



## ساخت کامپوزیت زمینه گچی با استفاده از الیاف کوتاه باگاس (پسماند نیشکر)

سید حسین الهی<sup>1\*</sup>، مبینا فخمی<sup>2</sup>، محمد عبدی<sup>2</sup>

1- استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

2- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک

\* اراک، صندوق پستی 3818146763، h.elahi@arakut.ac.ir

## چکیده

## اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 5 اردیبهشت 1400

داوری اولیه: 21 اردیبهشت 1400

پذیرش: 22 خرداد 1400

## کلیدواژه‌ها:

کامپوزیت زمینه گچی

الیاف باگاس

الیاف کوتاه

استحکام خمشی

گچ یکی از مصالح ساختمانی پر مصرف و ارزان در صنعت ساختمان سازی است که در عمل تقریباً در هر ساختمانی به شکل های مختلف استفاده می شود. با وجود داشتن خواص منحصر به فرد، استحکام کم به ویژه در حالت کشش و خمش از جمله نقطه ضعف های اصلی این ماده است که باعث شده است که از آن بیشتر در نماسازی که نیاز به تحمل بار زیادی نمی باشد، استفاده شود. استفاده از الیاف به ویژه الیاف باطله برای افزایش استحکام گچ به طور گسترده استفاده شده است. ولی بیشتر دستاوردها در زمینه الیاف بلند بوده و الیاف کوتاه خیلی در این زمینه موفق نبوده اند. متأسفانه تهیه الیاف بلند از مواد باطله همواره مشکل و بسیار محدود می باشد. در این پژوهش از الیاف کوتاه باگاس با ابعاد با درصد های وزنی مختلف برای ساخت کامپوزیت زمینه گچی استفاده شد. سپس استحکام خمشی کامپوزیت اندازه گیری شد. نتایج نشان می دهد که در کامپوزیت های با الیاف کوتاه تر و درصد الیاف کم تر استحکام نه تنها افزایش نیافته است بلکه کاهش یافته است. نکته جالب توجه این است که به هر حال در هر طول الیاف می توان کامپوزیتی با استحکام بالاتر تولید کرد و این امر در الیاف کوتاه تر در درصد های الیاف بیشتر صورت می گیرد. در حقیقت طول الیاف و درصد الیاف نقش مشابهی رو ایفا می کنند و هر دو می توانند تا حد خیلی زیادی همدیگر را تقویت کنند و می توانند کاستی یکدیگر را جبران کنند.

## Manufacturing gypsum composite with short fiber of bagasse (sugarcane wastes)

Seyed Hossein Elahi\*, Mobina Fakhimi, Mohammad Abdi

Department of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

\* P.O.B. 3818146763 Arak, Iran, h.elahi@arakut.ac.ir

## Article Information

Original Research Paper

Received: 25 April 2021

First Decision: 11 May 2021

Accepted: 12 June 2021

## Keywords:

Gypsum based composite

Bagasse fibers

Short fibers

Bending strength

## Abstract

Gypsum is one of the most inexpensive and widely used building materials. It is almost could be found in all buildings, in different shapes and forms. Despite having unique properties, low tensile and bending strength are the main weakness of the gypsum. This has limited the use of gypsum to the interior facades. Fibers, especially those obtained from agriculture wastes, are widely used for increasing gypsum strength. Long fibers have better performance on increasing the gypsum strength which is almost uncommon in short fibers. Unfortunately, providing long fibers from wastes is always harder and has more limitations than short fibers.

In this research, short fiber gypsum composite with different lengths and weights percent were made. Then bending tests were performed for investigating the composites strength. The results show that in composites with shorter fibers and/or lower fiber percentage, the strength not only did not increase but rather decreased. It is noteworthy that regardless of fiber length, a composite with higher strength than pure gypsum is achievable. This would happen in composite with short fibers in higher fiber concentrations. In fact, fiber length and concentration both have the same impact on composite strength. Both can greatly reinforce each other and can make up for each other's shortcomings.

## 1- مقدمه

ساخت دیوار و سقف کاذب محدود شده است. با این حال به نظر می رسد که گچ با توجه مزایایی نظیر سبکی، قیمت کم، زیست سازگاری، سادگی نصب و اجراء زیبایی و انتقال حرارت کم پتانسیل کاربردهای گسترده تر را دارد [3]. متأسفانه تمایل به جذب آب، استحکام کم و تردی این ماده بویژه وقتی که در معرض آتش قرار بگیرد، استفاده از این ماده را بسیار محدود کرده است [3-5].

