

## بررسی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ با پارچه بی بافت سوراخدار با استفاده از روش سطح پاسخ

فاطمه شیروانی<sup>۱</sup>، محسن هادی زاده\*<sup>۲</sup>، مسعود زینی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> دانشکده نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران<sup>۲</sup> دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

## تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۹ آذر ۱۳۹۵  
بازنگری: ۲۸ بهمن ۱۳۹۵  
پذیرش: ۲۲ اسفند ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۲۱ فروردین ۱۳۹۶

## کلمات کلیدی:

گچ  
مقاومت خمشی  
مسلح سازی  
پارچه بی بافت سوراخدار  
ضایعات پارچه

**چکیده:** گچ با توجه به خصوصیات منحصر به فرد آن یکی از مصالح ساختمانی پر کاربرد در ساختمان سازی است. اما در برابر نیروی خمشی و کششی وارد شده به آن ضعیف می باشد. از این رو در این نوع مصالح ساختمانی برای غلبه بر نیروی وزن سازه و همچنین بهبود خواص مکانیکی، می توان از منسوجات که دارای قدرت کششی مناسب و وزن کم هستند به عنوان عضو تقویت کننده استفاده نمود. در این تحقیق تأثیر پارچه بی بافت سوراخ دار و ضایعات آن در مقاومت خمشی کامپوزیت گچ مورد بررسی قرار گرفته است. از روش سطح پاسخ برای تجزیه و تحلیل مقاومت خمشی کامپوزیت گچ به عنوان متغیرهای وابسته استفاده شده است. وزن پارچه های بی بافت، تعداد سوراخ و ضایعات این پارچه ها به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. به عنوان یک نتیجه از مطالعه، مدل پیش بینی کننده مقاومت خمشی کامپوزیت گچ ارائه شده است و این مدل دارای ضریب تعیین بالا می باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه مشخص گردید که استفاده از مواد نساجی به شکل ضایعات پارچه، تأثیر مثبت قابل ملاحظه تری نسبت به پارچه سوراخدار بر روی بهبود خاصیت خمشی کامپوزیت گچ را در پی خواهد داشت.

## ۱- مقدمه

مصالح ساختمانی با اهدافی از جمله افزایش طول عمر، وزن سبک تر، کاهش خسارات ناشی از زلزله و ریزش مصالح، همچنین مقاومت بیشتر در برابر نیروهای فشاری، کششی و خمشی وارده به سازه، با مواد نساجی مسلح سازی می شوند. در دهه اخیر از الیاف طبیعی و مصنوعی در اندازه های معمولی، میکرونی و نانو برای مقاوم سازی سازه ها بهره برده شده است [۱-۴]. در حالیکه استفاده از پارچه به عنوان تقویت کننده در کامپوزیت ها، به طور وسیع کاری انجام نشده است. در این راستا پارچه ها در ساختمان سازی، پل سازی ها و دیگر موارد کاربرد فراوان دارد و می تواند به بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت ها کمک کنند.

در زمینه فعالیت های عمران و شهرسازی بهینه سازی جزء کارهای مفیدی است که در وسعت زیادی کاربرد فراوانی دارد، در نهایت سودآوری، صرفه جویی در هزینه و مواد بسیار بیشتر خواهد شد. محققین زیادی بر روی مدل سازی خواص مکانیکی کامپوزیت مصالح ساختمانی با انواع منسوجات مطالعاتی را به ثمر رسانده اند که در اکثر این مطالعات تأثیر مثبت وجود منسوجات بر روی خاصیت خمشی کامپوزیت مدل سازی شده است. در مطالعاتی که در خصوص رفتار دینامیکی ماسه مسلح شده با الیاف توزیع

شده تصادفی اثر پارامترهایی از قبیل دامنه کرنش برشی، تنش همه جانبه، پیش کرنش یافتگی سیکلی، تعداد سیکل های آزمایش، مقدار، جهت و نسبت بعد الیاف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند [۵]. نتایج آنها نشان داد که تسلیح باعث افزایش مقادیر مدول برشی، نسبت میرایی و مقاومت روانگرایی نمونه ها می گردد. در تحقیقی اثر میزان درصد الیاف پلی پروپیلن در بتن الیافی هیبریدی مورد بررسی قرار گرفته است [۶]. درصد مختلفی از الیاف پلی پروپیلن در یک درصد حجمی الیاف فولادی جایگزین شده است. نتایج آزمایش ها نشان داده است که الیاف پلی پروپیلن قابلیت پل زدن بر روی ریزترکها را داشته و اثر ناچیزی بر بهبود رفتار بتن بعد از ایجاد اولین ترک را دارند. ژانگ<sup>۱</sup> و همکاران رفتار شکست کامپوزیت های سیمانی تقویت شده با نخ های ممتد شیشه ای به وسیله یک مدل آنالیزی بر پایه مفهوم مکانیک شکست بررسی کردند [۷]. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل با نتایج تجربی مقایسه شده است که تطابق خوبی بین نتایج دو گروه دیده شده است. در تحقیق دیگر المان بتن مسلح بعد از خوردگی آرماتور که توسط FRP تقویت شده مدل سازی شده است [۸]. با درصد خوردگی مختلف به بررسی رفتار فشاری و کششی آن پرداخته شده است. ادعا شده است که مدل های رفتاری در شبیه سازی عددی اعضا بتن مسلحی که دچار خوردگی شده و با

