمت تمام شده کمتر از ۲۰۰۰۰ ریال برای یک بلوک استاندارد به ابعاد ۶۰×۶۰×۶۰ میلی‌متر و به حجم ۰/۲۱۶ متر مکعب و قیمت فروش ۱۶۲۰۰۰ ریال برای این بلوک (بر مبنای ۳۰۰ یورو برای هر متر مکعب که نصف قیمت جهانی محصول (اروپایی/آمریکایی) است)، برگشت سرمایه در کمتر از ۲ سال امکان پذیر است.

**کلمات کلیدی:** اسفنج شیشه‌ای، عایق صوتی، عایق حرارتی، دوستدار محیط زیست، شیشه ضایعاتی، مقاومت فشاری

۱- مقدمه

تولید اسفنج شیشه‌ای برای اولین بار توسط شرکت آمریکایی Pittsburgh Corning در سال ۱۹۳۵ آغاز گردید. این شرکت تا سال ۱۹۴۲ اسفنج شیشه‌ای را با نام تجاری FOAMGLAS در بازار آمریکا به ثبت رساند و از سال ۱۹۵۷ شروع به صادرات به اروپا کرد. با توجه به تقاضای بالای اسفنج شیشه‌ای در اروپا، این شرکت در سال ۱۹۶۵ اقدام به تاسیس دو کارخانه تولید اسفنج شیشه‌ای در بلژیک (Tessender) و در آلمان (Schmiedefeld) نمود.

با اولین دوره بحران انرژی و افزایش شدید قیمت نفت در حدود سالهای ۱۹۷۵ و نیاز به صرفه جویی انرژی و کاهش ضایعات آن در ساختمان و صنعت، تقاضای بازار اروپا و آمریکا برای اسفنج شیشه‌ای دائماً در حال افزایش بود بطوریکه واحدهای متعددی در اروپا و آمریکا مشغول به تولید این محصول گردیدند و به دنبال آنها این تولید بتدریج در ژاپن، کره جنوبی، چین و بلاروس نیز آغاز گردید. آخرین کارخانه تولید اسفنج شیشه‌ای در سال ۲۰۰۸ در جمهوری چک با بکارگیری آخرین دستاوردهای تکنولوژی به بالاترین بازدهی و کیفیت در تولید اسفنج شیشه‌ای رسیده است.

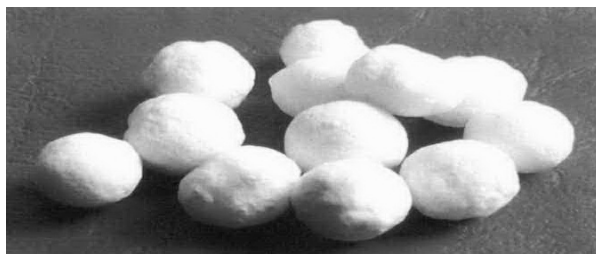
امروزه کاربرد اسفنج شیشه‌ای تنها به عایقکاری ساختمان‌ها محدود نمی شود بلکه بدلیل خواص منحصر به فرد آن در صنایع پتروشیمی، لوله‌های انتقال (آب، نفت و گاز)، عایقکاری واحدهای نیروگاهی (به‌خصوص نیروگاههای هسته‌ای)، صنایع نظامی، صنایع کشتی سازی، ایستگاههای خطوط مترو، صنایع غذایی و دارویی، ساخت بنادر، زیرسازی جاده‌ها در مناطق سردسیر و غیره نیز گسترش یافته است.

اسفنج شیشه‌ای شامل سه خانواده اصلی زیر است:

۱-۱ اسفنج شیشه‌ای به صورت گرانول

اساس تولید اسفنج شیشه‌ای گرانوله با آسیاب کردن منظم و دقیق شیشه خرد و دانه‌بندی آن با آرایش مناسب که با مواد اسفنج‌ساز مخلوط شده است آغاز می‌گردد. سپس مخلوط فوق در کوره‌های دوار گاز سوز تا ۸۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود و آنگاه منحنی حرارتی خاصی بتدریج سرد می‌گردد و بدین ترتیب گرانول‌های اسفنجی تولید می‌گردد. محصول خروجی از کوره دوار برای برش‌های دقیق با دانه‌بندی مختلف وارد کلاسیفایرها گردیده و

نهایتاً گرانول‌هایی با اندازه‌های مشخص (مطابق جدول (۱)) جداسازی و بسته‌بندی می‌شود.



شکل ۱- اسفنج شیشه‌ای به صورت گرانول

جدول ۱- مشخصات گرانول‌های اسفنجی

XL	L	M	S	اندازه ذره (mm)
۲-۴	۱-۲	۰/۵-۱/۰	۰-۰/۵	
۰/۵-۰/۷	۰/۵-۰/۷	۰/۶-۰/۸	۰/۷-۰/۹	چگالی حجمی (g/cm <sup>3</sup> )
۰/۲۷-۰/۳۱	۰/۳۱-۰/۳۵	۰/۳۱-۰/۳۵	۰/۳۴-۰/۳۸	چگالی ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )

از مزایای اسفنج شیشه‌ای گرانول می‌توان به خواص بسیار خوب آن به عنوان عایق حرارتی و رطوبتی، افزایش خواص رئولوژی در ماتریس بکار گرفته شده، مقاومت شیمیایی بسیار بالا و خواص ضد آتش آن اشاره کرد.