استفاده از گچ به عنوان مصالح ساختمانی از دیرباز و از زمان باستان مرسوم بوده است؛ باستان شناسان 7000 سال قبل از میلاد شواهدی از کاربردهای این ماده به عنوان آستر و بایندر در ساخت و ساز را یافته اند [1، 2]. امروزه استفاده از گچ در ساختمان سازی نوین به گچ کاری داخلی و یا ساخت دیواره، صفحات و یا پانل های پیش ساخته برای روکش دیواره ها و یا

Please cite this article using:

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

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

پلی اورتان بازیافتی نیز از جمله موادی که استحکام را کاهش می‌دهد ولی خواص حرارتی را بهبود می‌دهد [39].

باگاس از جمله الیافی است که به عنوان تقویت کننده در ساخت کامپوزیت‌ها استفاده شده است. این ماده در حقیقت باطله‌ای است که پس از استخراج شکر از نیشکر و سورگوم، به شکل توده فیبر خشک باقی می‌ماند. این ماده می‌تواند به‌عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد یا با فعل و انفعالاتی به خمیر کاغذ، خوراک دام، اتانول و فورفورال (دارای مصرف پزشکی و داروسازی) و چندین فرآورده دیگر تبدیل شود. از این ماده بیشتر برای تقویت بتون استفاده شده است و برای ساخت کامپوزیت‌های زمینه گچی کمتر استفاده شده است. این الیاف در طول‌های کم، در حدود یک میلی‌متر، باعث کاهش استحکام شده است [40] ولی در طول‌های بیشتر، 5-20 میلی‌متر، استحکام زمینه گچی را تا حدی افزایش داده است [41]. از آنجایی که این ماده طبیعی است آلودگی محیط زیست ندارد و استفاده از این ماده برای تقویت گچ می‌تواند از نظر زیست‌محیطی حائز اهمیت باشد.

در این پژوهش الیاف کوتاه باگاس با طول‌ها و درصد‌های مختلف برای ساخت کامپوزیت‌های زمینه چینی استفاده شده است تا تأثیر مثبت و یا منفی الیاف باگاس و همچنین الیاف با طول کوتاه بر خواص مکانیکی این کامپوزیت‌ها بررسی شود.

## 2- مواد و روش تحقیق

برای ساخت زمینه کامپوزیت از گچ سفید استفاده شده است، این گچ به منظور سفیدکاری در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ساخت همه نمونه‌ها از نسبت حجمی برابر آب و گچ استفاده شد. در مرحله اول الیاف باگاس با طول‌ها و حجم‌های مختلف با گچ مخلوط شده و سپس مخلوط مورد نظر با آب ترکیب شده است. جدول 1 درصد حجمی و طول الیاف باگاس را نشان می‌دهد.

از آنجایی که وزن نمونه به درصد مخلوط گچ و آب، دمای محیط خشک سازی و مدت زمان آن بستگی دارد ابتدا نمونه بدون الیاف در محیطی خشک با درجه حرارت 30 درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی 18-30 درصد به مدت دو هفته قرار داده شده تا خشک شود. سپس از وزن نمونه خشک شده به عنوان معیار برای تعیین درصد وزنی الیاف استفاده شد. به منظور تهیه نمونه‌های اصلی، 20 نمونه کامپوزیتی با درصد و طول الیاف اعلام شده در جدول 1 و یک نمونه بدون الیاف ساخته شد و دوباره در شرایط فوق قرار داده شد تا خشک شوند.

برای بهبود خواص مکانیکی و هم چنین حرارتی گچ تلاش‌های فراوانی شده است. افزودن الیاف‌های مختلف مانند شیشه [6، 7]، فیبر کربن [8]، پلی پروپیلن [9، 10]، پلی آمید [11]، پلی استر [12] نخل پالم [13-15]، کنف [16، 17]، ساقه کتان [18]، الیاف سیسال [19] و کولار [20، 21] از جمله افزودنی‌هایی هستند که برای تقویت پانل‌ها و صفحات گچی و بهبود خواص ترموفیزیکی به تنهایی و یا به صورت ترکیبی استفاده شده‌اند. به طور کلی، اگر طول الیاف از 12 میلی‌متر بیشتر باشد و همچنین حداقل 10 درصد وزنی از الیاف در کامپوزیت استفاده شود همه این الیاف‌ها می‌توانند خواص مکانیکی را بهبود دهند [6، 9] که این حجم از الیاف باعث افزایش هزینه و ایجاد مشکلات در مخلوط کردن و تولید این پانل‌ها و صفحات به ویژه در ضخامت‌های کم می‌شود [4]. الیاف با طول بیشتر می‌توانند تا حدی باعث کاهش درصد حجمی شوند [15، 22]، ولی فرایند تولید را به شدت مشکل می‌کنند.