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: hadizadeh@yazd.ac.ir

که روی آن زده شده است را دچار تغییر ظاهر می‌نماید. با توجه به این که از نظر اقتصادی رنگ زده شده بر روی گچ، نسبت به خود آن هزینه بیشتری را به همراه دارد. عامل ضعیف بودن گچ در برابر تحمل نیروی افقی در ساختمان‌ها و خسارات ناشی از پخش و پرتاب شدن قطعات گچ در اثر زلزله، ایجاب می‌کند که بهبود خواص مکانیکی گچ و مقاوم‌سازی آن در برابر گسیختگی با استفاده از مواد نساجی که دارای خاصیت کششی هستند، برای جلوگیری از ترک خوردن و ریزش دیوارها و سقف ساختمان‌ها، امری مهم به شمار آید. از نقطه نظر محیط زیستی و اقتصادی نیز ترمیم، تعمیر، تقویت و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود بر تخریب و دوباره‌سازی سازه‌ها ارجحیت دارد. همچنین در بسیاری از موارد، مقاوم‌سازی سازه‌ها کم هزینه‌تر و کم در دسترس‌تر از نوسازی آنها است. علاوه بر این، سرعت مقاوم‌سازی بیش از نوسازی بوده که باعث خارج شدن سازه از سرویس دهی برای مدت طولانی است [۱۶].

در این مطالعه سعی شده است تا اثر عوامل وزن پارچه‌های بی‌بافت، تعداد سوراخ و ضایعات این پارچه‌ها بر مقاومت خمشی کامپوزیت گچ مورد ارزیابی قرارگیرد. همچنین مدلی برای رفتار خمشی کامپوزیت گچ با پارچه بی‌بافت سوراخدار از روش سطح پاسخ ارائه گردد.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- روش سطح پاسخ

روش طرح آزمایش و تحلیلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است روش سطح پاسخ می‌باشد. طرح آزمایش ابزاری مهم جهت بهبود عملکرد یک فرآیند تولید محسوب می‌شود. این ابزار کاربرد وسیعی در تکوین فرآیندهای جدید نیز دارد. استفاده از طراحی آزمایش تولید محصول را ارتقاء، عملکرد و قابلیت اطمینان آن را افزایش و قیمت محصول و زمان تکوین آن را کاهش می‌دهد [۱۷]. این روش برای مشخص کردن روابط بین یک یا چند متغیر پاسخ و متغیرهای مستقل مورد مطالعه به کار می‌رود. این روش با معیار قرار دادن تعداد متغیرها و حدود بیشینه و کمینه تعیین شده برای هر متغیر، ماتریس آزمایش را طراحی می‌کند. بدین ترتیب تعداد آزمون‌ها و سطوح هر متغیر در هر آزمون مشخص می‌شود [۱۸]. از جمله مزایای این روش کاهش تعداد آزمون‌هاست، همچنین طرح آزمایش به‌نحوی است که حتی بدون تکرار آزمون نتایج آماری قابل اعتمادی به دست می‌آید. بدین منظور در این مطالعه از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت<sup>۱۱</sup> استفاده شده است [۱۹]. نتایج تأثیر پذیری متغیرهای وزن و تعداد سوراخ پارچه‌ها بر روی مقاومت خمشی با استفاده از این نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفت.

### ۲-۲- مواد استفاده شده

در این مطالعه پارچه بی‌بافت اسپان باند از جنس پلی‌استر با وزن‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. از گچ تجاری سمنان-مازندران و آب مقطر برای ساخت ملات گچ استفاده گردید. همچنین از الک شماره ۵۰ با اندازه

پوشش FRP تقویت شده‌اند، کاربرد دارد. آلتون<sup>۱</sup> و دیرینک‌گیل<sup>۲</sup> پیش‌بینی رفتارهای میله‌های منشوری شکل سیمانی با اضافه کردن الیاف پلی‌پروپیلن<sup>۳</sup> تحت دمای بالا توسط مدل‌های سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی<sup>۴</sup> و شبکه عصبی مصنوعی<sup>۵</sup> و مدل ژنتیک فازی را توسعه دادند [۹]. این مدل‌ها همبستگی قوی را بین مقادیر هدف و نتایج تجربی، ارائه می‌کند و با خطای کمی نسبت به اندازه مقدار هدف، پیش‌بینی را انجام داده‌اند.