اسفنج شیشه‌ای گرانول کاربردهای وسیع و متنوعی از جمله موارد زیر دارد:

- رنگهای پوششی ساختمانی در داخل و خارج ساختمان
- چسب‌ها
- به عنوان ماده اولیه دکوراسیون‌های داخلی و خارجی
- خمیرهای تنظیم تراز سطح

کاربردهای اصلی اسفنج شیشه‌ای کلوخه‌ای در عایقکاری تراس‌ها، بام‌ها، عایقکاری استخرها و تونل‌ها، عایقکاری‌های خطوط لوله‌های انتقال گاز و نفت و آب بخصوص در مناطق سردسیر، عایقکاری مخازن آب و گاز و بالاخره در عایق‌سازی صوتی می‌باشد.



شکل ۳

میزان سرمایه‌گذاری ارزی خرید ماشین آلات و دانش فنی برای تولید ۱۲۰۰۰۰ متر مکعب اسفنج شیشه‌ای به صورت کلوخه در سال (بر اساس ۴۵ تن در روز شیشه خرده) در حدود ۴ میلیون یورو می‌باشد.

### ۳-۱ اسفنج شیشه‌ای به صورت بلوک

تمرکز اصلی این مقاله بر روی اسفنج شیشه‌ای به صورت بلوک است. زیرا میزان کاربرد آن بسیار وسیع و ساده و در تمامی ساختمان‌ها است. لذا آنچه در ذیل می‌آید با تمرکز در اسفنج شیشه‌ای به صورت بلوک می‌باشد.

### ۲- خواص اسفنج شیشه‌ای:

۱. چگالی: اسفنج شیشه‌ای دارای چگالی در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلو گرم بر مترمکعب، محصولی متخلخل و سبک با استحکام بالاست که استفاده از آن موجب افزایش وزن ساختمان نمی‌شود. متناسب با محل کاربرد و عایقکاری مورد انتظار می‌توان از چگالی‌های مختلف آن استفاده کرد.
۲. عایق حرارتی: اسفنج شیشه‌ای با ضریب هدایت حرارتی  $0.038-0.055 (W/mK)$  در دمای  $298K$  یا همان  $25^{\circ}C$  از جمله بهترین مواد عایق‌کننده است. این ضریب برای آجر

- صنایع خودروسازی
- پودرهای ضد حریق
- کامپوزیت‌ها (چند سازه‌ها)
- مواد ضد حریق
- پوشش‌های صوتی
- بتن سبک

سرمایه‌گذاری ارزی خرید ماشین آلات و دانش فنی برای تولید ۳۰۰۰ تن در سال اسفنج شیشه‌ای گرانول در حدود ۷ میلیون یورو است.