استفاده از مواد بازیافتی و یا باطله برای ساخت مصالح صنعت ساختمان به ویژه در بتون و آجر روز به روز افزایش می‌یابد این امر باعث می‌شود که از یک طرف به مدیریت بازیافت کمک شود و از طرف دیگر با کاهش مصرف انرژی برای تولید این مواد، قیمت مصالح کاهش یابد [23-25]. از این مواد برای تولید کامپوزیت‌های زمینه گچی نیز استفاده شده است. بیشتر این تحقیقات در زمینه استفاده از این مواد در بهبود خواص عایقی و انتقال حرارت بوده است و کمتر خواص مکانیکی مد نظر بوده است [26]. افزودن پودر صدف باعث بهبود خواص سطحی، جذب کمتر آب و پایداری حرارتی می‌شود و دانسیته را کاهش می‌دهد بدون اینکه خواص مکانیکی را کاهش دهد [27]. براده و خاک چوب و الیاف پلی استایرن بازیافتی نیز در محصولات گچی باعث کاهش دانسیته و بهبود خاصیت عایقی گچ شده است ولی خواص مکانیکی را کاهش داده است [28-30]. افزودن شلتوک برنج باعث کاهش دانسیته و افزایش استحکام می‌شود [15، 31]. ضایعات لاستیک، مانند نخ و سیم فولادی تقویت کننده لاستیک و خود زمینه لاستیک نیز از جمله موادی است که برای تقویت زمینه گچی و یا کاهش دانسیته استفاده شده است [32-34]. افزودن پودر گرافیت بازیافتی باعث افزایش استحکام گچ تا حدود 3 برابر شده است [35]. الیاف پلی کربنات بازیافتی از سی دی‌های ذخیره اطلاعات در درصد‌های بالا (60 درصد) باعث کاهش دانسیته و افزایش استحکام شده است [36]. از پارچه‌های باطله برای تقویت گچ استفاده شده است که باعث افزایش انرژی شکست و استحکام شده است [37، 38].

دو نیروی عکس‌العملی از طرف پایین به کناره‌های نمونه وارد می‌شوند و بدین ترتیب جسم از مرکز می‌شکند. فاصله دو پایه پایینی از هم 26 سانتی‌متر می‌باشد.

### 3- نتایج و بحث

شکل 3 نمودار تست خمش را برای نتایج حاصل از تست خمش را برای نمونه گچ خالص و بدون الیاف (نمونه شاهد)، نمونه با الیاف با طول 5 میلی‌متر و درصد وزنی الیاف 0/25 درصد (کمترین استحکام) و همچنین نمونه با الیاف 25 میلی‌متری و درصد وزنی الیاف 1/50 درصد (بیشترین استحکام) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار نیرو-جابجایی نشان داده شده است همه نمودارها شامل یک افزایش با شیب ثابت هستند که بعد از رسیدن به نقطه بیشینه، نمودار دچار افت شدید شده است که این نشان دهنده شکسته شدن زمینه گچی می‌باشد.



Fig. 1 Polycarbonate mold for producing composites

شکل 1 قالب ساخته شده از جنس پلی کربنات برای ساخت نمونه‌ها

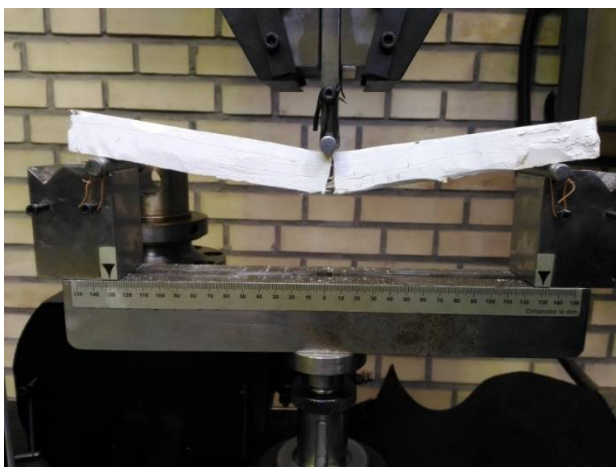


Fig. 2 Bending test

شکل 2 آزمایش خمش سه نقطه‌ای

لازم به ذکر است برای هر کدام از کامپوزیت‌های فوق 6 نمونه ساخته شد که در مجموع تعداد کل نمونه‌ها به 126 عدد رسید.

