نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۶/شماره ۱۰۵/ بهار۱۴۰۱

علمی- فنی

مروری بر کامپوزیت های پلیمری و بررسی تاثیر نوع، اندازه و شکل تقویت‌کننده‌ها بر خواص مکانیکی آن‌ها

A review on the polymeric composite reinforcements and a study of their mechanical properties

چکیده

کامپوزیت‌های پلیمری به علت داشتن وزن پایین، خواص مکانیکی مطلوب و روش‌های تولید متنوع و آسان‌تر نسبت به بقیه‌ی انواع کامپوزیت‌ها، مورد استقبال بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته است، در مقاله‌ی پیش رو ، ابتدا فعالیت‌ها و تحقیقات پژوهشگران در جهت ساخت کامپوزیت‌های پلیمری با خواص مکانیکی و استحکام بالاتر و چگونگی اندازه‌گیری خصوصیات و ویژگی‌های مهم مکانیکی و آزمون‌های مرتبط با آن مورد بررسی قرارگرفته، در بخش دیگر، انواع تقویت‌کننده‌های استفاده شده در کامپوزیت‌های پایه پلیمری از نظر نوع(طبیعی یا مصنوعی)، شکل و مورفولوژی سطحی(ذره‌ای، نانوذرات۲بعدی، الیافی) و همچنین میزان تاثیرگذاری آن‌ها بر خواص مکانیکی مرور شده است و درپایان به بررسی کامپوزیت های هیبریدی پرداخته شد. با توجه به نتایج و مطالعات صورت گرفته مشخص شد که میزان استحکام نمونه‌های کامپوزیتی با شکل و میزان استفاده از تقویت‌کننده رابطه‌ی مستقیم دارد در این راستا به هر نحوی که سطح تماس تقویت‌کننده با زمینه ی پلیمری بیشتر شود، خواص مکانیکی کامپوزیت افزایش می‌یابد که در نتیجه، تقویت‌کننده‌های نانوذره‌ای ۲ بعدی و تقویت‌کننده‌های الیافی دارای بیشترین سطح تماس و درنتیجه استحکام بالاتری نسبت به کامپوزیت‌های حاوی تقویت‌کننده‌های ذره‌ای می‌باشند، در انتها کامپوزیت های هیبریدی که شامل دو یا چند تقویت‌کننده‌ی گوناگون می‌شوند به دلیل بهره‌گیری از مکانیزم‌های مختلف استحکام‌بخشی فاز زمینه، دارای خواص مطلوب مکانیکی بوده و توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت‌های پایه پلیمری، خواص مکانیکی، ذرات تقویت کننده، کامپوزیت های هیبریدی .

نوع مقاله: پژوهشی

شهرام محبوبی زاده[1*]، مهدی حسن زاده[2] ، فاطمه بدرطالعی[3]، مهدیه گل حسنی[4] ، ثنا چیذری[5]
۱- گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

1- *sh.mahbobizadeh@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰-۰۹-۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱-۰۱-۲۰

مقدمه

مواد کامپوزیتی به وسیله اختلاط دو یا تعداد بیشتری از مواد شکل می‌گیرند که هرکدام از آن‌ها دارای خواص متفاوتی هستند و ممکن است که بصورت مستقیم با هم وارد واکنش نشوند و قابلیت حل شدن در یکدیگر را نیز نداشته باشند. بطور کلی با ساخت مواد کامپوزیتی، خصوصیات منحصر به فردی بوجود می‌آید که منجر به استفاده آنان در شرایط و کاربردهای خاص می‌شود[۱]. البته کامپوزیت‌ها بصورت طبیعی نیز وجود دارند و بسیاری از آنان را می‌توان را در طبیعت مشاهده نمود. چوب یکی از نمونه‌های این دسته از مواد است که از الیاف سلولزی بلند قرارگرفته درون یک ماده به نام لیگنین تشکیل شده است .استفاده انسان‌ها از کامپوزیت‌ها نیز دارای قدمت طولانی است که در همین راستا می‌توان به استفاده‌ی ساکنان بین النهرین و مصریان باستان در ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح(ع) از کاهگل اشاره کرد. این نوع از کامپوزیت‌ها که از اختلاط الیاف کاه خشک شده و ملات گل ایجاد می‌شود در ساخت بناها و سازه‌های مستحکم عصر باستان نقش اساسی را بر عهده داشته است. [۱] به دلیل خواص و دستاوردهای مناسب کامپوزیت ها نظیر وزن پایین و استحکام مناسب، بسیاری از سرمایه گذاری‌های توسعه‌ای در زمان جنگ‌ها اتفاق افتاده است، بطور مثال در دوران جنگ جهانی دوم، بسیاری از مواد کامپوزیتی تحقیقاتی ساخته شده درآزمایشگاه‌ها توسعه پیداکردند و در صنعت ساخت تجهیزات نظامی به کار برده شدند. بطور عمومی، ساختار یک کامپوزیت شامل سه بخش زیر است:

i. زمینه یا ماتریس که بصورت پیوسته است.

ii. تقویت کننده‌ها که بصورت فاز پراکنده و ناپیوسته هستند و شامل ذرات و الیاف است.

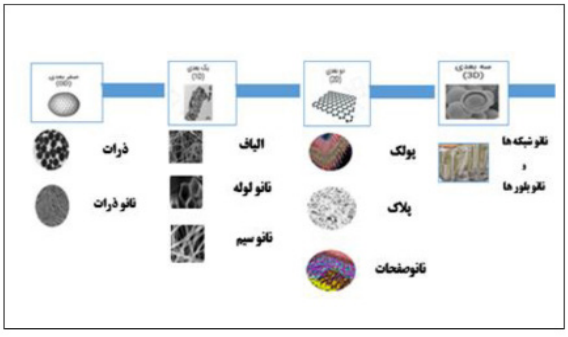
iii. نواحی محدود و جزئی بین فازی ، نظیر فصل مشترک بین زمینه و تقویت کننده.

بسیاری از پژوهشگران برای دسته بندی انواع کامپوزیت‌ها از طبقه بندی تقویت کننده‌ها بر اساس بُعد آن‌ها استفاده می‌کنند. بدین معنی که مواد تقویت‌کننده دارای چه میزان حجم و بُعد در محور طولی، عرضی و ارتفاع هستند. به همین منظور، تقسیم بندی کامپوزیت‌ها، بر اساس تقویت کننده‌های استفاده شده در آن ها، بصورت زیر قابل تعریف است: [۲]

I. دسته اول صفر بعدی‌ها هستند (D-۰)، که شامل ذرات و نانو ذراتی می‌شود که در راستای محورهای طول و عرض و ارتفاع، دارای بعد قابل توجهی نیستند.

II. دسته دوم تک بعدی‌ها هستند (D-۱)، که شامل الیاف، نانو لوله‌ها و نانو سیم‌ها می‌شوند که این گونه از مواد در یک جهت مشخص دارای بعد قابل توجه است.

III. دسته سوم دو بعدی‌ها هستند(D-۲)، که شامل پولک و پلاکت‌ها، نانو صفحات و ... می‌شوند که در دو بعد



شکل ۱. بررسی ساختار انواع تقویت کننده‌های مورد استفاده در فرآیند ساخت کامپوزیت‌ها.

گسترانیده شده‌اند.

IV. دسته چهارم سه بعدی‌ها هستند (D-۳)، که شامل ساختار های حجیم و در هم تنیده شده می‌شوند که در جهت‌های مختلف طول و عرض و ارتفاع، گسترانیده شده‌اند

دسته بندی کامپوزیت‌ها و بررسی کامپوزیت‌های پلیمری

در حالت کلی، کامپوزیت‌ها می‌توانند از هر ماده‌ای تشکیل شوند اما عموما دارای فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها است. بر اساس نوع و جنس ماده‌ی استفاده شده در ماتریس (زمینه)، کامپوزیت‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از [۱]:

- کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری (PMC)
- کامپوزیت‌های زمینه‌ی سرامیکی (CMC)
- کامپوزیت‌های زمینه‌ی فلزی (MMC)

از بین کامپوزیت‌های مطرح شده، خصوصیات مطلوب کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری منجر به استفاده‌ی گسترده آن‌ها در تمام محصولات مورد نیاز جامعه امروز شده و اکثر صنایع به دلایل گوناگونی از جمله وزن پایین، استحکام مناسب، مقاومت به خوردگی مطلوب، هدایت حرارتی پایین در کنار پایداری حرارت مناسب و فرآیندهای ساخت و شکل‌دهی ارزان به تولید محصولات و قطعات با جنس کامپوزیت‌های پلیمری پرداخته‌اند. [۳] بخش اعظمی از کامپوزیت‌های ساخته شده در صنعت، کامپوزیت‌های با زمینه‌ی پلیمری هستند که در این راستا تعداد بسیار زیادی ماده پلیمری بعنوان فاز زمینه وجود داشته که توانایی استفاده در اشکال و کاربردهای گوناگون را دارا هستند.

