University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Reinforcement of the microstructure of gypsum board composite with modified calcium carbonate, sulfonate, and starch to reduce water absorption and increase mechanical strength

Seyedeh Raheel Chalak[1*] | Saeedreza Farrokh Payam[2] | Ali Bayatkashkouli[3] | Hossein Ali Rahdar[4]

1. Corresponding author, Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol Iran. Email: sydehrahil.chalack@pgs.uoz.ac.ir
2. Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir
3. Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: ali.bayatkashkoli@uoz.ac.ir
4. Department of Civil-Structural Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: rahdar@uoz.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 09 November 2023
Revised: 26 December 2023
Accepted: 21 January 2024
Published online: 10 March 2024

Keywords:
Compression strength,
Gypsum board,
Ligno sulfanate
Mecroscopic texture.

ABSTRACT

This research was conducted to enhance the strength and reduce the water absorption of gypsum board. Initially, the effect of unbleached fiber was examined, followed by an investigation into the impact of calcium carbonate modified with stearic acid, lignosulfonate, polyvinyl alcohol, corn starch, and tapioca on the flexural strength of the samples. These additives were incorporated into the plaster at varying levels to determine the most effective amount for improving the properties of the gypsum board, including bending strength, through trial and error. The compressive strength, water absorption, density, and microstructure of samples from optimal treatments were analyzed. The results revealed that stearic acid formed a coating layer on the calcium carbonate particles, reducing moisture absorption to approximately 1.1 times that of untreated fibers compared to the control samples. Furthermore, the compressive strength increased in all treatments with unbleached pulp compared to the control samples, with tapioca starch showing the most significant increase at 2.3 times that of the control samples. Electron microscope images displayed a uniform distribution of gypsum fibers and crystals, resulting in a homogeneous texture and proper connection between them. Despite falling into the low-density category (0.74 g/cm3), the optimal treatment samples exhibited higher compressive strength than the minimum standard value. The produced gypsum boards demonstrated standard resistance and appropriate water absorption.

Cite this article: Chalak, S.R., Farrokh Payam, S.R., Bayatkashkouli, A., Rahdar, H.A. (2024). Rengforcement the microstructure of gypsum board composite with modified calcium carbonate, sulfonate and starch in order to reduce water absorption and increase mechanical Strengthening. *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (4), 341-353. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.367884.1267

© The Author(s) **Publisher:** The University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.367884.1267

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

تقویت ریزساختار کامپوزیت چوب گچ با کربنات کلسیم اصلاح‌شده، سولفانات و نشاسته به‌منظور کاهش جذب آب و افزایش مقاومت مکانیکی

سیده راحیل چالاک[۱*] | سعیدرضا فرخ‌پیام[۲] | علی بیات کشکولی[۳] | حسینعلی رهدار[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: sydehrahil.chalack@pgs.uoz.ac.ir

۲. گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: farrokhpayam@uoz.ac.ir

۳. گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: ali.bayatkashkoli@uoz.ac.ir

۴. گروه مهندسی عمران–سازه، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: rahdar@uoz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه:
تخته گچ،
ساختار میکروسکپی،
لیگنوسولفانات،
مقاومت فشاری.

چکیده

این تحقیق جهت سبک‌سازی، مقاوم‌سازی چوب گچ به‌همراه کم‌کردن تمایل آن به جذب آب انجام شده است. بدین‌منظور، ابتدا اثر متغیر الیاف رنگبری نشده و سپس اثر متغیرهای کربنات کلسیم اصلاح‌شده با اسید استئاریک، لیگنوسولفانات، پلی‌ونیل الکل، نشاستهٔ ذرت و تاپیوکا بر روی مقاومت خمشی نمونه‌ها بررسی شد. این مواد افزودنی در سطوح مختلف به گچ اضافه شد تا مقدار بهینه جهت بهبود خصوصیات تخته گچ از جمله مقاومت خمشی با آزمون و خطا به‌دست آید. مقاومت فشاری، جذب آب، چگالی و ریز ساختار نمونه‌های تیمارهای بهینه بررسی شد. نتایج نشان داد اسید استئاریک، یک‌لایهٔ پوششی بر ذرات کربنات کلسیم ایجاد و دسترسی رطوبت را تا حدود ۱/۱ برابر در الیاف رنگبری نشده نسبت به نمونه‌های شاهد به حداقل می‌رساند. مقاومت فشاری در کلیهٔ تیمارهای خمیر رنگبری نشده نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش داشت و این افزایش در نشاسته تاپیوکا مشهودتر بود و نسبت به نمونه‌های شاهد ۲/۳ برابر شد. در نهایت، تصاویر میکروسکوپ الکترونی توزیع یکنواخت الیاف و بلورهای گچ و در نتیجه بافت همگن و اتصال مناسب بین آن‌ها را نشان داد. حتی با توجه به اینکه نمونه‌های تیمارهای بهینه در رده چگالی کم (۰/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) قرار گرفتند، ولی مقاومت فشاری بیشتری نسبت به حداقل مقدار استاندارد داشتند. تخته گچ‌های تولید شده دارای حداقل مقاومت استاندارد و جذب آب مناسبی می‌باشند.

استناد: چالاک، سیده راحیل؛ فرخ‌پیام، سعیدرضا؛ بیات کشکولی، علی؛ رهدار، حسینعلی (۱۴۰۲). تقویت ریزساختار کامپوزیت چوب گچ با کربنات کلسیم اصلاح‌شده، سولفانات و نشاسته به‌منظور کاهش جذب آب و افزایش مقاومت مکانیکی. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۶ (۴)، ۳۵۳-۳۴۱. DOI:http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.367884.1267

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2024.367884.1267

۱. مقدمه

چوب گچ از محصولات بر پایهٔ گچی است که امروزه کاربرد فراوانی اعم از ساختمان‌سازی و زیست‌پزشکی پیدا کرده است. چوب گچ، کامپوزیتی از مادهٔ زمینه‌ای گچ و پرکنندهٔ مادهٔ لیگنوسلولزی است که علی‌رغم داشتن مزیت‌هایی همچون عدم انتشار گاز فرمالدئید، مقاوم به آتش، استحکام مناسب در برابر زلزله، امکان تولید بالا، کارکردن راحت و دوستدار محیط‌زیست، بسیار ترد و شکننده بوده و در مقابل رطوبت، مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، در پروژه‌های تحقیقاتی انجام شده، انواع مختلفی از منابع لیگنوسلولزی مانند ضایعات کشاورزی، باگاس و الیاف کنف و خمیرکاغذ استفاده شده است. این مواد با توجه به خصوصیات خود، برخی از ویژگی چوب گچ از جمله هدایت حرارتی، تردی و چقرمگی را تا حدودی تحت تأثیر قرار داده‌اند. اما به‌هرحال این مواد نتوانستند مشکل ذاتی و بارز گچ که همان جذب آب بالا می‌باشد را حل نمایند. مسئلهٔ آب‌دوستی و تردی کربنات کلسیم باید قبل از استفاده برطرف گردد. تیمار سطحی پرکننده‌ها برای بهبود خصوصیات نهایی این مادهٔ مرکب توسط انواع اصلاح‌کنندهٔ سطح، مانند سیلان‌ها، فسفات‌ها، تیتان‌ها و اسیدهای چرب انجام شده است [۱]. از میان آن‌ها، اسیدهای چرب بیشترین مادهٔ مصرفی برای پوشش سطحی ذرات کربنات کلسیم بوده است [۲].

