

## The application of glass beads and shell powder coating on the physical and mechanical properties of polymer matrix reinforced with glass fibers and beech wood flour nanocomposites

Sepideh Sasanian<sup>1</sup>, Arash Farajpour Roudsari<sup>2\*</sup> and Asghar Tabei<sup>3</sup>

1-Ph.D. candidate in wood science and technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran

2\*-Corresponding Author, Associate Professor, Department of wood and paper technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran, Email: farajpour.a@gmail.com

3-Associate Professor, Department of wood and paper technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran

Received: August 2024

Revised: September 2024

Accepted: December 2024

### Abstract

**Background and Objective:** In the present era, technological advancement depends on the progress made in the field of materials and the production of composites has been a significant step towards the evolution of engineering materials. By physically combining two or more materials, not only lighter and stronger material are produced, but such new materials replace the traditional materials. This research aims to compare the mechanical and physical properties of composites coated with small glass beads and shells powder, individually and in mixture, and to select the best sample with lighter specific weight, better strength, and easier installation for building facades.

**Materials and Methods:** The samples were prepared using beech wood flour, E-grade glass fibers, ortho unsaturated polyester resin matrix, montmorillonite K10 nanoclay, MEPK, 10% cobalt as a constant factor, Caspian Sea rolling shell (*Cerastoderma glaucum*) powder, and small glass beads as a variable factor. Specimens were made using the hand lay-up method. Variable percentages of glass beads and shells, or a combination of both, were used on the composite as a gel coat. Fifteen composite blocks with dimensions of 20×30×0.7 cm<sup>3</sup> were prepared. The edges of the block were then sanded. The blocks were placed in an oven at 120 degrees centigrade for 2 hours, and after cooling, they were weighed and their dimensions were measured, and then cut to the required sizes, and physical and mechanical properties such as water absorption, thickness swelling, bending, tension, impact, and abrasion were measured using ASTM procedures with three replication. Finally, the specific weight was compared according to national building regulations. For data analysis, the SAS9.6 method was used. The validity and reliability of the test were calculated with 99% accuracy based on the test data and reported as an analysis of variance table using SAS software.

**Results:** The results of this research showed that the sample made from a combination of nanoclay, beech wood flour, glass fibers, and resin with 30% glass beads coating demonstrate increased impact resistance. The more glass beads were added to the coating, the higher the impact resistance of the composite. With a 30% coating using Caspian Sea rolling shell powder, the

composite bending and tension strength increased compared to the control sample. The abrasion rate in composites prepared with 30% glass beads and 30% shell powder was lower after 200 cycles of abrasion compared to other samples. The thickness swelling rate after 48 hours of immersion in water was zero. Although the water absorption rate in the samples was very low, it can be said that samples with a higher amount of shell powder had higher water absorption compared to the control sample. The specific weight of the samples with the dimensions of the  $20 \times 30 \times 0.7$  cm<sup>3</sup> was measured as 1211.9 kg/m<sup>3</sup>. The highest specific weight in the treatments was related to the sample treated with a 30% glass bead layer coded G180SH0 ( $\rho=1240$  kg/m<sup>3</sup>), and the lowest specific weight was related to the untreated control sample coded G0SH0 ( $\rho=1192$  kg/m<sup>3</sup>). Meanwhile, the lowest specific weight of stone used for building facades belongs to quartz ( $\rho=2000$  kg/m<sup>3</sup>).

**Conclusion:** In general, it can be mentioned that the composite prepared with a 30% glass bead coating has better quality in terms of abrasion, impact resistance, strength, and no water absorption compared to other samples. From the relative comparison of the specific weight of the samples, it can also be acknowledged that with an increase in specific weight, the impact and bending strength increases, as seen in the G180SH0 sample. Ultimately, the research objective of preparing a strong and lightweight composite for building facade applications was achieved.

**Keywords:** Nanocomposite, hand Lay-Up, glass bead, shellfish, glass fiber.

## بررسی اثر پوشش گلس بید و صدف بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت‌های زمینه پلیمری تقویت‌شده با الیاف شیشه و آرد چوب راش

سپیده ساسانیان<sup>۱</sup>، آرش فرج‌پور رودسری<sup>۲\*</sup> و اصغر تابعی<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته دکترای رشته صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه آزاد آستارا، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد آستارا، ایران، پست‌الکترونیک: farajpoor.a@gmail.com

۳- استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد آستارا، ایران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۳

### چکیده

سابقه و هدف: در عصر حاضر پیشرفت فناوری به پیشرفت‌ها در زمینه مواد بستگی دارد. تولید کامپوزیت‌ها گام بزرگی است که در راه تکامل مواد مهندسی برداشته شده است. زیرا با ترکیب فیزیکی دو یا چند ماده نه تنها ماده سبک‌تر و محکم‌تری به دست می‌آید بلکه حتی جایگزین مواد سنتی نیز می‌شود. این تحقیق با هدف مقایسه مقاومت مکانیکی و فیزیکی کامپوزیت‌های روکش شده با گلس بید (مهره‌های شیشه‌ای کوچک) و صدف، جداگانه و یا توأم و نیز انتخاب بهترین نمونه با وزن مخصوص سبک‌تر، استحکام مناسب‌تر و نصب آسان‌تر در نمای ساختمان انجام شده است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌ها با استفاده از آرد چوب راش و الیاف شیشه گرید E و زمینه رزین پلی‌استر غیراشباع ارتو و نانو رس مونت مورینولیت K10 و MEPK و کبالت ۱۰٪ به عنوان عوامل ثابت و صدف غلتان دریای خزر (Cerastoderma glaucum) و گلس بید عامل متغیر به روش لایه‌گذاری دستی تهیه گردید. از درصدهای متغیر گلس بید و صدف یا ترکیبی از هر دو بر روی کامپوزیت به صورت ژل کوت استفاده شد. ۱۵ بلوک کامپوزیت به ابعاد ۲۰×۳۰×۷۰ سانتی‌متر مکعب تهیه گردید. سپس کناره‌های اضافی سمباده زده شد. نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در آون در ۱۲۰ درجه قرار گرفتند و پس از خنک شدن توزین و ابعاد آن اندازه‌گیری و به اندازه‌های مورد نیاز برش داده شدند. آزمون‌های برای سنجش خواص فیزیکی و مکانیکی شامل میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، خمش، کشش، ضربه و سایش بر روی نمونه‌ها براساس دستورالعمل ASTM با سه تکرار انجام شد، در نهایت با وزن مخصوص سنگ نمای ساختمان براساس مقررات ملی ساختمان مقایسه گردید. همچنین برای تجزیه و تحلیل و آنالیز داده‌ها از روش SAS9.6 استفاده گردید. روایی و پایایی آزمون نیز با توجه به داده‌های حاصل از آزمون و توسط نرم‌افزار SAS با دقت ۹۹٪ محاسبه گردید و به صورت جدول تجزیه واریانس گزارش شد.