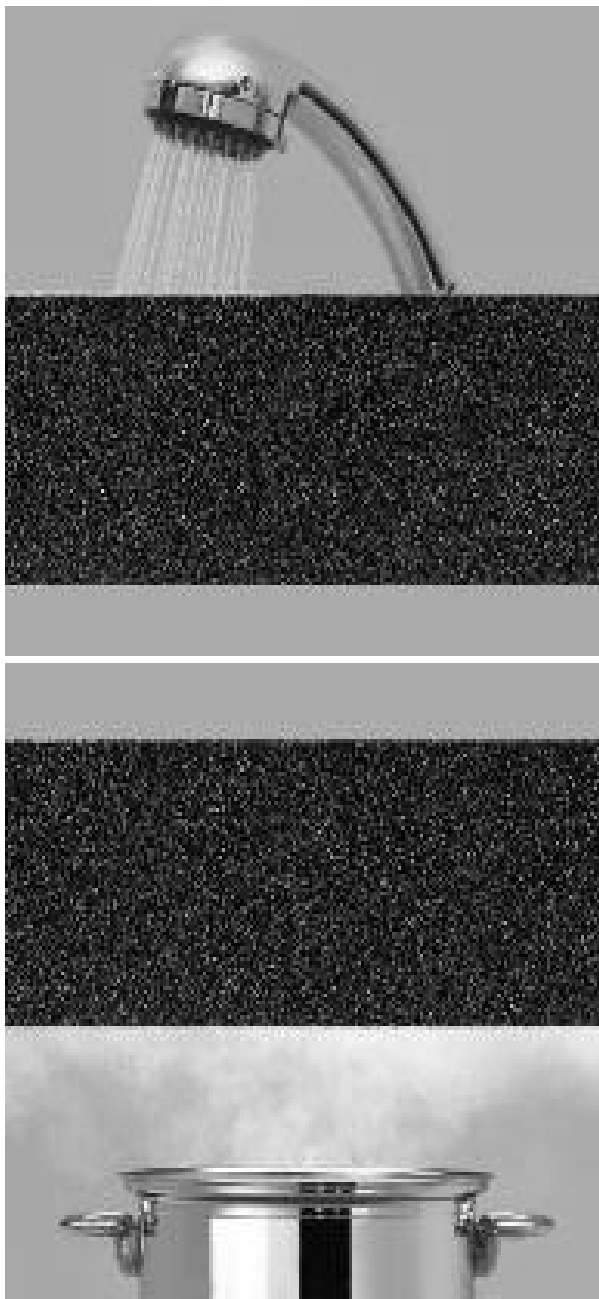


شکل ۲- اسفنج شیشه‌ای به صورت کلوخه

### ۲-۱ اسفنج شیشه‌ای به صورت کلوخه

برای تولید اسفنج کلوخه‌ای، همچنان از ضایعات شیشه خرده بعد از شستشو، تمیز کردن و خشک کردن استفاده می‌گردد. شیشه خرده حاصل را پس از آسیاب دانه‌بندی و سپس با مواد اسفنج‌ساز چون  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4$ ,  $SiC$ ,  $MnO$ ,  $Na_2Si_3O_7$  دوده یا زغال سنگ پودر مخلوط می‌کنند و توسط ماشین شارژر مخصوص با سرعت و شدت جریان خاصی وارد کوره تونلی اسفنج‌ساز می‌نمایند. کوره مذکور با مناطق حرارتی مختلف و با اعمال منحنی حرارتی خاص نهایتاً کلوخه‌های اسفنجی شکل را از انتهای کوره خارج می‌کند. محصول خروجی بی‌شکل و به صورت کلوخه در اندازه‌های مختلف در محدوده ۱۰ تا ۶۰ میلی‌متر می‌باشد. بطور تقریبی برای تولید یک متر مکعب اسفنج شیشه‌ای کلوخه، نیاز به ۱۲۰ تا ۲۰۰ کیلو گرم شیشه خرده می‌باشد.

از مزایای اسفنج شیشه‌ای کلوخه‌ای می‌توان به مقاومت شیمیایی بالا، عایق حرارتی و رطوبتی، ضد حریق، سبکی مقاومت فشاری بالا، مقاومت در برابر یخ زدگی آن نام برد.



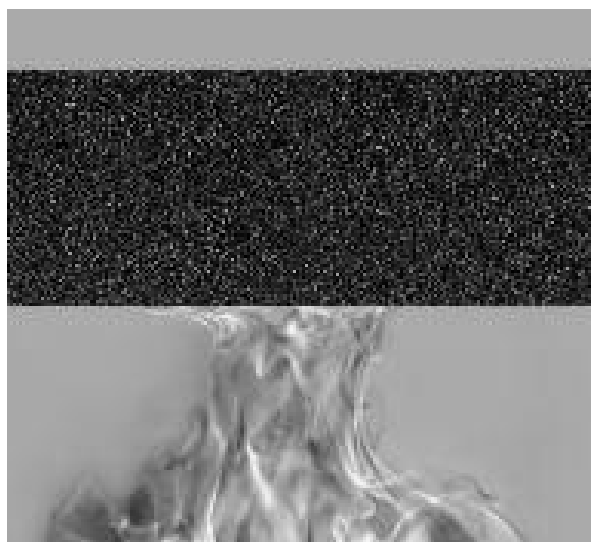
شکل ۵- جذب نکردن رطوبت در اسفنج شیشه‌ای

۶. مقاومت فشاری بالا: اسفنج شیشه‌ای فشار از ۱/۲ تا ۲ مگا پاسکال را تحمل می‌کند. این خصیصه به معنی حفظ شکل اسفنج شیشه‌ای مورد استفاده در قسمت‌های مختلف حتی در قسمت هائیکه فشارهای دینامیک بر آن وارد می‌شود مثل کف خانه، مراکز خرید، ایستگاههای قطار، استخرها و غیره می‌باشد.

(۱/۳۱-۰/۶۹)، بتون (۱/۲۸-۰/۸)، شیشه (۰/۹۳-۰/۸)، سنگ ساختمانی (۲/۹۰-۱/۸۳) و اسفنج پلی اورتانی ۰/۰۲ می‌باشد.

۳. عایق صوتی: اسفنج شیشه‌ای به جهت تخلخل در ساختار قابلیت کاهش صدا تا ۵۶ دسیبل را دارد.

۴. ضد آتش: اسفنج شیشه‌ای شعله ور نمی‌شود و تا دمای نقطه نرم شوندگی شیشه پایه (پائین تر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) شکل خود را حفظ می‌کند. در هنگام آتش سوزی برخلاف مواد مشابه عایق بسپاری که بخارات سمی (بخصوص از گروه فنول‌ها) از خود متصاعد می‌نمایند، اسفنج شیشه‌ای هیچگونه بخارات سمی از خود ایجاد نمی‌کند.