جدول 1 طول الیاف و درصد وزنی الیاف استفاده شده در ساخت نمونه‌ها

Table 1 Length and weight percent of fibers in composites

طول الیاف (mm)	5	10	15	20	25
درصد وزنی الیاف	0	0/25	0/50	1/00	1/5

برای تهیه نمونه‌های کامپوزیتی ابتدا الیاف به گچ خشک اضافه و خوب همه زده شد تا الیاف به طور یکنواخت در داخل گچ خشک پخش شود. مخلوط کردن الیاف با دست انجام شد و با همزن حدود 1 دقیقه الیاف و گچ به طور کامل در هم مخلوط شدند. سپس آب به مخلوط گچ و آب اضافه شد. نکته قابل توجه این است که گچ نباید یک جا به درون آب ریخته شود، چرا که در این صورت گچ بصورت گلوله در می‌آید و یکنواخت در آب حل نمی‌شود. بنابراین گچ با سرعتی یکنواخت، به داخل آب ریخته شد و همزمان مخلوط آب و گچ هم زده شد تا گچ در آب حل شود. هم زدن نباید زیاد انجام شود چرا که در این صورت گچ به خوبی سفت نخواهد شد و به اصطلاح به گچ مرده تبدیل می‌شود. به همین دلیل مقدار مدت زمان هم زدن و سرعت هم زدن برای همه نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در این مرحله نیز از یک پارو کوچک برای همزدن استفاده شد و در حدود 30 ثانیه مخلوط مورد نظر با سرعت حدود 15-20 دور بر دقیقه همزده شد. قبل از اینکه گچ خودگیر شود، مخلوط آب و گچ به داخل قالب، شکل 1، ریخته شد. پس از پر شدن قالب، به وسیله کاردک، سطح بالایی پانل گچی صاف و هموار شد. پس از 3-4 دقیقه گچ به میزانی سفت شد که بتوان قالب را از اطراف آن بیرون کشید. اگر مدت زمانی که برای سفت شدن گچ صرف می‌شود بیش از حد باشد، انبساط گچ باعث می‌شود که بیرون آوردن قالب از آن مشکل باشد. پس از بیرون آوردن قالب، نمونه برای خشک شدن به محیط مناسب انتقال داده شد.

شکل 1 قالب ساخته شده از جنس پلی کربنات را نشان می‌دهد. پلی کربنات مقداری انعطاف دارد که باعث می‌شود که خارج کردن نمونه از قالب راحت‌تر باشد. از قالب‌ها دو عدد تهیه شده و با استفاده از هر دو قالب می‌توان هم‌زمان 6 نمونه با ابعاد  $30 \times 4 \times 2$  سانتی‌متر تولید کرد. برای بررسی تأثیر استحکام از خمش سه نقطه‌ای استفاده شد. شکل 2 چگونگی انجام این آزمایش را نشان می‌دهد. به دلیل استحکام کم نمونه‌های گچی از از لود سل 50 کیلوپی استفاده شد. در آزمایش خمش نیرو از سه منطقه به نمونه وارد می‌شود، یک نیرو به وسط پانل از بالا و

شکل 4 سطح مقطع یکی از نمونه کامپوزیتی را نشان می‌دهد همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با وجود درصد کم الیاف، الیاف به طور تقریباً یکنواختی در زمینه گچی پخش شده‌اند و به علت استحکام کم زمینه گچی، بعد از شکست زمینه هیچکدام از الیاف دچار پارگی نشده‌اند و فقط از داخل زمینه به بیرون کشیده شده‌اند.

شکل 3 نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه‌های مختلف

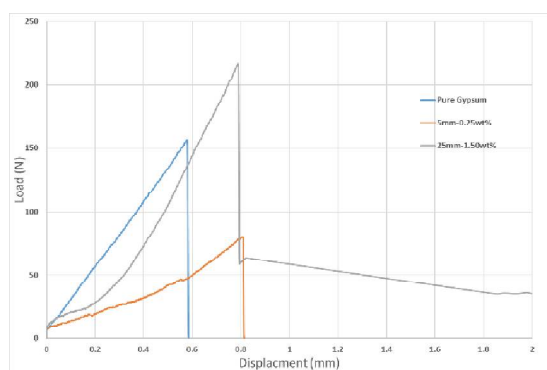


Fig. 3 Load-displacement curves for different samples

شکل 3 نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه‌های مختلف

نمونه‌هایی که در جدول 2 با زمینه طوسی مشخص شده‌اند، استحکامی تقریباً برابر و یا بالاتر از نمونه گچ خالص دارند. نمودار این نمونه‌ها همه مشابه نمودار شکل رنگ طوسی شکل 3 است و تقریباً رفتار نیرو و جابه جایی یکسانی دارند. در این نمونه‌ها بعد از بیشینه نیروی تحملی و شکست زمینه، قطعات نمونه از هم جدا نمی‌شوند و نمونه می‌تواند بار نسبتاً زیادی، در حدود 30 درصد را حتی بعد از شکست زمینه تحمل کند. الیاف که در محل شکست هستند با استفاده از مکانیزم پل زنی مانع از جدا شدن قطعات می‌شوند (شکل 5) و این الیاف می‌توانند نیرویی در حدود 70 نیوتون را تحمل کنند.