نتایج: یافته‌های این تحقیق نشان داد که در اثر پوشش دادن کامپوزیت اولیه حاصل از ترکیب نانورس و آرد چوب راش و الیاف شیشه و رزین با ۳۰٪ گلس بید، مقاومت کامپوزیت نسبت به ضربه افزایش یافت و هرچه میزان گلس بید در رویه افزایش یافت مقاومت کامپوزیت نسبت به ضربه نیز افزایش نشان داد. با پوشش ۳۰٪ رویه کامپوزیت با صدف غلتان دریای خزر، مقاومت کامپوزیت نسبت به خمش و کشش در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت. میزان سائیدگی در کامپوزیت‌های تهیه شده با ۳۰٪ گلس بید و ۳۰٪ صدف بعد از ۲۰۰ دور سایش در مقایسه با دیگر نمونه‌ها کمتر بود. میزان واکنشیدگی ضخامت در مدت ۴۸ ساعت غوطه‌وری نمونه در آب نیز صفر بود. هرچند که میزان جذب آب در نمونه‌ها بسیار اندک بود، ولی براساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت نمونه‌ها با میزان صدف بیشتر، در مقایسه با نمونه شاهد دارای جذب آب بالاتری می‌باشند. ابعاد نمونه‌ها ۲۰×۳۰×۷۰ سانتی‌متر مکعب با وزن مخصوص نسبی (Specific Weight) برابر ۱۲۱۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین وزن مخصوص در تیمارها مربوط به نمونه تیمار شده با لایه گلس بید ۳۰ درصد با کد G180SH0 ( $p=1240 \text{ kg/m}^3$ ) و کمترین وزن مخصوص مربوط به تیمار شده بدون لایه با کد G0SH0 ( $p=1192 \text{ kg/m}^3$ ) بود، این در حالی است که کمترین وزن مخصوص سنگ با کاربرد نمای ساختمان متعلق به کوآرتز

( $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ ) است.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی می‌توان گفت کامپوزیت تهیه شده با رویه ۳۰ درصد گلس بید از نظر سایش، مقاومت در برابر ضربه، استحکام و نیز عدم جذب آب، نسبت به سایر نمونه‌ها کیفیت بهتری را داراست. از مقایسه نسبی وزن مخصوص نمونه‌ها نیز می‌توان دریافت که با افزایش مخصوص میزان مقاومت در برابر ضربه و خمش افزایش می‌یابد، مانند نمونه G180SHO در نهایت هدف تحقیق که تهیه کامپوزیتی مقاوم و سبک با کاربری نمای ساختمان بود، محقق گردید.

واژه‌های کلیدی: نانو کامپوزیت، لایه‌گذاری دستی، گلس بید، صدف، الیاف شیشه.

## مقدمه

امروزه در بسیاری از کاربردهای مهندسی، امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نیاز را برآورده کند، وجود ندارد. کامپوزیت‌ها یا مواد مرکب از جمله مواد مهندسی و ساختمانی جدیدی هستند که در توسعه و کاربرد آنها متخصصان سهم به‌سزایی داشته‌اند (Beheshty et al., 2005). چندسازه‌های چوب پلاستیک، نسل نسبتاً جدیدی از مواد کامپوزیتی هستند و عنصر بسیار کارآمدی در صنعت کامپوزیت به‌شمار می‌روند (Zhang et al., 2012). در پانزده سال گذشته، کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در بسیاری از کاربردهای سازه‌ای و ساختمانی مانند کارهای تزئینی، کف‌سازی، اسکله‌ها، الوارهای محوطه‌سازی، حصارها (نرده‌ها)، فریم‌های درب و پنجره و غیره رواج پیدا کرده‌اند (Zhang et al., 2012). کامپوزیت چوب پلاستیک مقایسه با سایر مواد جایگزین مانند چوب یا پلاستیک خالص و یا سایر مواد کانی و معدنی از مزایای ویژه‌ای برخوردار است که می‌توان به مقاومت در برابر شرایط محیطی اعم از رطوبت و پوسیدگی، اشعه خورشید، سایش، لهیدگی، اعوجاج و تغییر شکل، مواد شیمیایی و موربانه‌خوردگی و رشد قارچ و باکتری اشاره کرد که موجب افزایش طول عمر محصول می‌گردد. همچنین از دیگر مزایای این فراورده، می‌توان وزن کم و انتقال حرارت کم، نسبت بالای استحکام نسبت به وزن، رقابت قیمتی محصولات با سایر مواد جایگزین به لحاظ طول عمر بیشتر و کاهش وزن مواد مصرفی، تجدیدپذیری و قابل بازیافت بودن و سهولت تولید و نصب محصول نهایی را نام برد (Biaziyat et al., 2013).

در این میان، بسیاری از تحقیقات تأیید کرده است که با کاربرد رزین‌های گرماسخت به‌جای پلیمرهای گرمانرم می‌توان بسیاری از نارسایی‌های کامپوزیت‌ها را برطرف نمود. بررسی و ارزیابی رفتار کششی و جذب آب چندسازه‌های چوب-اپوکسی و چوب-پلی‌استر نشان داد که در آزمون کشش اگرچه مدول کششی رزین پلی‌استر خالص تا حدودی پایین‌تر از رزین اپوکسی با غلظت کم بود، ولی به‌رحال پس از اضافه شدن پودر چوب، ویژگی‌های کششی چندسازه پلی‌استر در مقایسه با چندسازه اپوکسی با غلظت کم، بهینه‌تر گزارش شد (Jalili et al., 2012).

در تحقیق انجام شده با عنوان اثر آلیاژسازی رزین پلی‌استر غیراشباع با بوتیل‌اکریلات بر چقرمگی ماتریس و خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف کف و شیشه، اثر آمیختگی رزین پلی‌استر غیراشباع با مونومر بوتیل-آکریلات بر چقرمگی این آلیاژ و کامپوزیت ساخته شده با آن بررسی شد. نتایج مدول الاستیسیته کامپوزیت‌ها نشان داد، ماتریس آلیاژ شده با بوتیل‌اکریلات حدود ۱۳۳ درصد کمتر از مقدار این ویژگی برای کامپوزیت با ماتریس پلی‌استر خالص است (Zarea Hosseinabadi et al., 2019).

افزایش مقدار نانورس و وجود مرفولوژی در نانو کامپوزیت به دلیل Intercalation و Exfoliation تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات لایه‌ای موجب مقاومت در نانو کامپوزیت می‌گردد. همچنین غیر همگونی و نسبت بالای سطح به حجم نانورس با مواد آلی در قابلیت تقویت‌کنندگی بالای ذرات نانورس سهیم است؛ و به این صورت عمل می‌شود که ذرات

پودر چوب، باز هم استفاده از تقویت‌کننده‌های لیفی در کنار رزین‌های ترموست، هنوز نیز شالوده صنعت کامپوزیت است، این در حالی است که این کاربری نیز خالی از مشکل نیست، به طوری که به دلیل ساختار معدنی بیشتر الیاف و ساختار آلی انواع رزین‌ها، همیشه مشکل عدم چسبندگی مناسب در بین رزین و الیاف معدنی وجود داشته است. جهت رفع مشکل، عملیات سطحی مختلفی بر روی الیاف صورت می‌گیرد که در آنها با قرار دادن گروه‌های عاملی خاص و پر کردن سطح الیاف، سازگاری آنها را با رزین‌ها افزایش می‌دهند و نانورس نیز در این بین به چسبندگی بین مواد و رزین بسیار کمک می‌کند (Jalili et al., 2012).

