مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۸ شماره ۳، صفحه ۲۰۴-۱۹۳ (۱۴۰۲)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijwpr.2023.361084.1745
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1402.38.3.3.9

بررسی تأثیر الیاف کاغذ باطله بر رفتار شکست تخته الیاف-گچ

جواد ترکمن[1*] و روزبه اسدی خوانساری[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران، پست‌الکترونیک: torkaman@guilan.ac.ir

۲- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه فنی حرفه‌ای تهران، ایران

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲

چکیده

تخته الیاف- گچ کامپوزیتی است که از الیاف به‌عنوان تقویت‌کننده در زمینه گچی استفاده شده است. هدف این مقاله بررسی تأثیر مقادیر مختلف الیاف کاغذباطله بر استحکام، مقاومت و نحوه شکست تخته الیاف – گچ بوده است. برای این منظور، از مقادیر صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۵ درصد الیاف کاغذباطله جایگزین شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و جذب رطوبت در طی یک ماه قرار گرفتن در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد که افزایش مقدار الیاف تا ۲۰ درصد باعث افزایش خواص مکانیکی شده است. به‌طورکلی استفاده ۲۰ درصدی از الیاف باعث دو برابر و نیم شدن چسبندگی داخلی و افزایش ۵۰ درصدی مقاومت خمشی در مقایسه با نمونه شاهد شده است. منحنی نیرو- جابه‌جایی گویای این است که افزایش ۵ تا ۱۵ درصد الیاف در رفتار شکست تخته الیاف- گچ تغییری ایجاد نمی‌کند و همانند شاهد حالت ترد و شکننده دارد. در حالی که در مقادیر بیشتر جایگزینی انعطاف‌پذیری افزایش یافته و شکست حالت نرم پیدا می‌کند؛ بنابراین بهترین شرایط از نظر استحکام، مقاومت و انعطاف‌پذیری در ۲۰ درصد جایگزینی زمینه گچی با الیاف کاغذ باطله به‌دست‌آمده است.

واژه‌های کلیدی: استحکام، انعطاف‌پذیری، خواص مکانیکی، کامپوزیت، منحنی نیرو- جابه‌جایی.

مقدمه

کامپوزیت به ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده مجزا که سطح مشترک مشخصی بین آنها وجود داشته باشد، گفته می‌شود و از دو قسمت زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده است. زمینه با احاطه کردن تقویت‌کننده آن را در محل نسبی خودش نگه می‌دارد. تقویت‌کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ساختار می‌گردد. به‌طورکلی تقویت‌کننده می‌تواند به‌صورت فیبرهای کوتاه یا بلند و پیوسته باشد (Ghorbani *et al.*, 2011). قدیمی‌ترین نمونه از کامپوزیت‌ها مربوط به افزودن کاه به گل برای تقویت گل و ساخت آجری مقاوم برای استفاده در بناها بوده است. قدمت این کار به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد. در این مورد کاه نقش تقویت‌کننده و گل نقش زمینه را دارد. ارگ بم که شاهکار معماری ایرانیان بوده است. نمونه بارزی از استفاده از تکنولوژی کامپوزیت‌ها در قرون گذشته است (Bater *et al.*, 2017). تخته‌های مرکب مانند تخته چوب ـ گچ یکی از فراورده‌های چوبی است که از ترکیب ذرات و الیاف لیگنوسلولزی با اتصال دهنده‌های آلی یا معدنی حاصل می‌شود (Doris & Pelkonen, 2001; Kim *et al.*, 2007). این تخته‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند عدم تصعید فرم‌آلدئید، کندسوز و سبک بودن و مقاوم در برابر زلزله ازجمله تخته‌های دوستدار طبیعت هستند