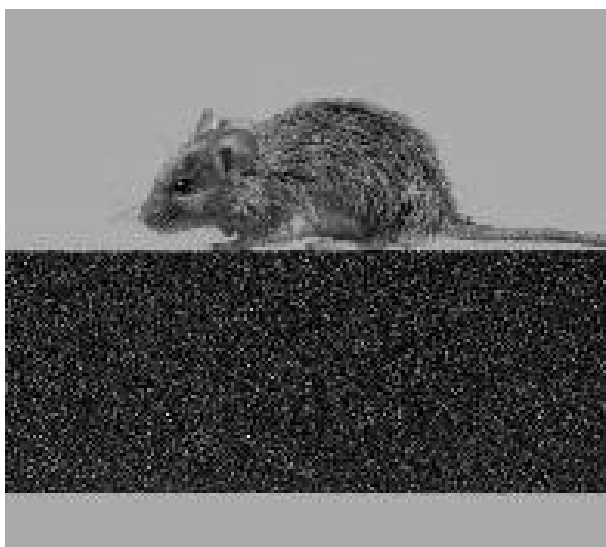
شکل ۴- ضد آتش بودن اسفنج شیشه‌ای

۵. جذب نکردن رطوبت: جذب آب برای شیشه صفر است. اسفنج شیشه‌ای نیز جذب رطوبت ندارد و به جهت ساختار بسته که از اتصال دانه‌های کوچک شیشه بدست آمده مانع انتقال آب از خود می‌گردد. بنابر این عایق رطوبت نیز می‌باشد. البته به واسطه خلل و فرج در سطح می‌تواند به میزان تا ۰/۵ در صد رطوبت را در این فضا نگه دارد ولی همانطور که قبلاً به اطلاع رسید این رطوبت تنها در سطح حبس و از ضخامت اسفنج شیشه‌ای عبور نمی‌کند. به واسطه عدم جذب آب، نفوذ بخار آب نیز موجب تغییر شکل و ساختار آن نمی‌شود و در محل کاربرد کاملاً ثابت و مستحکم است.



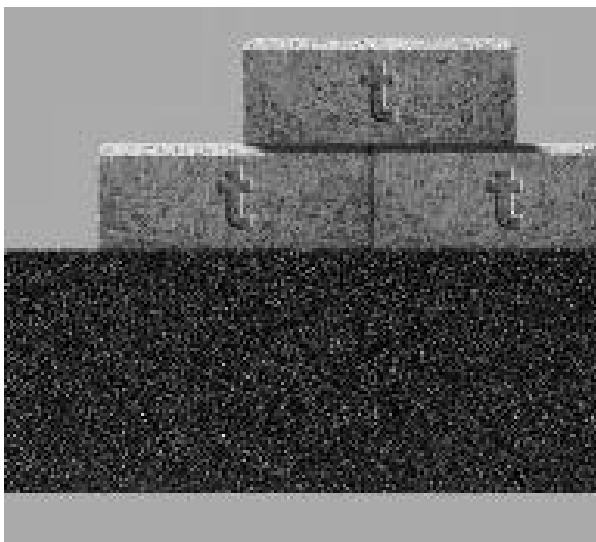
شکل ۸- ثبات شیمیایی در اسفنج شیشه‌ای

۹. مقاوم در مقابل حملات حیوانات جونده (مثل موش‌ها، راسو و غیره) و حشرات موذی (مثل شپش، کک، جیرجیرک و غیره) است.



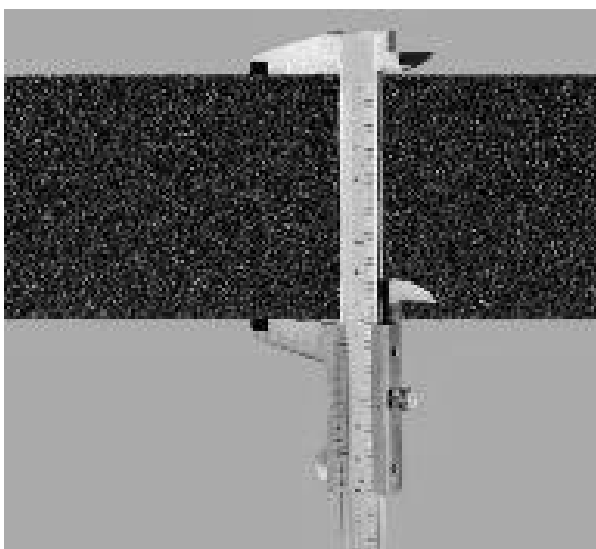
شکل ۹- مقاومت اسفنج شیشه‌ای

در جدول (۲) مشخصات فیزیکی و شیمیایی اسفنج شیشه‌ای آمده است.



شکل ۶- مقاومت فشاری بالا در اسفنج شیشه‌ای

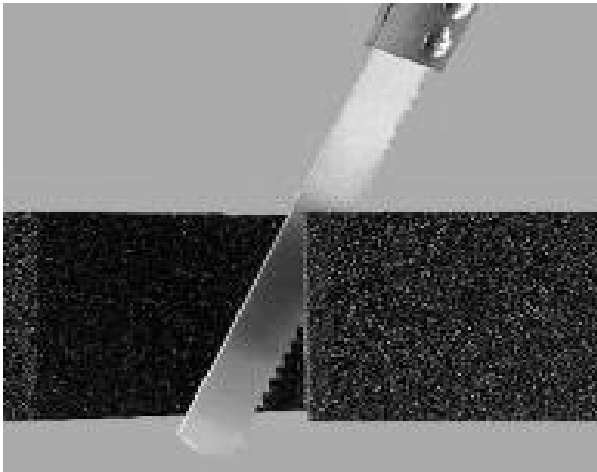
۷. ثبات شکل در تغییرات دمایی وسیع: اسفنج شیشه‌ای قادر است شکل و ابعاد خود را از دمای  $-260$  تا  $+600$  درجه سلسیوس و برای سالیان طولانی ۵۰ تا ۱۰۰ سال بدون کمترین تغییر حفظ نماید.