بررسی فاز زمینه در کامپوزیت‌های پلیمری

بطور کلی پلیمرها به دو دسته ترموست و ترموپلاست تقسیم می‌گردند[۴]. ترموست‌ها، دسته‌ای از پلیمرها هستند که تحت یک واکنش شیمیایی یا پخت و یا استحاله‌ی نرمال از حالت مایع به حالت جامد تبدیل می‌شوند که اگر پیش ماده‌های سازنده‌ی آن به صورت مناسب شکل نگیرد، همانند مونومرها ، حاوی مقادیر کمی مولکول های جدا از هم می‌شود. با افزودن ماده ثانویه به این دسته از پلیمرها مانند شبکه ساز ها، عامل پخت(کیورینگ) ، کاتالیست‌ها و یا در حضور حرارت و یا بر سایر فعالیت‌های تاثیر گذاری که می‌تواند آغازگر یک واکنش شیمیایی و یا پخت باشد. در طی این گونه واکنش‌ها، مولکول‌ها بصورت شبکه‌ای قرار می‌گیرند و زنجیره‌های مولکولی بزرگ و شبکه‌های به هم پیوسته‌ای را شکل می‌دهند که سبب انجماد و سفت شدن ماده می‌شود. اگر پس از شکل گیری، انجماد و سفت شدن این نوع از پلیمرها، به آن‌ها حرارت اعمال شود، ماده مورد نظر ذوب نمی‌شود و مستقیما از بین می‌رود. در حالت عمومی پلیمرهای ترموست پایداری طولانی مدتی دارند و دسترسی به مواد اولیه آنان بسیار بیشتر است. همچنین مواد اولیه ارزان قیمتی داشته و استفاده از این مواد در ساخت کامپوزیت‌ها بنابر دلایلی ازجمله قابلیت ترشوندگی مطلوب تقویت کننده‌هایی نظیر الیاف توسط فاز زمینه‌ی پلیمری بسیار مناسب هستند. از پلیمرهای ترموست می‌توان به رزین‌های پلی استری، رزین اپوکسی، رزین‌های استروینیل ، فنولیک و پلی یورتان اشاره نمود. در مقابل ترموست‌ها، ترموپلاستیک‌ها قرار دارند، پلیمرهای ترمو پلاستیک موادی پلاستیکی هستند که توانایی ذوب شدن تحت حرارت را دارا است. در ساخت و شکل‌گیری پلیمرهای ترموپلاستیک، حرارت نقش اصلی را دارا بوده و هنگامی که به میزان کافی اعمال گردد که این میزان بالاتر از دمای نقطه ی ذوب آن ماده باشد، موجب شکل گیری حالت مذاب می‌شود و یا منجر به نرم شدن ماده‌ی پلیمری مورد نظر شده که امکان انجام فرآیندهای مختلف بر روی آن را ایجاد می‌کند. درنتیجه در این مواد، ساخت و شکل

گیری قطعات گوناگون توسط ذوب و انجاد صورت می‌پذیرد. اغلب این دسته از پلیمرها دارای زنجیره‌های بلند با وزن‌های بالا هستند مواد ترموپلاستیک دارای چقرمگی مناسب و مقاومت بالا در برابر رشد ترک هستند و نسبت به ترموست‌ها حالت شکنندگی کمتری داشته و مقاومت شیمیایی بالا، قابلیت تعمیر شوندگی و بازیافت مطلوبی دارند. از پلیمرهای ترموپلاستیک می‌توان به آکریلیک، پلی الفین، آکریلونیتریل بوتادین، استیرن اشاره کرد[۴]. جدول ۱ به بیان خصوصیات پلیمرهای ترموست و ترموپلاست پرداخته است. بنابر اعلام انجمن تولیدکنندگان کامپوزیت آمریکا (ACMA) بازار صنعت پلیمر ترموپلاستیک در سال ۲۰۱۷ در حدود ۸,۲ میلیارد دلار تخمین زده شد که بنابر خصوصیات مطلوبی نظیر توانایی چندین باره‌ی ذوب و انجماد آن‌ها ، اخیرا مورد توجه صنعت گران عرصه‌ی هوافضا قرار گرفته و نسبت به اپوکسی‌های ترموست مورد استفاده در قطعات صنعت مورد نظر، دارای اقبال مناسبی گردیده است .

جدول ۱. برخی خصوصیات ترموست‌ها و ترموپلاستیک‌ها

	پلیمرهای ترموست	پلیمرهای ترموپلاستیک
ویژگی‌ها	وزن پایین	شکل پذیری آسان
	کارایی بالای قطعات تولید شده	قابلیت تعمیر مناسب
	مقاومت شیمیایی مطلوب	قابلیت بازیافت

بررسی تقویت‌کننده‌های مورداستفاده در کامپوزیت‌های پلیمری

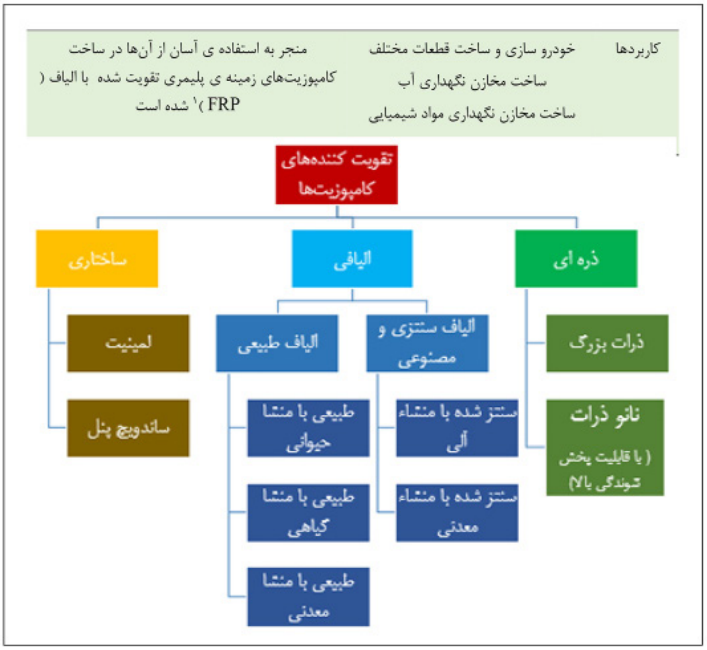
تقویت کننده‌های کامپوزیت‌های با زمینه پلیمری می‌توانند به شکل‌های گوناگون الیافی، پولکی یا بصورت ذره بوده و از جنس‌های فلزی، پلیمری و سرامیکی باشند. هر یک از این دسته بندی‌ها، خواص خاص خود را دارد و می‌تواند در کامپوزیت‌ها بصورت تقویت کننده به ایفای نقش بپردازد، بطور کلی، بیشترین نقش در ایجاد خواص یک ماده‌ی کامپوزیتی، متاثر از خصوصیات و ویژگی‌های تقویت کننده‌های آن است. در شکل (۲) دسته‌بندی از انواع تقویت کننده‌ها نشان داده شده است.

بررسی تقویت کننده‌های ذره‌ای

مواد افزودنی که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود می‌توانند به عنوان تقویت‌کننده و به شکل ذره‌ای در کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری استفاده شوند که از آن جمله می‌توان به انواع رس‌ها (مونت موریلونیت ، سپیولیت و بنونیت)، مواد پایه‌ی کربنی (گرافیت، گرافن، کربن سیاه و نانولوله‌های کربنی)، سیلیکاها (نانو ذرات SiO_2 ، آیروژل‌ها و زیروژل‌های سیلیکایی)، اکسیدها(اکسید آلومینیوم، دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی) و مواد طبیعی اشاره کرد.[۱]

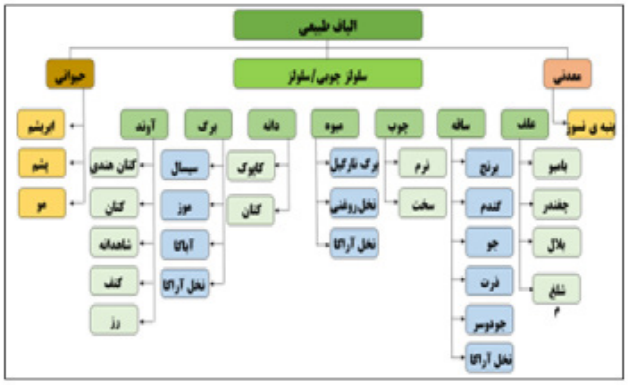
بررسی تقویت کننده‌های الیافی (FRPs)

انواع مختلفی از الیاف وجود دارد که در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری به عنوان تقویت کننده وجود دارد که از جمله می‌توان به الیاف کربن، الیاف شیشه (S-glass ، E-glass و غیره) ، الیاف آرامیدی (کولار و توارون) و الیاف بوریدی اشاره کرد.

