

بهبود مقاومت در برابر آتش و خواص فیزیکی - مکانیکی اندود و تخته‌های گچ و گچ-پرلیت به وسیله الیاف شیشه و امولسیون پلی‌وینیل استات

سعید بختیاریⁱ؛ فاطمه جعفرپورⁱⁱ؛ فهیمه فیروزیارⁱⁱⁱ؛ محمد جعفر هدایتی^{iv}؛ بهروز محمد کاری^v

چکیده

در این پژوهش، بهبود خواص اندودها و تخته‌های از جنس گچ و گچ-پرلیت به وسیله الیاف شیشه و پلیمر پلی‌وینیل استات بررسی شد. با انجام آزمایش‌های مقدماتی، نوع و گرید مناسب الیاف شیشه و امولسیون پلی‌وینیل استات تعیین شد. مخلوط‌های مختلف با نسبت‌های متفاوت از گچ و مواد افزودنی تهیه شد و آزمایش‌های متعدد بر روی خواص مکانیکی، حرارتی، صوتی و رفتار نمونه‌ها در دمای بالا به عمل آمد. نتایج آزمون نشان داد افزودن پرلیت به گچ باعث کاهش هدایت حرارتی محصول و افزایش مقاومت آن در برابر آتش می‌شود؛ ضمن این که خواص آکوستیکی محصول نیز تضعیف نمی‌شود. افزودن الیاف شیشه و پلیمر باعث بهبود خواص مکانیکی فرآورده‌های گچ و گچ-پرلیت شد. افزودن پلیمر در حد بهینه، اثر منفی خاصی بر روی رفتار مخلوط در برابر آتش نشان نداد.

کلمات کلیدی

مصالح ساختمانی، ایمنی در برابر آتش، گچ، پرلیت، الیاف شیشه، پلی‌وینیل استات، مقاومت در برابر آتش، هدایت حرارتی، افت صوتی

Improvement of Fire-resistance, Physical and Mechanical Properties of Gypsum and Gypsum/Perlite Plasters and Boards by Glass-Fiber and PVA

S. Bakhtiyari, F. Jafarpoor, F. Firoozyar, M. J. Hedayati, B. M. Kari

ABSTRACT

Improvement of properties of gypsum and gypsum/perlite products by glass-fiber and polyvinyl acetate was studied in this research. The proper type and grade of fiber and polymer was determined by preliminary tests. Different formulations were mixed and various tests were carried out on them, including the mechanical, thermal and acoustical and the resistance of samples against high temperature. The results show that the addition of perlite to gypsum improves the resistance of product against high temperature. In addition, the sound reduction of gypsum/perlite boards is reasonable and nearly same as gypsum boards. The results also shows that the mechanical properties of gypsum and gypsum/perlite products can effectively improved by addition of glass-fiber and PVA emulsion.

ⁱ عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن: bakhtiyari@bhrc.ac.ir

ⁱⁱ عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

ⁱⁱⁱ کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

^{iv} کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

^v استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

KEYWORDS

Gypsum, Perlite, Glass-fiber, Polyvinyl acetate, Fire-resistance, Thermal conductivity, Sound reduction.

۱- مقدمه

مروری بر منابع نیز نشان می‌دهد افزودن پلیمرهای امولسیون آبی به گچ می‌تواند خواص مکانیکی و کارپذیری آنها را بهبود دهد. بر اساس این منابع برای به دست آوردن کارپذیری مناسب باید از پلیمرهای با گرانشی پایین استفاده کرد [۸]. در این پژوهش امکان بهبود برخی خواص اندودها و تخته‌های گچ و گچ-پرلیت با استفاده از افزودنی‌های الیاف شیشه و امولسیون پلی‌وینیل‌استات (PVA) بررسی شده است.

۲- آزمایش‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

برای الیاف شیشه از محصول چینی و برای سایر مواد اولیه از تولیدات داخلی استفاده شد. با وجودی که در کل پژوهش از گچ تولیدی یک کارخانه مشخص و دارای مهر استاندارد استفاده شد، نوسانات قابل توجهی در نتایج مقاومت مکانیکی از یک کیسه به کیسه دیگر مشاهده گردید. در هر نوبت از ساخت نمونه و آزمایش، اجباراً نمونه شاهد مجدداً ساخته شد تا در مقایسه نتایج، تردیدی وجود نداشته باشد.

۲-۲- روش اختلاط و ساخت نمونه‌ها

برای ساخت نمونه‌های منشوری و تخته‌های کوچک گچ و گچ-پرلیت از مخلوط کننده آزمایشگاهی استفاده شد. برای ساخت تخته‌های با ابعاد بزرگتر؛ که برای آزمایش آکوستیک استفاده شدند، اختلاط به صورت دستی انجام شد. برای افزودن الیاف شیشه به نمونه‌ها چند روش مختلف بررسی و سرانجام، افزودن الیاف به پودر گچ به صورت خشک به عنوان بهترین روش انتخاب شد. افزودن الیاف به گچ از نظر کارپذیری مخلوط و پراکندگی همگن الیاف دشواری‌هایی دارد که باید با دقت صورت گیرد.

۲-۳- عمل آوری نمونه‌ها

نمونه‌های مربوط به آزمایش آکوستیک به مدت ۲ هفته در شرایط محیط قرار داده شدند تا کاملاً خشک و به وزن ثابت رسیدند. عمل آوری سایر نمونه‌ها به شکل زیر انجام گرفت:
الف- نگهداری در شرایط محیط برای مدت ۳ تا ۴ روز،
ب- خشک کردن نمونه‌ها در آون در دمای (°C) ۴۵ به مدت ۲ یا ۴ روز و رسیدن به وزن ثابت.