شکل ۷- ثبات شکل در تغییرات وسیع دما در اسفنج شیشه‌ای

۸. ثبات شیمیایی: اسفنج شیشه‌ای در مقابل تمامی مواد شیمیایی (به جز اسید فلئوئوریدریک) خنثی بوده و ثبات ساختاری خود را حفظ می‌کند.

۳. به راحتی با اره دستی به شکل و ابعاد مورد نظر بریده شده و در فضای در نظر گرفته شده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰- آسان بریده شدن اسفنج شیشه‌ای با اره دستی

۴. با توجه به سطح صاف و یکنواخت آن بدون نیاز به لایه گچ و خاک برای تراز سطح تنها نیاز به یک لایه گچ نازک نهایی است. بدین ترتیب موجب صرفه جویی در مصالح، سبک سازی و کاهش هزینه پرسنلی در ساختمان می‌شود.
۵. در ضخامت‌ها و ابعاد مختلف تولید و در بازار عرضه می‌گردد.
۶. با توجه به مقاومت شیمیایی بالا، مقاومت حرارتی در دامنه وسیع، ضد آتش بودن آن و عدم جذب رطوبت، استفاده منحصر به فرد در صنایع شیمیایی، دارویی، پتروشیمی، نیروگاهی، کشتی‌های جنگی دارد.
۷. استفاده از آن در ساختمان به دلیل عایق صدا و حرارت (گرما و سرما) موجب ارتقای کیفیت ساختمان و صرفه‌جویی قابل توجه انرژی می‌شود. در مقابل گرما، سرما و صدا عایق و با چگالی کم خود موجب کاهش وزن ساختمان می‌گردد.
۸. استفاده از آن در ساختمان به دلیل چگالی کم، موجب کاهش قابل توجه معدل وزن ساختمان (با خواص فنی مشابه) می‌گردد.
۹. جذب نکردن آب و نفوذ ناپذیر بودن آن نسبت به آب و حتی بخار آب و حفظ ثبات ابعادی (عدم تورم و تغییر شکل) و خواص ساختاری در تماس با رطوبت، آن را تبدیل به یک مصالح ایده‌آل برای عایق سازی قسمت‌های مرطوب مثل استخر، حمام، سرویس بهداشتی، آب نما و غیره نموده است.

## جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی اسفنج شیشه‌ای

ردیف	اقلام	واحد	گستره مقادیر
۱	چگالی	(kg/m <sup>3</sup> )	۲۰۰ تا ۱۰۰
۲	مقاومت حرارتی چگالی	Mpa	۲ تا ۱/۲
۳	درصد جذب آب	%	≤۰/۵
۴	ضریب انتقال گرما	(W/(m.K))	≤۰/۰۵۰
۵	پایداری حرارتی		بدون چین خوردگی
۶	مقاومت در مقابل رطوبت		۹۰ درصد رطوبت وزن تغییر نمی‌کند
۷	قابلیت احتراق		نسوز
۸	مقاومت در مقابل قلیا		بدون تغییر
۹	مقاومت در مقابل اسید		بدون تغییر
۱۰	گرمای ویژه	(kcal/kg.°C)	۰/۲۰
۱۱	رسانایی حرارتی	(kcal/m.h.°C)	۰/۰۳۲ در °C ۰/۳۴۰ در ۱۰°C
۱۲	نفوذ حرارتی	(cm <sup>2</sup> /sec)	۰/۰۰۴۲
۱۳	ضریب انبساط حرارتی	(۱/°C)	۹/۰×۱۰ <sup>-۶</sup>

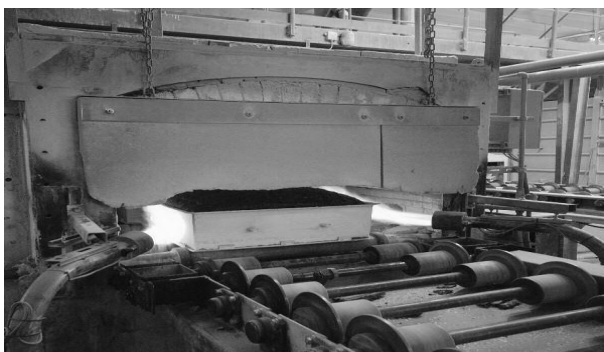
## ۳- مزایای کاربرد اسفنج شیشه‌ای

۱. از آنجایی که شیشه بدون تغییر در طبیعت باقی می‌ماند، استفاده مجدد از آن در تولید اسفنج شیشه‌ای به عنوان ماده اصلی نشان از بازیافت صد در صد و دوستدار طبیعت بودن این محصول است.
۲. با توجه به چگالی پائین، ابعاد پلاک‌های مورد استفاده در ساختمان، بزرگ و در عین حال سبک می‌باشند. این موجب راحتی در جابجایی و سرعت بالای پوشش سطوح مورد نظر در ساختمان می‌گردد.