(Hosseinkhani, 2015). نتایج پژوهش‌ها امکان به‌کارگیری پسماندهای کشاورزی مانند باگاس، سبوس، پوست نارگیل و خرما را در ساخت فراورده‌های مرکب نشان می‌دهد (Elvira, 2001). این فراورده‌ها در مقایسه با تخته‌هایی که به‌طور کامل از مواد معدنی تشکیل شده‌اند دارای ویژگی‌های بهتری مانند سبک بودن، عایق بودن و مقاوم در برابر زلزله هستند (Nazerian *et al*., 2013). این تخته‌ها به دلایل اقتصادی، نصب سریع و آسان و عدم انتشار گاز فرم‌آلدئید در مصارف داخلی ساختمان کاربرد گسترده‌ای دارند، به‌طوری‌که در کف‌سازی، پوشش داخلی دیوارها، سقف و به‌عنوان دیوار جداکننده استفاده می‌شوند (Mohebbi Gargari & Moazami, 2020). نحوه شکست این فراورده‌ها به‌ویژه در هنگام زلزله از اهمیت بسیاری برخوردار است. روش‌های مکانیک شکست مورداستفاده شامل دو روش فاکتور شدت تنش و میزان آزادسازی انرژی است که برای کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف روش‌های میزان آزادسازی انرژی بسیار مفیدتر از روش‌های شدت تنش است. جدا شدن یک جسم جامد در اثر اعمال تنش به دو یا چند قسمت را شکست گویند. برای شکست در یک ماده به انرژی نیاز است که از طریق بارگذاری روی ماده تأمین می‌شود. به مقدار انرژی ذخیره شده در ماده در هنگام بارگذاری تا شکست را چقرمگی می‌گویند (Anderson, 2005). در اثر اعمال نیرو، در جسم تغییر شکل رخ می‌دهد که ممکن است به‌صورت تغییر شکل الاستیک و تغییر شکل پلاستیک باشد. اگر نیروی اعمالی از مقدار معینی کمتر باشد پس از برداشتن نیرو جسم به حالت اولیه برمی‌گردد که این حالت را الاستیک یا برگشت‌پذیر می گویند؛ اما اگر جسم بیش از حد الاستیک‌اش تحت نیرو قرار گیرد دچار تغییر شکل دائمی می‌شود که با برداشتن نیرو از بین نمی‌رود که این حالت را حالت پلاستیک می‌نامند. ایجاد تغییر شکل دائمی در ماده با جذب و اتلاف انرژی برای گسستن پیوندهای بین مولکول‌های ماده و تبدیل انرژی به حرارت همراه است که این ویژگی در سازه‌ها برای جذب انرژی ناشی از بارهایی مانند زلزله بسیار مهم است. شکست در دو مرحله شروع ترک و رشد ترک اتفاق می‌افتد. به‌طورکلی در مواد دو نوع شکست وجود دارد. شکست نرم و شکست ترد: شکست نرم با تغییر شکل پلاستیک در قبل و هنگام اشاعه ترک مشخص می‌شود و معمولاً در سطوح شکست مقدار زیادی تغییر شکل ناخالص وجود دارد. شکست ترد حالت پیوسته و سریع دارد و زمانی که ترک به یک طول بحرانی می‌رسد سریع رشد کرده و شکست نهایی رخ می‌دهد که بسیار خطرناک است. کاربرد تخته گچ در زمان زلزله به دلیل استحکام کم، چقرمگی کم و مقاومت به ضربه کم محدود است (Toutanji,1999). استفاده از الیاف در ترکیب تخته گچ نقش پل‌های کوچکی را بین دو قسمت جدا شده در هنگام شکست ایفا می‌کند که از جدا شدن کامل تخته شکسته شده جلوگیری می‌نماید؛ بنابراین هدف این پژوهش بررسی اثر افزودن مقادیر مختلف الیاف کاغذ باطله بر تغییر شکل و حالت شکست کامپوزیت گچ–الیاف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این روش از گچ معمولی تولیدی کارخانه گچ سمنان و الیاف کاغذ باطله کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) استفاده شده است. در ابتدا یک قالب چوبی به ابعاد داخلی 30 cm × 30 cm × 3.2 cm ساخته شد، به‌طوری‌که یک تخته ام دی اف به ضخامت 16 mm در داخل آن قرار گرفت و بعد از فشرده شدن، ضخامت نهایی تخته به 16 mm رسید. در ساخت تخته از ذرات گچ با قطر کمتر از ۰/۲ میلی‌متر (عبور از الک با مش ۸۰) و الیاف کاغذ باطله تولیدی فرایند OCC کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) در مقادیر جایگزینی صفر، ۵ ،۱۰، ۱۵ ،۲۰، ۲۵ ،۳۰ و ۳۵ درصد استفاده شده است. متوسط ویژگی‌های این الیاف در جدول ۱ مندرج است. از اختلاط مواد خشک با آب به نسبت یک به یک دوغاب تهیه و دوغاب حاصل در داخل قالب ریخته و از طریق پرس سرد آزمایشگاهی تا رسیدن به ضخامت ۱۶ میلی‌متر فشرده شد. برای گیرایی کامل و جلوگیری از برگشت ضخامت، تخته‌ها به مدت ۵ ساعت به‌وسیله گیره‌های فلزی مهار شدند. دانسیته تخته‌های ساخته شده در تمامی تیمارها ثابت و ۱ گرم

بر سانتی‌مترمکعب در نظر گرفته شد. با توجه به عوامل متغیر و در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار جمعاً ۲۱ تخته ساخته شد. به‌منظور یکنواخت‌سازی رطوبت و متعادل‌سازی تنش‌های داخلی، تخته‌ها تا رسیدن به رطوبت تعادل به مدت یک ماه در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های الیاف کاغذ باطله

Table 1- Waste paper fibers characteristics

ویژگی الیاف Characteristics	طول (میلی‌متر) Length(mm)	قطر (میکرون) Diameter(µ)	ضریب لاغری Flexibility	درصد خشکی Dry matter
میانگین Mean	1±0.25	22±1.5	45±2	60±2

اندازه‌گیری مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و ترسیم منحنی نیرو- جابه‌جایی

با استفاده از دستگاه اینسترون و مطابق استاندارد EN-310 و فرمول شماره 1 مقاومت خمشی نمونه‌ها به دست آمد. همچنین طبق استاندارد EN-319 و فرمول شماره (۲) چسبندگی داخلی محاسبه شد. با توجه به ترسیم نمودار نیرو- جابجایی برای هر نمونه داده‌های مربوط به نیروی حداکثر، نیرو در نقطه شکست و تغییر طول به دست آمد.

$$MOR=\frac{1.5\,FL}{b\,d^2}\ \ kg/cm^2 \qquad (1)$$

F= نیروی حداکثر (کیلوگرم)

L= طول دهانه (سانتی‌متر)

b= عرض (سانتی‌متر)

d= ضخامت (سانتی‌متر)

MOR = مقاومت خمشی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

$$IB=\frac{F}{A}\ \ kg/cm^2 \qquad (2)$$

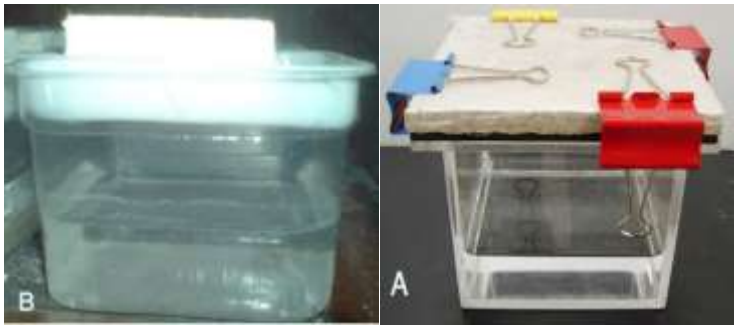
F= نیروی حداکثر (کیلوگرم)

A= سطح (سانتی‌متر مربع)

IB= چسبندگی داخلی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

اندازه‌گیری درصد جذب رطوبت

با توجه به اینکه کاربرد تخته گچ‌ها به‌عنوان پارتیشن، دیوار و پانل‌های سقفی در داخل ساختمان است. جذب رطوبت اهمیت بیشتری نسبت به جذب آب دارد؛ بنابراین مطابق روش (Kim, 2009) و شکل (۱) وسیله آزمایشگاهی تهیه گردید. ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر مربع برش و در داخل اتو با دمای ۲±۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و بعد در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از سطح آب قرار داده شد. وزن نمونه‌ها در فواصل ۵ روز به مدت ۲۵ روز توزین و مطابق فرمول شماره ۳ درصد رطوبت محاسبه شد.