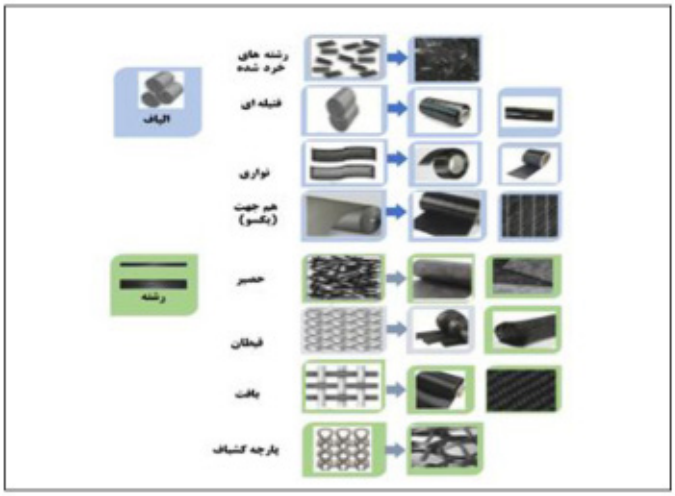


شکل ۲. دسته بندی تقویت کننده‌ها بر اساس نوع شکل و ساختار

اخیرا با تکیه بر خواص مکانیکی مناسب، دانسیته‌ی پایین، مزایای زیست محیطی، تجدیدپذیری و توانمندی اقتصادی، الیاف طبیعی با سرعت بسیار زیادی مورد توجه پژوهشگران حوزه ساخت کامپوزیت‌ها قرار می‌گیرد. در یک تعریف ابتدایی از الیاف طبیعی، به الیافی که بصورت سنتز شده و مصنوعی نباشند و در طبیعت یافت گردند الیاف طبیعی اتلاق می‌شود و می‌توانند منشا حیوانی، گیاهی و یا معدنی داشته باشند. در شکل (۳) طبقه بندی مناسبی از الیاف طبیعی ارائه شده است[۵]. در شکل (۴) به بررسی انواع روش‌های بافت الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های پایه پلیمری اشاره شده است.

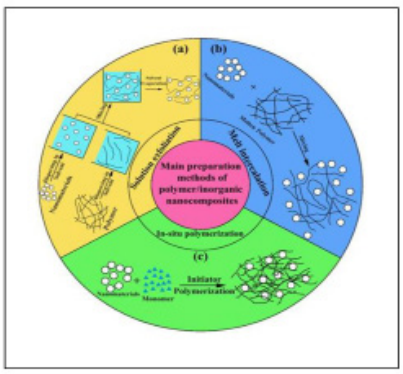


شکل ۳. طبقه بندی الیاف طبیعی



شکل ۴ . انواع فرآیندهای بافت و شکل دهی الیاف جهت استفاده در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری [۱]

به طور کلی روش‌های متنوع و مختلفی برای ساخت کامپوزیت‌ها و افزودن تقویت کننده‌ها در داخل فاز زمینه پلیمری وجود دارد. در شکل (۵) سه روش مهم نحوه ساخت کامپوزیت‌های زمینه پلیمری بطور مختصر توضیح داده شده است.



شکل ۵. بررسی روش‌های مختلف تولید کامپوزیت‌های پایه ی پلیمری: a) محلولی ، b) ذوبی، c) سنتز درجا [۶]

خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری

مواد کامپوزیتی با زمینه‌ی پلیمری دارای وزن پایین هستند و موجب افزایش راندمان و بهینه‌سازی سوخت وسایل نقلیه شده که در آن‌ها از این نوع کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود و به آن‌ها ساختار مستحکم و پایدار می‌بخشد. علاوه بر این، نسبت استحکام به وزن و مقاومت آن‌ها نسبت به حرارت بیشتر می‌شود. کامپوزیت‌ها با توجه به نوع زمینه، تقویت کننده، نسبت بین زمینه و تقویت‌کننده، فرمولاسیون و نوع فرآیند ساخت آن‌ها، کاربردهای گوناگونی دارد. استحکام پیوندی بین الیاف و زمینه پلیمری در استحکام کلی کامپوزیت، نقش غیر قابل انکاری را بر عهده دارد. عموما ذرات و الیاف دارای سختی و استحکام بالا بوده که در فاز پیوسته ماتریس (زمینه) قرار می‌گیرند، بطور کلی ماتریس‌ها وظیفه نگهداری و حفظ مواد تقویت کننده را داشته در هنگام اعمال بار به ساختار کامپوزیت، وظیفه انتقال نیروی اعمال شده به تقویت کننده را نیز بر عهده می‌گیرند و از آن‌جایی که استحکام تقویت کننده‌ها بیشتر از زمینه است، اکثر مقاومت در برابر نیروهای

اعمالی و استحکام مکانیکی کامپوزیت بر عهده تقویت کننده‌های افزوده شده به ساختار زمینه بستگی دارد، به طور کلی زمینه کامپوزیت ها ساختار منعطف و ضربه پذیری داشته و فاز تقویت کننده دارای ساختاری سفت و مستحکم هستند. البته اخیرا تحقیقات گسترده‌ای نیز در بررسی رفتار مواد کامپوزیتی در سرعت‌های کرنش مختلف در گذشته صورت گرفته که رفتار وابسته به سرعت این نوع مواد را به اثبات رسانده است [۷].

بررسی پارامترها و آزمون‌های مکانیکی مهم در کامپوزیت‌های پلیمری

بررسی پارامترها و آزمون‌های مکانیکی برای پیداکردن مشخصات کامپوزیت‌ها و محدوده عملکرد وتوانایی ایشان بسیار مهم است. یافتن این گونه خواص و ویژگی‌ها برای فهمیدن مشخصه‌های مورد نیاز درک و پیدا کردن مشخصه‌ای مورد نیاز شکل دهی و حالات مختلف شکست این دسته از مواد، دارای اهمیت بسیاری است. زیرا تاثیر مستقیمی بر طراحی محصولات نهایی و کاربردهای آنان می‌گذارد. طراحی سری آزمون‌های مکانیکی مورد نیاز برای فهم رفتار این مواد در حین بارگزاری و شکست آن‌ها برای اطمینان حاصل کردن از این مساله است که بدانیم آیا قطعه مورد نظر در کاربردهای خاص و صنعتی عملکرد مناسبی از خود به نمایش می‌گذارد یا خیر.عموما آزمون‌های مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری شامل پیداکردن پارامترهای مکانیکی مانند استحکام، سفتی و صلبیت، درصد ازدیاد طول، خستگی و غیره است که تاثیر مستقیمی بر طراحی ساخت قطعه دارد. آزمون‌های مکانیکی کامپوزیت‌ها شامل طیف وسیعی از انواع آزمون‌ها و استانداردهای مختلف بین المللی نظیر ASTM، ISO، EN و غیره می‌شود که در طی شرایط آزمون در محیط‌های گوناگون رخ می‌دهد. برخی از مشخصه‌ها و خواص مکانیکی رایج مورد نظر کامپوزیت‌ها شامل مدول الاستیسیته، ضریب پواسون ، استحکام و تنش تسلیم کششی و استحکام نهایی کششی است. در این راستا، هندسه قطعه، اندازه و مشخصات تقویت کننده‌ها تاثیر مستقیمی بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها می‌گذارد. آزمون‌های مکانیکی مورد استفاده جهت تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری بطور کلی شامل موارد زیر است[۸]:

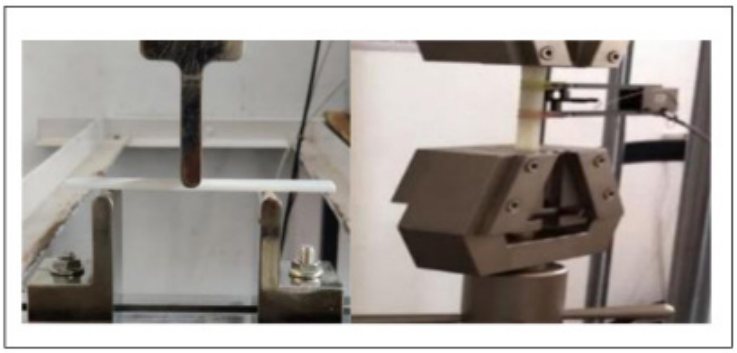
آزمون کشش تک‌محور (بر اساس استاندارد ASTM D۶۳۸): عموما قطعه‌ای کامپوزیتی را با ابعاد و شکل مشخص در دستگاه کشش قرارداده و نمودار تنش-کرنش حاصل از رفتار ماده تحت کشش تا نقطه شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد، در این آزمون می‌توان به بررسی تنش تسلیم، استحکام کششی نهایی، چقرمگی و مدول الاستیسیته پرداخت (شکل ۶.الف)

آزمون خمش سه نقطه‌ای (بر اساس استاندارد ASTM D۷۹۰): در این آزمون کامپوزیت‌ها و مواد ترموپلاستیکی تحت بارگزاری خمشی بوده و سطوح و وجوه آن‌ها با توجه به جهت اعمال نیرو، تحت تنش کششی یا تنش فشاری قرار می‌گیرد، برای اغلب مواد کامپوزیتی پلیمری حاضر در این آزمون، مقاومت و استحکام فشاری، کمتر از استحکام کششی است و نمونه‌ها از طرفی که تحت فشار قرار گرفته‌اند زودتر دچار شکست می‌شوند.