یکی از مهم‌ترین الزامات در طرح و اجرای ساختمان‌ها، تأمین مقاومت لازم در برابر آتش برای اجزای ساختمان است. مقاومت در برابر آتش عبارت است از: "توانایی یک عنصر ساختمانی برای ادامه وظیفه عملکردی خود وقتی که در معرض گرما و دمای بالا قرار گیرد" [۴]. در بسیاری از اوقات، سازه یا عنصر ساختمانی مورد استفاده به تنهایی قادر به تأمین مقاومت لازم در برابر آتش نیست؛ به عنوان مثال، فولاد ساختمانی در دمای حدود (°C) ۵۵۰ تقریباً نیمی از مقاومت خود را از دست می‌دهد و این در حالی است که در یک آتش‌سوزی گسترش یافته در ساختمان، دما بیش از (°C) ۱۰۰۰ است. پس به منظور محافظت اجزا و فضاهای مختلف ساختمان در برابر آتش باید از تمهیدات مناسب و خصوصاً پوشش‌های محافظت‌کننده در برابر آتش استفاده کرد. برای این منظور یکی از پوشش‌های رایج در دنیا انواع اندودها و تخته‌های گچی یا دارای پایه گچی (gypsum-based) هستند [۱]، [۵].

مطالعات نشان داده است افزودن پرلیت منبسط به گچ باعث افزایش مقاومت اندود در برابر آتش، بهبود خواص حرارتی و کاهش وزن مخصوص محصول می‌شود [۲]، [۳]، [۶]، [۷]؛ بنابراین، استفاده از پوشش‌های گچ-پرلیت در ساختمان در بسیاری از کشورها رواج زیادی دارد. اندود گچ-پرلیت با هدایت حرارتی کمتر از گچ، انتقال حرارت به اجزای پشت کار را به تأخیر می‌اندازد. وقتی این اندود در معرض گرما قرار گیرد، ابتدا آب فیزیکی و شیمیایی خود را از دست می‌دهد. در طول این فرآیند، دمای اندود تقریباً ثابت است و افزایش چندانی نمی‌یابد [۲]، [۷]؛ در عین حال، همزمان به علت هدایت حرارتی اندک پرلیت از انتقال گرمای کلی کاسته می‌شود. برخلاف اندودهای ماسه‌ای معمولی؛ که در معرض حرارت دچار تغییرات طولی زیاد و ریزش می‌شوند، اندودهای گچ-پرلیت در اثر حرارت، تغییر طول کمتری از خود نشان می‌دهد و از این نظر یکپارچگی آنها از اندود گچی بهتر است [۲]، [۷]. در مجموع، مقاومت اندود در برابر آتش با افزودن پرلیت بهبود خواهد یافت؛ ولی چسباندن گچ در دمای بالا و در شرایط آتش‌سوزی دچار ترک خوردگی و ریزش می‌شود که عملکرد محافظتی آن در شرایط آتش‌سوزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات قبلی نشان داده است استفاده از الیاف شیشه تا حدود زیادی می‌تواند از ترک خوردگی گچ جلوگیری کند [۸].

که در آن :

L1: تراز میانگین صدا در اتاق منبع به دسی بل

L2: تراز میانگین صدا در اتاق دریافت به دسی بل

A: سطح معادل جذب کننده در اتاق دریافت به متر مربع

S: سطح جدار مورد آزمایش به متر مربع

افت صوتی یک جدار براساس تعریف از رابطه زیر به دست

می‌آید که در آن τ ضریب تراگسیل جدار است:

$$R \text{ یا } TL = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau}$$

۳- تحلیل نتایج

۳-۱- اثر افزایش پلیمر

اثر افزودن امولسیون PVA بر روی خواص نمونه‌های گچ-پرلیت بررسی شد. برای انتخاب گرید مناسب، نمونه‌های مقدماتی با استفاده از ۴ گرید مختلف PVA تهیه و پس از انجام آزمایش‌های فشاری و خمشی بر روی آنها، نوع با مشخصات زیر انتخاب شد: درصد مواد جامد: 1 ± 0.5 ، ویسکوزیته: حدود ۶۰۰ پواز در دمای (°C) ۲۰، و مقدار pH = ۳ تا ۴.

برای انجام آزمایش‌ها روی مخلوط گچ-پرلیت، نسبت ۲/۱ از آن به عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. درصد‌های وزنی ۲، ۳، ۵ و ۱۰ از پلیمر نسبت به وزن گچ انتخاب شد. نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های منشوری در جدول (۱) و شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. با توجه به سه جزئی بودن ترکیب و برای اطمینان بیشتر از دقت نتایج، برای هر ترکیب تعداد ۵ نمونه آزمایش شد که اعداد ارائه شده نمایانگر متوسط نتایج به دست آمده است.

جدول (۱): اثر افزایش پلی وینیل استات به نمونه‌های گچ-پرلیت

ردیف	P%	AF%	CS	FS	ρ
۱	-	-	۷۱/۵	۲۵	۰/۸۵
۲	۲	-	۷۰	۲۶	۰/۸۲
۳	۳	-	۹۴	۲۱	۰/۸۸
۴	۵	-	۸۸/۵	۲۸	۰/۸۷
۵	۱۰	-	۸۸/۵	۲۸	۰/۸۳
۶	۵	۱	۹۰	۲۹	۰/۸۸
۷	۱۰	۱	۹۲	۳۴	۰/۸۸

(P%) = درصد وزنی پلیمر به گچ، AF% = درصد وزنی ضد کف به پلیمر، CS = مقاومت فشاری kg/cm^2 ، FS = مقاومت خمشی kg/cm^2 ، ρ = وزن فضایی gr/cm^3

• خواص مکانیکی: مقاومت فشاری نمونه‌ها با جک فشاری Wykeham Farance با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن و مقاومت خمشی نمونه‌های منشوری از ماشین خمشی Maurice Perrier با ظرفیت ۶ کیلو نیوتن و مطابق با استاندارد ۲۶۹ ملی ایران [۴] اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه متوسط نتایج به دست آمده از آزمایش سه آزمون به عنوان مقدار متوسط گزارش شده است. در مواردی که پراکندگی نتایج مورد رضایت نبود، آزمایش با آزمون‌های بیشتر تکرار شد. اندازه‌گیری نیروی شکست تخته‌های گچی طبق روش استاندارد ISO 6308-1989 [۹] انجام و منحنی تنش-کرنش با استفاده از دستگاه برداشت اطلاعات (دیتالاگر) ثبت شد. برای هر نمونه، آزمایش بر روی سه آزمون انجام و میانگین گرفته شد.