جدول 2 بیشینه نیروی تحملی هر یک از نمونه‌ها (طول الیاف به میلی‌متر و واحد نیرو نیوتون می‌باشد)

Table 2 Maximum load which each samples could withstand

درصد وزنی الیاف	طول الیاف	0	5	10	15	20	25
0	151						
0/25		80	108	122	135	148	
0/50		94	124	138	159	201	
1/00		103	120	154	171	211	
1/50		98	144	159	189	216	

جدول 3 استحکام خمشی هر یک از نمونه‌ها (طول الیاف به میلی‌متر و واحد تنش مگاپاسکال می‌باشد)

Table 3 Flexural strength of samples (MPa)

درصد وزنی الیاف	طول الیاف	0	5	10	15	20	25
0	3/68						
0/25		1/95	2/63	2/97	3/29	3/61	
0/50		2/29	3/02	3/36	3/87	4/90	
1/00		2/51	2/92	3/75	4/17	5/14	
1/50		2/39	3/51	3/87	4/61	5/26	

همان‌طور که در شکل 3-ج نشان داده شده است بعد از شکست زمینه، با جابه جایی بیشتر، بار تحملی با شیب ملایمی کاهش می‌یابد. در بعضی از کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی

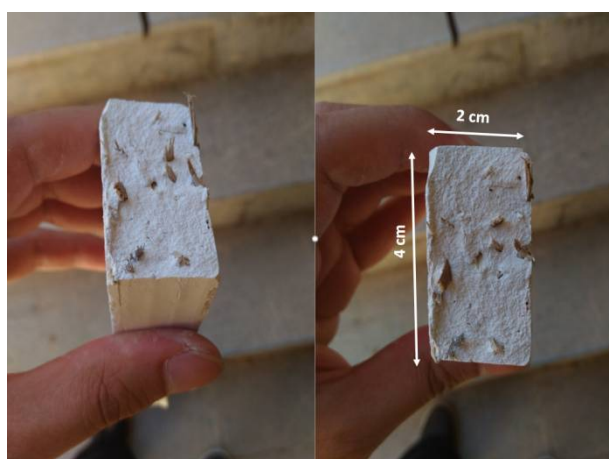


Fig. 4 Cross section of 5mm-1wt% sample

شکل 4 سطح مقطع نمونه کامپوزیتی الیاف 5 میلی‌متر و درصد وزنی 1 درصد

جدول‌های 2 و 3 به ترتیب بیشینه نیروی تحملی و استحکام خمشی هر یک از کامپوزیت‌ها با طول و درصد الیاف مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول نشان داده است نمونه‌هایی که تقریباً درصد الیاف کمی دارند و یا طول الیاف آن‌ها کوتاه است استحکام کمتری نسبت به گچ خالص دارند که تقریباً شامل نیمی از نمونه‌ها می‌شود. در حقیقت در این نمونه‌ها، الیاف نه تنها باعث افزایش استحکام نشده‌اند بلکه استحکام خمشی را کاهش داده‌اند. به نظر می‌رسد در این کامپوزیت‌ها الیاف به علت توزیع غیر یکنواخت، ناپیوستگی در

تولید کامپوزیت، درصد الیاف معمولاً با محدودیت‌های بیشتری همراه است.

#### 4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر طول و درصد الیاف کوتاه باگاس بر خواص مکانیکی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف در طول‌ها و درصدهای وزنی کم نه تنها باعث افزایش استحکام نمی‌شود بلکه الیاف با از بین بردن پیوستگی زمینه گچی مانند ترک عمل می‌کنند و باعث کاهش استحکام می‌شوند. با این حال در هر طول الیاف، امکان تولید کامپوزیت با استحکام بالاتر وجود دارد و هر چه قدر طول الیاف کمتر باشد افزایش استحکام در نمونه‌های با درصد الیاف امکان پذیر است. در نمونه‌هایی که الیاف باعث افزایش استحکام شده‌اند پس از شکست زمینه نمونه کامل از هم جدا نمی‌شود و نمونه بعد از شکست زمینه می‌تواند نیروی نسبتاً زیادی را تحمل کند. درصد الیاف و طول الیاف هر دو می‌توانند استحکام را افزایش دهند ولی تأثیر درصد الیاف بر استحکام‌دهی بیشتر از طول الیاف است.