این شکست در اثر اعمال نیروی فشاری ناشی از شکل گیری کمانش‌های (میکروکمانش‌ها) در همان سطحی است که تحت فشار قرار گرفته است و به خواص تقویت کننده‌های به کار برده شده در کامپوزیت‌ها بر می‌گردد.(شکل ۶.ب)

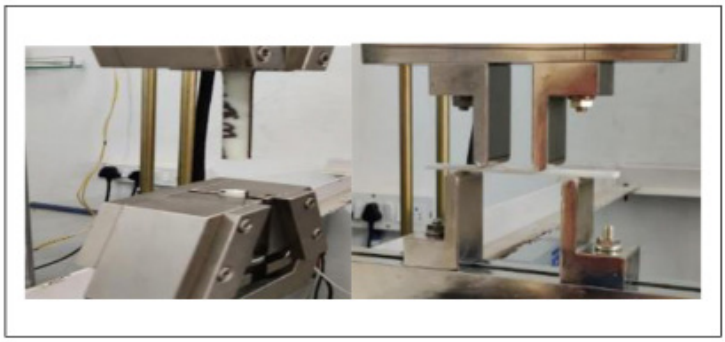
زمون خمش چهار نقطه‌ای (بر اساس استاندارد ASTM D۶۲۷۲): در این آزمون، مقادیر مدول الاستیسیته در خمش، پیچش و تنش‌های پیچشی مشخص می‌شود. این آزمون شبیه آزمون خمش سه نقطه‌ای است و تنها تفاوت

آن با آزمون سه نقطه‌ای، این است که در این جا، به جای سه نقطه‌ی تکیه‌گاهی ، چهار نقطه‌ی تکیه‌گاهی موجود بوده که دو نقطه از آن‌ها به اعمال بار بر روی قطعه می‌پردازند و همین امر منجر به توزیع مناسب تری از تنش بر روی قطعه می‌شود. به این دلیل، بیشتر برای مواد ترد و شکننده استفاده می‌شود و فرق بارز دیگری که این روش با آزمون خمش سه‌نقطه‌ای دارد عدم ایجاد تنش برشی در قطعه است. در ادامه، تصاویری از آزمون‌های مطرح شده ارائه می‌شود. (شکل ۶.ج آزمون ضریب‌پواسون بر اساس استاندارد ASTM

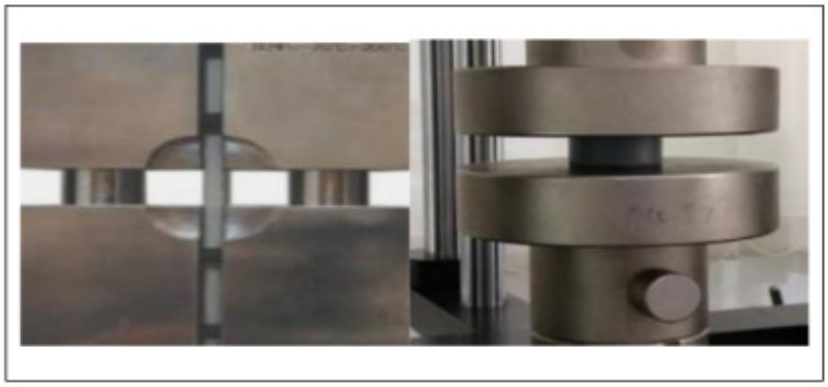


الف) آزمون کشش تک محور ب) آزمون خمش سه نقطه‌ای

D۳۰۳۹): یکی از پارامترهای مهم مورد استفاده در طراحی ساختار قطعات است که به بررسی تغییرات ابعادی در حین اعمال تنش و ایجاد کرنش می‌پردازد. این آزمون، میزان کرنش‌های ایجاد شده را در جهت‌هایی در خلاف جهت اعمال شده نشان می‌دهد.(شکل ۶.ح) آزمون فشاری مسطح (بر اساس استاندارد ASTM C۳۶۵): مقاومت فشاری قطعاتی که بصورت ساختار ساندویچی در سازه‌ها استفاده می‌شوند را محاسبه می‌کند.(شکل ۶.ه)آزمون فشاری مختلط (بر اساس استاندارد ASTM D۶۶۴۱): برای بررسی سفتی ، صلبیت استحکام قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمون هم تنش برشی و هم بارگزاری فشاری بر روی قطعه وجود دارد. (شکل ۶.و) آزمون خستگی (بر اساس استاندارد ASTM D۷۷۹۱): رفتار خستگی پلاستیک‌ها در یک شرایط بارگزاری غیرمحوری بررسی می‌شود. شرایط سطحی، تنش و سایر خصوصیات نمونه‌ها بر روی مقاومت خستگی پلاستیک‌ها و تقویت کننده‌های آنان که تحت بارگزاری غیرمحوری طی تعداد زیادی سیکل قرارگرفته، تاثیرگذار است.(شکل ۶. د)

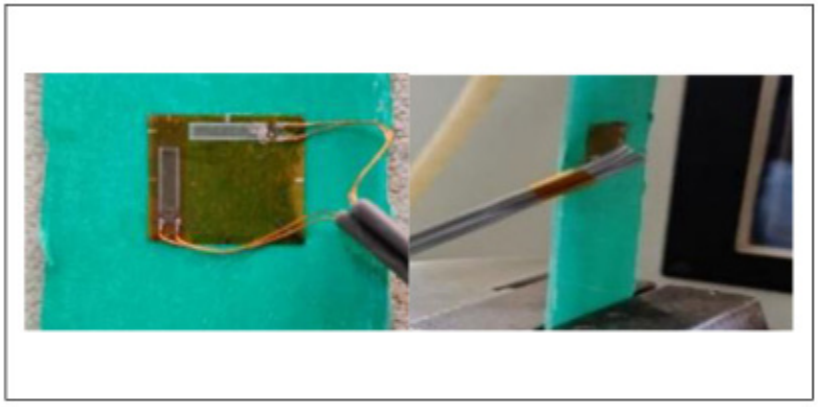


ج) آزمون خمش چهار نقطه‌ای د) آزمون خستگی



ه) آزمون فشاری مسطح

و) آزمون فشاری مختلط



ح) آزمون ضریب پواسون

شکل ۶. تصویر آزمون‌های مطرح در تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری

. بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها بر حسب نوع تقویت کننده‌های به کار رفته در آن‌ها

برای بررسی خواص کامپوزیت‌های پایه پلیمری، این نوع از کامپوزیت‌ها را به دو بخش تقسیم می‌کنیم:

۱.بررسی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف

۲.بررسی کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات

بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف (FRPs)

بنا به دلایل گوناگونی نظیر وزن پایین، قیمت مناسب در کنار خواص مکانیکی و استحکام مناسب، کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف با اقبال مطلوبی در سالیان اخیر مواجه شده و پروژه‌های تحقیقاتی بی‌شماری بر روی این دسته از کامپوزیت‌ها توسط پژوهشگران صورت پذیرفته است. حجم زیادی از تحقیقات به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های

تقویت شده با الیاف چه از لحاظ میزان افزودن آن‌ها به داخل زمینه کامپوزیت و چه از لحاظ اندازه و قطر و چه از نظر شکل الیاف افزوده شده به فاز زمینه مورد بررسی قرار گرفته است[۹]. بطور مثال اثر افزودن تقویت کننده‌های الیاف کربن بر خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت‌های پایه پلی پروپیلن توسط unterweger و همکارانش [۱۰] بررسی گردید. نمونه‌های کامپوزیتی با درصدهای وزنی مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد تهیه شد و استحکام و مدول کششی و مقاومت ضربه‌ای نمونه‌ها آزمایش گردید. با بررسی نتایج آزمون‌ها مشخص شد که با افزایش مقدار تقویت کننده به داخل کامپوزیت، تمام مشخصه‌های مکانیکی عنوان شده افزایش می‌یابند و بهترین نتیجه از نمونه حاوی wt٪ ۱۵ الیاف کربن بدست آمد که استحکام و مدول کششی به ترتیب ۹۸ MPa و ۱۴,۴ GPa ثبت شده است. تحقیق دیگری که توسط Senthilkumar و همکارانش [۱۱] انجام گردید ، به بررسی افزودن الیاف طبیعی آناناس به کامپوزیت‌های با زمینه پلی استری پرداخت. نتایج حاصل از آزمایش‌های مکانیکی بر روی نمونه‌های تهیه شده نشان داد که در اثر افزودن مقادیر بیشتری از الیاف به داخل زمینه پلیمری، استحکام فشاری، خمشی و کششی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند.