شکل ۱- وسیله آزمایشگاهی (A) kim (2009) وسیله آزمایشگاهی تهیه شده (B)

Figure1. Laboratory apparatus (A) Kim(2009), (B) By Authors

$$H = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100 \quad (3)$$

W1= وزن اولیه (گرم)

W2= وزن ثانویه (گرم)

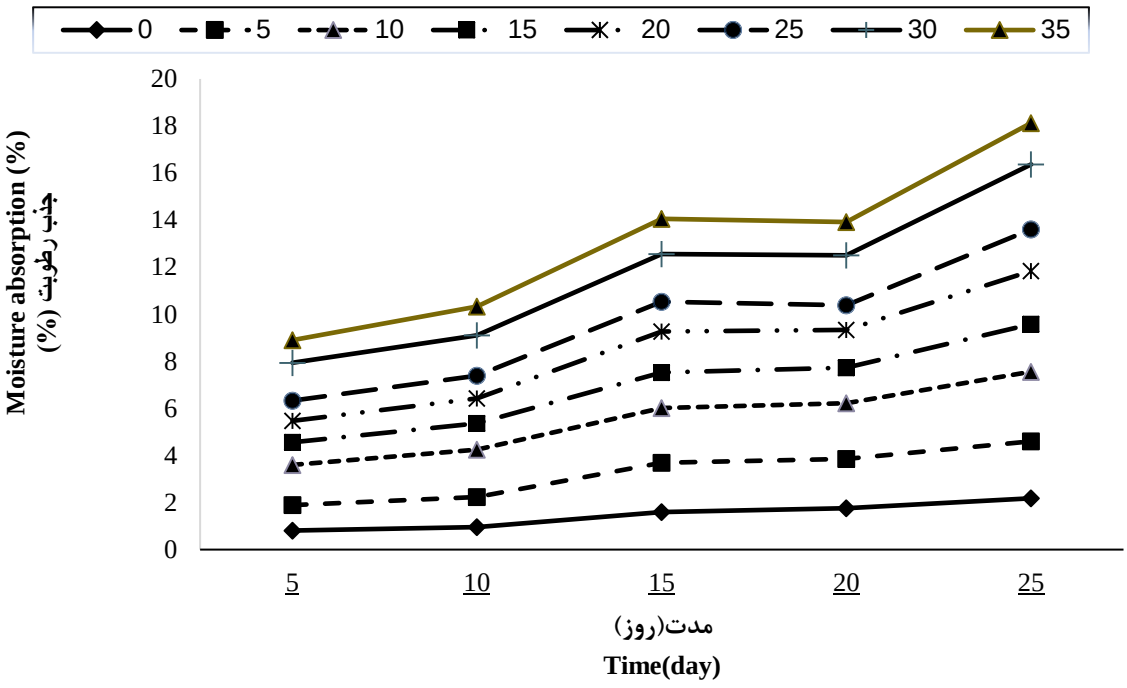
H= رطوبت (درصد)

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای بررسی تأثیر متغیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی و جذب رطوبت تخته‌ها از طرح کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شده است. مقایسه میانگین تیمارها با نمونه شاهد بوسیله آزمون دانت در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

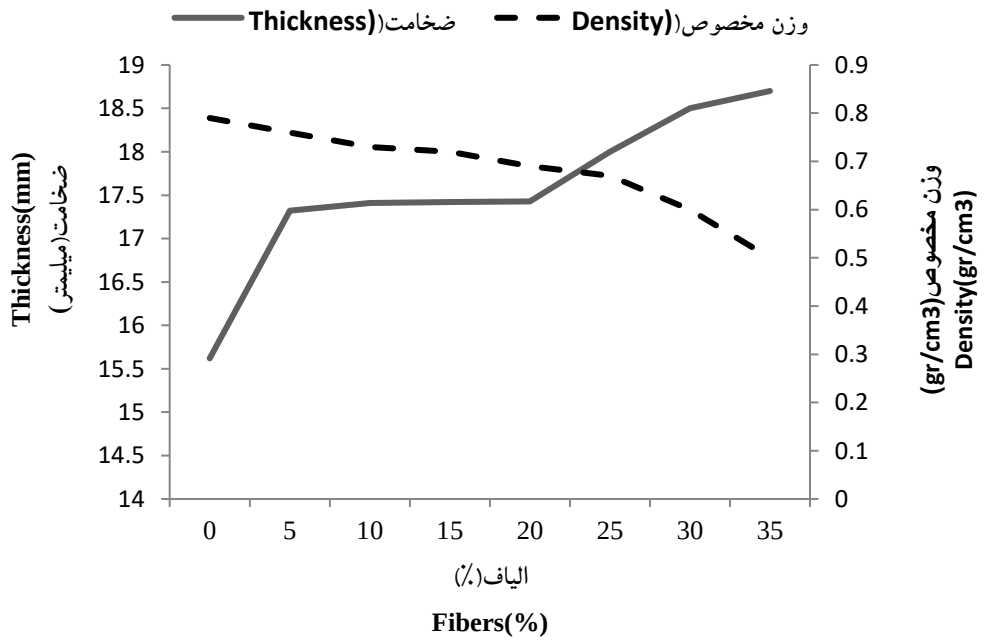
نتایج

به‌کارگیری الیاف سلولزی در ساخت فراورده‌های مرکب به دلیل تبادل رطوبتی باعث برگشت ضخامت می‌شود که این افزایش ضخامت بر روی وزن مخصوص تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که نتایج جذب رطوبت و افزایش ضخامت در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین تأثیر الیاف بر روی خواص مکانیکی را می‌توان در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده کرد (حروف مشابه عدم تفاوت و حروف مختلف وجود تفاوت را نشان می‌دهد).