معمولاً بعد از شکست زمینه و با افزایش جابه جایی یک مقدار افزایش در بار تحملی یعنی نوعی رفتار شبه کرنش سختی دیده می‌شود. ولی این رفتار در این کامپوزیت‌ها خیلی جزئی است، به نظر میرسد طول کم الیاف و همچنین درصد کم الیاف تا حدود زیادی باعث شده است که این ویژگی در این کامپوزیت‌ها دیده نشود [42, 43].



Fig. 5 Bridging mechanism after matrix cracking

شکل 5 پل زنی الیاف بعد از شکست زمینه

نکته مهم این است که نمونه‌هایی که دارای استحکام بیشتری هستند، بعد از شکست زمینه هم از خود خاصیت پل زنی نشان می‌دهند. این نمونه‌ها یا درصد الیاف زیادتر داشته‌اند و یا اینکه طول الیاف بیشتر بوده است. به طور کلی زمینه گچ همواره دارای مقدار زیادی حفره و تخلخل است که باعث می‌شود تماس الیاف با زمینه کم باشد و یا اینکه مکانیزم پل زنی به درستی صورت نگیرد بنابراین افزایش مقدار و یا طول الیاف باعث می‌شود که سطح تماس الیاف با زمینه بیشتر شود و از طرف دیگر مکانیزم پل زنی افزایش یابد [3, 44, 45]. جالب این است که طول الیاف و درصد الیاف نقش مشابهی رو ایفا می‌کنند و هر دو می‌توانند تا حد خیلی زیادی همدیگر را تقویت کنند و می‌توانند فقدان همدیگر را جبران کنند.

شکل 6 تغییرات بیشینه نیرو با درصد الیاف و طول الیاف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در همه موارد با افزایش طول الیاف و درصد الیاف استحکام افزایش یافته است. نکته حائز اهمیت این است که در نمودار 6- الف و با مقایسه خطوط رگرسیون به نظر می‌رسد که در نمونه‌هایی که الیاف با طول بیشتری دارند، تأثیر تغییر میزان الیاف در استحکام بیشتر می‌شود. رویه مشابه نیز در نمودار 6- ب دیده می‌شود، در این نمودار نیز در نمونه‌هایی که درصدهای بیشتر الیاف دارند، تأثیر طول الیاف بر استحکام بیشتر می‌شود. با مقایسه شکل‌های 6- الف و ب به نظر می‌رسد که تأثیر درصد الیاف بسیار بیشتر از تغییر طول الیاف است. ولی به هر حال در

