Housing and Rural Environment
Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215
Homepage: https://jhre.ir

# Evaluation of the effect of industrial polypropylene fibers on the tensile strength of earthen materials

**Sewda Piri**[1], **Javad Goudini**[2]✉, and **Mohammadreza Naeimirad**[3]

1. Master's degree, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: sewda.piri@yahoo.com
2. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: j.goudini1980@yahoo.com
3. Assistant Professor, Department of Materials and Textile Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: m.naeimirad@razi.ac.ir

## Article Info

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received 10 December 2023
Received in revised form 07 March 2025
Accepted 21 May 2025
Available online 30 June 2025

***Keywords***:
Rural architecture,
clay materials,
industrial fibers,
polypropylene,
tensile strength.

## ABSTRACT

**Objective**: Objective: Mud has been one of the oldest materials used in rural Iranian architecture. However, it suffers from weaknesses such as low tensile strength, necessitating solutions to overcome these limitations. The present study aims to investigate the use of polypropylene synthetic fibers to enhance the tensile strength of this material.

**Method**: This study is based on a laboratory experimental approach. The tensile strength of mud-based materials was measured under the influence of polypropylene fibers of two lengths, 6 mm and 12 mm, with varying weight percentages, in order to determine the optimal fiber content. In the first stage, the fibers were added at weight percentages of 6%, 12%, 18%, 24%, and 30%, and in the second stage, at 1%, 2%, 4%, and 6%. Subsequently, the tensile strength of the brick samples was measured and analyzed. The fibers used in this experiment were procured from Negin Roz Company, Isfahan. They were white, filament-type fibers with a diameter of 17–19 microns.

**Results**: The results indicated that using 2% polypropylene fibers with a length of 6 mm could increase the tensile strength of the material by approximately 300% compared to the control sample (without fibers). Furthermore, it was observed that when the fiber content exceeded 12% by weight, the tensile strength of the reinforced samples decreased relative to the control. The findings also showed that fibers of 6 mm length had a greater effect on enhancing the tensile strength of the reinforced bricks.

**Conclusions**: Comparison of the results with the control samples clearly demonstrated that the use of polypropylene fibers can enhance the tensile strength of mud-based materials such as bricks. This approach allows for the creation of a new, improved composite while preserving the authenticity of traditional materials. A key achievement of this study is that polypropylene fibers, when used at appropriate lengths and percentages, can effectively improve the tensile strength of these materials.

**Cite this article:** Piri, S., Goudini, J., Naeimirad, M.R. (2025). Evaluation of the effect of industrial polypropylene fibers on the tensile strength of earthen materials. *Housing and Rural Environment*, 44 (190), 105-114. https://doi.org/10.22034/44.190.105

This article is based on thesis of the first author named "Rural housing design in Kanduleh village (Kermanshah) using synthetic fibers for improving mechanical properties of adobe" which has been done under supervision of the next authors in Razi University.

© The Author(s).
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

## Introduction

Clay has historically been one of the most widely used construction materials in Iran, employed in various forms such as cob walls, adobe walls, mortars, and plasters. Its abundance and low cost have made it a practical choice for builders and designers. However, earthen materials also suffer from significant drawbacks, with low tensile strength being one of the most critical limitations. Since antiquity, different strategies—such as the addition of natural or synthetic materials—have been explored to address this weakness.

The central research question of this study is: What effect does the addition of polypropylene fibers, in different lengths and weight percentages, have on the tensile strength of earthen materials?

## Method

This research adopts an experimental approach, involving laboratory tests on adobe samples reinforced with synthetic fibers to evaluate improvements in tensile strength. The tensile strength of fiber-free adobe samples (the control group) was first measured. Subsequently, reinforced samples incorporating polypropylene fibers of varying lengths and weight percentages were prepared and compared with the control group.

Polypropylene fibers were used in two lengths (6 mm and 12 mm) and at weight percentages of 1, 2, 4, 6, 12, 18, 24, and 30. These white, filament-like fibers had a diameter of 17–19 microns. The tests were conducted in two phases: the first with fiber contents ranging from 6% to 30%, and the second with contents between 1% and 6%. Three specimens were prepared for each fiber length and weight percentage. This two-stage design minimized the total number of test samples and helped manage the financial constraints of the study.

The soil was first sieved using a 3/8-inch mesh. For each sample, 200 grams of dry soil were weighed, and polypropylene fibers were added according to the selected weight percentage. The fibers were thoroughly mixed with the dry soil before water was gradually added. The prepared soil–fiber mixtures were placed into wooden molds measuring 3 × 10 × 3 cm, chosen to match the dimensional constraints of the testing machine grips. After molding, the samples were dried under shaded laboratory conditions for 14 days. Tensile strength tests were then carried out using a 2-ton tensile testing machine (STM-20 model).

## Results

Analysis of the first-stage results (samples with 6%, 12%, 18%, 24%, and 30% fiber content) showed that for both 6 mm and 12 mm fiber lengths, the tensile strength of samples with 6% and 12% fiber content was higher than that of the control group. However, further increases in fiber content led to a reduction in tensile strength compared with the control. In other words, adobe samples containing more than 12% polypropylene fibers demonstrated lower tensile strength than fiber-free samples.

Another key finding was that for both fiber lengths, samples containing 6% fibers exhibited the highest tensile strength. Beyond this level, additional fiber content had a

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

negative effect, reducing overall tensile strength.

The second-stage results revealed that all fiber-reinforced samples (with both 6 mm and 12 mm fibers) demonstrated higher tensile strength than the control samples. The findings further indicated that tensile strength increased with fiber content up to 2%, after which additional fiber content led to a decline in performance. Specifically, a 2% fiber ratio produced the maximum tensile strength for both fiber lengths.

Comparisons showed that adobe samples reinforced with 2% polypropylene fibers of 6 mm length exhibited an increase of approximately 300% in tensile strength relative to the control. By contrast, the same percentage of 12 mm fibers produced an increase of about 240%. These results confirm that fiber length and content both play critical roles in optimizing tensile performance.

## Conclusions

This study demonstrates that the tensile strength of earthen materials such as adobe can be significantly enhanced by incorporating polypropylene fibers, while maintaining the traditional character of these materials and creating an improved composite. The main findings are as follows:

- The addition of polypropylene fibers (6 mm and 12 mm) at weight percentages between 1% and 12% improves the tensile strength of adobe compared with fiber-free control samples.
- Polypropylene fibers with a length of 6 mm at a weight ratio of 2% provide the most substantial improvement, increasing tensile strength by up to 300% compared with unreinforced adobe.
- When fiber content exceeds 12% by weight, the tensile strength of the reinforced samples decreases and, in some cases, falls below that of the control.
- Comparative analysis indicates that 6 mm fibers are more effective than 12 mm fibers in enhancing tensile strength.
- The tensile strength curve of reinforced adobe shows an upward trend up to 2% fiber content for both fiber lengths, followed by a downward trend with higher fiber additions.