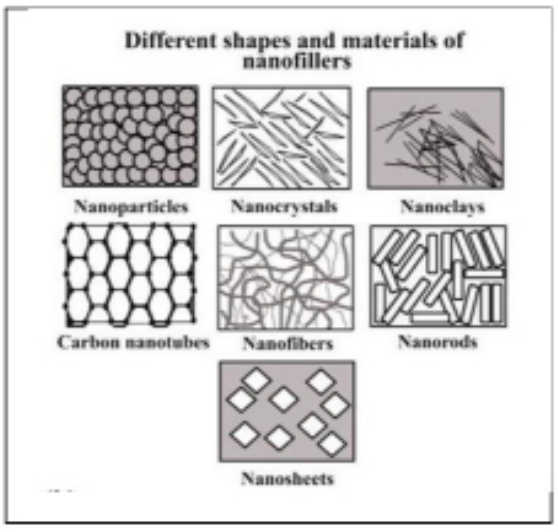
جدول ۲. بررسی خواص مکانیکی برخی از کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با الیاف

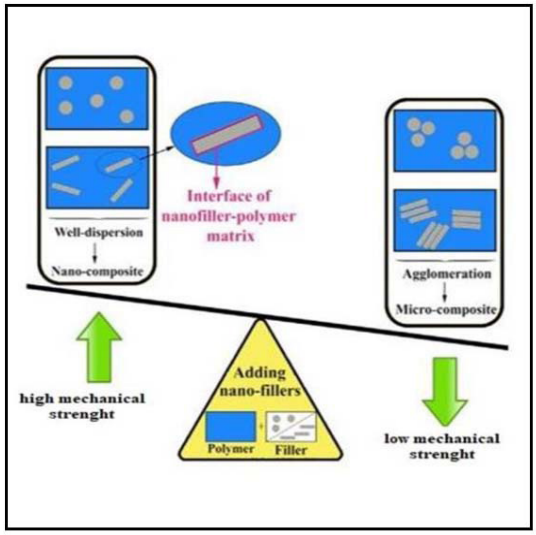
کامپوزیت	چگالی g/cm^3	ازدیاد طول[1] (%)	استحکام کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	مرجع
اپوکسی+40٪الیاف سیسال/نانوگیل	–	–	56	–	[16]
پلی‌آمید+30-20٪الیاف کربن	1.68-138	5.5-0.8	241-36.5	29-4.5	[17]
پلی‌آمید+الیاف شیشه	–	2	150	12	
PP+20%الیاف شیشه	1.03	4 3	100	4.3	[18]
PP+40% الیاف شیشه	1.22	2	127	7.6	
PP+30%الیاف کربن	1.07	1	117	16.2	[19]
PP+30%الیاف کنان	–	–	58.5	4.1	
وینیل استر+الیاف کربن	1.65-1.50	1.4	1200-900	136	
وینیل استر+24٪ الیاف کنان	–	–	248	24	
وینیل استر+59٪الیاف شیشه	–	–	483	33	
وینیل استر+الیاف کولار	1.35	–	500	40	
اپوکسی+20٪کولار+20٪کنف هندی	1.46	–	95	–	[20]

بررسی کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات و نانو ذرات (NPRPs)

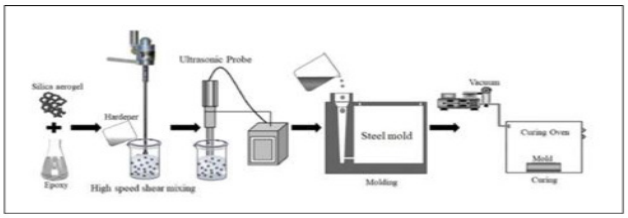
نانو ذرات

در سال‌های اخیر افزودن ذرات معدنی (فلزها،سرامیک ها،نانو فلزها و فلزات اکسیدی) در ماتریس‌های پلیمری سبب بهبود کارایی تولید می‌شوند و قطعاتی را با کارایی بالا در زمینه‌های صنعتی می‌سازند[۱۲]. پر کننده‌های میکروسکوپی در مقادیر بالایی استفاده می‌شوند و استحکام و سختی را افزایش می‌دهند، اما در عوض خواص ساختاری (تغییر طول هنگام شکست ، کشش و استحکام فشاری) را در پلیمرها کاهش می‌دهند. در قیاس با آن پرکننده‌های ماکروسکوپی، نانوذرات با کمترین نسبت می‌توانند بطور قابل توجهی خواص مکانیکی را بهبود بخشند[۱۳]. در برخی از تحقیق ها، افزودن مقادیر زیادی از تقویت کننده در ساختار زمینه پلیمری، منجر به چسبیده شدن ذرات به یکدیگر و تجمع (آگلومره شدن) آن‌ها می‌شود که این امر موجب کاهش خواص مکانیکی نمونه‌های تهیه شده و عدم توزیع یکنواخت تقویت کننده‌های داخل فاز زمینه را در پی دارد. برای جبران این مشکلات از اعمال امواج فراصوت (اولتراسونیک) در طی فرآیند مخلوط کردن افزودنی‌ها با زمینه و یا استفاده از اصلاح کننده‌های سطحی و پایدارساز در درون محلول در حین ساخت استفاده می‌کنند[۱۴]. در شکل‌های (۷) و (۸) ، اشکال مختلفی از نانو ذرات تقویت شونده و شماتیکی از عدم پخش مناسب افزودنی‌ها بعلت آگلومره شدن ارائه گردیده و در مراحل ساخت یک کامپوزیت زمینه پلیمری با استفاده اعمال امواج اولتراسونیک در جهت پخش مناسب ذرات به تصویر کشیده شده‌است. Yadav و همکاران [۱۴] در مطالعه‌ای به بررسی رفتار مکانیکی مواد دراثر افزودن نانو ذرات سیلیکا (SiO_2) در داخل زمینه کامپوزیت‌های اپوکسی پرداخته شده است (شکل ۹) و به این نتیجه دست یافتند که نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی خالص ، بطور کلی دارای استحکام پایینی هستند، اما زمانی که مقادیری از نانو ذرات سیلیکا به فاز زمینه اضافه می‌شود، خواص مکانیکی نظیر چقرمگی، سختی و استحکام افزایش می‌یابد. افزودنی‌های به کار رفته



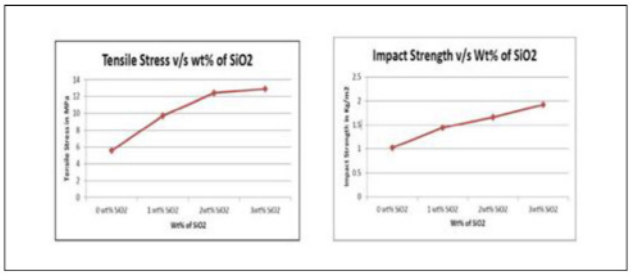


شکل ۷ . الف) بررسی اشکال مختلف نانو ذرات استفاده شده به عنوان تقویت کننده ، ب)تاثیر پراکندگی یا به هم چسبیدن ذرات به یکدیگر[۶]



شکل ۸ . نحوه ساخت کامپوزیت اپوکسی/سیلیکا آئروژل به همراه اعمال امواج فراصوت در جهت پراکندگی بهتر ذرات تقویت کننده.[۱۵]

در کامپوزیت پایه اپوکسی به غیر از سیلیکا، شامل آلومینا (Al_2O_3)، تیتانی(TiO_2)، کاربید سیلیسیوم(SiC)، کاربید تنگستن(WC) و گرافیت و غیره می‌شود. در شکل ۹، میزان استحکام کششی و مقاومت ضربه‌ای نمونه‌ها بر حسب افزایش درصد وزنی افزودنی‌ها، ارائه شده‌است.



شکل ۹. بررسی استحکام کششی و استحکام ضربه‌ای اپوکسی/نانوذرات سیلیکا بر حسب درصد وزنی SiO_2

بررسی اثر اندازه ذرات آلومینا تری هیدرات افزوده شده به زمینه اپوکسی توسط Radford و همکاران [۲۱] صورت پذیرفت، در این مطالعه هیچ رابطه معناداری بین اثر اندازه ذره و تغییرات خواص مکانیکی ثبت نگردید.

Ouyang و همکاران [۲۲] در این تحقیق ذرات کروی آلومینایی سنتزشده را به عنوان تقویت‌کننده به زمینه پلیمری سیلیکون رابر افزوده می‌شود. مشخص شد که استحکام کششی، مدول الاستیک و چقرمگی شکست نسبت به نمونه‌های خالص سیلیکون رابر، به ترتیب ۵,۷۱ MPa، ۹,۶۹ MPa و ۱,۸۱ mj/m^3 شده است که به ترتیب ۱۶۳۰٪ ، ۳۳۶۰٪ و ۷۲۳٪ در رشد را نشان می‌دهد. Awad و همکاران [۲۳] به بررسی کامپوزیت‌های پلی پروپیلنی تقویت شده با نانو ذرات سیلیکا پرداخته است. میزان افزودن تقویت کننده‌ها ۵، ۷ و ۱۰ درصد وزنی بوده و مشاهده گردید که بیشترین بهبود خواص مکانیکی در ۱۰٪wt از نانو ذرات سیلیکا صورت گرفته‌است. در بخش دیگری از بررسی‌های صورت گرفته سال‌های اخیر، علاقه‌مندی بسیار زیادی در جهت بررسی تاثیر نانو ذرات دو بعدی بعنوان تقویت‌کننده، بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلیمری مشاهده شده که اغلب کامپوزیت‌های ساخته شده با این تقویت کننده‌ها دارای خواص مطلوب و منحصر به فرد مکانیکی، حرارتی و غیره بوده‌اند. در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

[۲۴ و ۲۵]. Zou و همکاران [۲۶] نمونه‌های کامپوزیتی پایه پلی پروپیلنی تهیه کردند که با نانولوله‌های کربنی چند دیواره تقویت شده بود. در این تحقیق، مشخص گردید که در اثر افزودن مقادیر ۳ تا ۷ درصد وزنی (wt٪) از نانو لوله‌های کربنی به داخل نمونه‌های کامپوزیتی، مدول الاستیسیته و سختی بطور هم زمان افزایش پیدا می‌کند، اما اگر میزان تقویت کننده بیش از ۷ درصد وزنی شود، با افزایش این مقدار، شاهد کاهش خواص مکانیکی نمونه‌های تهیه شده هستیم که این امر ناشی ازعدم پراکندگی مناسب نانولوله‌های کربنی افزوده شده به فاز زمینه کامپوزیت‌ها است.