#### فرایند اختلاط

مواد با نسبت‌های وزنی ارائه شده در جدول ۱ آماده‌سازی گردید و فرایند اختلاط با دستگاه مخلوط‌کن داخلی HAAKE در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با دمای اختلاط ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت اختلاط ۶۰ RPM (دور در دقیقه) انجام شد که پس از اختلاط مواد و افزودن کبالت ۱۰٪، به روش لایه‌گذاری دستی و با قلم‌مو در کارگاه به روش دستی، قطعات آماده شدند. روش کار به این صورت بود که ابتدا رویه محصول زل کوت همراه با درصد مناسب از صدف یا گلس بید یا مخلوط هر دو براساس جدول ۱ آماده و به روی میز کاری که قبلاً گریس‌کاری شده با قلم‌مو اضافه گردید و بعد الیاف شیشه و ترکیب مواد دیگر در زیر آن اضافه شدند. در سه مورد از کامپوزیت‌ها، گلس بید و صدف به داخل مواد اضافه گردید و بر روی الیاف شیشه با قلم‌مو پخش شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت از روی میز کار جدا شد و دور هر نمونه سنباده‌کاری شد و بعد ۲ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در آون حرارت داده شد. سپس یک هفته در محیط آزمایشگاه گذاشته شد تا کاملاً خشک گردد و بعد آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی آنها انجام گردید (Beheshty et al., 2005).

واکنش پخت رزین پلی‌استر غیراشباع: واکنش پخت رزین پلی‌استر غیراشباع به کمک پلیمریزاسیون رادیکال آزاد

نانورس به‌عنوان تقویت‌کننده، موجب می‌شوند که سطح مشترک بین دو مرحله افزایش پیدا کند. از سویی، با افزودن خاک رس و تورم لایه‌های رس، ایجاد چسبندگی سطحی قوی بین پلیمر و خاک رس ایجاد می‌گردد و مقاومت کامپوزیت نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل نتایج نیز نشان می‌دهد با افزایش نانورس مقاومت کششی و خمشی کامپوزیت چوب و پلاستیک افزایش یافته است (Kord, 2009).

مطالعه تأثیر صدف به‌عنوان یک پرکننده زیستی بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها با زمینه پلیمری تقویت‌شده با الیاف شیشه نشان داد که ضایعات پوسته صدف دارای محتوای کربنات کلسیم بالایی است (CaCO<sub>3</sub>). در این تحقیق حداکثر مقاومت کششی و خمشی در نمونه‌های با ۱۰ درصد حجم پوسته صدف حاصل شد (Fernandes et al., 2013).

بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع و رویکرد جهانی به‌سوی نانو کامپوزیت‌ها و ناشناخته بودن سازوکار این مواد، در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در این زمینه انجام شده است. این تحقیق با هدف مقایسه تأثیر افزودن گلس بید و صدف به رویه و درون کامپوزیت‌های تهیه شده به روش دستی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و جذب آب آنها انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از پلی‌استر غیراشباع ارتو محصول شرکت رزیتان به‌عنوان ماده زمینه پلیمری و آرد چوب راش گرجستان با اندازه ابعاد ۶۰ مش به‌عنوان تقویت‌کننده و از الیاف شیشه گرید E مت سوزنی و پودر نانورس مونت مورینولینت k(10) ساخت شرکت SIGMA-ALDRICH کشور آلمان استفاده شد. همچنین از MEPK (متیل اتیل کتون پروکسید متعلق به شرکت O-SHIMI) به‌عنوان عامل سازگارکننده و آغازگر واکنش واکنش کبالت ۱۰٪ به‌عنوان شتاب‌دهنده واکنش متعلق به صنایع شیمیایی ساوه استفاده شد. همچنین در این محصول از صدف جمع‌آوری شده از ساحل دریای خزر و گلس بید با اندازه ۲۵۰-۴۲۵ میکرون استفاده گردید. امروزه با وجود رشد چشمگیر به‌کارگیری

پراکسیدها را بالا می‌برد. رادیکال‌های آزاد، شروع کننده واکنش زنجیره بوده و واکنش در مکان‌های غیراشباع پلی‌استر و مونومر پیش می‌رود. این روند، باعث تشکیل ساختار شبکه‌ای شده که انحلال‌ناپذیر و غیرقابل نفوذ است.

رزین غیراشباع و مونومر انجام می‌شود که در این پژوهش، از پراکسیدهای آلی به منظور تشکیل رادیکال‌های آزاد استفاده شد. به منظور پخت با سرعت مناسب در دمای اتاق نیز از شتاب‌دهنده اکثانات کبالت بهره برده شده که سرعت تجزیه

جدول ۱- درصد ترکیب مواد در کامپوزیت چوب - پلاستیک در تیمارهای مختلف

Table1- Percentage composition of materials in wood-plastic composite

Row	Glassbead <sup>1</sup>	Shellfish <sup>2</sup>	Reisin <sup>3</sup> Poly ester (g)	MEPK	Cobalt 10%	Beech wood flour	Nano clay K10	Glass Fiber	Sample cod	Sample cod
1	0	0	100	0.5	1	5	2	10	G0SH0 <sup>4</sup>	B0F0 <sup>5</sup>
2	5	0	100	0.5	1	5	2	10	G30SH0	B30F0
3	10	0	100	0.5	1	5	2	10	G60SH0	B60F0
4	0	15	100	0.5	1	5	2	10	G90SH0	B90F0
5	30	0	100	0.5	1	5	2	10	G180SH0	B180F0
6	10	5	100	0.5	1	5	2	10	G60SH30	B60F30
7	5	10	100	0.5	1	5	2	10	G30SH60	B30F60
8	10	10	100	0.5	1	5	2	10	G60SH60	B60F60
9	0	5	100	0.5	1	5	2	10	G0SH30	B0F30
10	0	10	100	0.5	1	5	2	10	G0SH60	B0F60
11	0	15	100	0.5	1	5	2	10	G0SH90	B0F90
12	0	30	100	0.5	1	5	2	10	G0SH180	B0F180
13	0	15	100	0.5	1	5	2	10	G0SH90N	B0F90N
14	15	0	100	0.5	1	5	2	10	G90SH0N	B90F0N
15	10	10	100	0.5	1	5	2	10	G60SH60N <sup>6</sup>	B60F60N

1- Variable factor - percentage of oyster shell, 2- Variable factor - percentage of glass beads, 3-phR, 4- G: Glass bead, SH: Shellfish, 5- B: Glassbead, F: Shellfish

6-N: It is for cases where glass wool or shellac is used inside the composite and there is no veneer.