• مقاومت در برابر آتش: رفتار نمونه‌ها در دمای بالا (تا حدود ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) با استفاده از یک کوره آزمایشگاهی بررسی شد. نمونه‌ها با طول و عرض ۴۰ سانتی‌متر ساخته و پس از عمل‌آوری در دهانه کوره قرار داده شدند. با نصب یک کنترلر تناسبی-انتگرالی-مشتقی و تغییر طرح کوره تلاش شد تا منحنی استاندارد دما-زمان مطابق استاندارد ISO 834 [۵] تولید شود. با این وجود و به علت محدودیت‌های فیزیکی، یک فاصله (به ویژه در نیم ساعت اول) با منحنی استاندارد وجود داشت که با گذشت زمان، این فاصله دمایی با منحنی استاندارد کمتر می‌شد. در این آزمایش علاوه بر بررسی شهودی رفتار نمونه شامل پایداری و یکپارچگی آن، دمای سطح نمونه در نقاط مختلف نیز به وسیله ترموکوپل اندازه‌گیری و به طور پیوسته ثبت شد.

• ضریب هدایت حرارتی: این آزمایش با استفاده از دستگاه لوح گرم محافظت شده، مطابق با استاندارد ISO 8302 انجام شد.

• آزمایش آکوستیک (افت صوتی جدار): مطابق با روش استاندارد ISO 140/3 انجام شد. طبق این استاندارد، دیوار مورد آزمایش بین دو اتاق منبع و دریافت نصب می‌شود؛ سپس در اتاق منبع، یک نوبه (نویز) اتفاقی در فرکانس‌های مختلف تولید (L1) و همین نوبه در اتاق دریافت اندازه‌گیری می‌شود (L2). شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) با توجه به رابطه زیر در هر فرکانس محاسبه می‌شود.

$$R \text{ یا } TL = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

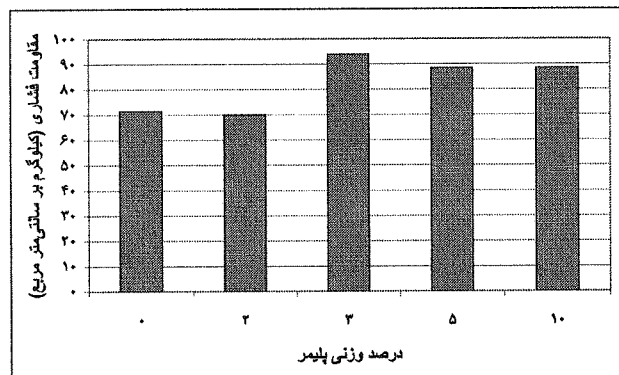
۳-۲- اثر افزایش الیاف شیشه

برای بررسی اثر الیاف شیشه بر روی خواص نمونه‌ها، در ابتدا برای تعیین نوع الیاف شیشه و طول مناسب آنها آزمایش‌های مقدماتی صورت گرفت. به این منظور، آزمایش‌ها با الیاف شیشه داخلی و نمونه خارجی از نوع E-Glass انجام شد. الیاف داخلی به صورت فله و در هم پیچیده است، در حالی که الیاف شیشه نوع E خارجی به صورت رشته نخ در بازار موجود است و می‌توان آن را به طول دلخواه برش داد. باتوجه به نتایج تحقیقات سایرین [۸]، طول‌های ۱۲ و ۲۰ میلی متر برای آزمایش انتخاب شد. ضمناً از آنجا که در ادبیات مطالعه شده استفاده از مخلوط الیاف با طول متفاوت مشاهده نشده بود، در این پروژه بررسی اثر یک مخلوط از ۵۰٪ الیاف با طول ۱۲ و ۵۰٪ الیاف با طول ۲۰ میلی‌متر هم در نظر گرفته شد. در بررسی مقدماتی نمونه‌ها صرفاً آزمایش مقاومت خمشی بر روی آنها صورت گرفت. نمونه‌ای که به آن الیاف مخلوط از طول‌های ۱۲ و ۲۰ میلی‌متر اضافه شده بود، به طور قابل ملاحظه‌ای پاسخ بهتری از سایر نمونه‌ها نشان داد. افزایش الیاف با طول کمتر از ۱۲ میلی‌متر اثر اندکی بر روی مقاومت نمونه‌ها نشان داد. با افزایش طول الیاف اثرات مثبت بر روی مقاومت ظاهر می‌شود؛ اما مشکلات اختلاط، کارپذیری و پراکندگی نتایج نیز افزایش می‌یابد. از نتایج حاصل‌شده چنین به نظر می‌آید که مخلوط الیاف کوتاه و متوسط اثر ترکیبی مثبتی از نظر تقویت خواص مکانیکی و کارپذیری داشته باشد؛ بنابراین برای آزمایش‌های بعدی از الیاف با طول‌های مخلوط ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر استفاده شد.

برای بررسی اثر الیاف بر روی خواص مکانیکی گچ، مقادیر ۰/۵، ۱، ۲، و ۳ درصد الیاف به گچ اضافه شد. نتایج آزمایش در جدول (۲) و شکل‌های (۳ و ۴) ارائه شده است.