درصد وزنی	مواد اصلی
۶۸/۶	شیشه برگشتی
۲۱/۸	فلدسپار
۳/۹	سدیم کربنات
۲/۳	اکسید آهن
۲/۲	اکسید منگنز
۰/۵	دوده
۰/۵	سدیم سولفات
۰/۲	سدیم نیترات

ماده اسفنج‌ساز<sup>۱</sup> مورد استفاده عمدتاً از مخلوط خاک کلی (Hydrated Aluminium Silicate/ Clay like Kaolinite or Bentonite, ....) و هیدرواکسید آلومینیم به مقدار ۳ تا ۵٪ وزنی بچ می‌باشد. نسبت وزنی هیدرواکسید آلومینیم به خاک کلی در حدود ۱۸ توصیه می‌گردد.

مخلوط بچ فوق در قالب‌های بزرگ ریخته شده و در کوره‌های تونلی با منحنی حرارتی مناسب تا ۸۵۰ درجه گرم می‌شود.



شکل ۱۱- حرکت مخلوط‌های بچ در قالب‌های بزرگ به کوره تونلی

در این فرایند مخلوط فوق در قالب پف کرده و اسفنج شیشه‌ای در ابعاد قالب حاصل می‌گردد. قالب مذکور در ادامه عبور از کوره تونلی به آهستگی طی منحنی خاصی سرد شده و بدین ترتیب عملیات تنش‌زدایی را پشت سر می‌گذارد. بعد از تنش‌زدایی اسفنج شیشه‌ای از قالب خارج شده و به قطعات و ابعاد مورد نظر برش و بالاخره بسته‌بندی می‌گردد.

۱۰. استفاده از آن به دلیل مقاومت فشاری بالا و حفظ شکل بکار گرفته شده، برای سالیان بسیار طولانی در ساختمان ممکن می‌باشد.

۱۱. با توجه به ثبات کامل ابعادی در دامنه کاربرد دمایی وسیع (از منفی ۲۶۰ تا مثبت ۶۰۰ درجه سلسیوس)، دچار تغییر شکل فصلی (انبساط و انقباض) نمی‌شود.

۱۲. مقاوم در مقابل حملات جانوران جونده و حشرات موذی است. لذا استفاده از آن می‌تواند به عنوان یک سد محکم در برابر هجوم این جانوران بخصوص در بخشهای پائین تر از سطح زمین و طبقه همکف مورد استفاده قرار گیرد.