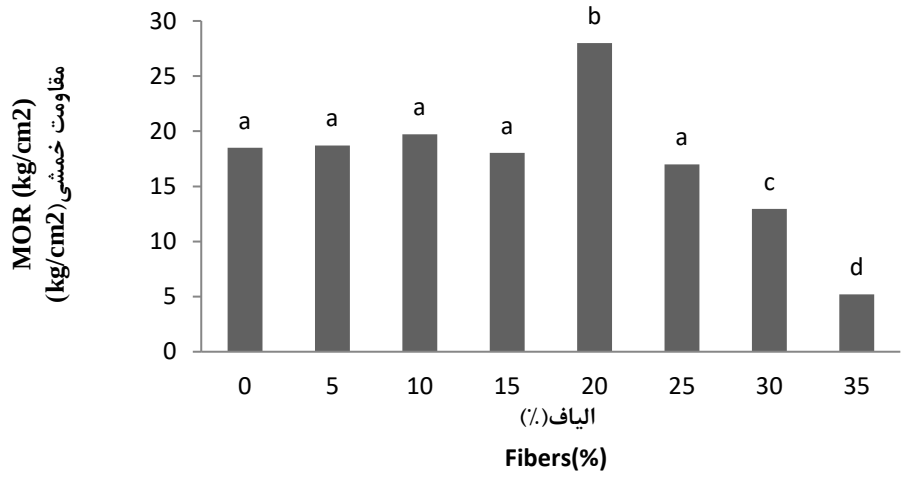
شکل ۲- جذب رطوبت کامپوزیت الیاف-گچ

Figure 2. Moisture absorption of the fiber-gypsum composite



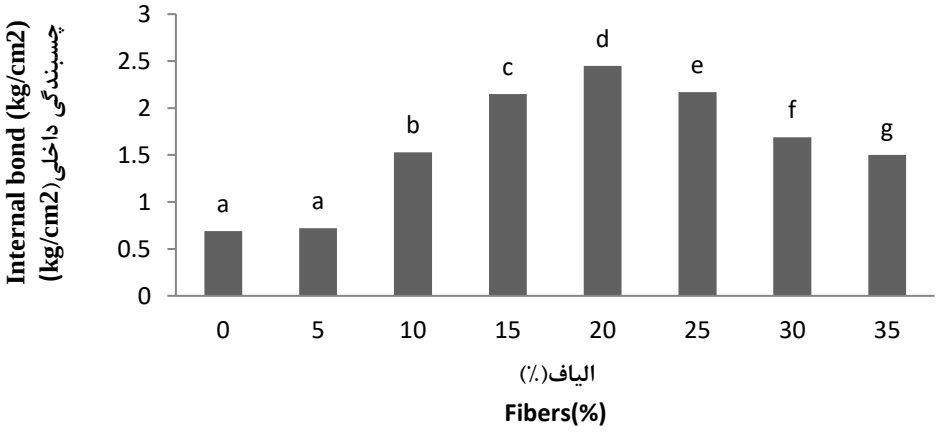
شکل ۳- تغییرات وزن مخصوص و ضخامت کامپوزیت با افزایش درصد الیاف کاغذباطله

Figure 3. Density and Thickness variation of the composite with increase in waste paper fibers



شکل ۴- تأثیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی مقاومت خمشی کامپوزیت الیاف_گچ

Figure4. Effect of the waste paper fibers on the modulus of rupture (MOR) of fibers-gypsum composite

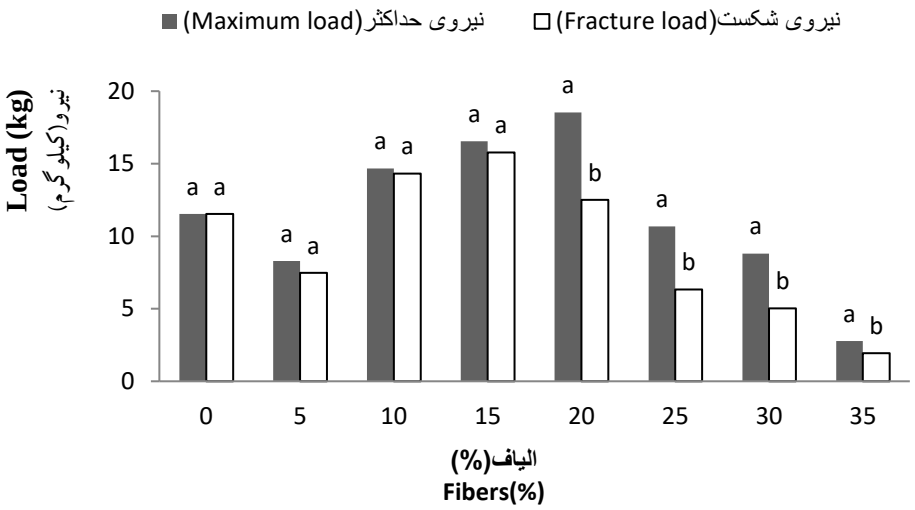


شکل ۵- تأثیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی چسبندگی داخلی کامپوزیت الیاف_گچ