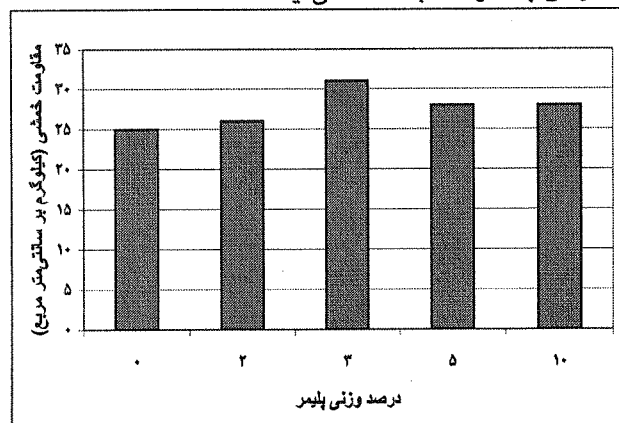
جدول (۲): اثر افزایش الیاف شیشه بر روی مقاومت مکانیکی نمونه‌های منشوری گچ

ردیف	درصد الیاف	مقاومت فشاری (kg/cm ²)	مقاومت خمشی (kg/cm ²)
۱	-	۱۹۸/۵	۶۹/۵
۲	۰/۵	۱۸۳/۰	۶۹/۵
۳	۱	۱۸۱/۵	۷۰/۵
۴	۲	۱۷۷	۷۴/۵
۵	۳	-	۷۹/۵



شکل (۱): اثر افزایش پلی وینیل استات بر روی مقاومت فشاری نمونه‌ها (بدون ضدکف)

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزودن درصد‌های پایین از پلیمر (حدود ۲٪)، اثر چندانی روی خواص نمونه نداشته است. در مخلوط حاوی ۳٪ پلیمر تقریباً بهترین نتیجه به دست آمد، به طوری که مقاومت فشاری حدود ۳۱/۵ و مقاومت خمشی در حدود ۲۴ درصد افزایش نشان داد. نکته حائز اهمیت مشاهده کف در هنگام اختلاط بود که با افزایش مقدار پلیمر بیشتر شد؛ بنابراین احتمال داده شد که افت مقاومت مکانیکی در مخلوط‌های با ۵ درصد پلیمر و بالاتر به علت وجود کف در نمونه‌ها باشد. برای بررسی این موضوع به نمونه‌های با ۵ و ۱۰ درصد پلیمر، افزودنی ضد کف اضافه شد به نحوی که هیچ‌گونه کفی در هنگام اختلاط مشاهده نشد. اگرچه این موضوع، همان‌گونه که در جدول (۱) مشهود است، باعث بهبود نتایج شد، اما کماکان نتایج مخلوط حاوی ۳٪ پلیمر حتی بدون ضد کف بهتر از سایر نمونه‌هاست. این موضوع می‌تواند به علت بروز اثر منفی درصد‌های بالا روی تماس گچ با آب و ایجاد اختلال در مکانیسم گیرش باشد. این نشان می‌دهد اگرچه اثر بهبود خواص نسبت به نمونه شاهد در مقادیر بالاتر پلیمر قابل مشاهده است؛ اما بهینه اثر مثبت پلیمر، با افزایش حدود ۳٪ از آن به نمونه‌ها به دست می‌آید.



شکل (۲): اثر افزایش پلی وینیل استات بر روی مقاومت خمشی نمونه‌ها (بدون ضدکف)

آنجا که در این نمونه‌ها تعداد تشکیل دهنده‌ها به ۳ یا ۴ جزء رسیده و از کندگیرکننده هم در نمونه‌ها استفاده نشده بود، احتمال عدم یکنواختی نمونه‌های منشوری و ایجاد خطا بیشتر بود، پس در اینجا نیز نمونه‌ها به تعداد دو برابر تهیه و آزمایش شد. در اینجا نیز الیاف باعث افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها شده است. بهبود رفتار خمشی و نحوه شکست نمونه‌ها نیز قابل مشاهده است. این موضوع در کاهش ترک خوردگی پوشش بر اثر بارهای جانبی نیز مؤثر است.

جدول (۳): اثر الیاف و پلیمر روی مقاومت خمشی نمونه‌ها (kg/cm^2)

الیاف %	۰	۱	۲	۳
پلیمر %	۲۵	۲۴/۵	۲۶	۲۷
	۲۶	۲۷/۵	۲۹/۵	۳۰

۳-۳- بهبود خواص مکانیکی تخته‌های گچی و گچ-پرلیت به وسیله الیاف و پلیمر

تخته‌های گچی کاربرد فراوانی برای ساخت دیوارهای خشک، پانل و یا برای حفاظت اجزای سازه‌ای در برابر آتش دارند. در این پژوهش برای آزمایش تأثیر سبکدانه پرلیت و افزودنی‌های الیاف شیشه و پلیمر بر روی مقاومت خمشی تخته‌های گچی، پنج نمونه با ابعاد $40(\text{cm}) \times 30(\text{cm})$ و ضخامت $1/5(\text{cm})$ با ترکیبات زیر ساخته شد:

۱- گچ به عنوان نمونه شاهد،

۲- گچ - پرلیت به نسبت حجمی ۲:۱،

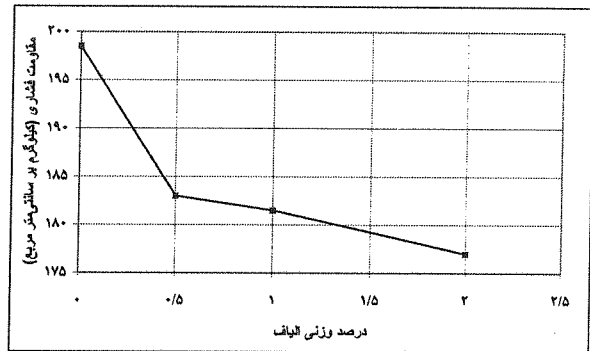
۳- گچ + ۲٪ الیاف شیشه،

۴- گچ + ۲٪ الیاف شیشه + ۳٪ پلیمر،

۵- گچ - پرلیت (۲:۱) + ۲٪ الیاف شیشه.