طول نیز براساس استاندارد ASTM D 570 انجام شد. آزمون مقاومت به سایش نمونه‌ها توسط دستگاه ایرانی سایش و براساس استاندارد INSO 14980 در مرکز تحقیقاتی و آزمایشگاه همکار فراز آزما گستر تبریز آزمون شد و نمونه‌ها ۲۰۰ دور مورد سایش قرار گرفتند که در نهایت تصاویر به صورت چشمی با یکدیگر مقایسه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.6 در قالب طرح آنالیز واریانس انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹٪ انجام شد.

### اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM D747 انجام شد. برای این آزمون، از دستگاه Sanatam Iran STM20 با سرعت ۵ mm/min در دانشگاه صنعتی سهند تبریز استفاده شد. آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D638 توسط دستگاه Zwick/Roell-Germany Z010 در دانشگاه صنعتی سهند تبریز با سرعت بارگذاری ۲ mm/min انجام گردید و مقاومت به ضربه آیزود نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D256 توسط دستگاه Gotech-Taiwan GT7045 در دانشگاه صنعتی سهند تبریز در دمای محیط انجام شد. آزمون‌های جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و تغییر

## نتایج

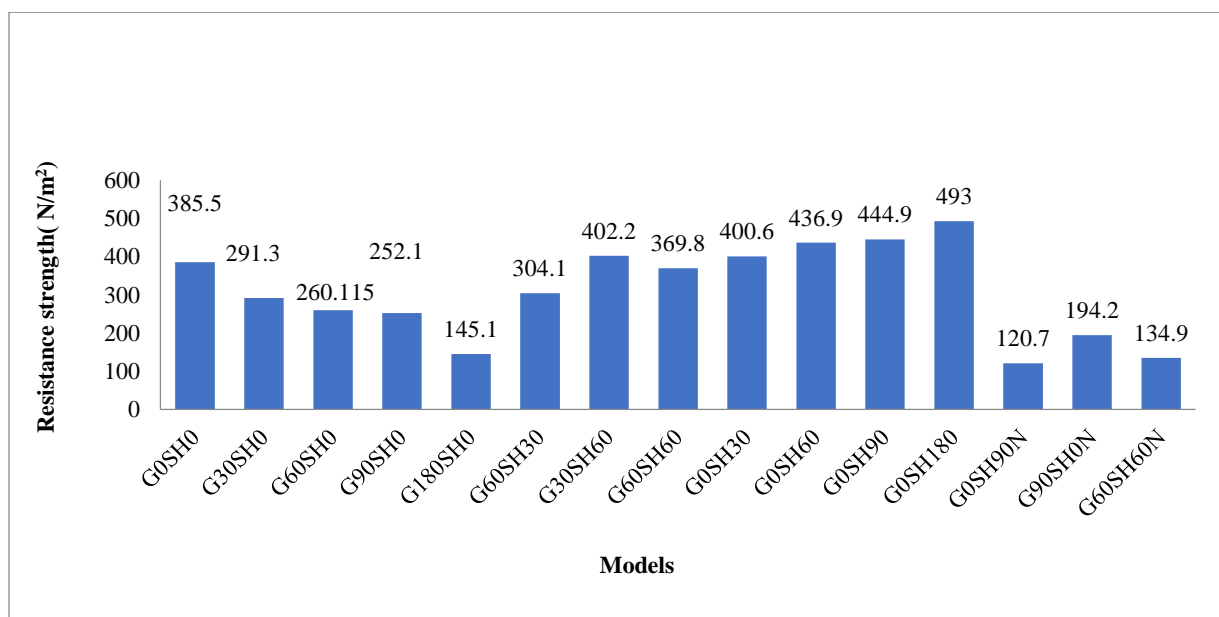
همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش گلس بید از ۰٪ به ۳۰٪ مقاومت خمشی (از ۳۸۵/۵ تا ۱۴۵/۱  $N/m^2$ ) کاهش می‌یابد و با افزایش صدف از ۰٪ به ۳۰٪ مقاومت خمشی (از ۳۸۵/۵ تا ۴۹۳  $N/m^2$ ) افزایش یافته است.

مقاومت خمشی: جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر افزودن گلس بید و صدف بر مقاومت خمشی کامپوزیت چوب - پلاستیک در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر گلس بید و صدف بر مقاومت خمشی کامپوزیت

Table 2- Variance analysis of the effect of glass bead and sea shellfish on composite resistance strength

Source	DF	Mean Square	Sum of Squares	F Value	Pr>F
Model	14	41712.7656	583978.7185	96.21	<.0001
Error	30	433.5756	13007.2688		
Corrected Total	44		596985.9873		
Coeff Var		6.589153			



شکل ۱- اثر گلس بید و صدف بر مقاومت خمشی تیمارها

Figure 1. Effects of glass bead and sea shellfish on composite resistance strength

## مقاومت کششی

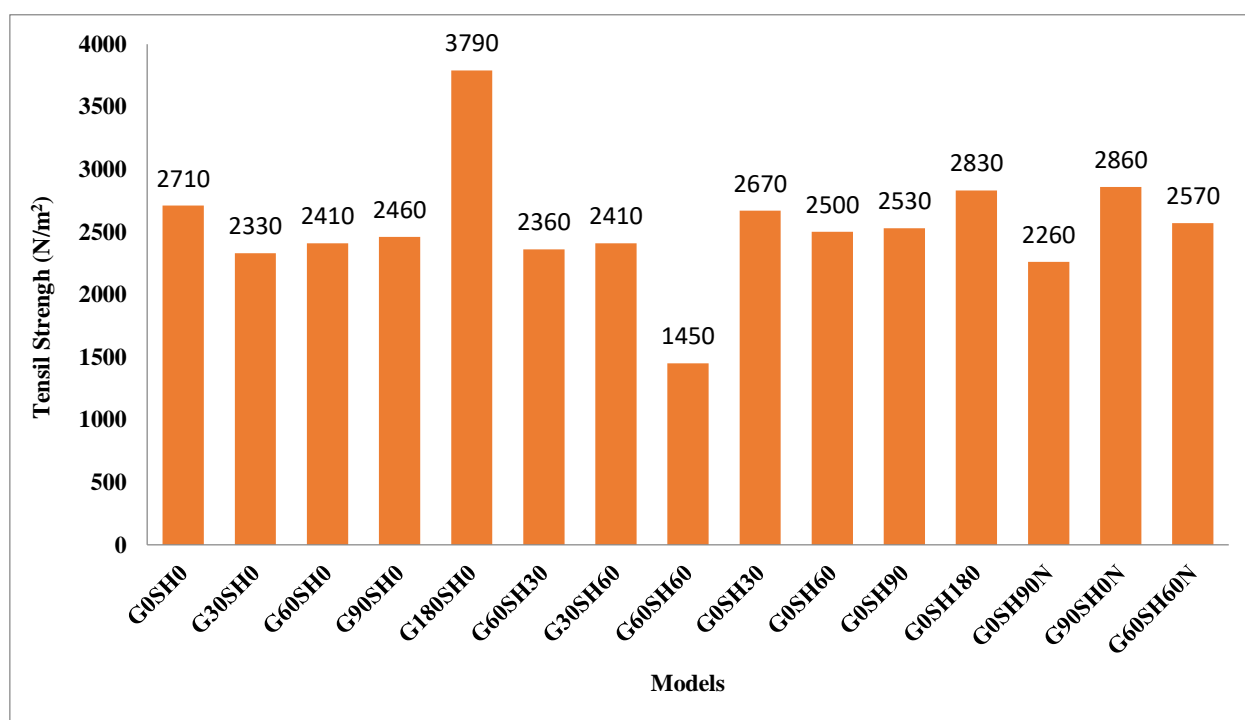
همان طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزودن ۳۰٪ صدف مقاومت کششی (۴۹۳  $N/m^2$ ) نسبت به نمونه شاهد (۳۸۵/۵  $N/m^2$ ) افزایش می‌یابد.