با این حال مطالعات کمی بر روی مدلسازی خواص مکانیکی کامپوزیت گچ ساختمانی با منسوجات انجام شده است. علی<sup>۶</sup> و همکاران خواص مکانیکی گچ تقویت شده با الیاف شیشه را مورد بررسی قرار دادند. خاصیت مقاومت خمشی و کششی این نوع کامپوزیت با افزودن الیاف شیشه نوع E، افزایش محسوسی داشته است [۱۰]. ماجومدار<sup>۷</sup> صفحات گچی را با الیاف شیشه تقویت کرد که افزایش ۱۰ درصدی مقاومت کششی و خمشی کامپوزیت تولید شده با اضافه کردن این نوع تقویت کننده، نسبت به حالت ساده آن را به همراه داشته و از ترک خوردن گچ جلوگیری می‌کند [۱۱].

کارنی<sup>۸</sup> خاصیت خمشی کامپوزیت گچ با اضافه کردن الیاف پلیمری و الیاف شیشه مورد بررسی قرار داد. خاصیت خمشی کامپوزیت افزایش قابل توجهی داشته به گونه‌ای که در کامپوزیتی که از هر دو ماده تقویت کننده پلیمر و الیاف شیشه استفاده شده است افزایش ۲۹ درصد مقاومت خمشی را به همراه داشته است [۱۲]. استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن و پلی‌پروپیلن ترفتالات آمید<sup>۹</sup> با کسر حجمی بیش از ۱۵ درصد به صورت راندم در ساختار کامپوزیت گچی، مقاومت کششی کامپوزیت را نسبت به نمونه گچ شاهد بهبود بخشید [۱۳]. طی مطالعه جنسل<sup>۱۰</sup> استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن خاصیت مقاومت فشاری کامپوزیت گچ را تا حد قابل قبولی بهبود می‌بخشد [۱۴]. سلیمیان و همکاران مطالعه‌ای در تقویت خواص مکانیکی کامپوزیت گچ حاوی پارچه‌های بافته شده انجام دادند [۱۵]. این مقاله به بررسی تأثیر کاربرد و جهت قرارگیری پارچه‌های تهیه شده از الیاف شیشه، بر روی خواص مکانیکی ملات گچ پرداخته است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که کاربرد این پارچه در ملات گچ علاوه بر بهبود خواص مکانیکی ملات گچ، موجب کاهش خاصیت شکنندگی و از هم گسیختگی ملات شده است. یکی از مشکلات متداول در ساختمان‌سازی در ایران بحث زلزله است که در صورت عدم استهلاک نیروهای وارد شده خساراتی را در پی خواهد داشت. از جمله مواد پر کاربرد که در نمای ساختمان‌ها به کار می‌رود گچ می‌باشد. گچ معمولاً پس از خشک شدن دچار ترک خوردگی شده و رنگی

1 Altun

2 Dirikgil

3 Polypropylene(pp)

4 Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)

5 Artificial Neural Network(ANN)

6 Ali

7 Majumdar

8 Karni

9 Poly-Paraphenylene Terephthalamide (PPTA)

10 Gencel

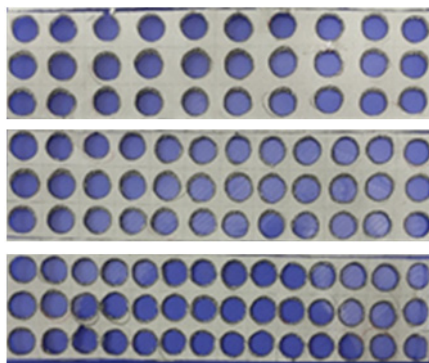
۲-۴- ساخت نمونه‌ها

به منظور تعیین وزن پارچه‌ها، تعداد سوراخ‌ها و ابعاد آنها آزمایش‌های اولیه‌ای جهت مشخص شدن طرح آزمایش انجام شده است تا محدوده‌ی عوامل در نظر گرفته شده جهت نتایج بهتر مشخص گردد. مقدار بیشینه و کمینه برای عوامل در نظر گرفته شده در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۴ به ترتیب از سمت بالا پارچه‌های آماده شده با ۳۰، ۳۶ و ۴۲ سوراخ جهت آزمون خمش را نشان می‌دهد. پارچه‌های بی‌بافت در سه وزن ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گرم بر متر مربع مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: متغیرهای مورد استفاده در طرح مرکب مرکزی و تعداد سطوح آن

Table 1. Variables used in the central composite design and their levels

متغیر	کد	محدوده تغییرات		
		-۱	۰	+۱
تعداد سوراخ پارچه	A	۳۰	۳۶	۴۲
وزن پارچه (گرم بر متر مربع)	B	۳۰	۴۰	۵۰



شکل ۴: تصویر پارچه‌ای از نمونه‌های آماده شده

Fig. 4. Fabric image of prepared specimens

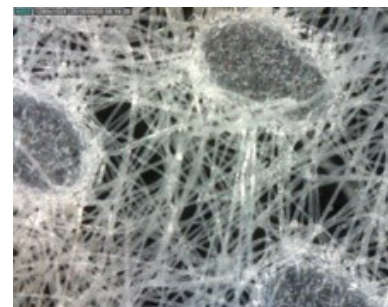
در ابتدا تعداد ۶ عدد نمونه شاهد (بدون پارچه) از ملات آب و گچ جهت آزمون خمشی تهیه شد. سپس نمونه‌های کامپوزیت گچ و پارچه به روش زیر ساخته شدند.