با اضافه نمودن مواد آلی نظیر الیاف گندم و باگاس و همچنین الیاف شیشه به ترکیب چوب گچ، خواص الاستیک و خمشی آن بهبود پیدا می‌کند. بهترین مقاومت در برابر آب را نتیجهٔ ترکیب ۲۰ درصد الیاف چوب و ۱۵ درصد الیاف باگاس از خود نشان دادند [۳]. گچ اصلاح‌شده با پلی‌استایرن جهت سبک‌سازی محصول، نزدیک به ۵۰ درصد چگالی تخته گچ را نسبت به نمونهٔ شاهد کاهش می‌دهد و از طرفی رسانایی حرارتی آن را بسیار کمتر می‌کند [۴، ۵]. تخلخل‌سنجی با میکروسکوپ الکترونیکی نشان داد که نوع و کیفیت سطح سنگ‌دانه‌ها به‌طور قابل‌توجهی بر شکل و اندازهٔ بلورهای گچ تأثیر می‌گذارد. با افزایش زبری سطح ذرات، مقاومت ترکیب‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند [۶].

همچنین اگر ذرات گچ با پشم معدنی اصلاح گردد، مدول گسیختگی کاهش یافته و رفتار محصول در برابر آتش بهبود می‌یابد [۷، ۸]. جهت دستیابی به گچ سبک و بهبود خواص حرارتی، از پلی‌آمید [۸] و کاهش تراکم بافت کامپوزیت و افزایش چقرمگی از الیاف علف دریایی و چوب کاج [۹] و جهت تقویت خواص مکانیکی و فیزیکی از فیبر ضایعات هرس نخل به کامپوزیت چوب گچ [۱۰]، استفاده می‌شود. افزودن الیاف کناف با الیاف کتان، بر زمان گیرش گچ و خواص مکانیکی کامپوزیت مؤثر بوده و الیاف کنف برخلاف کتان گیرش گچ را به تأخیر می‌اندازد [۱۱].

اسید استئاریک ($C_{18}H_3O_2$) یکی از انواع اسیدهای چرب اشباع بوده که از چربی‌ها و روغن‌های حیوانی و گیاهی به‌دست می‌آید و در ساخت محصولات دارویی به‌دلیل ارزان‌قیمت بودن، زیست‌سازگار و همچنین سمیت کم استفاده می‌شود [۱۲]. در اثر گرم‌شدن تا دمای ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد، سبب ایجاد سطوحی زبرمانند و پرزدار شده که لازمهٔ تشکیل پیوند بین اجزا می‌باشد [۱۳]. همچنین اسید استئاریک به‌عنوان یک واکنش‌گر عمل می‌کند [۱۴] و یک نوع کربوکسیلیک با زنجیره متشکل از ۱۸ کربن بوده و بر ساختار منافذ و عملکردهای مکانیکی ترکیبات تأثیر گذاشته و این تأثیرات در محیط‌های غیرقطبی بارزتر خواهد بود [۱۷–۱۵]. سطوح کربنات کلسیم مثبت بوده و pH اسیدی داشته، از این‌رو اسید استئاریک با داشتن بار منفی و زنجیرهٔ بلند، مورد مناسبی برای جذب در سطح کلسیت می‌باشد [۱۸]. اگرچه اسید استئاریک ماده‌ای واکس مانند بوده و به‌عنوان یک سورفاکتانت همه‌کاره و ارزان قیمت اغلب برای بهبود خواص آب‌گریزی کربنات کلسیم استفاده می‌شود [۱۹]، اما ممکن است به‌واسطهٔ مادهٔ معدنی کربنات کلسیم مقاومت خمشی را کاهش دهد. به همین دلیل جهت بهبود مقاومت خمشی، نشاستهٔ کاتیونی تاپیوکا به نسبت بهینه استفاده می‌گردد [۲۰].

لیگنو سولفونات یک پلیمر طبیعی است که در ساختار گیاهان وجود داشته و جزء قدیمی‌ترین افزودنی‌های شیمیایی مورد مصرف در صنعت بتن می‌باشند. لیگنوسولفونات‌ها به‌عنوان روان‌ساز بتن یا کاهندهٔ آب بتن به مصرف می‌رسند. لیگنوسولفونات همچنان جایگاه خوبی در بین مواد کاهندهٔ آب بتن دارد. امروزه لیگنوسولفونات‌ها به‌تنهایی و یا ترکیب با دیگر مواد شیمیایی به وفور در بتن مصرف می‌شوند [۲۱].

پلی‌ونیل الکل یک پلیمر مصنوعی است که به‌طور گسترده در صنایع مختلف از جمله صنعت‌های چسب‌سازی و رزین مورد استفاده قرار می‌گیرد و از پلی‌وینیل استات طی فرآیند هیدروکسیلی شدن جزئی یا کامل مشتق شده است. این پلیمر

زیست‌سازگار با طبیعت، محلول در آب و دارای مقاومت بسیار عالی شیمیایی می‌باشد [۲۲]. این پلیمر حل‌شدنی در آب، در کاربردهای مختلفی از جمله مواد چسبندگی، پوشش‌دهی و ساختمان‌سازی استفاده می‌شود.

باتوجه به محدودیت منابع اولیهٔ چوبی و وفور منابع معدنی در کشور، ساخت کامپوزیت پرکاربرد چوب گچ در اشکال مختلف، ارزان، آسان و بدون نیاز به فناوری‌های پیچیده می‌باشد. هدف از این پژوهش، بر اصلاح این مادهٔ مرکب با همپوشانی اسید استئاریک و عملکرد نشاستهٔ کاتیونی بر پیوند بین ترکیبات سولفات کلسیم و الیاف لیگنوسلولزی، افزایش مقاومت‌ها و در سطح بالاتر کاهش جذب آب، متمرکز شده است. ایجاد یک‌لایهٔ عایق ضد رطوبت مهم‌ترین دستاورد این تحقیق خواهد بود، مشروط بر اینکه تعامل میان پنج عنصر اصلی این کار یعنی لیگنوسولفانات، نشاسته تاپیوکا، نشاسته ذرت، الیاف خمیر باگاس و مادهٔ معدنی کربنات کلسیم اصلاح‌شده با اسید استئاریک، واکنش‌های اصلی میان ذرات معدنی گچ و آب را به‌سمت تشکیل پیوندهای قوی‌تر (حداقل به‌مانند قبل یعنی بدون استفاده از مواد افزودنی) پیش ببرد. به‌عبارت‌دیگر کربنات کلسیم اصلاح‌شده زمانی قابل‌ارائه خواهد بود که از جنبه‌های ساختاری، پیوندهای برقرار شده میان گچ و آب را تضعیف نکند، باعث بروز معایبی چون پدیدارشدن ترک‌ها بر سطح کامپوزیت نشود و موجب تقویت این مادهٔ مرکب شود.