Figure5. Effect of the waste paper fibers on the internal bond strength (IB) of fibers-gypsum composite

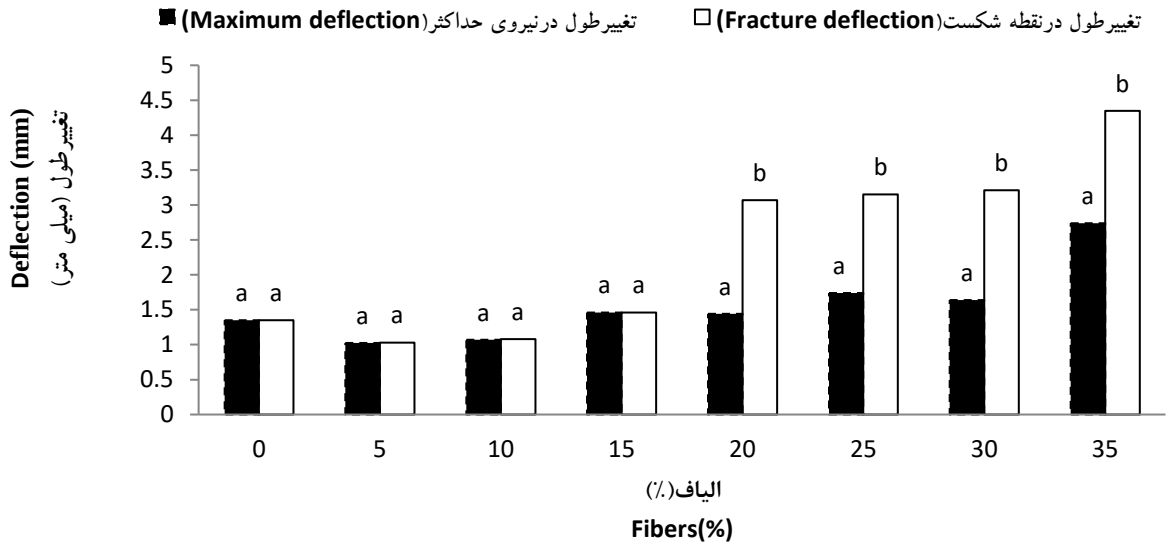
نتایج تأثیر مقادیر مختلف الیاف کاغذ باطله بر روی تحمل بار حداکثر و نقطه شکست و تغییر طول ناشی از بار را می‌توان در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده کرد (حروف مشابه عدم تفاوت و حروف مختلف وجود تفاوت را نشان می‌دهد).

نتایج حاصل از تأثیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک کامپوزیت الیاف-گچ را می‌توان در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده کرد.



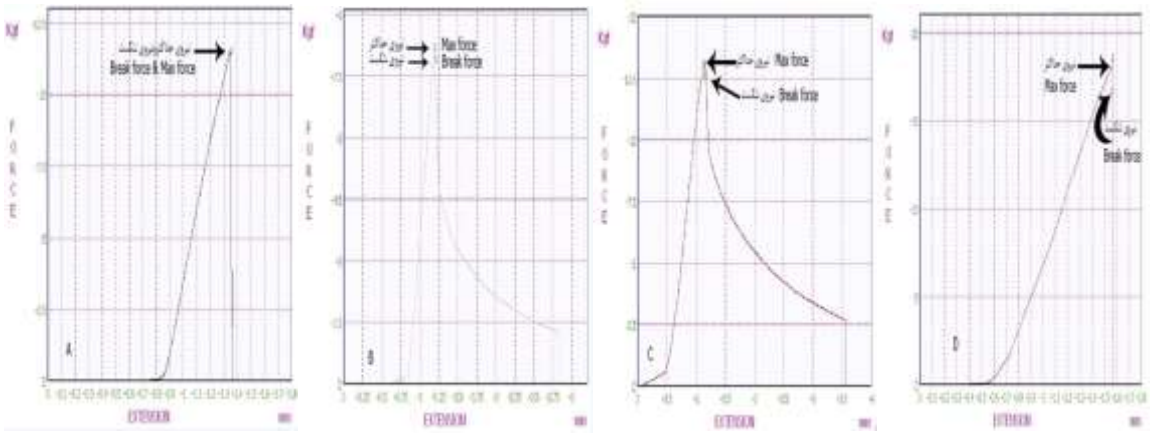
شکل ۶- تأثیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی نیروی حداکثر و شکست کامپوزیت الیاف_گچ

Figure6. Effect of the waste paper fibers amount on the maximum load and fracture load of the fibers-gypsum composite



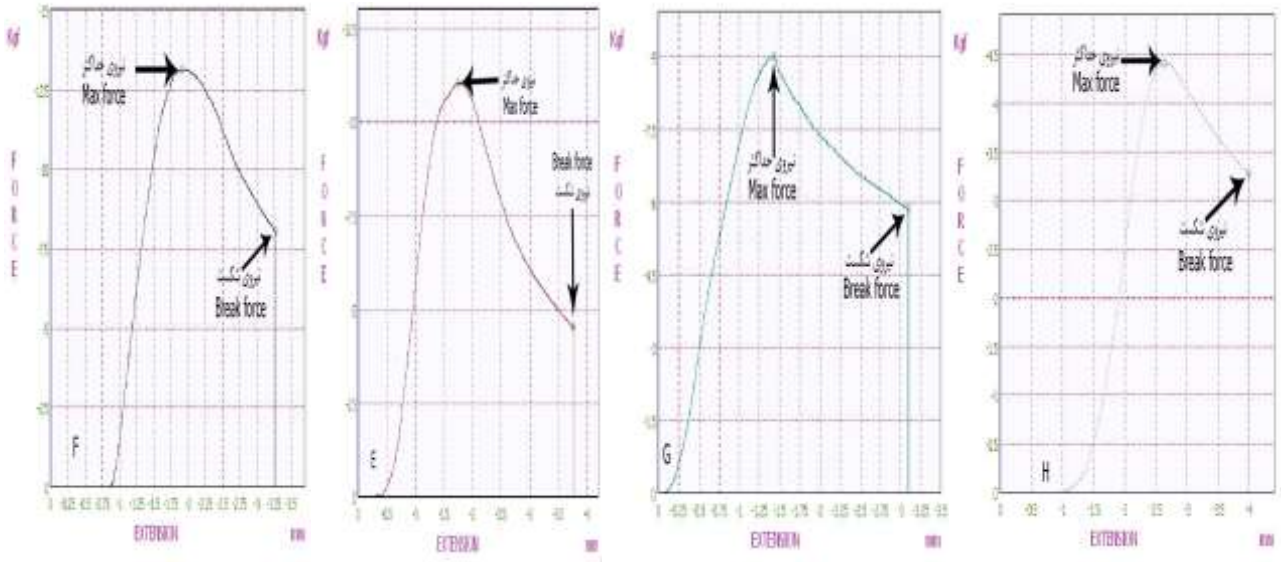
شکل ۷- تأثیر مقدار الیاف کاغذ باطله بر روی تغییر طول کامپوزیت الیاف_گچ