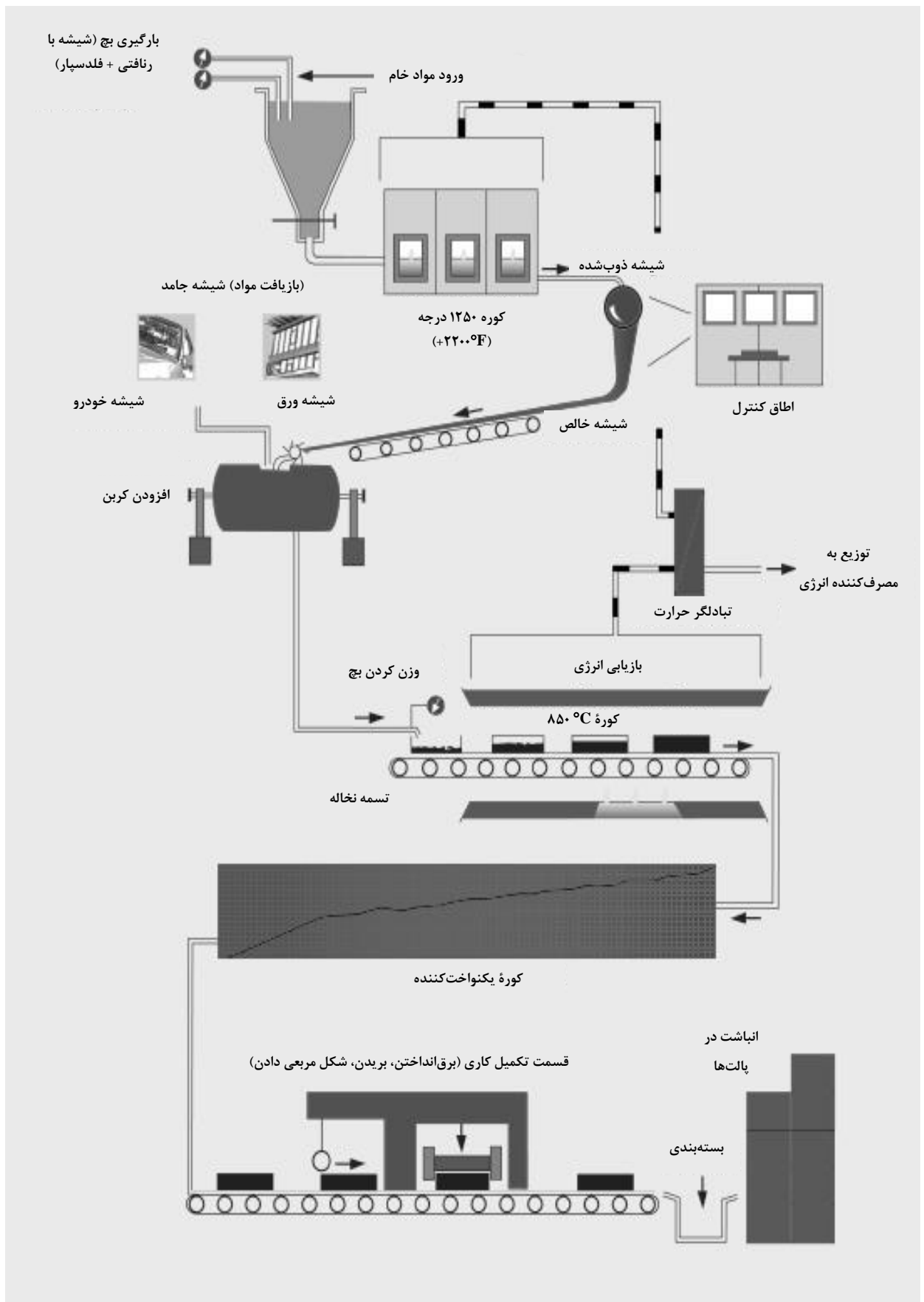
#### ۴- فرایند ساخت اسفنج شیشه‌ای

ماده اصلی ساخت اسفنج شیشه‌ای، شیشه خرده برگشتی است. عمده شیشه خرده برگشتی، شیشه بازیافت در جامعه است که از خانواده شیشه جام و بسته‌بندی است. ترکیب این دو شیشه بسیار به هم نزدیک می‌باشد بطوریکه می‌توان از مخلوط این دو شیشه برای تولید شیشه اسفنجی استفاده کرد. در عین حال برای رسیدن به تولید با کیفیت بالا، توصیه می‌شود که شیشه برگشتی به همراه مقدار کمی خرده شیشه در کوره‌های الکتریکی ذوب مجدد گردد. شیشه خروجی از این کوره کاملاً همگون بوده و در فرایند اسفنجی شدن شیشه در قالب موجب یکنواختی و توزیع یکسان حباب در بدنه شیشه می‌گردد.

با توجه به درصد بالای شیشه خرده در بچ مذکور دمای حدود ۱۲۵۰ درجه برای ذوب کافی خواهد بود. همچنین استفاده از کوره‌های الکتریکی برای این منظور توصیه شده است. زیرا وجود مقدار بالای شیشه خرده و کم بچ در کوره‌های معمول سوخت فسیلی، فاقد توانایی جابجایی حرارتی عمیق مذاب گردیده و بدین ترتیب مذاب خروجی از این نوع کوره‌ها از یکنواختی کافی برخوردار نیستند.

ترکیب زیر می‌تواند یکی از بچ‌های مناسب برای ذوب مجدد شیشه برگشتی به منظور تأمین ماده اولیه ایده‌آل برای تولید اسفنج شیشه‌ای باشد.

شیشه ذوب مجدد خروجی از این کوره پس از سرد شدن آسیاب شده و به دانه‌بندی مناسب با آرایش خاص مورد نظر می‌رسد. سپس در میکسر با مواد اسفنج‌ساز مخلوط می‌شوند و بدین ترتیب بچ لازم برای تولید اسفنج شیشه‌ای تهیه می‌گردد.





$$0.600 \times 0.600 \times 0.060 \text{ m}^3 = 0.0216 \text{ m}^3$$

$$0.0216 \text{ m}^3 \times 160 \text{ Kg/ m}^3 = 3.456 \text{ kg or } 3.5 \text{ kg}$$

چنانچه قیمت یک کیلو گرم شیشه خرده ضایعاتی را ۱۰۰۰ ریال در نظر بگیریم، در این صورت برای تولید بلوک اسفنجی فوق نیاز به ۳/۵ کیلو گرم شیشه خرده داریم که بهای آن چنین خواهد بود:

$$3.5 \text{ kg} \times 1000 \text{ Rials} = 3500 \text{ Rials}$$

قیمت بیج تکمیلی برای ذوب مجدد شیشه برگشتی با تقریب قابل قبولی مشابه قیمت شیشه خرده خریداری در نظر گرفته شده است. لذا تنها عامل مصرفی به جز شیشه خرده در تولید اسفنج شیشه‌ای به عنوان عامل اسفنجی کننده از ترکیبات آلومینیم است که در بازار اروپا به قیمت ۱/۵ یورو برای هر کیلو گرم عرضه می‌گردد. میزان مصرف این ماده معادل ۲ تا ۵ درصد وزنی شیشه خرده مصرفی است.

با توجه به وزن ۳/۵ کیلو گرمی بلوک اسفنجی استاندارد فوق، میزان مصرف و هزینه عامل اسفنجی کننده، برابر خواهد بود:

$$3.5 \text{ kg} \times 0.05 = 0.175 \text{ kg}$$

$$0.175 \text{ kg} \times 1.5 \text{ Euros/ standard size or}$$

$$0.26 \times 25000 \text{ Rials} = 6500 \text{ Rials/ standard size}$$

تنها عوامل باقی مانده برای محاسبه قیمت تمام شده مصرف انرژی، هزینه پرسنلی و استهلاک ماشین آلات می‌باشد که نیاز به اطلاعات تکمیلی است. ولی با تقریب بالا می‌توان این مجموعه را ۱۰۰۰۰ ریال برای هر کیلو گرم فرض کرد. در این صورت قیمت تمام شده یک کیلو گرم بلوک استاندارد اسفنجی شیشه (۶۰/۶۰۰/۶۰۰ میلی متر) به عدد ۲۰۰۰۰ ریال می‌رسد. عدد مذکور با توجه به قیمت بازار جهانی محاسبه شده در بالا یعنی ۶/۴۸ یورو و یا ۱۶۲۰۰۰ ریال (بر مبنای هر یورو ۲۵۰۰۰ ریال در اسفند ۱۳۹۰) دارای ارزش افزوده‌ای حدود ۸ برابر خواهد داشت که رقم قابل توجهی خواهد بود. بنابراین برگشت سرمایه‌گذاری این پروژه در کمتر از دو سال خواهد بود.