نام تجاری چوب گچ در ایران کناف یا گچ‌برگ می‌باشد. این محصول انواع بسیار متنوعی دارند که شامل افزونه و افزودنی‌های متفاوت است. مواد افزودنی برای بهبود مقاومت فیزیکی و مکانیکی گچ‌برگ می‌باشد و یا گچ‌برگ با الیاف طبیعی و مصنوعی مانند الیاف پلی‌اکریلیت، مو، پشم و مواد لیگنوسلولزی تقویت می‌شود. انواع بسیار متنوعی از آن در حال حاضر در بازار ایران تولید و استفاده شده است. تأثیر نوع و شکل پرکنندهٔ چوبی بر خواص کلی کامپوزیت چوب گچ زیاد تحقیق شده، اما مطابق با بررسی‌های انجام شده، در خصوص تعامل میان فاز پرکننده و مادهٔ زمینه که هر دو آب‌دوست هستند با مواد افزودنی جدید که قرار است خصوصیت جذب آب این ترکیب را به حداقل برساند، مطالعات کاربردی چندانی دیده نمی‌شود. حجم استفاده از این کامپوزیت در صنعت ساخت و ساز و گرایش روزافزون به این مادهٔ ساختمانی ارزان قیمت، چیزی جز ضرورت کارهای تحقیقاتی بیشتر را آشکار نمی‌سازد. بنابراین هدف این تحقیق معرفی یک کامپوزیت سبک چوب گچ با ریزساختار ضد رطوبتی است.

۲. روش شناسی پژوهش

مادهٔ معدنی اصلی به‌عنوان مادهٔ زمینه، گچ ساختمانی از نوع سولفات کلسیم ($CaSO_4$) تولید شده در کارخانهٔ امید سمنان بود که ترکیب اصلی آن بتا همی‌هیدرات می‌باشد. سولفات کلسیم قبل از استفاده، الک شده و ذرات ریزتر مورد استفاده قرار گرفت. پرکننده از خمیر باگاس رنگ‌بری نشده انتخاب شد که از شرکت کاغذسازی پارس واقع در منطقهٔ هفت‌تپه از توابع استان خوزستان تهیه شد. این خمیر از فرآیند خمیرسازی به روش سودا به‌دست می‌آید. اسید استئاریک، لیگنوسولفانات، کربنات کلسیم و نشاسته کاتیونی تاپیوکا به‌صورت آماده و از شرکت‌های تولیدکنندهٔ داخلی تهیه شد. خصوصیات مواد مورد استفاده در این تحقیق به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات مواد مورد استفاده

مواد مورد استفاده	خصوصیات
خمیر رنگبری نشده باگاس	میزان الیاف ۸۰–۸۵ درصد، میزان لیگنین ۱۰–۹ درصد، خاکستر: ۱–۱/۵ درصد و فرآیند سودا
لیگنوسولفانات سدیم	پودر قهوه‌ای، بوی ملایمی، pH برابر ۸، حلال در آب، استخراج شده از چوب صنوبر، جرم مولکولی ۱۰۶–۱۰۳ گرم بر مول و تهیه شده از شرکت آویژه شیمی
نشاستهٔ تاپیوکا	بدون گلوتن از ریشهٔ گیاه کاساو، مواد مغزی ناچیز، در ۱۰۰ گرم: ۱۲۹ کیلو کالری انرژی، ۳/۹ گرم چربی، ۱۴۵ گرم سدیم، ۹۲ گرم پتاسیم، ۱۵ گرم قند، پروتئین ۲ گرم، روشنی ۹۴/۵ درصد، ویسکوزیته ۹۱۹ BU، خاکستر ۰/۱۶ درصد و pH برابر ۶/۱۳
نشاستهٔ ذرت	دانهٔ ذرت خشک و خام آسیاب شده، بافت نرم ولطیف، پودر سفید رنگ، جرم مولی ۱۶۲/۱۴ گرم بر مول، چگالی ۰/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، فرمول مولکولی $C_6H_{10}O_5$ و pH برابر ۶/۵
سولفات کلسیم	گچ سمنان به فرمول $CaSo_4$، زمان گیرش ده دقیقه و pH برابر ۷/۵
استئاریک اسید	جامد سفید رنگ، محلول در اتانول، اتر و کلروفرم، چگالی ۰/۹۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، نقطهٔ ذوب ۶۷–۶۲ درجهٔ سانتی‌گراد، نقطهٔ جوش ۳۶۱ درجهٔ سانتی‌گراد، جرم مولکولی ۲۸۴/۴۸ و فرمول مولکولی $C_{18}H_{36}O_2$

این تحقیق در سه مرحله انجام شد. جدول ۲ مراحل انجام کار را نشان می‌دهد. نمودار تصویری مراحل انجام کار در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. مراحل انجام تحقیق

مراحل	افزونه و افزودنی	آزمون
۱	الیاف رنگبری نشده (۵، ۸ و۱۰درصد)	مقاومت خمشی
	بهترین تیمار مرحلهٔ اول و سدیم لیگنوسولفانات (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)،	مقاومت خمشی
۲	نشاستهٔ ذرت (۲، ۴ و ۶ درصد)، نشاستهٔ تاپیوکا (۲، ۴ و۶ درصد)،	درصد جذب آب
	کربنات کلسیم اصلاح‌شده با استئاریک اسید (۰/۵، ۱/۵ و ۳ درصد) و پلی‌ونیل الکل (۵ درصد)	چگالی
۳	شاهد ۱ (گچ خالص)، شاهد ۲ (۵ درصد الیاف رنگبری نشده و گچ)، ترکیب بهترین شرایط بهینه	مقاومت خمشی، مقاومت فشاری، درصد جذب آب، چگالی، بررسی ریز ساختار

شکل ۱. مراحل ساخت نمونه‌های تیمارها ۱- الیاف رنگبری نشده، ۲- پلی‌ونیل الکل، ۳- اسید استئاریک، ۴- لیگنوسولفانات، ۵- نشاستهٔ ذرت، ۶- نشاستهٔ تاپیوکا، ۷- پخت نشاسته، ۸- کربنات کلسیم اصلاح‌شده، ۹- قالب‌گیری گچ‌برگ، ۱۰- نمونه‌های آزمون مقاومت خمشی، چگالی و جذب آب و ۱۱- نمونه آزمون مقاومت فشاری.