نمونه‌های پارچه تهیه شده به ابعاد (۱۶۰ در ۴۰ میلی‌متر مربع) به فاصله ۵ میلی‌متر از کف قالب و ۵ میلی‌متر بالای قالب در ملات تهیه شده از گچ و آب، به صورت لایه‌ای قرار داده شدند. از هر سه وزن پارچه و سه تعداد سوراخ ۶ عدد نمونه ساخته شد. شکل ۵ قالب آزمون خمش را قبل و بعد از پر شدن را نشان می‌دهد.

روزنه ۰/۳۶ میلی‌متر برای الک کردن پودر گچ قبل از ساخت ملات استفاده شد.

۲-۳- مشاهده توزیع الیاف در پارچه‌ها

توزیع الیاف و نمای میکروسکوپی ساختار پارچه‌های مورد استفاده به وسیله میکروسکوپ دیجیتال دینو-لایت تصویر برداری شده است. با استفاده از این دستگاه تصاویری از توزیع الیاف در پارچه‌ها با بزرگنمایی ۲۲۰ برابر از سطح سه نوع پارچه گرفته شده است. شکل ۱ نمایی از ساختار پارچه با وزن ۳۰ گرم، شکل ۲ نمایی از ساختار پارچه با وزن ۴۰ گرم و شکل ۳ نمایی از ساختار پارچه با وزن ۵۰ گرم را نشان می‌دهد.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپی پارچه ۳۰ گرم بر متر مربع  
Fig. 1. Microscope images of 30 g/m² fabric



شکل ۲: تصویر میکروسکوپی پارچه ۴۰ گرم بر متر مربع  
Fig. 2. Microscope images of 40 g/m² fabric



شکل ۳: تصویر میکروسکوپی پارچه ۵۰ گرم بر متر مربع  
Fig. 3. Microscope images of 50 g/m² fabric

### ۲-۵- روش آزمایش خمش

در این تحقیق از روش آزمون خمش بارگذاری سه نقطه‌ای برای تعیین مقاومت خمشی نمونه‌ها از دستگاه شرکت Wykeham Farrance استفاده شده است. فک‌های مورد استفاده در این آزمون در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: فک‌های آزمون خمشی سه نقطه‌ای

Fig. 8. The jaws of three-point bending test

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- نتایج آزمون مقاومت پارچه‌ها

نمونه‌ها به طول ۱۶۰ و عرض ۴۰ میلی‌متر تهیه شدند و مقاومت آنها هم در جهت طولی و هم در جهت عرضی مورد سنجش قرار گرفت. جدول ۲ نتایج مربوط به نیروی تحمل شده و جدول ۳ نتایج مربوط به ازدیاد طول پارچه‌ها را نشان می‌دهد. مقاومت طولی پارچه‌ها نسبت به مقاومت عرضی آنها بیشتر بوده و همان‌طور که انتظار می‌رفت در هر دو حالت طولی و عرضی مقاومت پارچه به وزن ۵۰ گرم بیشتر از پارچه ۴۰ گرم و مقاومت پارچه ۴۰ گرم بیشتر از ۳۰ گرم می‌باشد.

#### جدول ۲: میانگین نتایج نیروی کششی پارچه‌ها

Table 2. The average results of fabrics tensile force

ضریب تغییرات	نیرو بر حسب kg	وزن پارچه	
۳/۳۲ %	۱/۵۷	۳۰	جهت طول
۵/۸۰ %	۱/۸۰	۴۰	
۵/۱۳ %	۱/۸۴	۵۰	
۴/۲۳ %	۰/۵۹	۳۰	جهت عرض
۴/۳۲ %	۰/۶۰	۴۰	
۶/۵۰ %	۰/۶۵	۵۰	



شکل ۵: قالب آزمون خمشی قبل و بعد از پر شدن

Fig. 5. The mold of bending test before and after filling

برای ساخت کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه نیز، مخلوطی از ضایعات هر سه وزن پارچه، به ابعاد طول ۲۰ الی ۵۰ و عرض ۱ الی ۲ میلی‌متر تهیه شد. ضایعات مورد استفاده در شکل ۶ نشان داده شده است. برای ساخت کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه، پس از تهیه ملات آب و گچ ضایعات به آن اضافه و هم زده شد تا از تجمع ضایعات در ملات جلوگیری شود. سپس مخلوط تهیه شده در قالب‌های آزمون خمش ریخته شد.