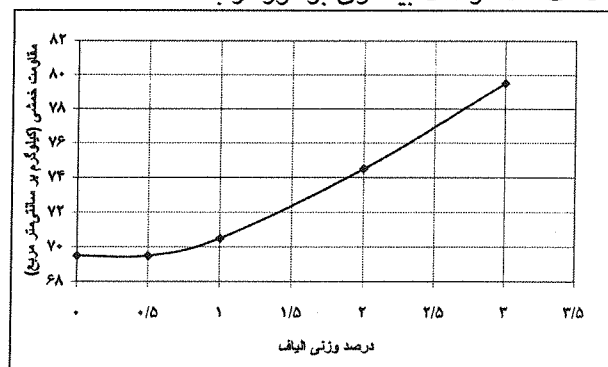
میزان کرنش نمونه‌ها با استفاده از دو حسگر اندازه‌گیری و ثبت شد. برای دقت بیشتر از هر ترکیب، سه نمونه تهیه و میانگین نتایج آنها گزارش شد. نتایج آزمایش در جدول (۴) و شکل (۵) ارائه شده است.

افزودن الیاف و پلیمر به تخته‌های گچی باعث افزایش قابل توجه مقاومت خمشی تخته‌ها شده است. اثر همزمان الیاف و پلیمر قابل توجه است، به طوری که افزودن ۲٪ الیاف شیشه باعث افزایش مقاومت تخته‌ها به میزان ۵۰٪ و اثر افزایش همزمان ۲٪ الیاف و ۳٪ پلیمر باعث بهبود مقاومت تخته‌ها به میزان بیش از ۱۰۰٪ شده است.



شکل (۳): اثر افزایش الیاف بر روی مقاومت فشاری نمونه‌ها

همان‌گونه که دیده می‌شود افزایش الیاف به گچ باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش مقاومت خمشی شده است. تأثیر الیاف در بهبود رفتار خمشی نمونه‌ها قابل توجه است. شکست نمونه‌های گچ به شکل ترد و شکننده است، در حالی که برای نمونه‌های حاوی الیاف این نوع شکست مشاهده نشده و مقاومت به نحو قابل توجهی افزایش یافته است. ذکر این نکته لازم است که اختلاط الیاف با گچ باید به دقت صورت گیرد، در غیر این صورت پراکندگی آن در نمونه غیریکنواخت شده و نتایج مطلوب حاصل نخواهد شد. همچنین توزیع الیاف در جهات مختلف کاملاً تصادفی است و می‌تواند به ایجاد نوساناتی در نتایج منجر شود. این موضوع در نتایج ارائه شده در مقالات سایرین نیز مشاهده شد [۸]. به همین علت در این تحقیق، حالات مختلف اختلاط بررسی و نتیجه گرفته شد که بهترین شیوه اختلاط این است که ابتدا الیاف به شکل خشک با گچ مخلوط و سپس به آب اضافه شود. به علاوه، تعداد نمونه‌های آزمایشی به دو تا سه برابر؛ یعنی ۶ تا ۹ نمونه، افزایش یافت تا میانگین به دست آمده از دقت بیشتری برخوردار باشد.



شکل (۴): اثر افزایش الیاف بر روی مقاومت خمشی نمونه‌ها

اثر الیاف در افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های گچ-پرلیت و گچ-پلیمر نیز با مقادیر ۱، ۲ و ۳ درصد الیاف آزمایش شد که نتایج آن در جدول (۳) دیده می‌شود. در این جدول، اعداد ستون سمت چپ نشانگر درصد وزنی پلیمر و اعداد ردیف اول نشانگر درصد الیاف در نمونه‌های آزمایش است. از

جدول (۴): بار شکست تخته‌های گچی

شماره نمونه	ضخامت متوسط (cm)	وزن متوسط (gr)	چگالی متوسط	بار شکست متوسط		نسبت بار شکست به چگالی (N)
				(N)	(kgf)	
۱	۱/۷۰	۲۶۸۶/۷	۱/۳۲	۶۳/۶	۶۲۲/۹	۴۷۲/۷
۲	۱/۵۹	۱۶۹۲/۳	۰/۸۹	۳۵/۷	۳۵۰/۲	۳۸۸/۱
۳	۱/۷۴	۲۶۹۷/۱	۱/۲۹	۹۳/۳	۹۱۵/۳	۷۰۹/۵
۴	۱/۶۷	۲۵۰۴/۶	۱/۲۵	۱۲۳/۱	۱۲۰۷/۶	۹۶۶/۱
۵	۱/۷۲	۱۷۱۴/۳	۰/۸۲	۳۲/۱	۳۲۴/۷	۴۰۸/۱

همان‌گونه که در شکل (۵) دیده می‌شود، با افزایش الیاف و پلیمر رفتار نمونه‌ها از تردی به شکل‌پذیری بیشتر تغییر کرده است. این موضوع به همراه افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها دو مزیت مهم دارد: ۱- مقاومت بیشتر تخته‌ها در برابر ترک خوردگی و نیز شکست ناشی از نیروهای جانبی، ۲- مقاومت بیشتر در برابر ترک خوردگی ناشی از تغییرات طولی بر اثر افزایش دما؛ در نتیجه با افزودن الیاف شیشه مقاومت این پوشش‌ها در برابر آتش‌سوزی افزایش خواهد یافت.