Figure7. Effect of the waste paper fibers on the deflection of the fibers-gypsum composite



شکل ۸- نمودار نیرو- جابه‌جایی کامپوزیت گچ تقویت‌شده با صفر درصد (**A**)، ۵ درصد (**B**)، ۱۰ درصد (**C**) و ۱۵ درصد (**D**) الیاف کاغذباطله

Figure 8. Load-displacement diagram for the gypsum composite reinforced with waste paper fibers (A) Zero%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15%



شکل ۹- نمودار بار- جابه‌جایی کامپوزیت گچ تقویت‌شده با ۲۰ درصد (**F**)، ۲۵ درصد (**E**)، ۳۰ درصد (**G**) و ۳۵ درصد (**H**) الیاف کاغذباطله

Figure 9. Load-displacement diagram for the gypsum composite reinforced with waste paper fibers (F) 20%, (E) 25%, (G) 30%, (H) 35%

بحث

با توجه به اینکه الیاف کاغذ باطله ساختار سلولزی دارند به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل با محیط در تبادل رطوبتی هستند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار الیاف در ترکیب کامپوزیت در طی مدت ۲۵ روز قرار گرفتن در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد مقدار جذب رطوبت با یک شیب ملایم افزایش را نشان می‌دهد. جذب رطوبت و فشرده‌سازی در فرایند تولید بر روی برگشت

ضخامت کامپوزیت مؤثر است که می‌توان این برگشت ضخامت را در مقایسه با شاهد در شکل ۳ مشاهده کرد. افزایش جایگزینی ۵ تا ۲۰ درصد تأثیری بر افزایش ضخامت نداشته است که با توجه به افزایش چسبندگی داخلی در این محدوده (شکل ۵) نیروی چسبندگی از برگشت ضخامت جلوگیری کرده است. در حالی که با کاهش چسبندگی داخلی در مقادیر جایگزینی ۲۵ تا ۳۵ درصد مقدار برگشت ضخامت افزایش یافته است. گزارش شده که با بالا رفتن درصد فشردگی چوب پالونیا میزان برگشت ضخامت و واکشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد (Edalat, 2008). با توجه به اینکه برگشت ضخامت در افزایش حجم مؤثر است باعث کاهش وزن مخصوص کامپوزیت می‌شود که در شکل ۳ قابل مشاهده است که این کاهش در مقادیر جایگزینی ۲۵ درصد به بالا بیشتر است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت خمشی در شکل ۴ نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار مقاومت خمشی وجود دارد ($\alpha<0.05$). آزمون مقایسه میانگین دانت (Dunnett) نشان می‌دهد که مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد جایگزینی گچ با الیاف کاغذباطله در مقایسه با گچ خالص (شاهد) تفاوت معنی‌داری ندارد ($\alpha>0.05$) و مقادیر ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درصد جایگزینی گچ با الیاف کاغذباطله دارای تفاوت معنی‌داری است که بیشترین مقدار مربوط به ۲۰ درصد جایگزینی است که نسبت به شاهد ۵۰ درصد افزایش نشان می‌دهد و کمترین مقدار مربوط به ۳۵ درصد جایگزینی است که نسبت به شاهد ۷۰ درصد کاهش نشان می‌دهد. Rangavar (۲۰۱۳) بهترین مقدار استفاده از الیاف اسکناس‌های باطله را در ترکیب تخته‌های چوب–گچ ۲۰ تا ۳۰ درصد بیان کرده است. نتایج اندازه‌گیری چسبندگی داخلی در شکل ۴ نشان می‌دهد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($\alpha<0.05$). به‌طوری‌که مقدار چسبندگی داخلی در کلیه تیمارها نسبت به شاهد افزایش نشان می‌دهد و بیشترین افزایش مربوط به تیمار ۲۰ درصد جایگزینی گچ با الیاف کاغذباطله است که مقدار آن ۲/۵ برابر مقدار نمونه شاهد است. حداکثر بار قابل تحمل تیمارهای مختلف در هنگام خمش و شکست در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌طوری‌که بیشترین مقدار را در تیمار 20 درصد جایگزینی گچ با الیاف می‌توان مشاهده کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین حداکثر بار قابل‌تحمل و نیروی شکست در تیمارهای صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی گچ با الیاف بین مقدار این دو نوع بار تفاوت معنی دار وجود ندارد. در حالی که در تیمارهای بیش از ۲۰ درصد جایگزینی گچ با الیاف بین این دو نیرو تفاوت وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در اثر نیروی حداکثر و نیروی شکست تغییر طول کامپوزیت بین تیمارهای با صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد جایگزینی گچ با الیاف کاغذباطله تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در حالی که در مقادیر جایگزینی ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. البته افزایش مقدار الیاف در جایگزینی گچ باعث افزایش تغییر طول کامپوزیت در هنگام شکست شده است. نیرو باعث تغییر شکل الاستیک (برگشت‌پذیر) و پلاستیک (دائمی) در نمونه می‌شود. همان‌طور که در نمودار نیرو– جابه‌جایی شکل ۸ نشان داده شده است در مقادیر صفر تا ۱۵ درصد جایگزینی تا رسیدن به نقطه بیشینه یک افزایش با شیب ثابت دیده می‌شود که بعدازآن نمودار دچار افت شدید شده است که این نشان‌دهنده شکسته شدن زمینه گچی است. در این نمونه‌ها و نمونه گچ خالص بعد از شکست زمینه نمونه‌ها قادر به تحمل نیرویی نیستند و تمام تغییر شکل ناشی از اعمال نیرو در این نمونه‌ها از نوع الاستیک و برگشت‌پذیر است؛ اما اگر بعد از نیروی حداکثر تا رسیدن به نقطه شکست تغییرشکلی در آن رخ دهد، این تغییر شکل از نوع پلاستیک و دائمی است که این وضعیت را در نمودارهای شکل شماره ۹ می‌توان برای نمونه‌های با جایگزینی الیاف به مقدار ۲۰ تا ۳۵ درصد مشاهده کرد. در این نمونه‌ها قطعات نمونه از هم جدا نمی‌شوند و نمونه‌ها می‌توانند بار نسبتاً زیادی را تا نقطه شکست زمینه تحمل کنند. الیاف در محل شکست با استفاده از سازوکار پل‌زنی مانع از جدا شدن قطعات نمونه می‌شوند. گزارش شده است که افزودن الیاف باگاس در درصدهای وزنی کم نه‌تنها باعث افزایش استحکام نمی‌شود بلکه الیاف با از بین بردن