در مرحلهٔ اول، گچ به‌ترتیب با خمیر باگاس رنگبری نشده در سه سطح ۵، ۸ و ۱۰ درصد بدون هیچگونه افزودنی ترکیب شد. زمان گیرش و نسبت آب مصرفی گچ قبل از اختلاط بررسی شد. مخلوط همگن شده به‌صورت دوغاب در یک قالب مکعبی با ابعاد ۵۰*۵۰ سانتی‌متر ریخته شد، به‌گونه‌ای که سطح صاف و یکنواخت ایجاد شود. نمونه‌ها پس از قرارگیری در هوای محیط و سخت شدن، اندازه‌بری شدند. نمونه در آون با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد تا رطوبت دو درصد خشک و سپس مقاومت خمشی طبق استاندارد INSO۲۴۲۲ بر روی نمونه‌ها در مرحلهٔ اول انجام شد. بهترین تیمار از نظر مقاومت خمشی برای مرحلهٔ بعد انتخاب شد.

در مرحلهٔ دوم، کربنات کلسیم با اسید استئاریک اصلاح شد. ابتدا سطوح ذرات کربنات کلسیم در یک فرآیند اکسترود با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد، فشار ۲/۷۱ پاسکال در دو سطح ۱/۵ و ۳ درصد وزن خشک کلسیت با پودر اسید استئاریک مخلوط شد تا

کربنات کلسیم پوشش‌دار تشکیل شود. سپس این کربنات کلسیم اصلاح‌شده به بافت اصلی تخته گچ اضافه شد. لیگنوسولفانات در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و پلی‌ونیل الکل ۵ درصد، نشاستهٔ تاپیوکا و نشاستهٔ ذرت در دو سطح ۲ و ۴ درصد نیز به گچ اضافه شد. تخته گچ‌های ساخته شده از هرکدام از افزودنی‌ها به‌صورت مجزا مطابق مرحلهٔ مقدماتی مورد آزمایش مقاومت خمشی قرار گرفتند. بهترین نتیجه از مرحلهٔ دوم نیز همچون مرحلهٔ اول در بخش آزمایش مقاومت خمشی برای مرحله نهایی مشخص شد.

در مرحلهٔ آخر، معیارهای ارزیابی کنترل کیفیت استاندارد ازجمله مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و خصوصیات فیزیکی شامل درصد جذب آب، تغییر ضخامت و چگالی بر روی تیمار بهینه انجام شد. در این مرحله، تخته گچ‌ها براساس بهترین نتایج مراحل قبل برای آزمون مقاومت فشاری طبق استاندارد INSO۵۴۸۲ و خصوصیات فیزیکی طبق استانداردهای INSO۳۴۹۲ و INSO۵۷۸۵ ساخته و آزمون شد. طرز ساخت نمونهٔ فشاری به این شرح می‌باشد که قالب‌های به ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر را با لایهٔ نازکی از روغن یا سایر مواد رهاساز پوشانده و بعد مخلوط مورد نظر را درون قالب‌ها ریخته و بعد از شکل‌گیری اولیهٔ نمونه توسط پمپ هوا و چکش از قالب خارج شد و حدود یک هفته در دمای محیط خشک شدند. سپس در محفظهٔ آون، ۱۶ ساعت خشک شده و بعد از خنک‌سازی بلافاصله تحت آزمون مقاومت فشاری مطابق استاندارد INSO ۵۴۸۲ قرار گرفت.

بنابراین مقدار الیاف و مواد افزودنی که بهترین مقاومت خمشی به تخته گچ می‌دهد در مرحلهٔ اول و دوم مشخص شد و سپس براساس این نتایج، در مرحلهٔ سوم، تخته گچ‌هایی ساخته شد و مناسب‌ترین آن‌ها از نظر مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و خصوصیات فیزیکی انتخاب گردید. علاوه بر آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی معمول، آزمون‌هایی برای ارزیابی ویژگی‌های ریخت‌شناسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی تیمارهای بهینه انجام شد. یکی از ابزارهای پرکاربرد برای آنالیز ریخت‌شناسی ریزساختارها در حوزهٔ میکروسکپی، میکروسکوپ الکترونی روبشی است. در این روش، قطعه‌ای به ابعاد یک میلی‌متر از نمونه جدا و لایه نشانی نمونه در روی صفحات پوشش‌دهندهٔ کربنی انجام شد. بعد از این مرحله، در محفظهٔ خلاء قرار داده شد و سپس بعد از ده دقیقه در معرض تابش تفنگ الکترونی قرار گرفت. در نتیجه برخورد پرتوی الکترونی به سطح نمونه و از طریق سیگنال‌های دریافت شده از سطح، این سیگنال‌ها با آشکارساز به تصویر تبدیل می‌شود. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل برای هر سه مرحله یعنی ساخت گچ‌برگ با؛ ۱- الیاف، ۲- مواد افزودنی و ۳- بهینه‌ترین ترکیب شرایط انجام شد و بررسی معنی‌دار بودن نتایج و مقایسهٔ میانگین داده‌ها در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها با روش کمترین تفاوت معنی‌داری (LSD[1]) انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

تحقیق انجام شده بر روی چوب گچ در مرحلهٔ اول نشان داد که تخته گچ حاصل از ۵ درصد الیاف خمیر کاغذ، سازگاری مناسب‌تری داشته و به‌عنوان تختهٔ معیار برای ادامهٔ فرآیند انتخاب گردید. نتایج آزمون مقاومت خمشی در این مرحله در جدول ۳ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمون مقاومت خمشی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود و نتایج مقایسه میانگین کمترین تفاوت معنی‌داری آزمون مقاومت خمشی نشان می‌دهد که هر سه سطح مقدار الیاف و برای مدول الاستیسیته تمام تیمارها به غیر از مقدار الیاف ۵ و ۸ درصد استفاده شده، در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند.

جدول ۳. مقاومت خمشی نمونه‌های مرحلهٔ اول با درصد الیاف رنگبری نشده متفاوت

مقدار الیاف (درصد)	مقاومت خمشی (نیوتن بر میلی‌متر مربع)	مدول الاستیسته (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
۵	۲/۵۴±۰/۱۸	۲۸۶۷±۱۸۷
۸	۱/۹±۰/۱۸	۲۲۵۷±۲۰۷
۱۰	۱/۱±۰/۱۴	۱۴۶۱±۳۶۰

[1]Least Significant Difference

نتایج مرحلهٔ دوم آزمون مقاومت خمشی مربوط به مخلوط سایر مواد به گچ در جدول ۴ نشان داده شده است. مواد افزودنی در این مرحله شامل کربنات کلسیم اصلاح شده با اسید استئاریک یا همان کربنات کلسیم پوشش‌دار شده (۱/۵، ۳ و ۵ درصد)، لیگنوسولفانات (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)، پلی‌ونیل الکل (۵ درصد)، نشاستهٔ تاپیوکا و ذرت (۲، ۴ و ۶ درصد) است که طبق قاعدهٔ آزمون و خطا در درصدهای مختلف افزوده و بررسی گردید و بهترین نتایج آن در جدول ۴ مشخص شده است. جدول تجزیه واریانس بهترین تیمارها که در جدول ۴ ذکر شده، در سطح ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. نتایج مقایسهٔ میانگین کمترین تفاوت معنی‌داری تیمارهای جدول ۴ برای آزمون درصد جذب آب نشان می‌دهد که تمام تیمارها به غیر از نمونه‌های شاهد، نشاستهٔ تاپیوکا و پلی‌ونیل الکل، برای آزمون چگالی تمام تیمارها به غیر از شاهد، نشاستهٔ تاپیوکا و کلسیت با همدیگر یا نشاستهٔ ذرت، لیگنوسولفانات و پلی‌ونیل الکل با همدیگر و برای آزمون مقاومت خمشی تمام تیمارها به غیر از شاهد، نشاستهٔ ذرت، لیگنوسولفانات و کلسیت با یکدیگر یا پلی‌ونیل الکل و کلسیت با هم در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با همدیگر داشتند.