### *Author Contributions*

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

### *Data Availability Statement*

Not applicable

### *Acknowledgements*

Not applicable

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

### *Ethical considerations*

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

### *Funding*

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### *Conflict of interest*

The authors declare no conflict of interest

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

مسکن و محیط روستا
شاپا چاپی: ۴۹۹۴ - ۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

# ارزیابی تأثیر الیاف صنعتی پلی‌پروپیلن بر مقاومت کششی مصالح ساختمانی گلی

سودا پیری[۱]، جواد گودینی[۲]✉ محمدرضا نعیمی‌راد[۳]

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: sewda.piri@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: j.goudini1980@yahoo.com
۳. استادیار، گروه مهندسی مواد و متالوژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: m.naeimirad@razi.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۹/۱۹
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۲/۱۷
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۲/۳۱
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

**کلیدواژه‌ها:**
معماری روستایی،
مصالح گلی،
الیاف صنعتی،
پلی‌پروپیلن،
مقاومت کششی.

**چکیده**

**هدف:** گل به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین مصالح معماری روستایی ایران با ضعف‌هایی همچون کم بودن مقاومت کششی همراه بوده و نیازمند ارائه راهکارهایی برای فائق آمدن بر این ضعف است. پژوهش حاضر به دنبال استفاده از الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن در بهبود مقاومت کششی این ماده است.

**روش پژوهش:** پژوهش پیش‌رو مبتنی بر روش آزمایشگاهی بوده و مقاومت کششی مصالح گلی را تحت تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن در دو طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر با درصدهای وزنی متفاوت موردسنجش قرار داده تا بتواند بهترین درصد وزنی برای این ترکیب را بیابد. این آزمایش در مرحله اول با درصدهای وزنی ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ و در مرحله دوم در درصدهای ۱، ۲، ۴ و ۶ انجام گرفت. سپس مقاومت کششی نمونه‌های خشتی اندازه‌گیری و بررسی شد. گفتنی است، الیاف مورداستفاده در این آزمایش از شرکت نگین رز اصفهان تهیه گردید. این الیاف به رنگ سفید، به‌صورت رشته‌ای و با قطر ۱۷ الی ۱۹ میکرون مورداستفاده قرار گرفت.

**یافته‌ها:** یافته‌ها نشان داد که با استفاده از ۲ درصد الیاف پلی‌پروپیلن در طول ۶ میلی‌متر می‌توان مقاومت کششی این مصالح را تا حدود ۳۰۰ درصد نسبت به حالت اولیه یا همان نمونه شاهد (نمونه بدون الیاف) افزایش داد؛ به‌علاوه اینکه، هرچه میزان درصد وزنی الیاف افزودنی از ۱۲ درصد بیشتر شود، مقاومت کششی نمونه تقویت‌شده نسبت به شاهد، کمتر می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان داد که الیاف با طول ۶ میلی‌متر تأثیر بیشتری در بهبود مقاومت کششی خشت تقویت‌شده دارند.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون‌ها با نتایج حاصل از نمونه شاهد به‌خوبی نشان داد که می‌توان با استفاده از الیاف افزودنی پلی‌پروپیلن مقاومت کششی مصالح گلی، همچون خشت را افزایش داد و با حفظ اصالت آن‌ها، ترکیبی جدید و بهبودیافته برای این مصالح سنتی ارائه نمود. دستاورد مهم پژوهش آن بود که الیاف مصنوعی یادشده با طول و درصد مناسب مقاومت کششی این مصالح را ارتقاء می‌دهد.

**استناد:** پیری، سودا؛ گودینی، جواد؛ نعیمی‌راد، محمدرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی تأثیر الیاف صنعتی پلی‌پروپیلن بر مقاومت کششی مصالح ساختمانی گلی. *مسکن و محیط روستا*، ۴۴ (۱۹۰)، ۱۱۴-۱۰۵. https://doi.org/10.22034/44.190.105

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری نویسنده اول با عنوان «طراحی مسکن روستایی در روستای کندوله (در استان کرمانشاه) با تأکید بر استفاده از الیاف مصنوعی در بهبود ویژگی‌های مکانیکی خشت و نمای کاهگلی» است که زیر نظر نویسنده دوم و سوم در دانشگاه رازی به انجام رسیده است.

CC BY NC

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی. © نویسندگان.



[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

## مقدمه

ساخت‌وساز با مصالح گلی قدمتی بسیار دیرینه داشته و به تنوعی چشمگیر در استفاده‌ها و کاربردها منتهی شده است؛ به‌نحوی‌که تنوع و گوناگونی استفاده از آن در دو منطقه مجاور هم نیز به چشم می‌خورد. چنین تنوعی در فنون بومی ساخت که ناشی از عواملی چون شرایط اقلیمی، ویژگی‌های فرهنگی، الزامات منطقه‌ای، پیشینه تاریخی، سبک معماری و ... است، خود یک امتیاز در فرهنگ معماری روستایی ایران محسوب می‌شود و باید به‌عنوان تجربیات پیشین موردتوجه قرار گیرد. تأمل در این تجربیات بومی نشان می‌دهد که مصالح گلی به شکل‌های مختلف در چینه‌ها (دیوارهای چینه‌ای)، خشت‌ها (دیوارهای خشتی)، ملات‌ها (لایه‌های مختلف در دیوار و سقف) و اندودها (اندودهای گلی یا کاهگلی در داخل و خارج) مورداستفاده طراحان و سازندگان ایرانی قرار گرفته است. علاوه بر قدمت و تجربیات انباشته‌شده در این زمینه، ارزان بودن، در دسترس بودن و تعدد منابع، سهولت استفاده، سرعت در اجرا، سازگاری با محیط‌زیست، تجدیدپذیری، شکل‌پذیری، تنوع رنگی، تطابق با شرایط اقلیمی ایران (بالأخص در مناطق مرکزی)، دارا بودن مقاومت یا عایق بودن در برابر صدا و انتقال حرارت باعث شده که این مصالح حضوری چشمگیر در معماری روستایی داشته باشد.