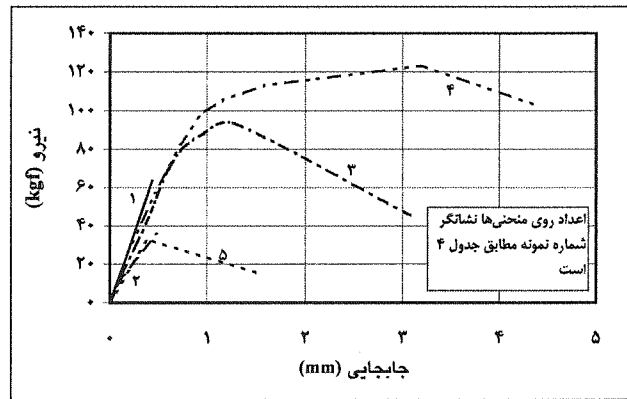
۳-۴- رفتار تخته‌های گچی در دمای بالا

به منظور بررسی اثر ترکیب مواد و نیز ضخامت نمونه بر روی مقاومت در برابر آتش، هفت نمونه با ترکیبات و ضخامت‌های مختلف با مشخصات داده شده در جدول (۵) در کوره‌ای کوچک و مطابق با روش گفته‌شده در بند ۲-۴ آزمایش شدند. دمای سطح خارجی نمونه‌ها در ۵ نقطه متقارن به طور پیوسته اندازه‌گیری و ثبت شد.

طول آزمایش تقریباً دو ساعت در نظر گرفته شد. در این زمان دمای داخل کوره حدوداً به ۱۰۰۰ تا ۱۰۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد. برای نمونه‌هایی که مقاومت بهتری داشتند، طول آزمایش برای برداشت بیشتر اطلاعات تا بیش از ۱۶۰ دقیقه ادامه یافت. نتایج حاصل از آزمایش در جدول (۵) و شکل (۶) ارائه شده است.

جدول (۵): نمونه‌های آزمایش شده در دمای بالا

شماره نمونه	شرح نمونه	ضخامت (میلی‌متر)	رفتار نمونه در دمای بالا						
			A	B	C	D	E	F	G
۱	گچ	۲۵	۹۲۵	۸۵	۱۱۲	۱۰۶	۳۲۵	۱۵۰	ترک‌های زیاد
۲	گچ و پرلیت (۲:۱)	۲۵	-	۷۸	۱۲۲	۱۰۵	۲۹۵	۱۵۰	فاقد ترک خارجی
۳	گچ و پرلیت (۲:۱) + ۲٪ الیاف (نسبت به وزن گچ)	۲۵	-	۸۸	۱۱۹	۱۰۶	۳۰۱	۱۵۰	فاقد ترک خارجی
۴	گچ + ۲٪ وزنی الیاف	۲۵	-	۹۳	۱۲۶	۱۰۲	۲۸۷	۱۶۵	فاقد ترک خارجی
۵	گچ + ۲٪ الیاف + ۳٪ پلیمر	۲۵	-	۶۶	۱۰۷	۱۵۶	۳۱۹	۱۶۵	فاقد ترک خارجی
۶	گچ	۱۵	۶۹۰	۴۸	۶۱	۲۹۴	-	۷۰	ترک‌های زیاد
۷	گچ و پرلیت (۲:۱)	۱۵	-	۴۰	۶۰	۳۰۲	-	۸۰	فاقد ترک خارجی



شکل (۵): منحنی‌های نیرو-جابجایی نمونه‌های تخته‌های گچی تحت آزمایش خمشی

افزودن پرلیت به گچ با نسبت حجمی (۱:۲) باعث کاهش مقاومت در حدود ۴۷٪ شده است و افزودن الیاف نیز نتوانسته تغییر چندانی در آن ایجاد کند. به عبارت دیگر، به علت اینکه دانه‌های پرلیت نرم بوده و حدود ۶۶٪ از حجم نمونه را اشغال کرده و نقاط ضعف اصلی تخته را از نظر مکانیکی تشکیل داده است، افزودن الیاف تغییر چندانی در این وضعیت ایجاد نکرده است. نکته حائز اهمیت این است که کلیه نمونه‌ها (حتی نمونه‌های گچ-پرلیت) از نظر مقاومت مکانیکی ویژگی‌های استاندارد ISO 6308 [۹] را دارند. حداقل بار شکست قابل قبول طبق این استاندارد برای ضخامت ۱۵ (mm) برابر ۲۲۰ (N) است و کلیه نمونه‌ها بیش از این مقدار مقاومت کرده‌اند.

A: دمای کوره در زمان مشاهده اولین ترک در سطح خارجی نمونه (درجه سلسیوس)، B: زمان رسیدن سطح خارجی نمونه به دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس (دقیقه)، C: زمان رسیدن سطح خارجی نمونه به دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (دقیقه)، D: دمای سطح خارجی نمونه در دقیقه ۶۰ (درجه سلسیوس)، E: دمای سطح خارجی نمونه در دقیقه ۱۲۰ (درجه سلسیوس)، F: زمان قطع آزمایش (دقیقه)، G: وضعیت نمونه در پایان آزمون

در دمای بالا بهبود یافت و از ترک‌های سطح داخلی نیز کاسته شد.

۵- افزودن پلیمر به نمونه حاوی الیاف، اثر تخریبی از نظر پایداری و یکپارچگی نمونه نداشت، به نحوی که تا پایان آزمایش؛ که دمای کوره حدود (۱۰۸۰ °C) بود، هیچ ترکی در سطح خارجی نمونه دیده نشد. به نظر می‌آید که وجود پلیمر باعث سریع‌تر شدن افزایش دما شده است، به طوری که سطح خارجی نمونه نسبت به اکثر نمونه‌ها دمای بیشتری را نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند به علت وارد شدن محتوای پلیمری در واکنش سوختن رخ داده باشد، اما به هر حال به علت کم بودن مقدار آن اثر تخریبی روی پایداری نمونه نداشته است.