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار گلس بید و صدف بر مقاومت کششی تیمارهای کامپوزیت چوب - پلاستیک در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مقدار گلس بیید و صدف بر مقاومت کششی کامپوزیت

Table 3- Variance analysis of the effect of glass bead and sea shellfish on composite tensile strength

Source	DF	Mean Square	Sum of Squares	F	Pr>F
Model	14	460096.190	6441346.667	9.28	<0.0001
Error	30	49564.444	1486933.333		
Corrected Total	44		7928280.000		
Coeff Var		9.121718			



شکل ۲- تأثیر مقدار گلس بیید و صدف بر مقاومت کششی کامپوزیت‌ها

Figure 2. Effects of glass bead and sea shellfish on composite tensile strength

### مقاومت به ضربه

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر مقدار گلس بیید و صدف بر مقاومت ضربه آیزود نیز در سطح اطمینان ۱٪ معنی دار بود (جدول ۴). همان طوری که در شکل ۳ مشخص است بیشترین مقاومت به ضربه در در نمونه کامپوزیت با رویه ۳۰٪ پوشش داده شده با گلس بیید (ژول بر متر  $G180SH0= 487/548$ ) می‌باشد و بالاترین مقدار مقاومت به ضربه در بین کلیه نمونه‌ها،

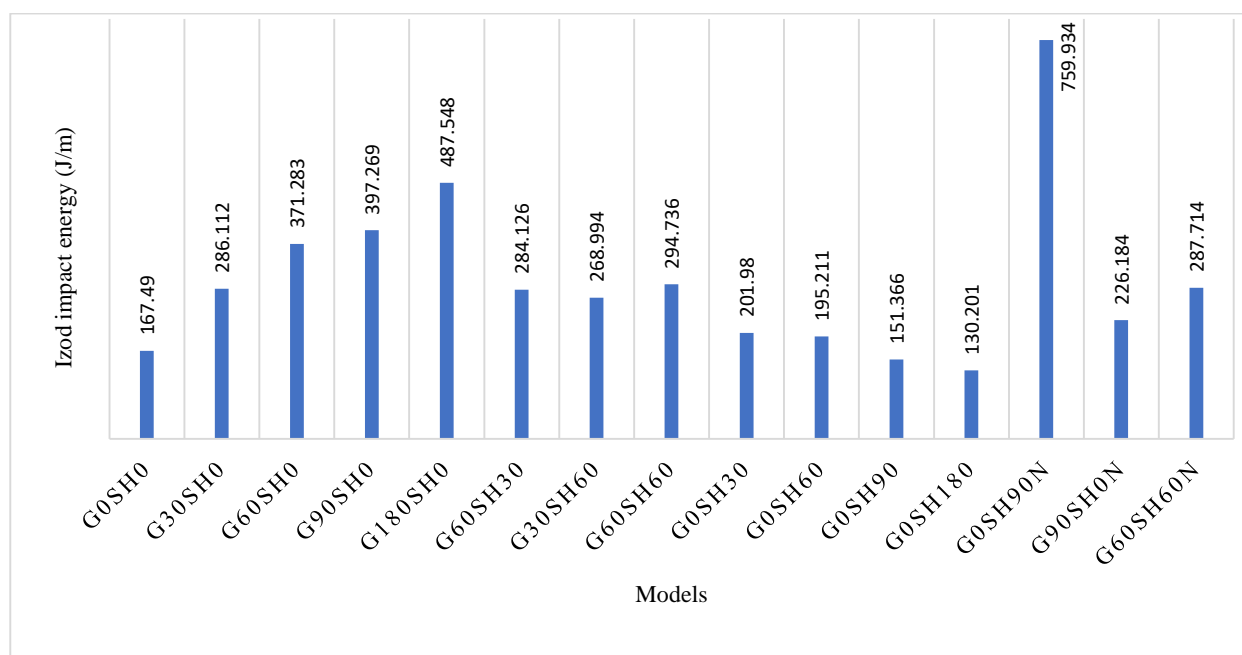
نمونه‌ای می‌باشد که در داخل آن از ۱۵۵٪ صدف (ژول بر متر  $G0SH90N= 759/934$ ) استفاده شده است و کمترین مقدار این نیرو، برای نمونه شاهد می‌باشد (شکل ۳). اضافه کردن گلس بیید به هرمیزان در داخل محصول (نمونه‌هایی که دارای ضریب N می‌باشند) یا بر رویه کامپوزیت باعث افزایش مقاومت به ضربه نسبت به نمونه شاهد (ژول بر متر  $G0SH0= 167/49$ ) گردید.



جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مقدار گلس بیید و صدف بر مقاومت به ضربه کامپوزیت

Table 4- Variance analysis of the effect of glass bead and sea shellfish on composite Izod impact energy

Source	DF	Mean Square	Sum of Squares	F	Pr>F
Model	14	76593.997	1072315.955	102.73	<0.0001
Error	30	745.622	22368.653		
Corrected Total	44		1094684.608		
Coeff Var		9.139714			



شکل ۳- تأثیر مقدار گلس بیید و صدف بر مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها

Figure 3. Effects of glass bead and sea shellfish on composite Izod impact energy