بااین‌وجود، مصالح گلی دارای معایب بسیاری نیز هستند؛ برای مثال می‌توان به فقدان آئین‌نامه‌ها و استانداردهای مناسب برای طراحی ساخته‌های گلی در برابر بارهای وارده اشاره کرد (Mohammadi, Eslamihassanabadi, & Morshed, 2022). دوام و طول عمر کم، مقاومت و استحکام پایین در مقابل فرسایش، چسبندگی کم، ضعف در مقابل تهاجم عوامل بیولوژیک ازجمله موریانه و انقباض بال و ترک‌خوردگی شدید آن پس از خشک شدن (Bater et al., 2017) از دیگر معایبی هستند که برای مصالح گلی می‌توان متصور شد. در میان معایب ساخته‌ها و مصالح گلی می‌توان به مقاومت و یکپارچگی کم و شکست یک‌دفعه اشاره نمود (Omidvari, 2022; Vatani Oskouei et al., 2016; Esmaily & Ghalehnovi, 2012). این ضعف به‌خصوص در حوادث طبیعی همچون زلزله می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد؛ برای مثال، تلفات انسانی روستای اصفهک در زلزله سال ۱۳۵۷ حدود ۸۰ نفر برآورد شده است. این پیامدها زمانی خود را بیشتر نشان می‌دهد که گفته شود بر اساس آمار، حدود ۳۰ درصد از مردم دنیا در خانه‌های خشتی زندگی می‌کنند (Hejazi et al., 2015) یا در زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی، ۳۷ درصد خانه‌های تخریب‌شده، در زمره ساخته‌های گلی بودند (Mirabi Banadaki & Morshed, 2020). به‌عبارت‌دیگر، معایب یادشده فوق بالأخص مسئله مقاومت کم مصالح گلی فقط مربوط به معماری روستایی ایران نبوده و قابلیت تعمیم به بناهای مشابه در دنیا را دارد. از سوی دیگر و ازنظر سازه‌ای، مقاومت فشاری مصالح گلی نظیر خشت، در برابر بارهای وارده نسبتاً خوب ارزیابی می‌شود، اما مقاومت کششی آن‌ها کم است (Mirabi Banadaki & Morshed, 2020). تعدد ویژگی‌های مثبت این مصالح، پژوهشگران و سازندگان را بر آن داشته تا با در نظر گرفتن تدابیر اصلاحی ازجمله لحاظ نمودن افزودنی‌ها بتوان ضمن بهبود ویژگی‌های نامناسب همچون مقاومت کششی کم بر معایب مصالح گلی فائق آمد. نکته دیگر که بر اهمیت پرداختن به این موضوع دلالت دارد آن است که ضعف مقاومت کششی تنها مربوط به مصالح گلی نیست، بلکه این ضعف در خاک (به‌عنوان پایه اصلی مصالح گلی) نیز قابل‌مشاهده است. این وضعیت مؤید آن است که ضعف یادشده می‌تواند به حوزه‌های دیگری همچون زیرسازی‌ها، خاک‌برداری‌ها یا ساخت مصالح خاکی متراکم‌شده هم تعمیم داده شود. لذا تلاش برای کاهش این ضعف می‌تواند از اهمیت چندانی برخوردار باشد.

وجود تقویت‌کننده‌هایی چون الیاف طبیعی (ازجمله کاه) در ساختار این مصالح که از دیرباز موردتوجه قرار گرفته، در جهت همین نگاه اصلاحی بوده است. در ادامه نیز، پژوهشگران و صاحب‌نظران، برای فائق آمدن بر این مشکلات که برگرفته از مشکلات خاک است، روش‌های مختلفی همچون استفاده از مواد افزودنی و تسلیح را پیشنهاد نموده‌اند (Amelsakhi et al., 2022). بااین‌حال، پژوهش حاضر به دنبال استفاده از الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن در بهبود مقاومت کششی آن‌ها است. گفتنی است، پلی‌پروپیلن ازطریق پلیمریزاسیون به‌صورت یک پلیمر خطی تهیه می‌شود و می‌تواند مقاومت کششی مصالح گلی را افزایش دهد (Amelsakhi et al., 2022). یکی از دلایل استفاده از الیاف مصنوعی در این پژوهش، فراهم آوردن بستری برای

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

مقایسه نتایج آن با الیاف طبیعی است که از دیرباز مورداستفاده قرار گرفته‌اند. دلیل دیگر استفاده از این الیاف و در مقایسه با الیاف طبیعی همچون کاه، افزایش امکان کنترل طول و قطر یا ظرافت لیف (در نمونه‌های مصنوعی) است؛ به‌خصوص اینکه یکی از متغیرهای پژوهش حاضر، طول طیف است. نکته دیگر اینکه الیاف پلی‌پروپیلن دارای ویژگی‌های متعددی همچون استفاده آسان و ایمن است. مضاف بر اینکه به دلیل خنثی بودن در برابر حملات شیمیایی و باکتری‌ها بسیار مقاوم است. به‌علاوه اینکه، این الیاف به خاطر ویژگی آب‌گریزی در هنگام اختلاط، خیس نمی‌شود (Amelsakhi et al., 2022) و طبیعتاً میزان آب مورداستفاده در عمل‌آوری (در نسبت به کاهگل) را کاهش می‌دهد. این ویژگی به‌خصوص در شرایط کم‌آبی ایران می‌تواند حائز اهمیت باشد. ارزان بودن قیمت الیاف پلی‌پروپیلن در نسبت با دیگر الیاف پلیمری، یکی دیگر از دلایل استفاده از این الیاف است.

اضافه نمودن الیاف پلی‌پروپیلن (با درصد وزنی و طول الیاف مختلف) به مصالح گلی چه تأثیری بر مقاومت کششی آن‌ها دارد؟

## پیشینه پژوهش

موضوع تثبیت و بهبود خواص مصالح گلی (و خود خاک) پیشینه‌ای طولانی دارد. افزودن مواد طبیعی همچون کاه، موی بز، ذرات شن و ماسه در خشت‌ها یا اندودها (در عملیات ساختمانی) و یا در قالب تنورهای گلی (در دیگر عملیات مرتبط با ساخت) نشان از همین موضوع دارد؛ اما سابقه پژوهش‌های علمی در این زمینه به حدود سال ۱۹۲۰ میلادی بازمی‌گردد. پس از اتمام جنگ جهانی دوم نیز به دلیل خرابی‌های ناشی از جنگ و نیاز به بهسازی و نوسازی شهری، مطالعه بر روی بهبود این روش‌ها مجدداً موردتوجه قرار گرفت. این مطالعات در دهه‌های اخیر به سمت نقش افزودنی‌ها در بهبود این مصالح تمایل بیشتری یافته و در رشته‌های مختلف ازجمله معماری، مرمت، عمران، مکانیک و نساجی دنبال شده است.

فارغ از اینکه، این پژوهش‌ها بر روی کدام‌یک از مصالح گلی یا چه نوع خاکی صورت گرفته، بر اساس نوع افزودنی در آن‌ها می‌توان پیشینه‌های پژوهشی را دسته‌بندی نمود. در دسته‌ای از پژوهش‌های پیشین سعی شده از افزودنی‌های معدنی همچون گچ در بهبود ویژگی‌های مصالح گلی استفاده شود؛ برای مثال، غفوری فرد و خبیری (۲۰۲۲) به بررسی عملکرد خشت تثبیت‌شده با سیمان و آهک (به‌منظور استفاده در روسازی معابر روستایی) تحت آزمایش درصد جذب آب، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت لغزشی و تعیین مدول الاستیسیته پرداخته‌اند. یکی از نتایج آن‌ها این است که با افزایش درصد سیمان از ۵ تا ۱۵ درصد، مقاومت فشاری ۹۲ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد آهک از ۴ تا ۸ درصد، مقاومت فشاری ۱۱۵ درصد افزایش می‌یابد.