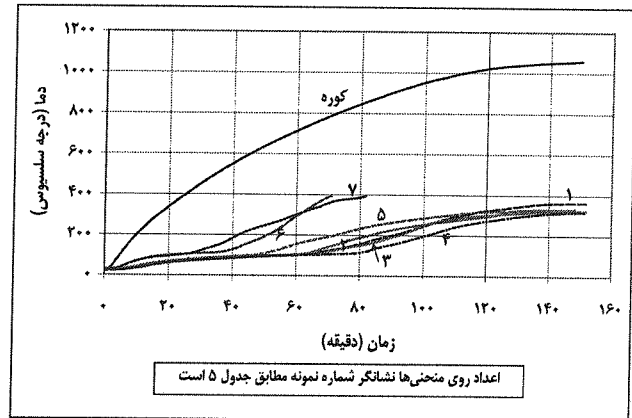
۶- با مقایسه دمای سطح خارجی نمونه‌های گچ و گچ-پرلیت پدیده در شکل (۶) مشاهده می‌شود که در هر دو ضخامت ۱۵ و ۲۵ میلی‌متر، ابتدا نمونه گچ رفتار بهتری نمایش داده است و دمای آنها با سرعت کمتری نسبت به گچ-پرلیت افزایش می‌یابد. سپس با گذشت زمان سرعت افزایش دمای گچ بیشتر می‌شود، به طوری که بالاخره دمای آن از دمای گچ-پرلیت بیشتر می‌شود. دلایل این موضوع به شرح زیر قابل تحلیل است.

الف- افزایش پرلیت باعث کاهش نسبت گچ می‌شود و محتوای آب شیمیایی موجود در ترکیب کم می‌گردد، پس در این مرحله (در محدوده دمایی تبخیر آب موجود در گچ)، مقدار آب کمتری تبخیر شده؛ در نتیجه دما در نمونه گچ-پرلیت سریع‌تر بالا می‌رود.

ب- وجود پرلیت، هدایت حرارتی نمونه را کاهش می‌دهد؛ پس با اتمام اثر آب شیمیایی گچ در دماهای حدود (۲۴۰ °C)، اثر هدایت حرارتی غالب می‌شود و نقش اصلی را در کند کردن انتقال حرارت بر عهده می‌گیرد؛ بنابراین، از این مرحله به بعد نمونه حاوی پرلیت رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد.

ج- پرلیت از میزان انقباض حرارتی نمونه می‌کاهد [۲]، [۷]. این موضوع به اضافه کاهش هدایت حرارتی باعث می‌شود تا ترک خوردن نمونه به طور قابل توجهی به تأخیر افتد، به طوری که تا پایان آزمون، ترکی در سطح خارجی نمونه مشاهده نشد. مجموع این آثار باعث می‌شود تا مخلوط گچ-پرلیت نسبت به گچ، مقاومت بسیار بهتری در برابر آتش داشته باشد.

۷- نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضخامت نمونه، مقاومت



شکل (۶): رفتار تخته های گچی و گچ-پرلیت با ضخامت‌های ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر و با ترکیبات مختلف در برابر دما

با بررسی نتایج و منحنی‌های به دست آمده از آزمایش، موارد زیر قابل ذکر است:

۱- نمونه‌های گچ با ضخامت ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر به ترتیب با رسیدن دمای کوره به (۹۳۵ °C) و (۶۹۰ °C) دچار ترک خوردگی عمقی شدند. زمان وقوع ترک در هر دو نمونه هنگامی صورت گرفته است که دمای سطح خارجی آنها به حدود (۲۴۰ °C) رسیده است. این نشان می‌دهد که گچ در دمای بالا و در شرایط حریق تا وقتی که دمای سطح بیرونی آن به حدود (۲۴۰ °C) برسد، یکپارچگی خود را حفظ می‌کند. این عدد نزدیک به دمای (۲۱۰ °C) است که در آن تقریباً کل آب شیمیایی گچ از دست می‌رود.

۲- در تمام نمونه‌ها یک خط تقریباً افقی در دمای حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس دیده می‌شود؛ سپس یک عطف در منحنی مشاهده شده و دما با شیب تندتری افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد تا وقتی که آب فیزیکی و شیمیایی موجود در گچ از دست نرفته، دمای سطح خارجی آن چندان از (۱۰۰ °C) تجاوز نخواهد کرد.

۳- با اضافه شدن پرلیت به گچ، رفتار محصول در برابر آتش به طور قابل توجهی بهبود یافت، به طوری که در سطح خارجی آن تا پایان آزمایش ترکی مشاهده نشد. با وجود این که در پایان آزمون و پس از سرد شدن نمونه، در سطح داخلی آن (رو به کوره) ترک‌های زیادی مشاهده شد، اما نمونه خرد نشد.

۴- با افزودن الیاف شیشه به گچ و گچ-پرلیت پایداری آنها

جدول (۷): هدایت حرارتی نمونه‌های گچ-پرلیت

ردیف	شرح نمونه	هدایت حرارتی (W/m.K)	درصد کاهش ضریب هدایت نسبت به گچ
۱	گچ	۰/۲۵	-
۲	گچ-پرلیت (۱:۱)	۰/۲۴۳	۳۰/۶

۴- نتیجه‌گیری

۱- با افزودن پرلیت به گچ، خواص حرارتی و مقاومت آن در برابر آتش به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد. پوشش‌های گچ-پرلیت در مقایسه با پوشش گچی با ضخامت یکسان، محافظت بیشتری را در برابر آتش تأمین می‌کنند.

۲- با افزودن الیاف شیشه با درصد و طول مناسب به گچ و گچ-پرلیت به وضوح پایداری آنها در دمای بالا بهبود می‌یابد و از ترک خوردگی آنها تحت تأثیر دمای آتش‌سوزی کاسته می‌شود.

۳- با افزودن الیاف شیشه به اندود یا تخته گچی مقاومت‌های خمشی و کششی و رفتار شکست محصول نیز بهبود می‌یابد.