جدول ٤. مقاومت خمشی تخته گچ حاصل از مواد افزودنی به گچ با الیاف رنگبری نشده ۵ درصد

مواد افزودنی به تخته گچ و الیاف	درصد جذب آب	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	MOR (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
شاهد (خمیر رنگبری نشده و گچ)	۶۴/۸۹±۰/۶۹	۰/۷۹±۰/۰۱	۲/۵۴±۰/۱۸
۴ درصد نشاستهٔ تاپیوکا	۶۴/۸۳±۰/۳۴	۰/۸±۰/۰۴	۳/۲±۰
۴ درصد نشاستهٔ ذرت	۵۷/۸۷±۰/۷۹	۰/۷۱±۰/۰۴	۲/۸۱±۰/۳۸
۱ درصد لیگنوسولفانات	۴۳/۶۸±۰/۴۷	۰/۷۱±۰	۲/۱۵±۰/۳۱
۵ درصد پلی‌ونیل الکل	۶۶/۶۸±۱/۰۴	۰/۷۳±۰/۰۳	۱/۹۱±۰/۱۸
۱/۵ درصد کلسیت	۶۱//۱ ± ۱/۸۲	۰/۷۹ ± ۰/۰۲	۲/۳۷ ± ۰/۲۱

نتایج حاصل از مرحلهٔ یک و دو برای ساخت نمونه‌های مقاومت فشاری و آزمون‌های مقاومت خمشی، جذب آب و چگالی در مرحلهٔ سوم استفاده شد. مقاومت فشاری نمونه‌ها براساس درصد بهینهٔ تیمار شده در جدول ۵ می‌باشد که براساس جدول تجزیه واریانس، اختلاف این تیمارها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسهٔ میانگین کمترین تفاوت معنی‌داری آزمون مقاومت فشاری نشان داد که همهٔ تیمارها به‌جز تیمارهای ردیف ۲ و ۳ جدول ۵ در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با همدیگر دارند.

جدول ۵. مقاومت فشاری نمونه‌های نهایی

شرح نمونه	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
گچ خالص	۲/۳۶±۰/۰۱
۵ درصد الیاف رنگبری نشده وگچ	۳/۳۵±۰/۲
۵ درصد الیاف رنگبری نشده وگچ، و ۱ لیگنوسولفانات، ۱/۵ درصد کربنات کلسیم اصلاح شده، ۴ درصد نشاستهٔ ذرت و ۵ درصد پلی‌ونیل الکل	۳/۵۶±۰/۱۵
۵ درصد الیاف رنگبری نشده وگچ، ۱درصد لیگنوسولفانات، ۱/۵ درصد کربنات کلسیم اصلاح شده، ۴ درصد نشاستهٔ تاپیوکا و ۵ درصد پلی‌ونیل الکل	۵/۵۲±۰/۲۶

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، نمونهٔ گچ خالص دارای بهترین نوع شکست به‌صورت مخروطی (کله قندی) می‌باشد. با توجه به اینکه محصول ساخته‌شده ترکیبی از چند ماده است، براساس آیین نامهٔ BS EN 12390-3 (2002) شکست مطلوب نمونهٔ مکعبی به‌گونه‌ای است که با افزایش فشار، باید چهار وجه کناری به‌طور مساوی دچار ترک گردد و پس از شکست قطعهٔ باقی‌مانده به‌صورت دو هرم معکوس روی‌هم قرار گرفته یا دو هرم جدا شده باشد. اما نحوهٔ شکست نمونه در شکل ۳ که

مربوط به گچ‌برگ حاوی لیگنوسولفانات،کربنات کلسیم، نشاستهٔ تاپیوکا و پلی‌ونیل الکل است، به‌صورت متلاشی شده می‌باشد. سایر نمونه‌های مورد آزمون نیز متلاشی شدند.

شکل ۲. نمونهٔ شاهد حاوی گچ خالص بعد از شکست

شکل ۳. نمونهٔ حاوی الیاف رنگبری نشده، لیگنوسولفانات، کربنات کلسیم اصلاح‌شده، نشاستهٔ تاپیوکا و پلی‌ونیل الکل بعد از شکست

خصوصیات مقاومت خمشی، چگالی و درصد جذب آب تیمارها براساس درصد بهینهٔ انتخاب شده، در جدول ۶ مشاهده می‌شود و جدول تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. نتایج مقایسهٔ میانگین کمترین تفاوت معنی‌داری آزمون درصد جذب آب نشان می‌دهد که همهٔ تیمارها به غیر از ردیف ۱ و ۲ جدول ۶، برای آزمون چگالی، همهٔ تیمارها به غیر از ردیف ۲ و ۳ جدول ۶ و برای مدول خمشی، همهٔ تیمارها به غیر از ردیف ۱ و ۲ جدول ۶ در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند.

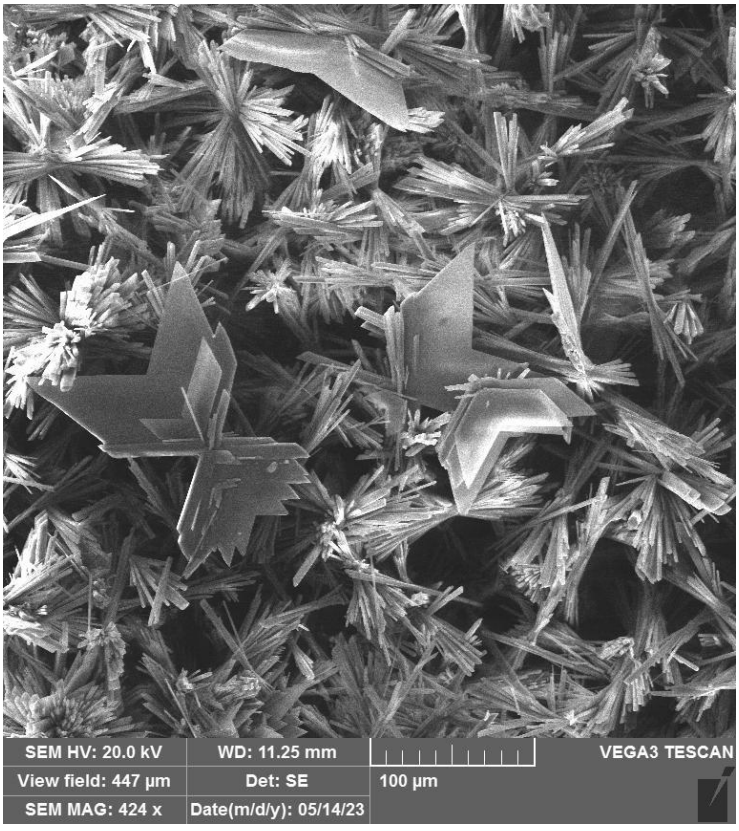
چگالی گچ‌برگ براساس استاندارد ملی ایران ۲۷۸۶ در سه ردهٔ کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی می‌شوند. محدودهٔ چگالی کم بین ۰/۶ تا ۰/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. حتی با توجه به اینکه نمونه‌های تیمارهای بهینه در ردهٔ چگالی کم (۰/۷۴ گرم بر