نامور و زرینی (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر سیلیکات سدیم و اکریلیک بر مقاومت فشاری، خمشی و رطوبتی ملات کاهگل بیان داشتند که ترکیب دو افزودنی سیلیکات سدیم و اکریلیک در کاهگل موجب کاهش ترک و انقباض این ملات می‌شود. همچنین چگالی ملات با افزودن سیلیکات سدیم در آن تا ۲/۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بالا می‌رود. پس برای یافتن بهترین طرح اختلاط ملات کاهگل به بررسی رفتار نمونه‌ها در زیر بارهای فشاری و خمشی و رطوبت پرداختند. بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن بود که بهینه‌ترین ترکیب کاهگل با افزودنی سیلیکات سدیم است؛ چراکه این ملات در انواع بارگذاری‌ها (فشاری و خمشی) و رطوبت مقاوم است. ترکیب مناسب این ملات شامل ۸۰ درصد حجمی کاه به خاک، ۴۲ درصد حجمی آب به خاک و ۱۰۰ درصد حجمی سیلیکات سدیم به خاک است. همچنین ترکیب ۸۰ درصد خاک و ۴۲ درصد آب و ۱۰۰درصد اکریلیک نیز می‌تواند به‌عنوان دومین ترکیب بهینه به‌حساب آید.

حجازی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر مواد افزودنی (ماسه، گچ، آهک، پودر آجر و کاه) بر بهبود خصوصیات مقاومتی خشت‌های تولیدی از خاک اصفهان را بررسی نمودند. آن‌ها طی آزمایش‌هایی که در دو فاز انجام شد، ۲۱ نمونه با درصدهای مختلف افزودنی را مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که افزودنی‌هایی مثل گچ یا ترکیب پودر آجر و گچ در خشت از ایجاد ترک‌های عمیق در آن جلوگیری می‌کند و بهترین عملکرد را در بهبود مقاومت مکانیکی خاک اصفهان دارد که مناسب‌ترین مقدار گچ ۲۵ درصد، پودر آجر و گچ به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد است.

از دیگر نمونه‌های این دسته از پیشینه‌ها می‌توان به استفاده از گچ طبیعی و نیز ضایعات گچی ( Degirmenci, 2008;

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

Amin, 2013)، ملاس نیشکر و گچ (Rodriguez Cuervo, 2020)، خاکستر بادی (Islam et. al., 2020; Rivera et al., 2020; Elahi, Shahriar, & Islam, 2021) خاکستر باگاس نیشکر و آهک (Alavéz-Ramírez et al., 2012) آهک و پودر سنگ ضایعاتی (Roohbakhshan, and Kalantari. 2013) خاکستر بادی، شن و ماسه کوارتزی (Zhang et. al., 2015) تکتوسیلیکات (Bater, et. al. 2017) و ... اشاره نمود. این دسته از پژوهش‌ها به علت تفاوت ماهوی افزودنی‌های معدنی با افزودنی مصنوعی آن‌هم از نوع پلیمری مورداستفاده در مقاله حاضر، مقداری از موضوع پژوهش فاصله می‌گیرد. مضاف بر اینکه برخی از مقالات این دسته گاه به تأثیر افزودنی بر ویژگی‌هایی غیر از مقاومت کششی معطوف شده‌اند که بازهم باعث فاصله گرفتن آن‌ها از مقاله حاضر می‌شود.

دسته دیگری از پژوهش‌های پیشین بحث افزودنی‌های الیافی را موردتوجه قرار داده‌اند. برای مثال، وطنی اسکویی و همکاران (۲۰۱۶)، عملکرد آزمایشگاهی دیوار خشتی با درصدهای مختلف الیاف کاه در ملات تحت بار استاتیکی قطری را موردبررسی قرار داده‌اند. باتر و همکاران (۲۰۱۷b) نیز در گزارشی بیان کردند که مقاومت فشاری و کششی ملات کاهگل تحت تأثیر مدت‌زمان عمل‌آوری و میزان الیاف کاه موجود در آن است؛ به‌گونه‌ای که افزایش درصد الیاف کاه موجب کاهش مقاومت مکانیکی، و افزایش مدت‌زمان عمل‌آوری موجب افزایش مقاومت فشاری و کششی آن می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که بیشتر این افزایش مقاومت مکانیکی در ۷۲ ساعت اول است که با استمرار آن این افزایش تا ۱۰ روز ادامه دارد. پس مناسب‌ترین محدوده زمانی برای عمل‌آوری کاهگل ۷-۳ شبانه‌روز است. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از ۵-۴ درصد الیاف کاه در کاهگل مناسب‌ترین حالت ممکن است که علاوه بر ایجاد مقاومت فشاری و کششی مناسب، موجب کاهش میزان انقباض و ترک‌خوردگی ملات می‌شود. همچنین با افزایش مدت‌زمان عمل‌آوری خواص فیزیکی و مکانیکی اعم از مقاومت فشاری و کششی آن بالا می‌رود. زمان عمل‌آوری این اندود باید حداقل ۴۸ ساعت و حداکثر ۲۴۰ ساعت (به دلیل پوسیدگی شدید الیاف گیاهی) در معرض رطوبت باشد تا ملات کاهگلی با کیفیت مناسب به دست آید.

محمدی، اسلامی و مرشد (۲۰۲۲) به بررسی امکان استفاده از الیاف خرما به‌عنوان یک مسلح‌کننده طبیعی جهت بهبود خواص مکانیکی خشت (اعم از مقاومت فشاری، مقاومت کششی و شکل‌پذیری) پرداخته‌اند. بدین منظور، بلوک‌های خشتی حاوی الیاف خرما به مقدار ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی خاک موردارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، افزودن مقدار ۰/۲۵ درصد الیاف خرما می‌تواند مقاومت فشاری خشت را تا حدود ۵۰ درصد و افزودن ۱ درصد الیاف مقاومت کششی آن را تا بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش دهد. اسماعیلی و قلعه نوی (۲۰۱۲) هم طی پژوهشی، اثر الیاف نخل خرما و آهک را بر خصوصیات مکانیکی خشت بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که با اضافه کردن الیاف و آهک به خشت معمولی می‌توان آن را ازلحاظ مقاومت خمشی و فشاری، مقاومت نرم‌شدگی و زمان نفوذ آب تقویت نمود.

کوریا[1] و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر استفاده از بزاق موریانه و الیاف بامبو در تهیه خشت پرداختند. نتایج نشان داد که با این مواد افزودنی انقباض خطی، درصد جذب آب و میزان فرسایش در خشت‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، افزودن ۶ درصد الیاف بامبو به خشت مقاومت فشاری آن را تا ۹۰ درصد ارتقاء می‌دهد.