۴- با افزودن پلیمر PVA به گچ خواص آن بهبود می‌یابد. بهترین نتیجه در ترکیب ۲٪ پلیمر مشاهده شد، به طوری که مقاومت فشاری حدود ۳۱/۵ و مقاومت خمشی حدود ۲۴ درصد افزایش نشان داد. اثر مثبت استفاده همزمان از الیاف و پلیمر بسیار قابل توجه است.

۵- با افزایش پرلیت به گچ به نسبت یک قسمت حجمی، هدایت حرارتی در دمای محیط حدود ۳۱ درصد کاهش می‌یابد.

۶- شاخص کاهش صدای جدار ساخته شده از گچ-پرلیت فقط یک دسی‌بل کمتر از پانل گچی با ضخامت یکسان (۱۰ سانتی‌متر) به دست آمد؛ بنابراین در دیوارهای گچی و سیستم‌های دیوار خشک می‌توان از مزایای سبکی و مقاومت حریق ترکیبات گچ-پرلیت استفاده کرد، بدون اینکه خواص آکوستیکی تغییر یا افت قابل توجهی نشان دهد.

۵- مراجع

- [۱] استولارد، پاول؛ و آبرامر، جان؛ اصول ایمنی در برابر آتش‌سوزی در ساختمان‌ها، ترجمه ع. زرین قلم و س. بختیاری، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۲۵۴، چاپ سوم، ۱۳۸۴.
- [۲] بختیاری، سعید؛ جعفرپور، فاطمه؛ فیروزیار، فهیمه؛ محافظت سازه‌ها در برابر حریق به وسیله برخی اندودهای مقاوم در برابر آتش، مجله علمی - پژوهشی امیرکبیر، ش. ۴۹، ص ۶۶-۷۵، ۱۳۸۰.
- [۳] بختیاری، سعید؛ جعفرپور، فاطمه؛ فیروزیار، فهیمه؛ اندودهای مقاوم در برابر آتش بر پایه گچ، مجموعه مقالات

بیشتری در برابر آتش به دست می‌آید. قطعاً با توجه به مسائل اجرایی، این مسأله فقط تا حدودی صادق است و افزایش ضخامت از یک حد به بالاتر مشکلات اجرایی خواهد داشت.

۳-۵- آزمایش آکوستیک

دو دیوار ساخته شده از پانل‌های گچی و گچ - پرلیت به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و مساحت یک متر مربع براساس روش توضیح داده شده در بند ۳-۴ آزمایش شد. نتایج آزمایش در جدول (۶) نشان داده شده است. شاخص کاهش صدا برای جدار ساخته شده از گچ-پرلیت فقط یک دسی‌بل کمتر از پانل گچی به دست آمد. این نشان می‌دهد که در دیوارهای گچی و سیستم‌های دیوار خشک می‌توان از مزایای سبکی و مقاومت بیشتر ترکیبات گچ-پرلیت در برابر آتش استفاده کرد، بدون اینکه خواص آکوستیکی تغییر یا افت قابل توجهی نشان دهد.

۳-۶- هدایت حرارتی نمونه‌ها

هدایت حرارتی ۲ نمونه گچ و گچ-پرلیت با نسبت ۱:۱ با روش ورق داغ اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون در جدول (۷) آمده است. با افزودن پرلیت به گچ به نسبت حجمی ۱/۱، هدایت حرارتی ترکیب در دمای محیط حدوداً ۳۱٪ کاهش می‌یابد.

جدول (۶): نتایج مقادیر صدابندی دیوار در برابر با صدای هوابرد

بسامد (فرکانس) به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) به دسی‌بل (dB)	
	دیوار با بلوک گچی	دیوار با بلوک گچ-پرلیت
۱۰۰	۲۶/۳	۲۶/۴
۱۲۵	۲۲/۲	۲۳/۸
۱۶۰	۲۲/۳	۲۳/۳
۲۰۰	۲۷/۹	۲۸/۴
۲۵۰	۲۴	۲۷/۲
۳۱۵	۲۶/۵	۲۶/۷
۴۰۰	۲۷/۵	۲۴/۶
۵۰۰	۲۹/۸	۲۶/۷
۶۳۰	۲۴/۴	۳۱/۷
۸۰۰	۲۵/۶	۳۲/۲
۱۰۰۰	۳۷/۳	۳۴/۹
۱۲۵۰	۳۸/۶	۳۶/۵
۱۶۰۰	۳۹/۷	۳۷/۷
۲۰۰۰	۴۱/۱	۴۰/۱
۲۵۰۰	۴۲/۱	۴۱/۲
۳۱۵۰	۴۲/۸	۴۲/۱
R _w	۳۵	۳۴

(R_w = شاخص کاهش صدای وزن یافته بر حسب دسی‌بل)

- اولین کنفرانس علمی - تخصصی انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، ص ۶۳۱-۶۱۹، ۱۳۷۸.
- [۴] استاندارد شماره ۲۶۹ ایران، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون گچ ساختمانی، تجدینظر سوم، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۴.
- [۵] ISO 834; "Fire resistance tests - elements of building construction and materials", ISO, 1975.
- [۶] Lieff, M.; "Fire resistant coverings". Symposium: Fire resistive coatings: The need for standards, ASTM. Oct 1982.
- [۷] Bakhtiyari, S.B.; Jafarpoor, F.; Firoozyar, F.; "Thermal and mechanical properties of fire-resistant gypsum plasters", Asian Journal of Civil Engineering (Building & Housing), Vol.1, pp 67-82, 2000.
- [۸] Bijen, J.; Van Der Plas, C; "Polymer-modified glass fiber reinforced gypsum", J. of Materials and Structures, Vol. 25 pp 107-114, 1992.
- [۹] ISO 6308; "Gypsum plasterboard-specification", International organization for standardization, 1980.