بررسی نانوذرات دو بعدی به عنوان تقویت کننده(۲D-NPRPs)

تحقیقات نشان داده است که نانو مواد دو بعدی می‌توانند به عنوان یک تقویت کننده عالی عمل کنند. مدول الاسیسته بالا و استحکام بالا با ترکیب نانو مواد دو بعدی در کامپوزیت حاصل می‌شود. این نانو مواد دو بعدی شامل گرافن، نیترید بور، دی‌سولفیدمولبیدن، کاربیدها، نیتریدها و غیره است. مقدار بسیار کمی از این نانومواد تأثیر به سزایی در خواص مکانیکی دارد. برای مثال نوارهای فوق‌العاده نازک دو بعدی گرافن دارای خواص مکانیکی بی‌نظیری هستند. نانو مواد دو بعدی به ۵ دسته تقسیم می‌شوند:Xenes : فقط از یک نوع عنصر تشکیل شده‌اند مانند کربن و سیلیکون و فسفر (یک نمونه معمولی گرافن)M : MXenes فلز انتقال اولیه مانند وانادیوم و تیتانیوم و مولیبدن ، X همان کربن یا نیتروژن است .TMDs : لایه‌های شش‌ضلعی اتم‌های فلزی M حالت ساندویچی بین دو لایه اتم کالکوژن X با استوکیومتری MX_2 نیتریدها : یک نیترید دوبعدی معمولی و نیترید بور ۶ ضلعی(h-BN)ساختارهای ارگانیک : ساختارهای آلی دوبعدی حاوی ساختارهای آلی فلزی و ساختارهای آلی کوولانسی[۲۷].در جدول ۳ ، به خصوصیات چند نمونه از نانو مواد دوبعدی پرداخته شده‌است.۴ عامل که سبب افزایش مقاومت مکانیکی در کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با مواد ۲ بعدی می‌شوند عبارتند از: [۳۱]

i. نسبت ابعاد بزرگ و ذات خواص مکانیکی بالا،

ii.تعامل سطحی قوی بین مواد دو بعدی و ماتریس پلیمر

iii.پراکندگی همگن مواد دوبعدی

iv.افزایش تبلور .Wang و همکاران [۳۲] گزارش دادند که تبلور سوسینات پلی بوتیلن (PBS) با وجود گرافن ، ثابت می‌ماند. افزودن گرافن به میزان ۲ درصد وزنی باعث افزایش استحکام کششی ۲۱٪ و مدول ذخیره ۲۴٪ گردید.

نانو مواد 2 بعدی	ضخامت	استحکام کششی (GPa)	مدول الاستیک (GPa)	مرجع
گرافن	-	125	1000	[28]
سیلیسین			82	
دی‌سولفید مولیبدن	تک لایه	23	270	[29]
تیتانیوم کربنات	تک لایه	-	597	[30]

بررسی کامپوزیت‌های هیبریدی زمینه‌ی پلیمری

در چند سال اخیر شاهد تغییر رویکرد پژوهشگران از کامپوزیت ساده به هیبرید دو یا چند الیاف یا ذرات پرکننده اضافه‌شده به کامپوزیت بوده‌ایم.کامپوزیت‌های هیبریدی از ترکیبی از یک یا چند لیف یا پرکننده تقویت‌شده با ماتریس ساخته شده‌اند. چند دهه اخیر، تحقیقات زیادی در مورد تاثیر الیاف مختلف بر خواص مکانیکی چندلایه‌های کامپوزیت هیبریدی انجام شده است. پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف هیبریدی توجه محققان را در مقایسه با کامپوزیت ساده جلب کرده‌اند.

جدول ۴. بررسی نتایج ساخت کامپوزت‌های حاوی نانو ذرات ۲ بعدی

نام نانو ذرات 2 بعدی	ماتریس	مقاومت کششی (MPa)	درصد افزایش مقاومت کششی(٪)	مدول کششی (GPa)	میزان ازدیاد طول در شکست(٪)	مرجع
دی‌سولفید مولیبدن(7 wt%)	پلی وینیلیدین فلوراید	42	%61.5	_	470	[33]
نیترید بور	PMMA	_	_	_	34.4	[34]
نیترید بور (wt% 1.5)	استایرن بوتادین لاستیکی	47.5	%150	_	380	[35]
نیترید بور (2 wt%)	پلی اریلن اتر نیتریل	111	%10	_	2.75	[36]

Nagaraja و همکاران [۳۷] نمونه‌های کامپوزیتی حاوی اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه سری E را طبق جدول ۵ تهیه نمودند. سپس توسط آزمون‌های مندرج در استاندارد ASTM که در جدول ۶ بیان گردیده، مورد

جدول ۵. نمونه‌های ساخته شده بر حسب درصد وزنی اجزا تقویت کننده

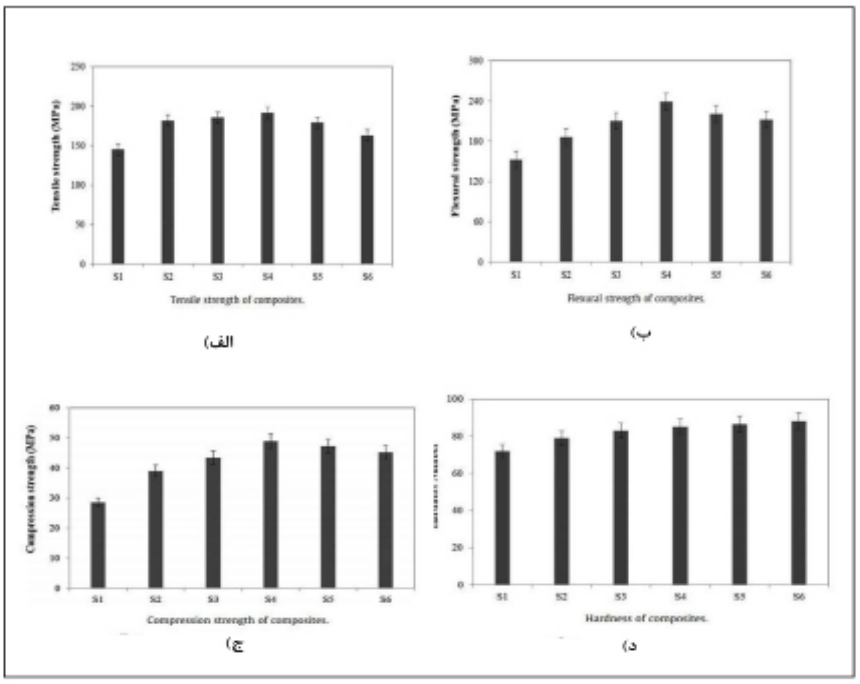
شماره‌ی نمونه	درصد وزنی اپوکسی (wt%)	درصد وزنی الیاف شیشه (wt%)	درصد وزنی پرکننده لاستیک میکرونیزه شده(wt%)
S1	50	50	0
S2		45	5
S3		42.5	7.5
S4		40	10
S5		3705	12.5
S6		35	15

جدول ۶ . بررسی استاندارد آزمون‌های مکانیکی صورت گرفته بر روی نمونه‌های کامپوزیتی هیبریدی اپوکسی/الیاف شیشه/ ذرات لاستیکی

آزمون مکانیکی	استاندارد ASTM	ابعاد نمونه‌ها (mm^3)
کشش	ASTM-D638	150x20x3
خمش	ASTM-E399	125x12x3
فشار	ASTM-D575	50x12x3
سختی	ASTM-D785	25x25x3

آزمایش واقع شده و نمودارهای استحکام کششی، استحکام خمشی، استحکام فشاری و سختی آنان در شکل (۱۰) ارائه و بررسی گردیده است و همچنین در جدول ۷ خواص مکانیکی کامپوزیت های هیبریدی مشاهده میشود.