بررسی تأثیر استفاده از الیاف کنف در ترکیب خشت توسط کالاتان[2] و همکاران (۲۰۱۶) بیانگر آن بود که استفاده از الیاف گیاهی کنف به میزان بهینه ۹ تا ۱۰ درصد در ترکیب با خشت، ضمن کنترل انقباض و جلوگیری از ترک خوردن آن، موجب افزایش استحکام، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی خشت می‌شود.

بررسی این دسته از پیشینه‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها از الیاف طبیعی برای بهبود ویژگی‌های مصالح گلی استفاده کرده‌اند. مقایسه این پیشینه‌ها با پژوهش حاضر نشان می‌دهد که استفاده از الیاف مصنوعی ضمن نوآوری و مزایایی چون افزایش طول عمر، باعث فاصله گرفتن پژوهش حاضر از این دسته می‌شود.

در کنار این پیشینه‌ها، دسته دیگری از پژوهش‌ها از الیاف مصنوعی برای چنین منظوری بهره گرفته‌اند؛ برای مثال، آتس[3]

1. Corrêa
2. Calatan
3. Ates

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

(۲۰۱۶) با انجام آزمایش مقاومت فشاری محدودنشده روی خاک تسلیح‌شده با سیمان پرتلند و الیاف شیشه گزارش دادند که بهترین نسبت برای بهبود مشخصات مکانیکی خاک مورد آزمایش، استفاده از ۱۵ درصد وزنی سیمان و ۳ درصد الیاف است. کارگر، شفاعت و ویسه (۲۰۲۳) از الیاف ضایعات صنعتی ریشه فرش با درصدهای وزنی ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ در بلوک‌های خاک فشرده استفاده نموده و دریافتند که حضور ۰/۲ درصدی الیاف در بلوک‌ها می‌تواند عملکرد آن‌ها را بهبود بخشد. عامل‌سخی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر افزودن الیاف پلی‌پروپیلن بر خاک تثبیت‌شده با سیمان و جایگزینی زئولیت پرداخته‌اند. مطابق نتایج آن‌ها، درصد بهینه جایگزینی زئولیت و الیاف پلی‌پروپیلن در طرح بهسازی ماسه خوب دانه‌بندی به ترتیب ۳۰ درصد و ۰/۵ درصد و در ماسه بد دانه‌بندی به ترتیب ۱۰ درصد و ۰/۷۵ درصد است. آن‌ها همچنین نتیجه گرفته‌اند که استفاده از مقادیر بهینه زئولیت و الیاف پلی‌پروپیلن در طرح جایگزینی سیمان، علاوه بر افزایش مقاومت تک‌محوری نمونه‌ها، باعث افزایش کرنش گسیختگی آن‌ها نیز شده است.

جعفری، باقری‌پور و لک‌زاده (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر عوامل مقاومتی خاک تثبیتی با آهک و سیمان پرداخته‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها، مقدار الیاف بهینه که سبب بیشترین مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌ها شده، معادل ۰/۴ درصد برآورد گردیده است.

سهل‌آبادی و همکاران (۲۰۲۳) نیز به بررسی تأثیر الیاف بازالت و پلی‌پروپیلن بر مقاومت فشاری محدودنشده خاک رسی تثبت‌نشده با سیمان پرداخته‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که مقادیر الیاف پلی‌پروپیلن و بازالت نقش مهمی در نمونه‌های سیمانی و بدون سیمانی ایفا می‌کند. با افزایش مقدار این الیاف از ۰/۵ درصد به ۵ درصد مقاومت فشاری محدودنشده خاک تسلیح‌شده افزایش می‌یابد.

معصومی و همکاران (۲۰۲۲) هم به موضوع افرایش متغیرهای مقاومتی خاک‌های رس شرق اصفهان توسط فرایند ژئوپلیمر و مسلح‌شده با الیاف پلی‌پروپیلن و مقایسه آن با تثبیت خاک همراه سیمان پرداخته‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که الیاف پلی‌پروپیلن به علت مسلح کردن خاک توانسته‌اند مواد ژئوپلیمری را با افزایش مقاومت روبه‌رو کند. نتایج آن‌ها نشان داده که بهترین مقاومت با الیاف ۱۲ میلی‌متری و درصد وزنی ۰/۱ صورت گرفته است.

بررسی این دسته از پیشینه‌ها هم مؤید آن است که عمده آن‌ها از الیاف مصنوعی معدنی و ... بهره گرفته‌اند و کمتر به الیاف پلیمری معطوف شده‌اند. از سوی دیگر، پژوهش‌هایی هم که از الیاف پلی‌پروپیلن استفاده نموده‌اند، بیشتر بر مقاومت فشاری تأکید داشته‌اند، لذا استفاده از الیاف پلیمری همچون پلی‌پروپیلن می‌تواند ضمن شناسایی و معرفی ویژگی‌های مسلح‌کننده آن‌ها، زمینه را برای مقایسه بیشتر الیاف با یکدیگر فراهم آورد.

## روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش به روش تجربی، به مطالعه آزمایشگاهی بر روی مصالح گلی (به شکل خشت) با هدف بهبود مقاومت کششی آن و با استفاده از الیاف مصنوعی پرداخته شده است. برای این منظور، نمونه‌های مختلفی از خشت با طول و درصدهای مختلف الیاف پلی‌پروپیلن تهیه شد. در مرحله بعد، مقاومت کششی در نمونه خشت بدون الیاف مصنوعی به‌عنوان گروه آزمایشی شاهد و کنترل موردسنجش و ارزیابی قرار گرفت و سپس تأثیر استفاده از الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن با طول و درصدهای وزنی متفاوت بر روی مقاومت کششی در خشت جدید اندازه‌گیری و در پایان، نتایج حاصل با نمونه‌های خشت کنترل مقایسه شد. در تمامی مراحل نمونه‌سازی و مطالعات آزمایشگاهی، سعی شد که نحوه تهیه و مدت‌زمان عمل‌آوری نمونه‌ها یکسان باشد تا طول و درصدهای وزنی الیاف مصنوعی به‌عنوان متغیر مستقل پژوهش، موردمطالعه و بررسی قرار گیرد. خاک مورداستفاده در این آزمایش از شهر کرمانشاه تهیه شد. برای بهبود مقاومت کششی خشت از الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن در دو گروه الیاف با طول‌های ۶ و ۱۲ و درصدهای متفاوت ۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ استفاده شد. گفتنی است، الیاف مورداستفاده در این آزمایش از شرکت نگین رز اصفهان تهیه گردید. این الیاف به رنگ سفید، به‌صورت رشته‌ای و با قطر ۱۷ الی ۱۹ میکرون مورداستفاده قرار گرفت (جدول ۱).