جدول ۵- تجزیه واریانس جذب آب بعد از ۴۸ ساعت

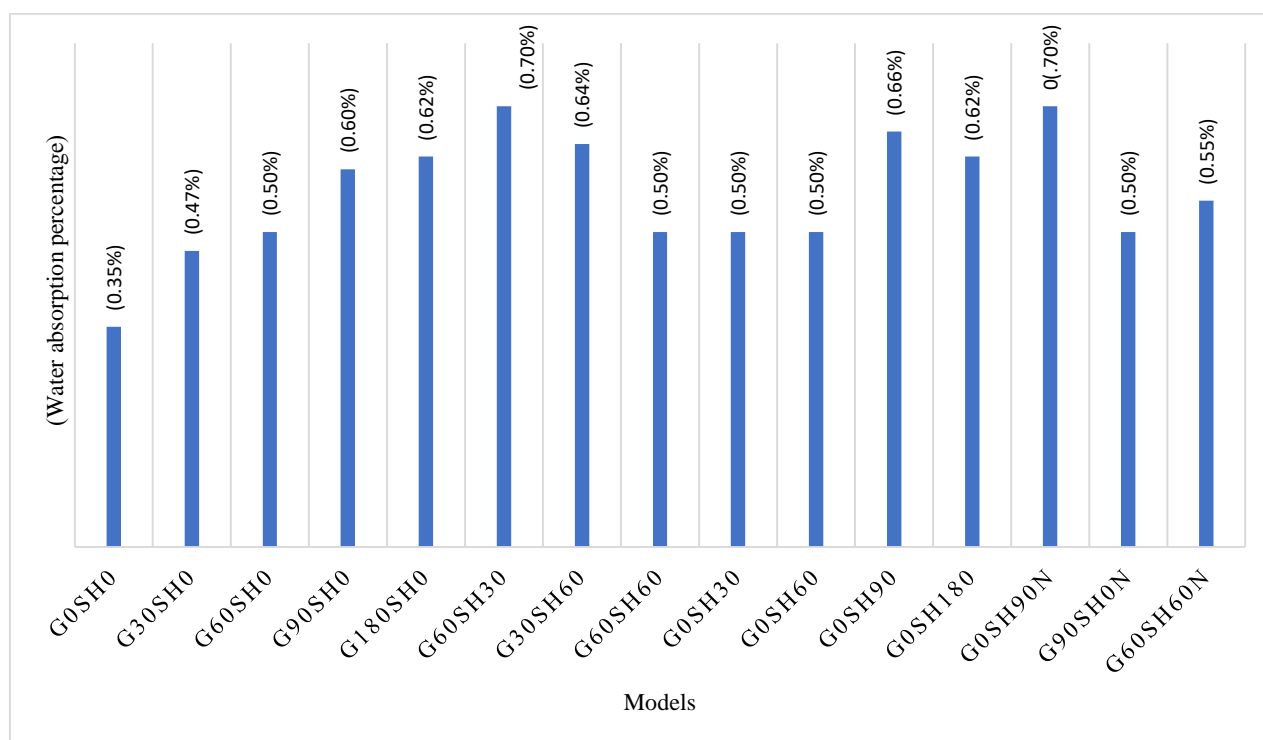
Table 4- Variance analysis of the effect of glass bead and sea shellfish on composite Izod impact energy

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F مقدار	Pr>F
Model	14	0.00004855	0.00000347	51.33	<0.0001
Error	30	0.00000203	0.00000007	-	-
Corrected Total	44	0.00005058	-	-	-
Coeff Var			4.57		

کلیه نمونه‌ها، نسبت به نمونه شاهد جذب آب بالاتری داشتند ولی جذب آب در نمونه‌ها از فرمول خاصی پیروی نکرد. شاید علت این موضوع در پراکندگی نایکنواخت ذرات و میزان اتصالات و تعداد پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده، باشد.

### آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر افزودن گلس بید و صدف بر جذب آب کامپوزیت نیز در سطح اطمینان ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). میزان واکنشیدگی و تغییر طول بعد از ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب صفر بود.



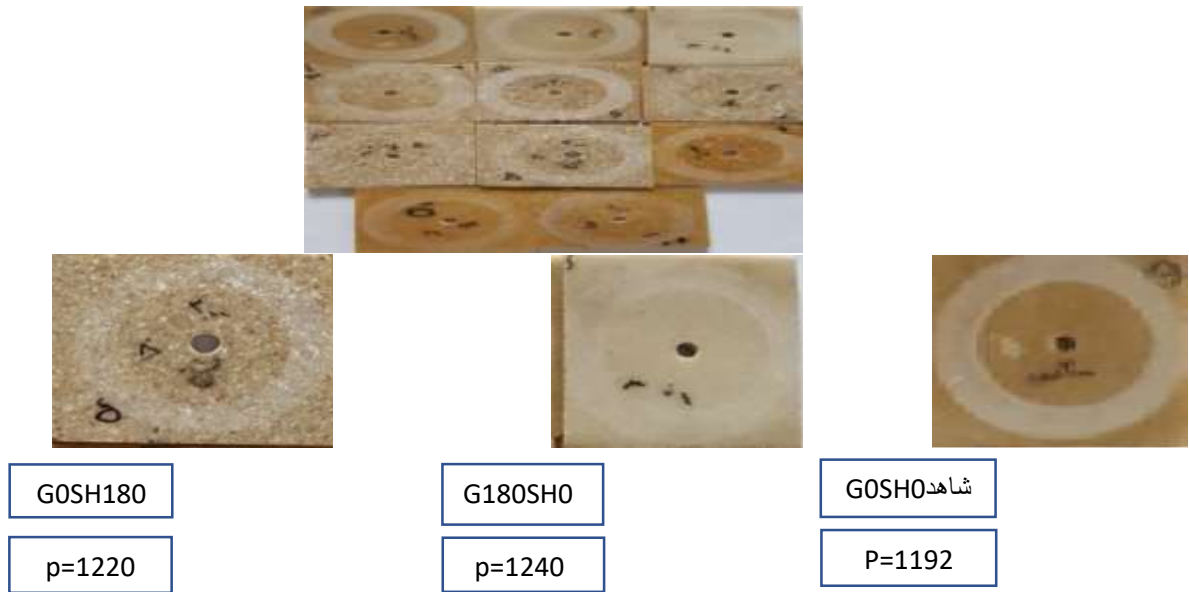
شکل ۴- جذب آب بعد از ۴۸ ساعت غوطه‌وری تیمارها

Figure 4. Water absorption after 48 hours of immersion of treatments

داشت، نمونه‌های کامپوزیت با لایه رویی پر شده با گلس بید ۳۰ درصد بودند و نمونه شاهد پایین‌ترین کیفیت را دارا بود.