پیوستگی زمینه گچی مانند ترک عمل کرده و باعث کاهش استحکام می‌شوند (Elahi *et al*., 2021). اضافه شدن الیاف کاغذ باطله به ترکیب کامپوزیت گچ-الیاف باعث افزایش میزان تغییر شکل پلاستیکی شده است که این تغییر شکل در مقادیر ۲۰ درصد به بالا مشهودتر است. حداکثر استحکام در نمونه‌های ۲۰ درصد جایگزینی مشاهده شده که در این نمونه‌ها الیاف باعث افزایش استحکام شده و پس از شکست زمینه نمونه به‌طور کامل از هم جدا نمی‌شود و قادر به تحمل نیروی نسبتاً زیادی است. گزارش شده که درصد الیاف و طول الیاف هر دو می‌توانند استحکام را افزایش دهند ولی تأثیر درصد الیاف بر استحکام‌دهی بیشتر از طول الیاف است (Elahi *et al*., 2008). نقطه شکست در نمونه‌های گچ خالص و نمونه‌های دارای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد الیاف کاغذباطله در نزدیکی نقطه حداکثر بار اتفاق افتاده است که می‌تواند به علت عدم توزیع یکنواخت الیاف در زمینه باشد که منجر به شکست ترد شده است. در حالی که در مقادیر ۲۰ درصد و بالاتر نقطه شکست در فاصله طولانی‌تری از نقطه حداکثر بار اتفاق افتاده که هرچه این فاصله بیشتر باشد نشان‌دهنده بیشتر بودن تغییر شکل پلاستیکی است. گزارش‌شده که در مسیر ورود تنش در کامپوزیت‌هایی که زمینه به‌وسیله الیاف تقویت‌شده‌اند در ایجاد ترک مراحلی وجود دارد که منجر به شکست نرم می‌شود. ابتدا یک مجموعه از الیاف در اثر نیرو از هم گسسته می‌شوند و مجموعه دیگری از الیاف از جای خود کنده می‌شود و در پایان با ضعیف شدن نیرو سایر الیاف مانع پیشرفت ترک می‌شوند (Gault, 2008). همچنین گزارش شده است که استفاده از الیاف پارچه‌های باطله برای تقویت گچ باعث افزایش انرژی شکست و استحکام می‌شود (Aghaee *et al.*, 2015; Vasconcebs *et al*., 2015). به‌طورکلی افزایش مقاومت‌های خمشی، چسبندگی و تغییر شکل پلاستیکی زیاد در مقدار ۲۰ درصد نشان‌دهنده توزیع همگن الیاف در این تیمار است. البته هرچه مقدار تغییر شکل الاستیک و پلاستیک کامپوزیت بیشتر باشد در نوع کاربرد آن تأثیرگذار و اهمیت بسیاری دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی استفاده از الیاف کاغذباطله با متوسط طول الیاف یک میلی‌متری در ترکیب کامپوزیت الیاف_گچ نشان می‌دهد که افزایش درصد الیاف در ترکیب کامپوزیت الیاف-گچ بر روی ویژگی‌های کامپوزیت حاصل از نظر استحکام، مقاومت و انعطاف‌پذیری مؤثر است، به‌نحوی‌که بهترین شرایط در ۲۰ درصد الیاف به‌دست‌آمده است. در این درصد جایگزینی در مقایسه با شاهد چسبندگی داخلی دو نیم برابر و مقاومت خمشی ۵۰ درصد افزایش یافته و حداکثر تحمل بار در این مقدار جایگزینی به‌دست‌آمده است. افزایش درصد الیاف باعث افزایش جذب رطوبت و برگشت ضخامت شده است. به‌طوری‌که این برگشت ضخامت در مقادیر ۵ تا ۲۰ درصد جایگزینی به علت افزایش چسبندگی داخلی ثابت مانده است. با توجه به اینکه داشتن استحکام بالا، چقرمگی زیاد، انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر رشد ترک از عوامل مؤثر در زمان زلزله است و نقش مهمی در ایمنی دارند. لازم است بررسی‌های بیشتری در زمینه کاربرد الیاف بلند و روش‌های همگن‌سازی الیاف در زمینه گچی انجام شود.