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

لازم به ذکر است که این آزمایش در مرحله اول با درصدهای وزنی ۶ تا ۳۰ و در مرحله دوم در درصدهای ۱ تا ۶ انجام گرفت. همچنین، از هرکدام از درصدها و طول‌های یادشده، سه نمونه خشت تهیه گردید. علت استفاده از دو مرحله آزمایش، کاهش تعداد آزمودنی‌ها و طبیعتاً فائق آمدن بر محدودیت‌های اقتصادی حاکم بر پژوهش بود. در حقیقت، با این تکنیک در مرحله اول (افزودن با تصاعد ۶ درصدی) مشخص می‌شد که بیشترین میزان مقاومت کششی آزمودنی‌ها (تحت استفاده از افزودنی پلی‌پروپیلن) در کدام محدوده است. سپس برای بررسی دقیق‌تر در همان محدوده با درصدهای نزدیک‌تر، آزمون مرحله دوم انجام گرفت.

**جدول ۱. مشخصات الیاف پلی‌پروپیلن مورداستفاده**

| طول لیف | وزن مخصوص | قطر | ازدیاد طول | استحکام | نقطه نرم‌شدگی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۶ و ۱۲ | ۰/۹۱ | ۱۹-۱۷ | ۱۰۰-۸۰ | ۲/۵ الی ۳/۵ | ۱۵۰-۱۴۰ |
| میلی‌متر | گرم بر مترمکعب | میکرون | درصد | گرم بر دنیر | درجه سلسیوس |

علت استفاده از طول الیاف ۶ و ۱۲ میلی‌متر این بود که اولاً (معمولاً) طول لیف ۶ میلی‌متر پلی‌پروپیلن برای ملات‌ها و طول لیف ۱۲ میلی‌متر برای اجزای حجیم ساختمانی به کار گرفته می‌شود و در این صورت، این دو طول لیف می‌تواند پوشش مناسبی به تنوع مصالح گلی (همچون ملات‌ها، اندودها و خشت‌ها) موردنظر در این پژوهش دهد. از سوی دیگر، چون برخی از پیشینه‌های پژوهشی مرتبط با مصالح گلی از دو طول لیف ۶ و ۱۲ میلی‌متر استفاده کرده‌اند و اینکه یکی از اهداف پژوهش حاضر، ایجاد بستری برای مقایسه افزودنی‌های مصنوعی و طبیعی تعیین‌شده، لذا استفاده از این دو طول لیف می‌تواند در این راستا ارزیابی شود.

ازآنجاکه در معماری روستایی و در استفاده از مصالح گلی از روش دستی استفاده می‌شود، برای تطابق بیشتر سعی شد نمونه‌های خشتی هم به‌صورت دستی اختلاط و قالب‌گیری شوند. بااین‌حال، زمان مخلوط کردن و نیز ورز دادن در تمام نمونه‌ها یکسان بود. به‌علاوه اینکه، نمونه‌های تهیه‌شده به مدت ۱۴ روز در آزمایشگاه خشک شدند و در پایان این مدت در آزمون کشش قرار گرفتند.

لازم به ذکر است، پس از الک کردن خاک با الک شماره سه‌هشتم اینچ، ابتدا خاک خشک به میزان ۲۰۰ گرم وزن شده و سپس الیاف پلی‌پروپیلن موجود، مطابق وزن کل خاک خشک، با درصدهای وزنی انتخابی توزین و به‌صورت خشک با خشت مخلوط شد، سپس آب کم‌کم به مخلوط خاک و الیاف ترکیبی اضافه و مخلوط خشت حاصل‌شده با دست به مدت‌زمان معین کاملاً مخلوط گردید تا ملات یکدستی به وجود آید. در این کار سعی شد که سرعت و مدت‌زمان اختلاط کلیه نمونه‌ها یکسان باشد. بعد از آماده شدن مخلوط گلی، از قالب‌های چوبی با ابعاد ۳×۱۰×۳ سانتی‌متری برای ایجاد نمونه‌ها استفاده شد (اشکال ۱ و ۲).



**شکل ۱. نمونه‌های خشتی بعد از قالب‌گیری با قالب‌های چوبی با ابعاد ۳×۱۰×۳ سانتی‌متری**



**شکل ۲. نمونه‌های خشتی در محیط آزمایشگاه و قبل از انجام آزمون کشش**

دلیل انتخاب قالب با این ابعاد محدودیت‌های ابعادی فک‌های دستگاه آزمایش بود. پس از قالب‌گیری، نمونه‌ها برای مدت ۱۴ روز در محیط آزمایشگاه و در سایه خشک گردید و سپس مقاومت کششی آن‌ها محاسبه شد. برای سنجش مقاومت کششی نمونه‌های ساخته‌شده از دستگاه آزمون کشش ۲ تنی مدل STM-20 استفاده شد (اشکال ۳ و ۴).

این سنجش در آزمایشگاه مواد و مصالح دانشگاه صنعتی کرمانشاه انجام گردید. نمونه‌ها تحت نیروی اعمالی با نرخ ثابت ازدیاد طول ۰/۶ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفت و مقاومت کششی آن‌ها تا ایجاد گسیختگی اندازه‌گیری شد.

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]




شکل ۳. دستگاه آزمون کشش ۲ تنی مدل STM-20




شکل ٤. نمونه‌های خشتی در داخل دستگاه آزمون کشش

## یافته‌های پژوهش

بررسی یافته‌ها در آزمون‌های مرحله اول (یعنی نمونه‌هایی که با درصدهای ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۰ ساخته شده‌اند) نشان از آن داشت که در هر دو طول الیاف ۶ و ۱۲ میلی‌متر، مقاومت کششی نمونه‌های با درصد ۶ و ۱۲ از مقاومت کششی نمونه شاهد بیشتر است. بااین‌حال، با افزایش درصد الیاف در نمونه‌ها مقاومت کششی از نمونه شاهد کمتر می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، خشت‌هایی که میزان الیاف پلی‌پروپیلن آن‌ها از ۱۲ درصد بیشتر شده است، مقاومت کششی آن‌ها کمتر از خشت‌های فاقد الیاف است. نکته دیگری که از یافته‌های آزمون‌های مرحله اول مشخص می‌گردد آن است که در هر دو طول الیاف، مقاومت کششی خشت‌ها در نمونه‌های دارای ۶ درصد الیاف بیشتر از دیگر نمونه‌هاست. به‌عبارت‌دیگر، افزایش الیاف از ۶ درصد به بعد، اثر معکوس داشته و از مقاومت کششی نمونه‌ها می‌کاهد (جدول ۲).