سانتی‌متر مکعب) قرار گرفتند (جدول ۶)، ولی مقاومت فشاری بیشتری نسبت به حداقل مقدار استاندارد داشتند. حداقل مقدار مقاومت فشاری گچ‌برگ با چگالی کمتر از ۰/۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب براساس استاندارد ملی ایران، ۵۰۳۲ برابر ۳/۵ مگا پاسکال می‌باشد. جدول ۵ نشان می‌دهد که تیمارهای بهینهٔ انتخابی مقاومت فشاری مساوی یا بیشتر از حداقل مقدار معیار داشتند.

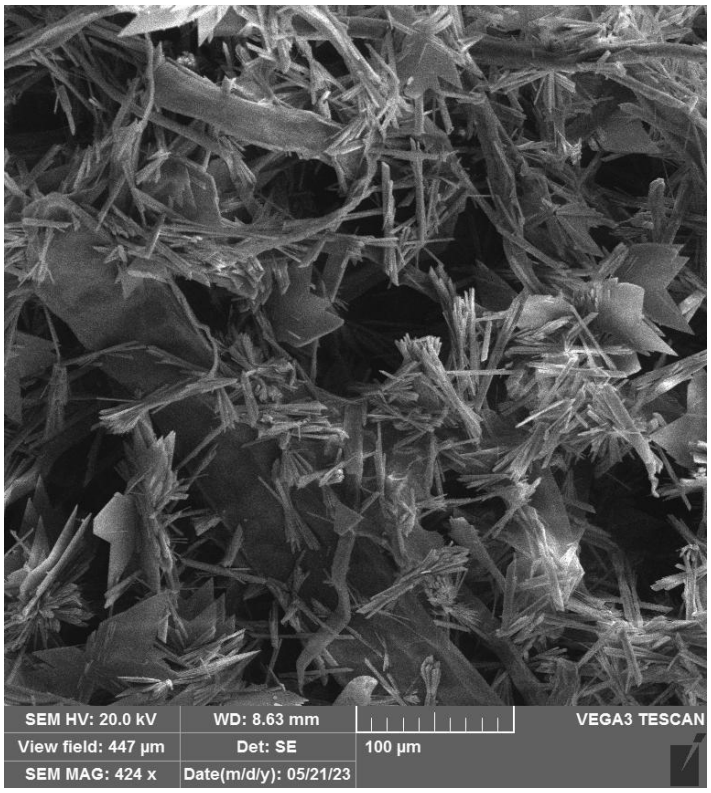
جدول ٦. خصوصیات تخته گچ‌های ساخته‌شده با مواد افزودنی دارای درصد بهینهٔ انتخابی

شرح تیمار نهایی	درصد جذب آب	MOR (نیوتن بر میلی‌متر مربع)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
شاهد [خمیر رنگبری نشده و گچ]	۶۴/۸۹±۰/۶۹	۲/۵۴±۰/۱۸	۰/۷۹±۰
۵ درصد الیاف رنگبری نشده، ۴ درصد نشاستهٔ ذرت، ۵ درصد پلی‌ونیل الکل، ۱ درصد لیگنوسولفانات و ۱/۵ کربنات کلسیم پوشش‌دارشده	۶۲/۳۴±۱/۲۷	۲/۷۷±۰/۳۸	۰/۷۴±۰/۰۱
۵ درصد الیاف رنگبری نشده، ۴ درصد نشاستهٔ تاپیوکا، ۵ درصد پلی‌ونیل الکل، ۱ درصد لیگنوسولفانات و ۱/۵کربنات کلسیم پوشش‌دارشده	۶۹/۸۹±۰/۷۷	۱/۷۲±۰/۰۱	۰/۷۴±۰/۰۱

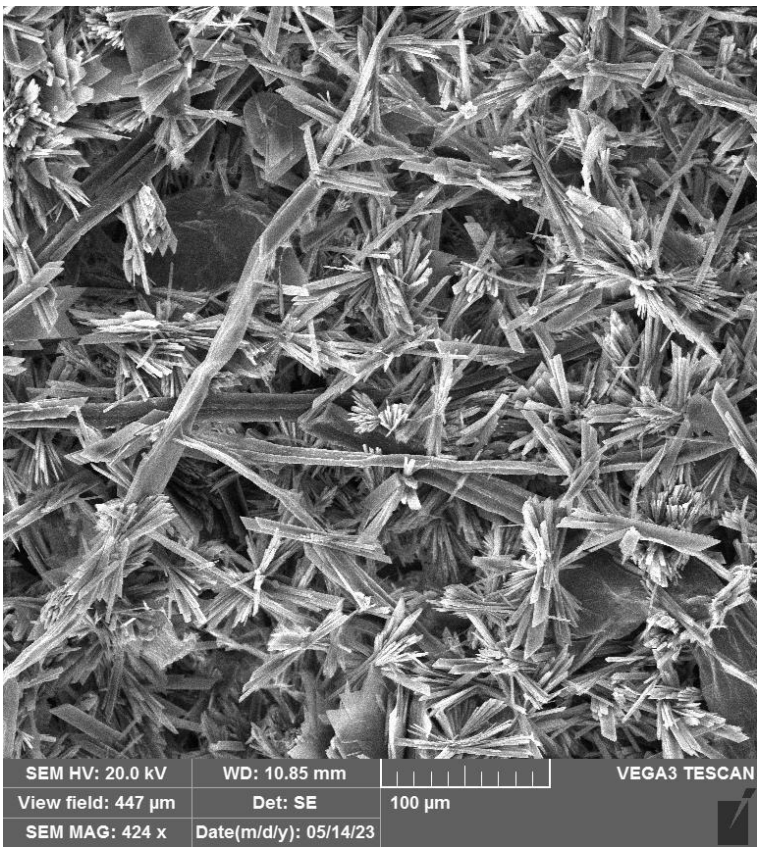
نتایج ریز ساختار میکروسکوپ الکترونیکی روبشی به شرح شکل‌های ۴ تا ۶ می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی، توزیع یکنواخت الیاف و بلورهای گچ و در نتیجه بافت همگن و اتصال مناسب بین آن‌ها را نشان داد. شکل ۴ مربوط به نمونه گچ خالص بوده و بلورهای گچ به‌خوبی قابل رویت هستند. شکل ۵ مربوط به ترکیب الیاف رنگبری نشده با گچ می‌باشد که تنیده شدن الیاف رنگبری نشده با گچ مناسب می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ روبشی ۶ که نمونه‌های دارای ۵ درصد الیاف رنگبری نشده، ۴ درصد نشاستهٔ ذرت، ۵ درصد پلی‌ونیل الکل، ۱ درصد لیگنوسولفانات و ۱/۵ درصد کربنات کلسیم پوشش‌دار شده را نشان می‌دهد که سطح پوششی قابل قبولی دارند ولی بلورهای گچ به‌وضوح در این تصاویر قابل رویت و متمایز هستند.