#### ۶- نتیجه‌گیری

اگرچه پروژه تولید شیشه اسفنجی از توجه بسیار خوبی برخوردار است ولی منافع اصلی آن متوجه اقتصاد کلان کشور در جلوگیری از هدر رفتن بی مورد منابع محدود انرژی و حفظ ثروت ملی برای نسل‌های آینده است. با توجه به اینکه کشورهای صنعتی از ۸۰ سال

ابعاد استاندارد موجود در بازار با ضخامت‌های ۴۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر به شرح ذیل است:

$$600 \times 450 \text{ mm}, 300 \times 450 \text{ mm}, 600 \times 600 \text{ mm}, 300 \times 600 \text{ mm}$$

#### ۵- میزان سرمایه‌گذاری، قیمت تمام شده، قیمت فروش و ارزش افزوده

پروژه تولید اسفنج شیشه‌ای برای ظرفیت ۲۰ تن در روز و یا به عبارت دیگر ۳۰۰۰۰ متر مکعب در سال (۳۳۰ روز کاری) تعریف گردیده است. محصول تولیدی ابعاد استاندارد بلوک‌های اسفنجی ۶۰۰ در ۶۰۰ میلی‌متر و با ضخامت‌های ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۶۰، ۱۸۰ میلی‌متر تعریف می‌گردد. چگالی شیشه اسفنجی مورد نظر ۱۶۰ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشد.

حجم سرمایه‌گذاری ارزی این پروژه به جز بخش آماده سازی و خردایش شیشه خرده در حدود ۹ میلیون یورو است. بخش آماده‌سازی و خردایش شیشه نیز در حدود ۱ میلیون یورو نیاز خواهد داشت. لذا می‌توان میزان سرمایه‌گذاری کل ارزی طرح را در حدود ۱۰ میلیون یورو در نظر گرفت. حجم سرمایه‌گذاری ریالی پروژه در حدود ۳۰ میلیارد ریال پیش بینی می‌گردد.

قیمت فروش محصولات تولیدی (اروپا /آمریکایی) آن در بازار اروپا ۳۰۰ تا ۶۰۰ یورو برای هر متر مکعب اسفنج شیشه‌ای است. محصولات چینی مشابه با کیفیت پائین تر در بازار آسیا ۱۸۰ تا ۴۰۰ یورو برای هر متر مکعب اسفنج شیشه‌ای عرضه می‌گردد. بنابراین این چنانچه اسفنج شیشه‌ای با تکنولوژی و کیفیت مشابه اروپا در ایران تولید گردد، می‌توان به راحتی قیمت فروش کالا را در بازار جهانی در حدود ۳۰۰ یورو برای هر متر مکعب در نظر گرفت.

محاسبه قیمت فروش اسفنج شیشه‌ای در واحد حجم و سطح به صورت ساده:

حجم یک بلوک استاندارد اسفنج شیشه‌ای با ضخامت ۶۰ میلی‌متر برابر است با:

$$0.600 \times 0.600 \times 0.060 \text{ m}^3 = 0.0216 \text{ m}^3$$

$$0.0216 \text{ m}^3 \times 300 \text{ Euros} = 6.48 \text{ Euros/size m}^3 \text{ or}$$

$$0.600 \times 0.600 \text{ m}^2 = 0.36 \text{ m}^2$$

$$6.48 \text{ Euros} \times 1/0.36 = 18 \text{ Euros / one m}^2 \text{ or}$$

$$18 \text{ Euros} \times 25000 \text{ (Rials/ Euros)} = 450000 \text{ (Rials/m}^2)$$

محاسبه قیمت تمام شده یک بلوک استاندارد اسفنج شیشه‌ای با ضخامت ۶۰ میلی‌متر به صورت ساده:

### مراجع

- [1] Environmental Product Declaration / Deutsches Institut Baen und Umwelt
- [2] Foam Glass Building Journals / Pittsburgh Corning Europe NV
- [3] Glamaco Company / Coswig - Germany

پیش با بکار گیری اسفنج شیشه‌ای منافع کلانی را برای کشور خود ذخیره کرده و ما متاسفانه تاکنون به آن توجه نکرده ایم، این قصور تاسف آور است. این تولید با جمع‌آوری ضایعات شیشه برگشتی در زباله‌های خانگی، ضمن پاکسازی طبیعت و حفظ محیط زیست موجب کاهش قیمت تمام شده و افزایش عمر ساختمان می‌گردد. کاربردها و خواص متعددی که با استفاده از اسفنج شیشه‌ای در این نوشتار آورده شده تنها اشاره‌ای کوتاه و ناقص به همه توانایی‌ها و استفاده آن می‌باشد. امید است که بزودی ما هم با تولید این محصول در کشور از منافع آن به نفع اقتصاد کشور و حفظ ثروت‌های ملی برای آیندگان بهره‌مند شویم.