شکل ۶: ضایعات پارچه

Fig. 6. Fabric waste

نمونه‌ها بعد از سخت شدن از قالب‌ها خارج شده و برای مدت ۷ روز در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد در هوای محیط قرار داده شد [۲۰]. سپس نمونه‌ها ۲۱ روز در دمای خشک‌کن با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. شکل ۷ تعدادی از نمونه‌های تهیه شده جهت آزمون خمشی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: نمونه‌های تقویت شده برای آزمون خمشی

Fig. 7. The reinforced samples for the bending test



۴- تحلیل نتایج

۴-۱- کامپوزیت گچ با پارچه سوراخ دار

این تحقیق به بررسی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ تولید شده توسط پارچه سوراخ دار با روش مدل سازی سطح پاسخ پرداخته است. بررسی آماری داده‌های به دست آمده جدول ANOVA به کمک نرم افزار دیزاین اکسپرت در جدول ۵ نشان داده شده است. درجه آزادی مدل، ۵ می‌باشد. به این معنی که با ۵ جمله می‌توان تأثیر وزن و تعداد سوراخ پارچه‌ها را در مقاومت خمشی کامپوزیت گچ تخمین زد. مدل پیشنهادی جدول ۵ با توجه به مقدار p-value (۰/۰۳ درصد) معنادار است. در جدول ANOVA متغیرهای A و B طبق جدول ۱ تعریف می‌شوند.

جدول ۵: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) مدل درجه دوم سطح پاسخ برای مقاومت خمشی

Table 5. The results of ANOVA for response surface quadratic model for bending resistance

source	Sum of squares	df	Mean square	F value	p-value
Model	۴۲/۲۳	۵	۸/۴۵	۲۴,۳۷	۰,۰۰۰۳ significant
A	۰/۱۱	۱	۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۰۵۸۷
B	۲/۱۰	۱	۲/۱۰	۶/۰۶	۰/۰۴۳۳
AB	۰/۷۷	۱	۰/۷۷	۲/۲۳	۰/۱۷۸۶
A <sup>2</sup>	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۹۳۷۱
B <sup>2</sup>	۳۳/۳۳	۱	۳۳/۳۳	۹۶/۱۹	<۰/۰۰۰۱
Residual	۲/۴۳	۷	۰/۳۵		
Lack of Fit	۰/۹۶	۳	۰/۳۲	۰/۸۸	۰/۵۲۳۸ Not significant
Pure Error	۱/۴۶	۴	۰/۳۷		
Total	۴۴/۶۵	۱۲			

برخی از شاخص‌های آماری در جدول ۶ آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود انحراف معیار داده‌ها ۰/۵۹، ضریب تغییرات ۲/۴۵ و ضریب تعیین ۹۴/۵٪ می‌باشد. بنابراین ۹۴/۵ درصد از داده‌ها توسط معادله خط ۱ پوشش داده می‌شوند و با توجه به این میزان برازندگی می‌توان بیان کرد که تغییر پذیری خطاها کوچک می‌باشد.

جدول ۳: میانگین نتایج ازدیاد طول پارچه‌ها

Table 3. The average results of fabrics elongation

وزن پارچه	ازدیاد طول بر حسب mm	ضریب تغییرات
۳۰	۱۰/۱۴	۶/۰۱ %
۴۰	۹/۵۶	۵/۸۰ %
۵۰	۱۱/۳۴	۴/۳۴ %
۳۰	۳۷/۱۵	۷/۰۰ %
۴۰	۲۱/۷۱	۶/۲۳ %
۵۰	۲۴/۷۷	۱۱/۷۹ %

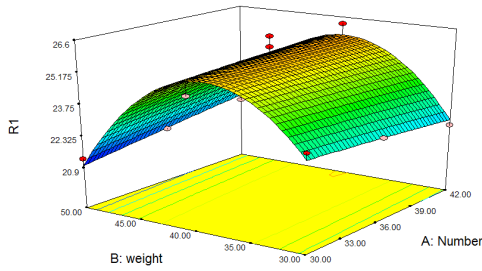
۳-۲- نتایج آزمون خمشی

در این تحقیق از روش سطح پاسخ آماری با سه سطح مختلف به منظور بررسی اثر افزودن پارچه بی‌بافت سوراخ دار در گچ استفاده شده است. میانگین نتایج آزمون خمشی بر روی نمونه شاهد (مخلوط آب و گچ بدون پارچه) و نمونه‌های مسلح شده با پارچه سوراخ دار در جدول ۴ آورده شده است. این میانگین مقاومت خمشی تحمل شده برای ۶ نمونه شاهد و ۵۴ نمونه با پارچه سوراخ دار و ۶ نمونه مسلح شده با ضایعات پارچه را نشان می‌دهد.