بررسی یافته‌ها در آزمون‌های مرحله دوم نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف پلی‌پروپیلن در هر دو طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر دارای مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه شاهد هستند. بااین‌حال، یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش درصد الیاف در نمونه‌ها تا ۲ درصد با افزایش مقاومت کششی آن‌ها همراه است، اما افزایش بیشتر الیاف از این مقدار به کاهش مقاومت کششی خشت منجر می‌شود. در حقیقت، در هر دو طول الیاف، وجود ۲ درصد الیاف در نمونه‌ها به بیشترین مقاومت کششی خشت منتهی می‌شود. از سوی دیگر، با مقایسه یافته‌ها می‌توان دریافت که مقاومت کششی خشت با افزودن ۲ درصد الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۶ میلی‌متر حدود ۳۰۲ درصد افزایش می‌یابد. اما مقاومت کششی خشت با افزودن ۲ درصد الیاف با طول ۱۲ میلی‌متر حدود ۲۳۹ درصد افزایش می‌یابد (جدول ۳).

**جدول ۲. مشخصات نمونه‌های مرحله اول تحت آزمون کششی**

| نمونه‌ها | شاهد | الیاف با طول شش میلی‌متر | | | | | الیاف با طول دوازده میلی‌متر | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره نمونه | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
| درصد وزنی الیاف | ۰ | ۶ | ۱۲ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ | ۶ | ۱۲ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ |
| مقاومت کششی (N) | ۱۶۱/۹ | ۲۲۶/۲۳ | ۱۹۸/۸ | ۱۳۸/۳۳ | ۱۱۸/۴ | ۴۳/۷ | ۲۱۶ | ۱۷۴/۶ | ۱۰۶/۷ | ۱۰۱/۷ | ۴۰ |

**جدول ۳. مشخصات نمونه‌های مرحله دوم تحت آزمون کششی**

| نمونه‌ها | شاهد | الیاف با طول شش میلی‌متر | | | | الیاف با طول دوازده میلی‌متر | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره نمونه | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
| درصد وزنی الیاف | ۰ | ۱ | ۲ | ۴ | ۶ | ۱ | ۲ | ۴ | ۶ |
| مقاومت کششی (N) | ۱۶۱/۹ | ۴۴۳ | ۴۸۹/۶۶ | ۳۹۶ | ۳۴۲ | ۲۳۳/۵ | ۳۸۸/۳ | ۳۰۳/۷ | ۳۰۶ |

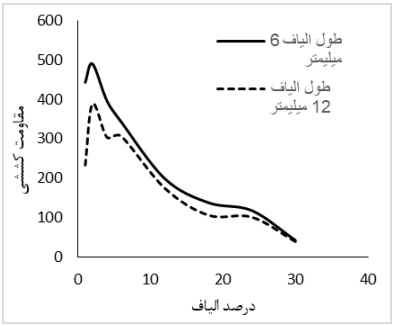
## بحث

بر اساس یافته‌های پژوهش می‌توان دریافت که افزودن ۱ درصد وزنی الیاف پلی‌پروپیلن با طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر به ترتیب، مقاومت کششی نمونه‌های خشتی را تا ۲۷۵ و ۱۴۵ درصد افزایش داده است. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج محمدی، اسلامی و مرشد (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که در مقایسه با الیاف خرما که با افزایش ۱ درصدی آن، افزایش مقاومت کششی ۱۰۰ درصدی

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]
[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

نمونه‌های خشتی نسبت به نمونه اولیه حاصل‌شده، افزودن الیاف پلی‌پروپیلن می‌تواند کارایی بیشتری داشته باشد. باتوجه‌به اینکه پژوهش محمدی، اسلامی و مرشد (۲۰۲۲)، ارزیابی نمونه‌های خشتی را فقط در محدوده ۰ تا ۱ درصد الیاف بررسی نموده، ادامه مقایسه فراهم نیست.

همان‌گونه که در شکل ۵ هم دیده می‌شود، یافته‌ها نشان می‌دهند که مقاومت کششی نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف پلی‌پروپیلن تا ۲ درصد الیاف برای هر دو طول لیف ۶ و ۱۲ میلی‌متر، افزایشی و ازآنجا به بعد کاهشی می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که مقاومت کششی نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف ۱۲ میلی‌متر بهبود کمتری نسبت به الیاف ۶ میلی‌متر داشته است. می‌توان تأثیر کمتر الیاف با طول ۱۲ میلی‌متر را به درهم‌رفتگی الیاف و تمایل به تجمع و همچنین تعداد الیاف کمتر در مقایسه با الیاف ۶ میلی‌متری در درصد مشابه ارتباط داد. همچنین دلیل تأثیر معکوس در درصدهای بالای الیاف، برهم‌کنش سطحی بین الیاف و تجمع آن‌ها است که پدیده‌ای شناخته‌شده در مواد مرکب است.




**شکل ۵. مقایسه مقاومت کششی نمونه‌های خشتی با درصد الیاف مختلف در دو طول لیف ٦ و ۱۲ میلی‌متر**

## نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی و مطالعه چگونگی بهبود مقاومت کششی مصالح گلی (ازجمله خشت) به روش تجربی و با استفاده از آزمایش‌های متعدد بر روی نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف تقویت‌کننده پلی‌پروپیلن در دو طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر با درصدهای متفاوت پرداخت. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون‌ها با نتایج حاصل از نمونه شاهد (تقویت‌نشده) به‌خوبی نشان داد که می‌توان با استفاده از الیاف افزودنی پلی‌پروپیلن مقاومت کششی مصالح گلی، همچون خشت را افزایش داد و با حفظ اصالت آن‌ها، ترکیبی جدید و بهبودیافته برای این مصالح سنتی ارائه نمود. دستاورد مهم پژوهش آن بود که الیاف مصنوعی یادشده با طول و درصد مناسب مقاومت کششی این مصالح را ارتقاء می‌دهد:

۱- استفاده از هر دو طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر الیاف پلی‌پروپیلن با درصد وزنی ۱ تا ۱۲ درصد مقاومت کششی خشت را نسبت به نمونه شاهد، ارتقاء و بهبود می‌بخشد.

۲- الیاف با طول لیف ۶ میلی‌متر با درصد وزنی ۲ درصد، بیشترین تأثیر را در بهبود مقاومت کششی خشت تقویت‌شده نسبت به نمونه شاهد دارد. در این حالت، مقاومت کششی خشت تا ۳۰۲ درصد نسبت به خشت تقویت‌نشده افزایش می‌یابد.

۳- هرچه میزان درصد وزنی الیاف افزودنی از ۱۲ درصد بیشتر می‌شود، مقاومت کششی نمونه تقویت‌شده نسبت به شاهد، کمتر می‌شود.

۴- با مقایسه نمونه‌های تقویت‌شده با دو طول لیف ۶ و ۱۲ میلی‌متر می‌توان دریافت که طول لیف ۶ میلی‌متر تأثیر بیشتری در بهبود مقاومت کششی خشت تقویت‌شده دارد.

۵- نمودار مقاومت کششی نمونه‌های تقویت‌شده با الیاف پلی‌پروپیلن تا ۲ درصد الیاف برای هر دو طول لیف ۶ و ۱۲ میلی‌متر، افزایشی و ازآنجا به بعد کاهشی می‌شود.