### آزمون سایش

بر اساس تصاویر به دست آمده، بعد از ۲۰۰ دور سایش، بالاترین کیفیت که کمترین سایش را در این آزمایش

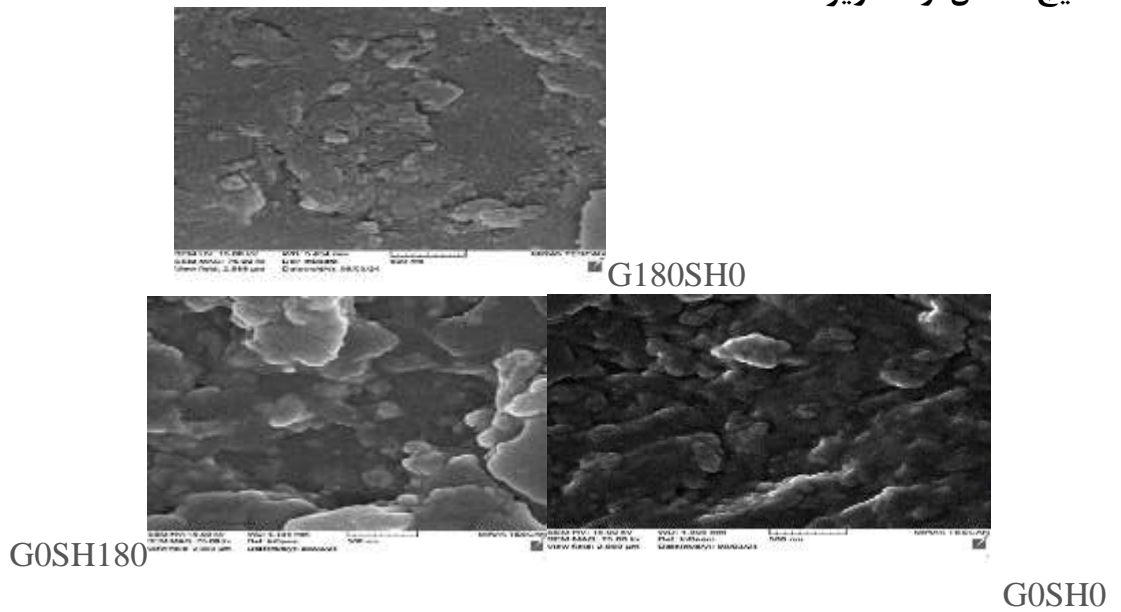


$$P = (\text{specific weight}) \text{ Kg/m}^3$$

شکل ۵- نتایج حاصل از ۲۰۰ دور سایش بر تیمارهای کامپوزیت

Figure 5. The results of 200 rounds of wear on composite treatments

نتایج حاصل از تصاویر FESEM:



شکل ۶- مقایسه نتایج حاصل از تصاویر FESEM برای نمونه‌های شاهد و کامپوزیت با رویه ۳۰٪ گلس بید و ۳۰٪ صدف با

بزرگنمایی ۷۵۰۰۰

Figure 6. Comparison of results obtained from FESEM images for control samples and composites with 30% glass bead and 30% shell coating at 75000x magnification

نانورس علاوه بر نقش تقویت‌کننده، نقش واکنش‌گر را نیز خواهد داشت. حرارت واکنش رزین با مواد شروع‌کننده واکنش باعث آزاد شدن کلسیم و بعد واکنش با نانورس (نانو سیلیکات‌های صفحه‌ای) با رزین پلی‌استر خواهد شد. نتیجه این واکنش، تشکیل کریستال سیلیکات کلسیم است که دارای بافت مستحکمی است و باعث افزایش خواص مکانیکی می‌شود. به عبارت دیگر، در اثر این فرایند نوعی شبیه‌سازی ساختار کریستالی بتن در کامپوزیت چوب پلاستیک ایجاد خواهد شد و به نظر می‌رسد دلیل افزایش خواص مکانیکی نیز انجام همین شبیه‌سازی است (Nourbakhsh *et al.*, 2015).

#### مقاومت کششی

نتایج حاصل از افزودن ۳۰ درصد گلس بید و صدف بر کامپوزیت‌های تهیه شده نشان داد که میزان مقاومت کششی افزایش یافته است. نوسان در میزان مقاومت‌های به دست آمده با عنایت به دستی بودن فرایند و احتمال خطای کارگر در تهیه نمونه‌ها و عدم پخش یکنواخت نانورس و صدف و خطای کاربر آزمایشگاه قابل توجیه است. زیرا افزایش میزان صدف بر پایه زمینه نانورس باعث افزایش غلظت زمینه شده و این موضوع بر ویژگی‌های کششی نمونه مانند استحکام و مدول و ازدیاد طول تا شکست تأثیر مثبت داشته است، به طوری که تنش اعمال شده به خوبی از زمینه به تقویت‌کننده نانو منتقل شده و به دلیل افزایش مقاومت ناشی از حضور صفحات در برابر تنش اعمال شده، ویژگی‌های کششی بهبود یافته است. باین حال، در مقدارهای بیشتر یا عدم توزیع یکنواخت مواد نانورس و صدف‌های خرد شده به دلیل محدودیت حرکت زنجیره‌ها، قابلیت کشش آنها، به مقدار ناچیزی کاهش یافته است.

علاوه بر آن، بررسی‌های انجام شده نشان داد با عنایت به اینکه ذرات صدف از اندازه مشخص برخوردار نبودند و عوامل ساختاری مختلفی مانند نسبت حجمی و ضریب ظاهری و فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نیز بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های پلیمر-خاک رس

نمونه شاهد GOSHO محتوی پلی‌استر، پودر چوب، الیاف شیشه و نانو ذرات رس با بزرگنمایی ۷۵۰۰۰ برابر است. با توجه به کوچک‌تر بودن اندازه نانو ذرات رس نسبت به اندازه‌های پودر چوب و الیاف شیشه، نانو ذرات رس در شکل مذکور به صورت پخش شده در بین بافت پلی‌استر و در سطح نمونه مورد تصویربرداری دیده می‌شود. G180SHO نمونه محتوی افزودنی گلس بید به مقدار ۳۰٪ وزن نمونه است. در این شکل، علاوه بر اجزای مشاهده شده در شکل مربوط، ساختارهای شبه کروی و بیضی مانند نیز دیده می‌شوند که می‌تواند نشان‌دهنده وجود افزودنی گلس بید در ساختار نمونه باشد. پیوستگی سطح نمونه می‌تواند ناشی از وجود پلی‌استر و پخش یکنواخت گلس بید در بافت نمونه باشد. GOSH180 نمونه محتوی افزودنی صدف به مقدار ۳۰٪ وزن نمونه است. در این شکل، علاوه بر اجزای مشاهده شده در نمونه شاهد، ساختارهای آمورف نیز با درصد بیشتری نسبت به شکل نمونه شاهد دیده می‌شوند که می‌تواند نشان‌دهنده وجود افزودنی صدف بیشتر در ساختار نمونه باشد. پیوستگی سطح نمونه می‌تواند ناشی از وجود پلی‌استر و پخش مناسب صدف در بافت نمونه باشد.

#### بحث

در این پژوهش، اثر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی نسبت گلس بید و گوش ماهی روکش شده بر نانو کامپوزیت‌های تهیه شده با نانورس و آرد چوب راش و الیاف شیشه بر پایه رزین پلی‌استر غیراشباع، بررسی گردید.

مقاومت خمشی: نتایج نشان دادند که افزایش گلس بید سبب کاهش مقاومت خمشی می‌گردد (مقاومت خمشی با افزایش گلس بید از صفر به ۳۰٪ (از ۳۸۵/۵ به ۱۴۵/۵  $N/m^2$ ) کاهش یافت. همچنین افزایش صدف (از صفر به سی درصد) منجر به افزایش مقاومت خمشی (از ۳۸۵/۵ به ۴۹۳  $N/m^2$ ) گردید. عقیده بر این است که در نمونه‌های پر شده با گلس بید به دلیل عدم اتصال گلس بید با رزین و مواد کامپوزیت مقاومت خمشی کاهش می‌یابد ولی در صدف با پایه کربنات کلسیم سازوکار ایجاد شده به روش دیگری است.