جدول ۴: میانگین نتایج کامپوزیت گچ برای آزمون خمشی

Table 4. The average results of gypsum composites for bending test

وزن پارچه	تعداد سوراخ	میانگین MPa	ضریب تغییرات
۳۰	۳۰	۰/۱۴۳	۴/۳۲ %
	۳۶	۰/۱۳۹	۵/۴۴ %
	۴۲	۰/۱۳۵	۳/۷۴ %
۴۰	۳۰	۰/۱۵۲	۳/۱۳ %
	۳۶	۰/۱۵۷	۲/۰۶ %
	۴۲	۰/۱۶۱	۳/۱۹ %
۵۰	۳۰	۰/۱۳۰	۱/۹۷ %
	۳۶	۰/۱۳۱	۱/۹۰ %
	۴۲	۰/۱۳۴	۱/۹۱ %
با ضایعات پارچه		۰/۱۷۵	۴/۵۴ %
نمونه شاهد (بدون پارچه)		۰/۱۱۹	۰/۵۱ %



شکل ۱۰: نمودار سطح پاسخ مقاومت خمشی کامپوزیت گچ

Fig. 10. Response surface plots for bending resistance of gypsum composite

جدول ۷: درصد افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ

Table 7. The percentage increase of bending resistance of gypsum composites

نوع کامپوزیت	افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ و پارچه نسبت به نمونه شاهد
کامپوزیت گچ با پارچه ۳۰ گرمی	۱۶/۴۲ % +
کامپوزیت گچ با پارچه ۴۰ گرمی	۳۱/۰۶ % +
کامپوزیت گچ با پارچه ۵۰ گرمی	۱۰/۳۷ % +

همانطور که از نمودار سه بعدی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ با پارچه سوراخ دار مشاهده می گردد پارچه ی بی بافت با وزن ۴۰ گرم بیشترین تأثیر را در افزایش میزان مقاومت خمشی داشته است. این میزان افزایش با توجه به جدول ۷ برابر با ۳۱/۰۶ % نسبت به نمونه شاهد بدون پارچه است. با توجه به تصاویر میکروسکوپی این پارچه ها در شکل ۱ تا ۳، منافذ پارچه ۳۰ گرمی نسبت به بقیه پارچه ها بیشتر و نفوذ گچ درون لایه بیشتر می باشد. طبق نتایج آزمون استحکام، پارچه ی بی بافت ۵۰ گرمی مقاومت و ازدیاد طول بیشتری را نسبت به دو پارچه دیگر دارد اما توزیع زیاد الیاف در ساختار آن نفوذ ملات گچ را در پارچه، نسبت به دو پارچه دیگر کمتر کرده است. با توجه به اهمیت اتصال گچ با گچ در کامپوزیت، تأثیر این نوع پارچه در افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ نسبت به بقیه کمتر است و در هنگام اعمال نیرو این اتصال زودتر از بین می رود. اما پارچه ی بی بافت با وزن ۴۰ گرم دارای خواص و منافذ ما بین پارچه های بی بافت انتخابی می باشد و اثر تقویت کنندگی بیشتری نسبت به بقیه پارچه ها دارد. بنابراین پارچه با وزن ۴۰ گرم با داشتن استحکام، وزن، ضخامت و منافذ متوسط نسبت به بقیه پارچه ها عملکرد بهتری داشته است. شکل ۱۱ نمونه کامپوزیت گچ تقویت شده با پارچه را بعد از انجام آزمون

جدول ۶: شاخص های آماری بدست آمده از design-expert

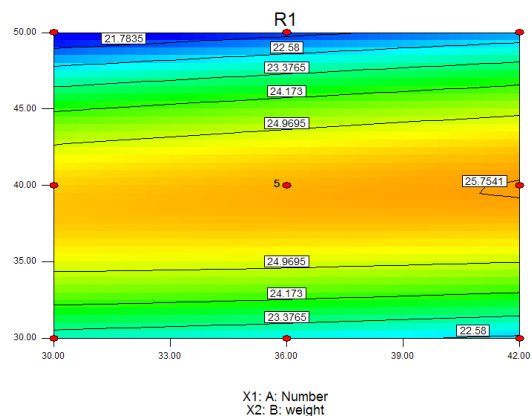
Table 6. Statistical indicators obtained from design-expert

Std. dev	۰/۵۹	R-Squared	۰/۹۵۷
mean	۲۴/۰۴	Adj R-Squared	۰/۹۰۶۹
c.v. %	۲/۴۵	Pred R-Squared	۰/۷۳۳۳
press	۱۱/۹۱	Adeq Precision	۱۱/۹۵۰

معادله درجه دوم پیش بینی کننده متغیر پاسخ (R1) یا مقاومت خمشی کامپوزیت گچ و پارچه سوراخ دار طبق رابطه ۱ تعیین گردید.

$$R1 = -18.86 - 0.21A + 2.45B + 7.33AB - 8.04A^2 - 0.03B^2 \quad (1)$$

نمودار دو بعدی خطوط هم تراز و سه بعدی سطح پاسخ مربوط به جدول ANOVA مربوط به مقاومت خمشی کامپوزیت گچ با پارچه سوراخ دار در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. در این نمودارها R1 مقاومت خمشی کامپوزیت گچ را نشان می دهد. با توجه به شکل ۹ بیشترین میزان مقاومت خمشی مربوط به پارچه ۴۰ گرم با ۴۲ سوراخ می باشد. درصد افزایش یا کاهش مقاومت خمشی نمونه های تولید شده با پارچه سوراخ دار نسبت به نمونه شاهد در جدول ۷ نشان داده شده است.