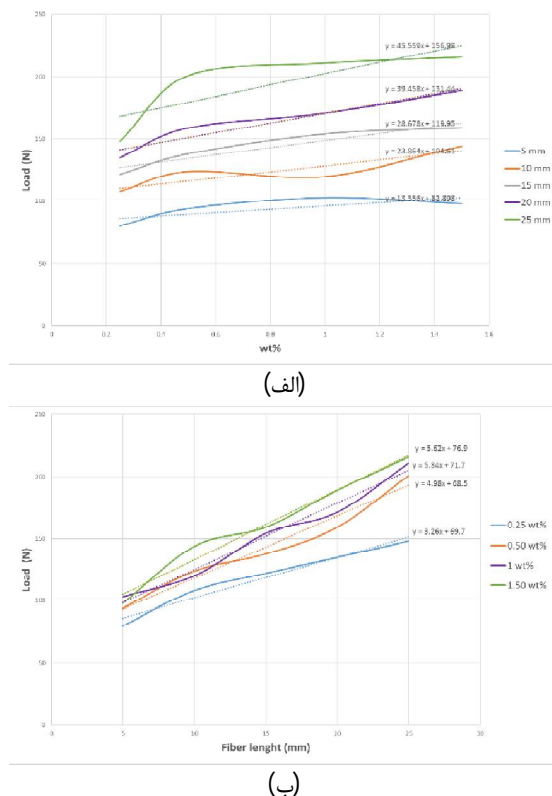


Fig. 6 Maximum load versus a: fiber weight percent, b: fiber length

شکل 6 تغییرات میزان بیشینه نیرو با الف: درصد الیاف ب: طول الیاف

## 5- مراجع

- 526-532, 2019.
- [16] F. Iucolano, L. Boccarusso, A.J.C.P.B.E. Langella, Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour, Vol. 175, p. 107073, 2019
- [17] F. Iucolano, B. Liguori, P. Aprea, D. Caputo, Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters, Construction and Building Materials, Vol. 185, pp. 256-263, 2018.
- [18] G. Li, Y. Yu, Z. Zhao, J. Li, C.J.C. Li, C. Research, Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite, Vol. 33, No.1, pp. 43-46.2003
- [19] M. Singh, M. Garg, Gypsum-based fibre-reinforced composites: an alternative to timber, Construction and Building Materials, Vol. 8, No. 3, pp. 155-160, 1994.
- [20] H. Elahi, A.S. Motevasseli, J. Aghazadeh, "Fabrication of Gypsum Matrix Composite Panels", 13<sup>th</sup> European Conference on Composite Material, Stockholm, Sweden, 2008.
- [21] H. Elahi, A. Motevasseli, J. Aghazadeh, The influence of aspect ratio of reinforcing fibers on mechanical properties of gypsum matrix composite panels, 13<sup>th</sup> European Conference on Composite Material, Stockholm, Sweden, 2008.
- [22] M. Ali, B. Singh, The effect of porosity on the properties of glass fibre-reinforced gypsum plaster, Journal of Materials Science, Vol. 10, No.11, pp. 1920-1928, 1975.
- [23] M.J. González, J.G. Navarro, Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact, Building and environment, Vol. 41, No.7, pp. 902-909, 2006.
- [24] M. Marrero, L.M. Escobar, C. Leiva, M. Mercader, Building facades: environmental impact minimization by means of recycled material usage, Informes de la Construcción, Vol. 65, pp. 89-97, 2012.
- [25] A. Wilson, Building materials: what makes a product green?, Environmental Building News, Vol. 9, No.1, pp. 1-8.2000
- [26] M. del Mar Barbero-Barrera, N. Flores-Medina, V.J.C. Pérez-Villar, B. Materials, Assessment of thermal performance of gypsum-based composites with revalorized graphite filler, Vol. 142, pp. 83-91, 2017.
- [27] M. Sophia, N.J.J.o.C.P. Sakthieswaran, Waste shell powders as valuable bio-filler in gypsum plaster-Efficient waste management technique by effective utilization, Vol. 220, pp. 74-86, 2019.
- [28] M. Morales-Conde, C. Rodríguez-Liñán, M.J.C. Pedreño-Rojas, B. Materials, Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works, Vol. 114, pp. 6-14, 2016.
- [29] D. Dai, M.J.I.C. Fan, Products, Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum, Vol. 74, pp. 417-424, 2015.
- [1] M. Gawlicki, Gypsum-another approach, Cement Wapno Beton, Vol. 75, pp. 86-96, 2009.
- [2] A. Vimmrova, M. Keppert, L. Svoboda, R. Černý, Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality, Cement and Concrete Composites, Vol. 33, No.1, pp. 84-89, 2011.
- [3] C. Zhu, J. Zhang, J. Peng, W. Cao, J. Liu, Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers, Construction and Building Materials, Vol. 163, pp. 695-705, 2018.
- [4] Q. Yu, H.J.C. Brouwers, C. Composites, Development of a self-compacting gypsum-based lightweight composite, Vol. 34, No. 9, pp. 1033-1043, 2012.
- [5] C. Martias, Y. Joliff, C.J.C.P.B.E. Favotto, Effects of the addition of glass fibers, mica and vermiculite on the mechanical properties of a gypsum-based composite at room temperature and during a fire test, Vol. 62, pp. 37-53, 2014.
- [6] M. Singh, M.J.C. Garg, C. Composites, Glass fibre reinforced water-resistant gypsum-based composites, Vol. 14, No. 1, pp. 23-32, 1992.
- [7] T. Evans, A. Majumdar, J.J.I.J.o.C.C. Ryder, L. Concrete, A semi-dry method for the production of lightweight glass-fibre-reinforced gypsum, Vol. 3, No.1, pp. 41-44, 1981.
- [8] C.D. Tadge, J.F. Pollock, L. Torres, D.S. Soane, Reinforced wallboard, Google Patents, 2005.
- [9] Y.-H. Deng, T.J.J.o.w.s. Furuno, Properties of gypsum particleboard reinforced with polypropylene fibers, Vol. 47, No. 6, pp. 445-450, 2001.
- [10] S. Eve, M. Gomina, G. Orange, Effects of polyamide and polypropylene fibres on the setting and the mechanical properties of plaster, Key Engineering Materials, Trans Tech Publ, 2004, pp. 2531-2536.
- [11] S. Eve, M. Gomina, J. Hamel, G.J.J.o.t.E.C.S. Orange, Investigation of the setting of polyamide fibre/latex-filled plaster composites, Vol. 26, No.13, pp. 2541-2546, 2006.
- [12] J. Dweck, B. Andrade, E. Monteiro, R.J.J.o.t.a. Fischer, calorimetry, Thermal characterization of polymeric plaster composites, Vol. 67, No. 2, pp. 321-326, 2002.
- [13] A. Braiek, M. Karkri, A. Adili, L. Ibos, S.B.J.E. Nasrallah, Buildings, Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building, Vol. 140, pp. 268-279, 2017.
- [14] N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Gherabli, A. Kareche, A.J.E. Boudenne, Buildings, Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building, Vol. 81, pp. 98-104, 2014.
- [15] M.E. Selamat, R. Hashim, O. Sulaiman, M.H.M. Kassim, N.I. Saharudin, O.F.A. Taiwo, Comparative study of oil palm trunk and rice husk as fillers in gypsum composite for building material, Construction and Building Materials, Vol. 197, pp.