Venkatesan و همکارانش [۳۸] الیاف شیشه و نانولوله‌های کربنی (CNT) کامپوزیت هیبریدی را برای رفتار فرسایشی مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نمونه‌های کامپوزیتی حاوی مقادیر مختلفی از CNT و با درصدهای



شکل ۱۰. بررسی استحکام الف) کششی، ب) خمشی ، ج) فشاری و د) سختی کامپوزیت‌های اپوکسی/الیاف شیشه/ذرات لاستیکی میکرونیزه

جدول ۷. بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های هیبریدی

مشخصات کامپوزیت	مقاومت کششی (MPa)	مدول کششی (GPa)	میزان ازدیاد طول در شکست(٪)	مرجع
پلیمر/ شیشه/کربن/شیشه (Glass/carbon/glass/polymer)	360-270	8-5.8	5.8-5.2	[40]
پلیمر EPDM[1]/لاستیک نیتریل بوتادین[2]/ اکسید روی/ لاستیک کلروپرین بوتادین[3]/گوگرد/گرافن (EPDM/NBR/zinc oxide/CBS/ sulfur/graphene)	4.5-3	3.5-1.8	360-310	[41]
اپوکسی/ پلیمر سیاه/ لاستیک هسته پوسته‌ای (Epoxy/block polymer/core shell rubber)	103.58-34.39	3658-2838	5.83-1.33	[42]
اپوکسی/کتان/ الیاف کربن (Epoxy/flax/carbon fiber)	778	19	3.7	[43]

وزنی مختلف بصورت یعنی ۱ ٪، ۳ ٪ و ۵ ٪ ساخته شد، در حالی که مقدار ثابتی از الیاف شیشه با درصدهای مختلف اپوکسی (۴۴ ٪، ۴۲ ٪ و ۴۰ ٪)مخلوط شد. آزمون لغزش خشک برای سایش با استفاده از یک پین استاندارد بر روی دستگاه دیسک با سرعت و بار متفاوت انجام شد. آنالیز ریزساختار برای بررسی سطح فرسوده انجام شده‌است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که کاهش نرخ فرسایش با افزایش درصد ذرات پرکننده CNT مشاهده شد. Scaffaro و همکاران [۳۹] تأثیر هم‌افزایی CNT و نانو ذرات گرافن بر بهبود خواص مکانیکی را بررسی کردند. از پلی لاکتیک اسید (PLA) بعنوان ماتریس پلیمری استفاده شده و نمونه‌هایی با ۰,۵ درصد وزنی گرافن، ۰,۵ درصد وزنی نانو لوله ی کربنی و نمونه‌ای حاوی نانولوله‌کربنی و گرافن بصورت همزمان و مجموع ۰,۵درصد وزنی ساخته شد، مشاهده گردید که در نمونه های حاوی تقویت کننده‌های نانولوله‌ی کربنی و گرافن مدول کششی نسبت نمونه‌های حاوی PLA خالص افزایش یافته و این میزان افزایش در نمونه‌ی حاوی نانولوله‌های کربنی بیشتر بوده همچنین مشخص گردید که میزان سختی نمونه‌ی حاوی نانولوله‌های کربنی و گرافن بصورت همزمان مابین میزان سختی نمونه‌های کامپوزیتی حاوی گرافن و نمونه‌ی حاوی نانولوله‌ی کربنی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

مقاله پیش‌رو به بررسی انواع کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری با توجه به نوع و شکل تقویت کننده‌های آن‌ها از منظر ذره‌ای، الیافی و ذرات دو بعدی پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان داد هر چه ذرات تقویت کننده از ساختار ذره‌ای به اشکال پولکی شکل دوبعدی و یا الیافی تبدیل شوند و سطح تماس و درگیری آن‌ها با زمینه پلیمری بیشتر باشد، خواص مکانیکی کامپوزیت ساخته شده افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. بعلاوه، اخیرا با توجه به اهمیت استفاده از تقویت کننده های طبیعی با منشاء گیاهی و استفاده از ضایعات آن ها، کاربرد الیاف طبیعی و بازیافتی گوناگون، در استفاده از کامپوزیت‌ها، به شدت گسترش پیدا کرده و به علت ارزان بودن، دسترسی آسان، زیست سازگاری و استحکام مناسب، در حال گسترش است. با توجه به خواص مکانیکی و استحکامی نمونه‌های ساخته شده از این نوع تقویت‌کننده‌ها مشاهده گردید که میزان استحکام آن‌ها در حد قابل قبول بوده و قابلیت جایگزینی با برخی از کامپوزیت‌های ساخته شده با الیاف تقویت‌کننده مصنوعی را برای کاربردهای مختلف دارند. از چالش‌های پیش‌روی این دسته از تقویت‌کننده‌ها چگونگی ارتقای خواص مکانیکی نمونه های کامپوزیتی ساخته شده با آن‌ها و چگونگی عمل آوری و اصلاح سطح این دسته از الیاف در جهت بهبود اتصال و پیوند با زمینه پلیمری است. همچنین با توجه به تحقیقات سال‌های اخیر و به جهت ارتقای خواص مکانیکی، حرارتی و غیره و برای استفاده در کاربردهای خاص، نظر بسیاری از دانشمندان به سمت ساخت کامپوزیت‌های هیبریدی معطوف شده، به نحوی که بخشی از استحکام و خواص مکانیکی را نوعی خاص از تقویت کننده بر عهده می‌گیرد و بخشی دیگر از خواص مد نظر را تقویت کننده‌ای متفاوت پوشش می‌دهد. این تقویت‌کننده‌ها می‌توانند از دو یا چند ماده گوناگون با جنس‌ها و ساختارهای مختلف تشکیل شوند. همین امر باعث ارتقای خواص مکانیکی این نوع از کامپوزیت ها شده که به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا از این کامپوزیت‌ها در قطعات خاص و شرایط جدیدی استفاده کنند که تا قبل از آن هیچ کامپوزیت زمینه پلیمری دیگری در آن شرایط مورد استفاده قرار نگرفته است. براساس مطالعات صورت گرفته انتظار می‌رود تا در سال‌های آینده شاهد رشد روزافزون به کارگیری الیاف طبیعی در ساخت کامپوزیت‌های هیبریدی به منظور ساخت قطعات مورد استفاده در شرایط

مکانیکی و استحکامی خاص باشیم که این امر باعث استفاده از مواد طبیعی و زیست سازگار بوده و میتواند به بازیافت بخش بزرگی از از مواد زائد و دورریز گیاهان منجر شود. البته که با استفاده از این مواد، روش های عمل آوری این الیاف نیز نیازمند ارتقا و تحقیقات بسیاری است. در صورت استفاده از کامپوزیت های هیبریدی و گسترش دامنه پژوهش ها بر روی آن ها، این دسته از مواد، قادر خواهند بود تا در صنایع بسیاری نظیر صنایع خودروسازی و دریایی بیش از پیش مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری IRM

مراجع

[1] Egbo, Munonyedi Kelvin. "A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering." (2020).

[2] Kumar, Amit, Kamal Sharma, and Amit Rai Dixit. "A review on the mechanical properties of polymer composites reinforced by carbon nanotubes and graphene." Carbon Letters (2020): 1-17.

[3]Fu, Chenjie, Changzeng Yan, Linlin Ren, Xiaoliang Zeng, Guoping Du, Rong Sun, Jianbin Xu, and Ching-Ping Wong."Improving thermal conductivity through welding boron nitride nanosheets onto silver nanowires via silver nanoparticles." Composites Science and Technology 177 (2019): 118-126.

[4] Li, Yunlong, Quan Wang, and Shijie Wang. "A review on enhancement of mechanical and tribological properties of polymer composites reinforced by carbon nanotubes and graphene sheet: molecular dynamics simulations." Composites Part B: Engineering 160 (2019): 348-361.

[5] Arumugam, Soundhar, Jayakrishna Kandasamy, Ain Umaira Md Shah, Mohamed Thariq Hameed Sultan, Syafiqah Nur Azrie Safri, Mohd Shukry Abdul Majid, Adi Azriff Basri, and Faizal Mustapha."Investigations on the mechanical properties of glass fiber/sisal fiber/chitosan reinforced hybrid polymer sandwich composite scaffolds for bone fracture fixation applications." Polymers 12.7 (2020): 1501.

[6] Pourhashem, Sepideh, Farhad Saba, Jizhou Duan, Alimorad Rashidi, Fang Guan, Elham Garmroudi Nezhad, and Baorong Hou. "Polymer/Inorganic Nanocomposite Coatings with Superior Corrosion Protection Performance: A Review." Journal of Industrial and Engineering Chemistry (2020).

[7] Karthik, K., D. Rajamani, A. Manimaran, and J. Udayaprakash."Evaluation of tensile properties on Glass/Carbon/Kevlar fiber reinforced hybrid composites." Materials Today: Proceedings (2020).

[8]Saba, N., M. Jawaid, and M. T. H. Sultan. "An overview of mechanical and physical testing of composite materials." Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites. Woodhead Publishing, 2019. 1-12.

[9]Chavhan, Ganesh R., and Lalit N. Wankhade. "Improvement of the mechanical properties of hybrid composites prepared by fibers, fiber-metals, and nano-filler particles–A review." Materials Today: Proceedings 27 (2020): 72-82.

[10] Unterweger, Christoph, Tina Mayrhofer, Francesco Piana, Jiri Duchoslav, David Stifter, Claudia Poitzsch, and Christian Fürst."Impact of fiber length and fiber content on the mechanical properties and electrical conductivity of short carbon fiber reinforced polypropylene composites." پ

[11]Senthilkumar, K., N. Saba, M. Chandrasekar, M. Jawaid, N. Rajini, Othman Y. Alothman, and Suchart Siengchin."Evaluation of mechanical and free vibration properties of the pineapple leaf fibre reinforced polyester composites." Construction and Building Materials 195 (2019): 423-431.