شکل ٤. تصویرمیکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه گچ خالص با بزرگنمایی ۴۲۴X



شکل۵. نمونهٔ ۵ درصد الیاف رنگبری نشده به همراه گچ با بزرگنمایی ۴۲۴X



شکل ٦. نمونه‌های دارای ۵ درصد الیاف رنگبری نشده، ۴ درصد نشاستهٔ ذرت، ۵ درصد پلی‌ونیل الکل، ۱ درصد لیگنوسولفانات و ۱/۵ کربنات کلسیم پوشش‌دارشده با بزرگنمایی ۴۲۴X

افزودن الیاف به ماتریس تخته گچ، مقاومت خمشی را کاهش داده ولی مواد افزودنی به ترکیب سبک‌سازی شده مقاومت بخشیده است و به مقداری مقاومت خمشی و فشاری را بهبود بخشیده است. دلایل این موضوع به شرح زیر است؛ نشاستهٔ ذرت قابلیت پیوندی قابل توجهی را در سطح الیاف و همچنین پیوند بیشتر بین الیاف و بلورهای کلسیت ایجاد نموده است. وقتی پلی‌ونیل الکل با الیاف لیگنو سلولزی واکنش می‌کند، یک پیوند استری ایجاد شده که در آن واحدهای تکراری ونیل الکل به یکدیگر پیوند می‌شوند و زنجیرهٔ پلیمری را تشکیل می‌دهند. این زنجیره‌های پلیمری به سلولز متصل می‌شوند و باعث ایجاد یک پوشش چسبنده روی سطح الیاف لیگنوسلولزی می‌شوند. در این واکنش، پلی‌ونیل الکل با گروه‌های هیدروکسیل موجود در نشاسته واکنش می‌دهد و یک پیوند هیدروژنی ایجاد می‌کند. این واکنش پیوند هیدروژنی باعث ایجاد یک پوشش چسبنده بر روی سطح نشاسته می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک چسب طبیعی و یا ماده‌ای برای افزایش استحکام و لطافت محصولات مورد استفاده قرار گیرد. با اضافه کردن پلی‌ونیل الکل به محلول‌ها و مخلوط‌ها، ممکن است فرآیند پلیمری شدن اتفاق بیافتد که می‌تواند به تشکیل ساختارهای جدید و تغییر در چگالی منجر شود [۲۳]. نشاستهٔ تاپیوکا با لیگنوسولفانات نیز پیوند هیدروژنی ایجاد می‌کند. این پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل موجود در نشاسته و گروه‌های هیدروکسیل موجود در لیگنوسولفانات ایجاد می‌شود و باعث ایجاد پیوند و چسبندگی میان این دو ماده می‌شود. نشاستهٔ ذرت ممکن است به‌عنوان یک مادهٔ پلیمری به ماتریس اضافه شود و تأثیراتی بر خواص مکانیکی کلی محصول نهایی داشته باشد. این تأثیرات به‌طور کلی به افزایش انعطاف‌پذیری، مقاومت به خمش و خواص ضربه‌ای کمک می‌کنند [۲۴].

درهم رفتگی و پیوند بین بلورهای کلسیت و الیاف رنگبری نشده به‌دلیل سطح بیشتری که ایجاد کرده‌اند، بسیار بیشتر وکاملاً مشهود است. کربنات کلسیم پوشش‌دار شده با استئاریک اسید در واقع یک نوع پوشش محافظتی است که بر روی سطح کربنات کلسیم ایجاد می‌شود. استئاریک اسید به‌عنوان یک اسید ضعیف، با کربنات کلسیم واکنش می‌دهد و پوششی از استات کلسیم را تشکیل می‌دهد. در این واکنش، یون‌های هیدروژن اسید استئاریک به جای یون‌های کربنات می‌پیوندند. استفاده از استئاریک اسید در فرایندهای شیمیایی ممکن است باعث تغییر در ساختار مواد شود که به نوبهٔ خود می‌تواند به تغییر چگالی منجر شود [۲۵]. در نتیجه، تأثیر استئاریک اسید بر چگالی مناسب می‌باشد. زیرا می‌تواند کربنات کلسیم را از تغییر شکل و تخریب ناشی از نفوذ آب و مواد شیمیایی حفظ کند. خصوصیات فیزیکی شامل درصد جذب آب و چگالی نمونه‌های ساخته شده براساس تیمار بهینه در جدول ۶ مشاهده می‌گردد. خصوصیات فیزیکی تخته گچ‌های ساخته شده با مواد افزودنی متنوع باهمدیگر تفاوت دارند. همان‌طور که در این نتایج مشاهده می‌شود، کاهش نسبی چگالی نسبت به نمونهٔ شاهد به‌خاطر افزایش ضخامت دیده شده است که در یافته‌ها نیز به این مسئله اشاره دارند. هر اندازه میزان الیاف مصرفی بیشتر باشد ضخامت بیشتر و چگالی کاهش می‌یابد [۲۶].

تأثیر نشاستهٔ ذرت به‌عنوان یک مادهٔ پرکننده و سبک‌کننده [۲۷] و استئاریک اسید به‌عنوان عامل تقویت‌کننده [۲۸] بر مقاومت فشاری کامپوزیت چوب–گچ مشهود است. مقاومت فشاری بیشتر از جنبهٔ نحوهٔ شکست کامپوزیت اهمیت دارد و بهترین نوع شکست کله قندی است [۲۹]. این نوع شکست در تخته گچ دارای الیاف مشاهده گردید. به‌طور کلی سبک‌سازی همراه با افزایش مقاومت با مواد افزودنی مورد استفاده در این تحقیق امکان‌پذیر شده است. به‌ویژه اثر نشاستهٔ ذرت به‌عنوان ضد رطوبت و نشاستهٔ تاپیوکا به‌عنوان استحکام بخش است و اثر مکمل و تقویت‌کنندهٔ مواد افزودنی دیگر نیز واضح مشاهده گردید.