شکل ۹: نمودار دو بعدی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ

Fig. 9. Contour plots for bending resistance of gypsum composite

آزمون چند دامنه بر روی داده‌ها انجام شده است. گروه ۱ مربوط به داده‌های نمونه گچ شاهد، گروه ۲ مربوط به داده‌های کامپوزیت گچ با پارچه ۴۰ گرمی و ۴۲ سوراخ و گروه ۳ مربوط به داده‌های کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۹ نتیجه آزمون دانکن مشاهده می‌شود، تفاوت معناداری بین میانگین گروه‌ها در سطح احتمال ۱ وجود دارد. طبق این نتایج استفاده از پارچه‌های سوراخ‌دار و همچنین ضایعات پارچه تأثیر بسزایی در افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ دارد.

جدول ۹: آزمون دانکن بر روی داده‌های مقاومت خمشی

Table 9. Duncan's test on bending resistance data

گروه	تعداد نمونه	Subset for alpha= ۰/۰۵		
		۱	۲	۳
نمونه شاهد	۶	۰/۱۱۹		
با پارچه	۶		۰/۱۶۱	
با ضایعات پارچه	۶			۰/۱۷۵
Sig.		۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

جدول ۱۰ درصد افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ با پارچه ۴۰ گرم و ۴۲ سوراخ و کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه نسبت به نمونه شاهد (بدون پارچه) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: مقایسه درصد افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ

Table 10. Comparison of percentage increase of bending resistance of gypsum composites

نوع نمونه	افزایش مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد
کامپوزیت گچ با پارچه ۴۰ گرم و ۴۲ سوراخ	٪ + ۳۴/۴۷
کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه	٪ + ۴۶/۱۹

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، درصد افزایش مقاومت خمشی کامپوزیت گچ که از ضایعات پارچه استفاده شده است بیشترین مقدار و برابر با ۴۶/۱۹٪ می‌باشد. دلیل این افزایش به علت اینست که ضایعات بصورت پراکنده و سه بعدی در همه جهتها داخل نمونه قرار گرفته و مانند پارچه سوراخ‌دار به صورت لایه‌ای درون کامپوزیت گچ قرار نگرفته است.

خمش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه‌های پارچه باعث نگه داشته شدن قطعات گچ بعد از شکستن می‌شود و از پرتاب و پخش شدن قطعات گچ و ایجاد خسارت بعد از اعمال بار و یا زلزله جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۱: نمونه‌های تقویت شده بعد از آزمون خمشی

Fig.11. The reinforced samples after the bending test

بنابراین پاسخ خمشی کامپوزیت گچ تحت اثر وزن و استحکام پارچه‌ی به کار رفته در کامپوزیت نمی‌باشد. عامل اتصال و چسبندگی پارچه با زمینه‌ی گچ در خاصیت خمشی نقش پررنگ‌تری نسبت به خواص پارچه دارد ولی نمی‌توان تأثیر این خواص پارچه را نادیده گرفت.

#### ۴-۲- کامپوزیت گچ با ضایعات پارچه

به منظور ارزیابی میانگین سطوح انتخابی گچ با پارچه ۴۰ گرم و ۴۲ سوراخ، گچ با ضایعات پارچه و گچ شاهد تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) بر روی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. جدول ۸ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه را نشان می‌دهد. با توجه به ستون معنی‌دار جدول ۹ مشخص گردید که، تفاوت معناداری بین نتایج حاصل از این سه گروه در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ وجود دارد.

جدول ۸: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقاومت خمشی

Table 8. The results of ANOVA for bending resistance

Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰	۱۶۳/۴	۱۳۲/۳۷	۲	۲۶۴/۷۴	بین گروه‌ها
		۰/۸۱	۱۵	۱۲/۱۵	خطا
			۱۷	۲۷۶/۸۹	مجموع