[12]Hemath, Mohit, Sanjay Mavinkere Rangappa, Vinod Kushvaha, Hom Nath Dhakal, and Suchart Siengchin."A comprehensive review on mechanical, electromagnetic radiation shielding, and thermal conductivity of fibers/inorganic fillers reinforced hybrid polymer composites." Polymer Composites 41.10 (2020): 3940-3965.

[13]Liao, Ken-Hsuan, Shingo Kobayashi, Hyunwoo Kim, Ahmed A. Abdala, and Christopher W. Macosko."Influence of functionalized graphene sheets on modulus and glass transition of PMMA." Macromolecules 47.21 (2014): 7674-7676.

[14]Yadav, P. S., Rajesh Purohit, and Anil Kothari. "Study of friction and wear behaviour of epoxy/nano SiO2 based polymer matrix composites-a review." Materials Today: Proceedings 18 (2019): 5530-5539.

[15]Salimian, S., and A. Zadhoush. "Water-glass based silica aerogel: unique nanostructured filler for epoxy nanocomposites." Journal of Porous Materials 26.6 (2019): 1755-1765.

[16]Girisha, C., Gunti Sanjeevamurthy, and G. R. Srinivas. "Sisal/coconut coir natural fibers-epoxy composites: water absorption and mechanical properties." Int J Eng Innov Technol 2 (2012): 166-170.

[17]Chung, Deborah DL. "Composite materials for electrical applications." Composite Materials. Springer, London, 2003. 73-89.

[18]Oksman, Kristiina. "Mechanical properties of natural fibre mat reinforced thermoplastic." Applied Composite Materials 7.5-6 (2000): 403-414.

19] Susheel, Kalia, B. S. Kaith, and Kaur Inderjeet. "Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: a review." Polym Eng Sci 49.7 (2009): 1253-72.

[20]Maharana, Sunil Manohar, Priyaranjan Samal, Janaki Dehury, and Pragyan Paramita Mohanty. "Effect of fiber content and orientation on mechanical properties of epoxy composites reinforced with jute and Kevlar." Materials Today: Proceedings 26 (2020): 273-277.

[21]Radford, K. C. "The mechanical properties of an epoxy resin with a second phase dispersion." Journal of Materials Science 6.10 (1971): 1286-1291.

[22] Ouyang, Yuge, Xiaofei Li, Fei Ding, Liuyang Bai, and Fangli Yuan."Simultaneously enhance thermal conductive property and mechanical properties of silicon rubber composites by introducing ultrafine Al2O3 nanospheres prepared via thermal plasma." Composites Science and Technology 190 (2020): 108019.

[23] Awad, Sameer A., and Eman M. Khalaf. "Investigation of improvement of properties of polypropylene modified by nano silica composites." Composites Communications 12 (2019): 59-63.

[24]Ahmad, Md Wasi, Baban Dey, Gautam Sarkhel, Dibyendu Sekhar Bag, and Arup Choudhury. "Exfoliated graphene reinforced polybenzimidazole nanocomposite with improved electrical, mechanical and thermal properties." Materials Chemistry and Physics 223 (2019): 426-433.

[25]Ren, Yanjuan, Yafei Zhang, Haoming Fang, Tianpeng Ding, Jinlai Li, and Shu-Lin Bai. "Simultaneous enhancement on thermal and mechanical properties of polypropylene composites filled with graphite platelets and graphene sheets." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 112 (2018): 57-63.

[26]Zhou, Shengtai, Andrew N. Hrymak, and Musa R. Kamal. "Electrical, thermal, and mechanical properties of

polypropylene/multiwalled carbon nanotube micromoldings." Polymer Composites 41.4 (2020): 1507-1520.

[27]Wang, Wei, Guoxin Xie, and Jianbin Luo. "Black phosphorus as a new lubricant." Friction 6.1 (2018): 116-142.

[28]Sha, Zhen-Dong, Qing-Xiang Pei, Zhiwei Ding, Jin-Wu Jiang, and Yong-Wei Zhang."Mechanical properties and fracture behavior of single-layer phosphorene at finite temperatures." Journal of Physics D: Applied Physics 48.39 (2015): 395303.

[29]Shuai, Cijun, Hang Sun, Chengde Gao, Pei Feng, Wang Guo, Youwen Yang, Mingchun Zhao, Sheng Yang, Fulai Yuan, and Shuping Peng. "Mechanical reinforcement of bioceramics scaffolds via fracture energy dissipation induced by sliding action of MoS2 nanoplatelets." Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 75 (2017): 423-433.

[30]Pang, Jinbo, Rafael G. Mendes, Alicja Bachmatiuk, Liang Zhao, Huy Q. Ta, Thomas Gemming, Hong Liu, Zhongfan Liu, and Mark H. Rummeli."Applications of 2D MXenes in energy conversion and storage systems." Chemical Society Reviews 48.1 (2019): 72-133.

[31]Liu, Changzhen, Shibing Ye, and Jiachun Feng. "Promoting the dispersion of graphene and crystallization of poly (lactic acid) with a freezing-dried graphene/PEG masterbatch." Composites Science and Technology 144 (2017): 215-222.

[32]Wang, Xin, Hongyu Yang, Lei Song, Yuan Hu, Weiyi Xing, and Hongdian Lu. "Morphology, mechanical and thermal properties of graphene-reinforced poly (butylene succinate) nanocomposites." Composites Science and Technology 72.1 (2011): 1-6.

[33]Jiang, Lingqing, Haian Xie, Yan Hou, Shan Wang, Yushuang Xia, Yang Li, Guo-Hua Hu, Quanling Yang, Chuanxi Xiong, and Zhaodongfang Gao. "Enhanced piezoelectricity of a PVDF-based nanocomposite utilizing high-yield dispersions of exfoliated few-layer MoS2." Ceramics International 45.9 (2019): 11347-11352.

[34]Cui, Zhenhua, Andre P. Martinez, and Douglas H. Adamson. "PMMA functionalized boron nitride sheets as nanofillers." Nanoscale 7.22 (2015): 10193-10197.

[35]Kwon, O-Seok, Dongju Lee, Seong Pil Lee, Yong Gu Kang, Nam Chul Kim, and Sung Ho Song."Enhancing the mechanical and thermal properties of boron nitride nanoplatelets/elastomer nanocomposites by latex mixing." RSC advances 6.65 (2016): 59970-59975.

[36]Xiao, Qian, Weihua Han, Ruiqi Yang, Yong You, Renbo Wei, and Xiaobo Liu."Mechanical, dielectric, and thermal properties of polyarylene ether nitrile and boron nitride nanosheets composites." Polymer Composites 39.S3 (2018): E1598-E1605.

[37]Nagaraja, K. C., S. Rajanna, G. S. Prakash, and G. Rajeshkumar."Mechanical properties of polymer matrix composites: Effect of hybridization." Materials Today: Proceedings (2020).

[38]Venkatesan, M., K. Palanikumar, and S. Rajendra Boopathy. "Experimental investigation and analysis on the wear properties of glass fiber and CNT reinforced hybrid polymer composites." Science and Engineering of Composite Materials 25.5 (2018): 963-974.

[39]Scaffaro, Roberto, and Andrea Maio. "Integrated ternary bionanocomposites with superior mechanical performance via the synergistic role of graphene and plasma treated carbon nanotubes." Composites Part B: Engineering 168 (2019): 550-559.

[40]Gemi, Lokman, Uğur Köklü, Şakir Yazman, and Sezer Morkavuk."The effects of stacking sequence on drilling

machinability of filament wound hybrid composite pipes: Part-2 damage analysis and surface quality." Composite Structures 235 (2020): 111737.

A review on the polymeric composite reinforcements and a study of their mechanical properties

Shahram Mahboubizadeh1*, Mahdi Hasanzadeh 2 , Fatemeh Badretalei 3 , Mahdieh Gol Hassani 3 , Sana Chizari 3

1.Department of Material Engineering, ,Islamic Azad University, Science and Research, Tehran, Iran

2.Department of Textile Engineering,University of Yazd, Yazd, Iran

3.Department of Mechanical Engineering,Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

∗**Corresponding author Email:***sh.mahbobizadeh@srbiau.ac.ir

Abstract

Polymer composites have been widely welcomed by researchers due to their low weight, desirable mechanical properties, and various production methods than other types of composites. In this article, first, the activities and studies of researchers have been reviewed in the view point of make polymer composites with higher mechanical properties and how to measure important mechanical properties and related tests. In the other section, the types of reinforcements used in polymer-based composites are reviewed in terms of type (natural or synthetic), surface shape and morphology as well as their impact on mechanical properties. According to the results and studies, it was found that the strength of composite specimens made is directly related to the shape and amount of reinforcement used. Also, if the contact surface of the reinforcement with the polymer matrix is increased, the mechanical properties of the composite will increase. In this regard, two-dimensional nanoparticle and fiber reinforcements have a higher strength than composites containing particle reinforcements.