۴. نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی جامع نتایج نشان می‌دهد از بین سطوح ۵، ۸ و ۱۰ درصد الیاف رنگبری نشده خمیر باگاس به روش دوغاب، سطح ۵ درصد به‌عنوان سطح بهینه و پایه انتخاب گردید. در ادامه، جهت دستیابی به بهترین سطح از پلیمرها به روش آزمون و خطا عمل شد و در نهایت محصول نهایی بررسی شد. برای افزایش پیوند بین پلیمرها و به‌تبع آن افزایش مقاومت، در این کامپوزیت از نشاسته به‌دلیل خواص چسبندگی استفاده شد تا پیوند بین الیاف و بلورهای گچ را تشکیل دهد. تخته‌های اولیه حاوی ۵ درصد الیاف مقاومتی بسیار کمتر از نمونه گچ خالص داشتند ولی با افزودن این پلیمرها علاوه بر اینکه میزان جذب آب که هدف اصلی

بود کاهش یافت، بلکه به مقاومتی همتراز تخته اولیه نیز رسید. بازار گچ‌برگ‌های پلیمری ضد آب در ایران در حال معرفی و سازگاری می‌باشد و تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد.

۵. منابع

[1] Mihajlovic, S.R., Vucinic, D.R., Sekulic, Z.T., Milicevic, S.Z. & Kolonja, B.M. (2013). Mechanism of stearic acid adsorption to calcite. *Powder Technology*, 16: 208-245.

[2] Jeon, C.W., Park, S., Bang, J.H., Chae, S., Song, K., & Lee, S.W. (2018). Nonpolar surface modification using fatty acids and its effect on calcite from mineral carbonation of desulfurized gypsum. *Coatings*, 8(1), 1-13.

[3] Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials*, 13(2): 1-29.

[4] Gutierrez-Gonzalez, S., Gadea, J., Rodriguez, A., Blanco-Varela, M., & Calderon, V. (2012). Compatibility between gypsum and polyamide powder waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. *Construction and Building Materials*, 34: 179-185.

[5] del Rio Merino, M., Saez, P.V., Longobardi, I., Astorqui, J.S.C., & Porras-Amores, C. (2019). Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, 51: 144-220.

[6] Dolezelova, M., Scheinherrova, L., Krejsova, J., Keppert, M., Cerny, R., & Vimmrova, A. (2021). Investigation of gypsum composites with different lightweight fillers. *Construction and Building Materials*, 297: 1-14.

[7] Guna, V., Yadav, C., Maithri, B., Ilangovan, M., Touchaleaume, F., & Saulnier, B. (2021). Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance. *Journal of Building Engineering*, 41: 1-9.

[8] Başpınar, M.S., & Kahraman, E. (2011). Modifications in the properties of gypsum construction element via addition of expanded macroporous silica granules. *Construction and Building Materials*, 25(8): 3327-3333.

[9] Kuqo, A., & Mai, C. (2021). Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass Posidonia oceanica and pine [Pinus sylvestris] wood fibers. *Construction and Building Materials*, 282: 1-9.

[10] Hosseinkhani, H. (2015). Gypsum bounded board production reinfoced with Date Palm Phoenix dactylifera L. pruning residues fibers. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(1): 60-71. (In Persian).

[11] Hamza, S., Saad, H., Charrier, B., & Ayed, N. (2013). Charrier-El Bouhtoury F. Physico-chemical characterization of Tunisian plant fibers and its utilization as reinforcement for plaster based composites. *Industrial Crops and Products*, 49: 357-365.

[12] Heryanto, R., Hasan, M., Abdullah, E.C., & Kumoro, A.C. (2007). Solubility of stearic acid in various organic solvents and its prediction using non-ideal solution models. *Science Asia*, 33: 469-472.

[13] Rostamian, F., Etesami, N., & Haghgoo, M. (2022). Control of Electronic board temperature using heat sink containing stearic acid as a phase change material. J*ournal of Mechanical Engineering*, 51(4): 433-441.

[14] Rocha, C., Neto, R.L., Goncalves, V.S., Carvalho, L., & Filho, F. (2003). An investigation of the use of stearic acid as a process control agent in high energy ball milling of Nb-Al and Ni-Al powder mixtures. *Materials Science Forum*, 120, 144-149.

[15] Al-Busaidi, I.K., Al-Maamari, R.S., Karimi, M., & Naser, J. (2019). Effect of different polar organic compounds on wettability of calcite surfaces. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 180: 569-583.

[16] Wu, Q., Guo, W., You, S., Bao, X., Luo, H., Wang, H., & Ren, N. (2019). Concentrating lactate-carbon flow on medium chain carboxylic acids production by hydrogen supply. *Bioresource Technology*, 291: 1-39.

[17] Zurcher, S., & Graule, T. (2005). Influence of dispersant structure on the rheological properties of highly-concentrated zirconia dispersions. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(6): 863-873.

[18] Cheng, L., & Shi, S.b. (2019). Yang L, Zhang Y, Dolfing J, Sun Y-g, et al. Preferential degradation of long-chain alkyl substituted hydrocarbons in heavy oil under methanogenic conditions. *Organic Geochemistry*, 138: 1-11.

[19] Yogurtcuoglu, E., & Ucurum, M. (2011). Surface modification of calcite by wet-stirred ball milling and its properties. *Powder Technology*, 214(1): 47-53.

[20] Mason, W.R. (2009). Starch use in foods. Starch, pp. 745-795.

[21] Noorzad, R., & Tanegonbadi, B. (2020). Volume change behavior of stabilized expansive clay with lignosulfonate. *Scientia Iranica*, 27(4): 1762-1775. (In Persian)

[22] Liu, B., Zhang, J., & Guo, H. (2022). Research progress of polyvinyl alcohol water-resistant film materials. *Membranes*, 12(3): 1-10.

[23] Aslam, M., Kalyar, M.A., & Raza, Z.A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 58(12): 2119-2132.

[24] Guohua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqiong, Z., & Zongdao, C. (2006). Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly[vinyl alcohol] blend film. *Polymer Degradation and Stability*, 91(4): 703-711.

[25] Patti, A., Lecocq, H., Serghei, A., Acierno, D., & Cassagnau, P. (2021). The universal usefulness of stearic acid as surface modifier: applications to the polymer formulations and composite processing. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 96: 1-33.

[26] Aksogan, O., Resatoglu, R., & Binici, H. (2018). An environment friendly new insulation material involving waste newsprint papers reinforced by cane stalks. *Journal of Building Engineering*, 15: 33-40.

[27] Toro-Márquez, L.A., Merino, D., & Gutierrez, T.J. (2018). Bionanocomposite films prepared from corn starch with and without nanopackaged Jamaica [Hibiscus sabdariffa] flower extract. *Food and Bioprocess Technology*, 11: 1955-1973.

[28] Li, X., Xu, D.S., Li, M., Liu, L., & Heng, P. (2016). Preparation of co-spray dried cushioning agent containing stearic acid for protecting pellet coatings when compressed. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 42(5): 788-795.

[29] Gunasekaran, K., Annadurai, R., & Kumar, P. (2012). Long term study on compressive and bond strength of coconut shell aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 28(1): 208-2015.