منابع مورد استفاده

-Aghaee, K., Yazdi, M.A. and Yang, J., 2015. Flexural properties of composite gypsum partition panel, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability, Thomas Telford Ltd, pp. 258-263.

-Anderson, T.L., 2005. Fracture mechanics, fundamentals and applications. CRC Press: Taylor and Frances Group, Boca Raton, FL, pp 122–125, 310–311

-Bater, M., Ahmadi, H., Abedi Kopaei, J. and Emadi, R., 2017. The effect of the curing time of traditional straw mortar on its compressive and tensile strength. Journal of Housing and Rural Environment. No. 157. p. 69-86. (in Persian)

-Doris, O.C. and Pelkonen, H., 2001. Generation and Characterization of paper Mill sludge. Department of Science and Technology. Proceeding of 5th international workshop on the use of paper industry sludge: 15-22.

-Edalat, H.R., Tabarsa, T. and Reisi, M., 2008. Densification of Paullownia wood by using of hot-

- Kim, S., 2009. Incombustibility,Physico-mechanical properties and TVOC emission behavior of the gypsum –rice husk boards for wall and ceiling materials for construction .Industrial crops and products.29.381-387.

-Kim, S., Kim, J.A., An, J.Y., Kim, H.S., Kim, H.J., Deng, Y., Feng, Q. and Luo, J., 2007. Physico-mechanical properties and the TVOC emission factor of gypsum particle boards manufactured with Pinus massoniana and Eucalyptus Sp. Macromolecular Materials and Engineering 292(12):1256-1262.

-Mohebbi Gargari, R. and Moazami, V., 2020. Determination and prioritization of effective criteria for establishment of gypsum boards units in Iran using paired comparisons method. Forest and Wood Products, Vol. 72, 363 No. 4,351-363(in Persian)

-Nazerian, M. and Kamyab, M., 2013. Gypsum-bonded particleboard manufactured from agricultural based material. Forest Science and Practice.15(4): 325-331(in Persian)

-Rangavar, H., 2013, Study on the possibility of recycled-banknote utilization in the production of wood gypsum composite-boards. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 4 (1): 87-99. (in Persian)

-Toutanji, H.A., 1999. Evaluation of the Tensile Strength of Cement – Based Advanced Composite Wrapped Specimens, Composite science and Technology, 59: 2261- 2268.

-Vasconcelos, G., Lourenço, P.B., Camões, A., Martins, A. and Cunha, S., 2015. Evaluation of the performance of recycled textile fibres in the mechanical behaviour of a gypsum and cork composite material, Cement and Concrete Composites, Vol. 58, pp. 29-39.

press. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 23 No. (2), 136-148. (in Persian)

-Elvira, K., 2001. Housing construction material from paper mill sludge. Department of Forest and Paper Science. Proceeding of 5th international workshop on the use of paper industry sludge: 68-80.

-Elahi, S.H., Fakhimi, M. and Abdi, M., 2021. Manufacturing gypsum composite with short fiber of bagasse (sugarcane wastes), Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 8,No. 4, pp. 12- 18, (in Persian)

-Elahi, S.H., Motevasseli, A.S. and Aghazadeh, J., 2008."Fabrication of Gypsum Matrix Composite Panels", 13th European Conference on Composite Material,Stockholm, Sweden.

-EN 319. 1999. Standard Test Methods for Determination of tensile strength.European Standardization Committee, Brussels.

-EN 310. 1999. Standard Test Methods for Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. European Standardization Committee, Brussels.

-Gault, R., 2008. Paper Clay for ceramic sculptors; a studio companion, Seattle WA, USA, Forth Edition.

-Ghorbani, Sh., Ashuri, M. and Sarpolki, H., 2011. Paper clay, Investigation and recognition of the material, its capabilities and applications from an artistic point of view, HONAR-HA-YE-ZIBA HONAR-HA-YE-TAJASSOMI, No. 48, pp. 69-82. (in Persian)

-Hosseinkhani, H., 2015. Gypsum bounded board production reinfoced with Date Palm (*Phoenix dactylifera L.)* pruning residues fibers, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 30 No. (1), 60-71. (in Persian)

Investigation of the effect of waste paper fibers on the fracture behavior of fiber-gypsum board

J. Torkaman [1*] and R. Asadi khansari[2]

1*-Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran,
Email: torkaman@guilan.ac.ir
2-Assistant Professor, Department of wood industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

Received: Jan., 2022 Accepted: April, 2022

Abstract

Fiber-gypsum board is a composite material, in which fiber is used as the reinforcement in the matrix of gypsum. The purpose of this research was to investigate the effect of adding different amounts of waste paper fibers on the strength, and the fracture behavior of fiber-gypsum board. For this purpose, zero, 5, 10, 15, 20, 25 and 35 percent gypsum was substituted by waste paper fibers in the mixture. The results of bending strength, internal bonding and moisture absorption after one month exposure to 100% relative humidity measurement showed that increasing the percentage of fibers up to 20% increased the mechanical properties. In general, using twenty percent fibers in the mixture increased the bending strength by 50% and the internal bonding was increase two and half times compared to the control samples. The load-displacement curve shows that the dosage of 5 to 15 percent of fibers does not change the fracture behavior of the fiber-gypsum board and exhibited brittle fracture as in control samples. While at higher dosage, the flexibility increases and the failure becomes ductile. Therefore, the best conditions in terms of strength, resistance, and flexibility was reached at 20% substitution of gypsum with waste paper fibers.

Keywords: Composite, strength, flexibility, mechanical properties, load-displacement curve.