گردید (Kholil *et al.*, 2022; Mohammadian *et al.*, 2021).

#### آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

میزان واکنشیدگی و تغییر طول بعد از ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب، به دلیل استفاده از زمینه پلی‌استر غیراشباع صفر بود که این موضوع نیز در پژوهش مورد تأیید Jalili و همکاران (۲۰۱۲) است. کلیه نمونه‌هایی که در ساختار آنها صدف استفاده شده است نسبت به نمونه شاهد جذب آب بالاتری دارند. صدف یک ماده هیگروسکوپیک است و جذب آب بالاتری دارد (Martinovic *et al.*, 2023).

آزمون مقایسه وزن مخصوص نمونه کامپوزیت با سنگ نما حداکثر وزن مخصوص کامپوزیت‌های تهیه شده متعلق به کامپوزیت تیمار شده با ۳۰ درصد گلس بید با مقدار  $p = 1240 \text{ kg/m}^3$  است که در مقایسه با وزن مخصوص سبک‌ترین سنگ نمای ساختمان که کوارتز ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ) است بسیار کمتر می‌باشد (INSO 5699, 2017).

#### References

- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2013. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D 638-22. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2013. Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D747-10. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM, 2011. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics ASTM D256-02. Annual book of ASTM standard, Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2022. Standard test method for Standard Test Method for Water Absorption of Plastics ASTM D 570-98. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- Beheshty, M.H. and Rezadoust, A.M., 2005. Reinforced Plastics (Poymer Camposites) Iran Polymer & Petrochemical Institute of Iran, Tehran, 446 p.

تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای دارند، بنابراین اختلاف بین متورق شدن لایه‌ها و تشکیل ساختار Exfoliation و ساختار Intercalation تأثیر شدیدی بر مدول نانو کامپوزیت حاصل دارد (Zhao *et al.*, 2006).

#### مقاومت به ضربه

همچنین در نتایج به دست آمده بیشترین مقاومت به ضربه در نمونه کامپوزیتی که در داخل آن علاوه بر نانورس و پودر چوب تا ۱۵٪ از صدف استفاده شده بود ( $J/M 759/934$ ) مشاهده گردید. بعد از آن، بالاترین مقاومت به ضربه در نمونه کامپوزیت پوشش داده شده با ۳۰٪ گلس بید مشاهده شد ( $J/m 487/54$ ). همان‌طوری که از تصویر FESEM نمونه با ۳۰٪ گلس بید مشاهده می‌شود (GOSH180)، پیوستگی و یکنواختی زمینه را یکی از عوامل مهم در افزایش مقاومت به ضربه می‌توان نام برد، به نحوی که کمترین مقدار این نیرو برای نمونه شاهد ( $J/m 169/49$ ) است. کمترین سایش در کامپوزیت دارای لایه گلس بید به دلیل صلب بودن نمونه بود که هر دو مورد (مقاومت به ضربه و مقاومت به سایش) تأیید

- Biaziyat, A.R., Jamali Rad, L., Hejazi, S. and Aminian, H.A., 2013. The use of lignocellulosic materials in the manufacture of plastic wood, a new solution in the field of wood and industry, Abstracts of the 1<sup>th</sup> National Conference on Natural Resources Management, SID. Iran, 27 February 2014, 1-8
- Fernandes, L. J., Vinay, B.U., Prakasha, K. and Ajago, P., 2013. Shellfish shell as a Bio-filler: Preparation, characterization and its effect on the mechanical properties on glass fiber reinforced polymer matrix composite 1, 2 Assistant Professor, Mechanical Engineering, Sahyadri College of Engineering and Management, Mangalore, India. The International Journal of Engineering and Science (IJES), Volume 3, Issue 8, Page 23-26, ISSN (e): 2319 – 1813 ISSN (p): 2319 – 1805
- Iranian National Standardization Organization. INSO.5699, 2017. Dimension stone- Determination of absorption and bulkspecific gravity-Test method, 2<sup>nd</sup>. Revision.
- Iranian National Standardization Organization. INSO.14980, 2021. Organic coatings –

- Determination of Abrasion Resistance by the Taber Abraser – Test method, Identical with ASTM D4060:2019
- Jalili, M.M., Pirayeshfar, A.S. and Mousavi, S.L., 2012. A Study on Tensile Behavior and Water Uptake of Wood Powder-Composites Based on Epoxy and Unsaturated Polyester Resins, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, Vol. 3, No.2, 141-156p
- Kholil, A., Dwiyati, S.T., Syaefuddin, E.A., Pratama, R.H. and Putra, D.R.P., 2022. Natural Fiber Composites from Coconut Fiber, Wood Powder, and Shellfish Shell of Centrifugal Clutch Materials, Automotive Experiences, Vol. 5 No.2 (2022) pp. 111-120, p-ISSN: 2615-6202 e-ISSN: 2615-6636.
- Kord B., 2009. Investigation on The Effects of Nanoclay Particles on Mechanical Properties of Wood Polymer Composites Made of High Density Polyethylene-Wood Flour, Vol 25, No 1, 91-101p
- Martinovic, M., Bego, M., Kukavacic, I.L., Obucina, M. and Hajdarevic, S., 2023. Physical and Mechanical Properties of a New Bio-Composite Material Based on Seashells for Use in Furniture Making Journal of Ecological Engineering 2024, 25(3), 1–11, <https://doi.org/10.12911/22998993/176146> ISSN 2299–8993, License CC-BY 4.0
- Mohammadian Gazaz, S., Heidarian, H. and Barghmadi, M., 2021. Study on the Polymerization, Curing, and Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Nanocomposite: Effect of Monomers Ratio and Nanosilicate Concentration, Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran (NSMSI), Vol. 40, No2, 1-14p.
- Nourbakhsh, A., 2015. The potential of agricultural residue fibers and mineral material in wood plastics composites production. Iranian journal of wood and paper science research, 30(2):220-229
- Zarea Hosseinabadi, H., Ataefar, A., Afshar Taremi, F. and Azizi, M., 2021. Effect of Blending Butylacrylate with Unsaturated Polyester Resin on Toughness of Matrix and Mechanical Properties of Kenaf and Glass Fiber- based composites, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, Vol. 11, No. 4, 669-682.
- Zhang, Z.Q., Liu, B. and Lei, H.F., 2012. Effect of fiber arrangement on mechanical properties of short fiber reinforced composites, Composites Science and Technology Journal.506-514p
- Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P. and Jia, M., 2006. Properties of poly (vinylchloride)/woodflour/montmorillonite composites: Effects of coupling agents and layered silicate. Journal of polymer Degradation and stability, Vol 91, 2874-2883p