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

## References


Alavéz-Ramírez, R., Montes-García, P., Martínez-Reyes, J., Altamirano-Juárez, D. C., & Gochi-Ponce, Y. (2012). The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. *Construction and Building Materials*, 34, 296-305.

Amelsakhi, M., Yousefi, R., Amooei, A., & Karimi, A. (2022). Experimental Study on the Effect of Adding Polypropylene Fibers on Soil Stabilized by Cement and Zeolite Replacement. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *54*(4), 1553-1572. doi: 10.22060/ceej.2021.19689.7236 (in Persian)

Amin, M. O. (2013). Effect of Gypsum Stabilization on Mechanical Properties of Compressed Earth Blocks. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 20(3), 88–94. https://doi.org/10.25130/tjes.20.3.09

Ates, A. (2016). Mechanical properties of sandy soils reinforced with cement and randomly distributed glass fibers. *Journal of Engineering*. 96: 295-304.

Bater, M., Ahmadi, H., Abedi Koupai, J., Emadi, R. (2017 b). The Effect of Curing Time on Compressive and Tensile Strength of Traditional Kahgel. *JHRE*. *36*(157), 69-86. URL: http://jhre.ir/article-1-1282-fa.html (in Persian)

Bater, M., Abedi, J., Ahmadi, H., & Emadi, R. (2017 a). The effect of tectosilicates micronized additives on physical and mechanical properties improvements of Cob (Kahgel) plaster. *Journal of Structural and Construction Engineering*, *4*(1), 63-80. doi: 10.22065/jsce.2017.43832 (in Persian)

Calatan, Gabriela, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. Procedia Technology. *Journal of Engineering*. 22: 259-265.

Corrêa, Andréa Aparecida Ribeiro, Lourival Marin Mendes, Normando Perazzo Barbosa eds. (2015). Incorporation of bamboo particles and synthetic termite saliva in adobes. *Construction and Building Materials*. 98: 250-256.

Degirmenci, N. (2008). The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. *Construction and Building Materials* 22:1220–1224.

Elahi, T. E., Shahriar, A. R., & Islam, M. S. (2021). Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 277, 122367.

Esmaily A, Ghalehnovi M. (2012). The in fluence of palm fibres and lime as natural stabilizer on the mechanical properties of adobe, (in environmental condition contain 35% of humidity). *JHRE*. *31*(138), 53-62. URL: http://jhre.ir/article-1-188-fa.html (in Persian)

Ghaforifard, Z., Khabiri, M. M. (2022). Improving the performance of adobe paving of sidewalks and rural passages using additives. *JHRE*. *41*(179), 91-105. doi: 10.22034/41.179.91 (in Persian)

Hejazi, M., Hashemi, M., Jamalinia, E., Batavani, M. (2015). Effect of Additives on Mechanical Strengths of Adobe Made From Soils of Isfahan. *JHRE*. *34*(151), 67-80. URL: http://jhre.ir/article-1-832-fa.html (in Persian)

Islam, M. S., Elahi, T. E., Shahriar, A. R., & Mumtaz, N. (2020). Effectiveness of fly ash and cement for compressed stabilized earth block construction. *Construction and Building Materials*, 255, 119392.

Jafari, M. M., Bagheripour, M. H., & Lakzadeh, M. (2022). Experimental Study of the Effect of Polypropylene Fiber on Mechanical Properties of Lime and Cement Stabilized Soil. *Karafan Journal*, *19*(1), 59-81. doi: 10.48301/kssa.2021.278961.1449 (in Persian)

Kargar, N., Shafaat, A., Veiseh, S. (2023). Construction of compressed bricks using carpet waste residues and their reinforcement with stabilizer. *JHRE*. *42*(182), 111-124. doi: 10.22034/42.182.111 (in Persian)

Masoumi, E., Ajalloeian, R., Nourbakhsh, A., Bayat, M. (2022). Increase of Resistance Parameters of Clay Soils in East Isfahan by Geopolymer Process and Reinforced with Polypropylene Fibers and Comparison with Soil Stabilization with Cement. jwss 2022; 26 (3) :109-125. URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4196-fa.html (in Persian)

Mirabi Banadaki, H., & Morshed, R. (2020). Experimental investigation on the NSM retrofitted adobe walls under cyclic lateral loading. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *52*(9), 2227-2242. doi:


[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]

10.22060/ceej.2019.16108.6127 (in Persian)

Mohammadi, H., Eslamihassanabadi, A., & Morshed, R. (2022). Experimental evaluation into improving the mechanical properties of adobe using palm fibers. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, *54*(6), 2321-2342. doi: 10.22060/ceej.2021.19652.7222 (in Persian)

Namvar, S., Zeini, M. (2019). The Effect of Sodium Silicate and Acrylic on Physical and Mechanical Parameters of Thatch Mortar. *JHRE*. *38*(168), 51-60. doi: 10.22034/38.168.51 (in Persian)

Omidvari, S. (2022). An analysis of the Methods of Strengthening Adobe Structures with Emphasis on Reinforcement Elements According to clay regulations and standards in New Zeland, Morocco, Peru and the United States. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, *9*(14), 241-260. doi: 10.29252/ahdc.2021.15167.1435 (in Persian)

Rivera, J. F., de Gutiérrez, R. M., Ramirez-Benavides, S., & Orobio, A. (2020). Compressed and stabilized soil blocks with fly ash-based alkali-activated cements. *Construction and Building Materials*, 264, 120285.

Rodriguez Cuervo, L. S. (2020). Adobe bricks with sugarcane molasses and gypsum to enhance compressive strength in the city Cogua, Colombia. Revista De La Construcción. *Journal of Construction.* 19(3), 358–365.

Roohbakhshan, A., & Kalantari, B. (2013). Stabilization of Clayey Soil with Lime and Waste Stone Powder. *International Journal of Scientific Research in Knowledge (IJSRK)*, 1(12): 547-556. (in Persian)

Sahlabadi, S. H., Bayat, M., Mousivand, M., & Saadat, M. (2023). Effect of Basalt and Polypropylene Fibers on Unconfined Compressive Strength of a Cement-Stabilized Clay Soil. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, *14*(3), 2611-2624. doi: 10.22119/jte.2020.120821 (in Persian)

Vatani Oskouei, A., Afzali, M., Madadipour, M., Bakhshi, A. (2016). Reinforcement Approach in Experimental Investigations of Mud Brick Wall under Diagonal Tension. *JHRE*. *35*(154), 107-124. URL: http://jhre.ir/article-1-925-fa.html (in Persian)

Zhang, J., Chen, W., Li, Z., Wang, X., Guo, Q., & Wang, N. (2015). Study on workability and durability of calcined. *Materials Sciences and Applications*, 831-837.

DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105

[ Downloaded from jhre.ir on 2026-11-02 ]

[ DOI: https://doi.org/10.22034/44.190.105 ]