- [6] A.A. Ramezani-pour, P. RashidDadash, Polypropylene \_ Steel Fiber Reinforced Concrete, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 44(2) (2013) 75-83.
- [7] X. Zhang, H. Aljewifi, J. Li, Failure behaviour investigation of continuous yarn reinforced cementitious composites, Construction and Building Materials, 47 (2013) 456-464.
- [8] M. Soltani, A. Safaeian, Constitutive Laws of Corroded RC Elements Repaired by FRP Sheet, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 45(2) (2013) 13-29.
- [9] F. Altun, T. Dirikgil, The prediction of prismatic beam behaviours with polypropylene fiber addition under high temperature effect through ANN, ANFIS and fuzzy genetic models, Composites Part B: Engineering, 52 (2013) 362-371.
- [10] M. Ali, F. Grimer, Mechanical properties of glass fibre-reinforced gypsum, Journal of Materials Science, 4(5) (1969) 389-395.
- [11] A.J. Majumdar, Glass fibre reinforced cement and gypsum products, Proc. R. Soc. Lond. A, 319(1536) (1970) 69-78.
- [12] J. Karni, Thin gypsum panels, Matériaux et Construction, 13(5) (1980) 383-389.
- [13] J.A. Mohandesi, A. Sangghaleh, A. Nazari, N. Pourjavad, Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites, Computational Materials Science, 50(5) (2011) 1619-1624.
- [14] [14] O. Gencel, J.J. del Coz Diaz, M. Sutcu, F. Koksall, F.A. Rabanal, G. Martinez-Barrera, W. Brostow, Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results, Energy and Buildings, 70 (2014) 135-144.
- [15] A. Salimian, M., Hadizadeh, M., Zeini, Investigations on the Reinforcement of Mechanical Properties of Gypsum Composites Containing E-glass Woven Fabrics, Journal of Textiles and Polymers, 4(1) (2016) 20-26.
- [16] E.L. Klamer, D.A. Hordijk, M.C. Hermes, The influence of temperature on RC beams strengthened with externally bonded CFRP reinforcement, Heron, 53(3) (2008) 157-185.
- [17] D.C. Montgomery, Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, New York, Design and analysis of experiments. 7th ed. John Wiley & Sons, New York. (2009).
- [18] A. Witek-Krowiak, K. Chojnacka, D. Podstawczyk, A. Dawiec, K. Pokomeda, Application of response surface methodology and artificial neural network methods

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، اثر پارامترهای وزن پارچه‌های بی‌بافت، تعداد سوراخ و ضایعات این پارچه‌ها بر روی مقاومت خمشی مورد بررسی قرار گرفت. روش مدل‌سازی سطح پاسخ برای پیش‌بینی مقاومت خمشی کامپوزیت گچ توسعه داده شده است و نتیجه مطلوبی را در تخمین این خاصیت نشان داده است. مقاومت خمشی همه نمونه‌هایی که در آن‌ها از پارچه‌های سوراخ‌دار استفاده شده است نسبت به نمونه بدون پارچه افزایش یافته است. اتصال و چسبندگی گچ با گچ نسبت به عامل اتصال گچ با پارچه، در خاصیت خمشی کامپوزیت تولید شده، نقش پررنگتری دارد. اتصال گچ با گچ نسبت به مقاومت پارچه نیز، نقش مؤثرتری دارد، در حالیکه مقاومت پارچه ۵۰ گرمی بیشتر می‌باشد اما اثر تقویت‌کنندگی پارچه ۴۰ گرمی بیشتر است.

مقاومت خمشی کامپوزیت گچ که در آن از ضایعات پارچه بی‌بافت استفاده شد نسبت به نمونه بدون پارچه افزایش چشم‌گیری داشته است. و نسبت به مسلح‌کننده لایه پارچه، مقاومت خمشی را بیشتر افزایش می‌دهد. همچنین وجود پارچه در کامپوزیت بعد از شکسته شدن آن از پخش و پرتاب شدن قطعه‌های گچ جلوگیری می‌نماید که این امر سبب کاهش خسارات ناشی از وقوع زلزله خواهد شد.

## ۶- تشکر و قدردانی

تمامی مراحل ساخت و آزمون نمونه‌ها در کارگاه بتن و مصالح دانشکده عمران دانشگاه یزد انجام گرفت. نویسندگان این مقاله از مسئولین محترم این کارگاه کمال تشکر را دارند.

## مراجع

- [1] V. Agopyan, Vegetable fibre reinforced building materials-developments in Brazil and other Latin American countries, Concrete Technology and Design, 5 (1988) 208-242.
- [2] M. Aziz, P. Paramasivam, S. Lee, Concrete reinforced with natural fibres, Concrete technology and design, 2 (1984) 106-140.
- [3] P. Racines, R. Pama, A study of Bagasse fibre-cement composite as low-cost construction materials, in: Proc. Int. Conf. Materials for Developing Countries, 1978, pp. 191-206.
- [4] D. Stephens, Natural fibre cement composites for economic housing, in: Symposium on concrete for rapid urbanisation, 1993.
- [5] M.H. Maher, R.D. Woods, Dynamic response of sand reinforced with randomly distributed fibers, Journal of Geotechnical Engineering, 116(7) (1990) 1116-1131.



ac. uk/resources/statistics/design expert, 7 (2007).  
[20] Standard EN 13279-2, Gypsum binders and gypsum  
plasters, Test methods, 2004.

in modelling and optimization of biosorption process,  
Bioresource technology, 160 (2014) 150-160.  
[19] R. Buxton, Design Expert 7: Introduction, Mathematics  
Learning Support Centre, diambil dari: <http://mls/boro>.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

F. Shirvani, M. Hadizadeh, M. Zeini, Evaluation of Bending Resistance of Gypsum Composite with Perforated non-  
Woven Fabric using Response Surface Methodology, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(2) (2018) 355-364.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12237.5154