- of composite gypsum partition panel, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability, Thomas Telford Ltd, pp. 258-263, 2015.
- [39] L. Alameda, V. Calderón, C. Junco, A. Rodríguez, J. Gadea, S. Gutiérrez-González, Characterization of gypsum plasterboard with polyurethane foam waste reinforced with polypropylene fibers, *Materiales de Construcción*, Vol. 66, No. 324, p. 100, 2016.
- [40] A. Khalil, A. Ibrahim, F. Mobarak, A. Abdel-Kader, Agricultural residues based composites II-gypsum plaster-fiber composites, 8<sup>th</sup> Arab International Conference on Polymer Science and Technology, Cairo-Sharm El-Shiekh, Egypt, 2005
- [41] S. Costa, E. Cardoso, S. da Luz, S. Araújo, L. Lima, A. Lugaõ, Assessment of compression resistance of natural fibers-reinforced gypsum composites, Proceedings of 17<sup>o</sup> CBECIMat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, pp. 2893-2903, 2005.
- [42] T. Kanda, V.C. Li, Practical design criteria for saturated pseudo strain hardening behavior in ECC, *Journal of advanced concrete technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 59-72, 2006.
- [43] M. Gesoglu, E. Güneyisi, G.F. Muhyaddin, D.S. Asaad, Strain hardening ultra-high performance fiber reinforced cementitious composites: Effect of fiber type and concentration, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 103, pp. 74-83, 2016.
- [44] B. Xu, H.A. Toutanji, T. Lavin, J.A. Gilbert, Characterization of poly (vinyl alcohol) fiber reinforced organic aggregate cementitious materials, *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publ, pp. 73-83, 2011.
- [45] D.-Y. Yoo, G. Zi, S.-T. Kang, Y.-S. Yoon, Biaxial flexural behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete with different fiber lengths and placement methods, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 63, pp. 51-66, 2015.
- [30] A. San-Antonio-González, M.D.R. Merino, C.V. Arrebola, P. Villoria-Sáez, Lightweight material made with gypsum and extruded polystyrene waste with enhanced thermal behaviour, *Construction and Building Materials*, Vol. 93, pp. 57-63, 2015.
- [31] A. Khalil, A. Tawfik, A. Hegazy, M.J.C. El-Shahat, b. materials, Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites, Vol. 68, pp. 580-586, 2014.
- [32] A.J. Rivero, A. de Guzmán Báez, J.G.J.C. Navarro, B. Materials, New composite gypsum plaster-ground waste rubber coming from pipe foam insulation, Vol. 55, pp. 146-152, 2014.
- [33] F. Parres, J. Crespo-Amorós, A. Nadal-Gisbert, Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires, *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 10, pp. 3182-3188, 2009.
- [34] L. Hlubocký, J. Hruza, L. Novák, J. Topič, Mechanical Properties of Gypsum Matrix Reinforced with Recycled Fibers, *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, pp. 3-6, 2016.
- [35] N.F. Medina, M.M. Barbero-Barrera, R.J.C. Bustamante, B. Materials, Improvement of the properties of gypsum-based composites with recycled isostatic graphite powder from the milling production of molds for Electrical Discharge Machining (EDM) used as a new filler, Vol. 107, pp. 17-27, 2016.
- [36] M. Pedreño-Rojas, M. Morales-Conde, F. Pérez-Gálvez, P. Rubio-de-Hita, Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study, *Journal of cleaner production*, Vol. 218, pp. 21-37, 2019.
- [37] G. Vasconcelos, P.B. Lourenço, A. Camões, A. Martins, S. Cunha, 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, 2015.
- [38] K. Aghae, M.A. Yazdi, J. Yang, Flexural properties