مطالعات علوم کاربردی در مهندسی
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
صفحات ۱۴۱-۱۲۶

Online ISSN: ٢٤٧٦-٤٥٠٧
Print ISSN: ٢٥٣٨-٢٠٥٥
www.irijournals.com

بررسی تجربی رفتار نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری در معرض تابش اشعه فرابنفش

مجید صفرآبادی فراهانی[۱]، مصطفی لطفی نژاد[۲]

[۱]دانشیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه تهران
[۲]کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشگاه تهران

چکیده

مهم‌ترین دلیل محافظت دربرابر اشعه‌ی فرابنفش، صرفه‌جویی‌های اقتصادی برای کم کردن هزینه‌ها به جهت دوام و طول عمر محصول و مسائل زیست محیطی جهت جلوگیری از تولید زباله است، لذا هزینه‌ی تمام شده یک طرح پیشنهادی برای محافظت از کامپوزیت، نقش اول در اجرایی شدن آن طرح را ایفا می‌کند. لذا در این پژوهش دو مدل نمونه یکسان از نانوکلی با درصدهای حجمی ۱، ۳ و ۵ درصد حجمی، از این نانوذره با رزین اپوکسی ترکیب و پس از ساخت قطعات استاندارد آزمایش، توسط روش FESEM نمونه‌های ساخته شده مورد بررسی قرار می‌گیرد تا از عدم کلوخه شدن نانوذرات در نمونه‌ها اطمینان حاصل گردد. سپس تعدادی از نمونه‌ها در دستگاه شبیه ساز اشعه‌ی فرابنفش قرار گرفته و بلافاصله پس از خروج از دستگاه شبیه‌ساز اشعه‌ی فرابنفش مورد آزمایش کشش و فشار قرار گرفته و با نتایج آزمایشات کشش و فشار گرفته شده از نمونه‌های بدون تابش اشعه‌ی فرابنفش مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در پایان میزان کاهش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت ساخته شده را پس از قرارگیری درمعرض تابش اشعه‌ی فرابنفش، مورد بررسی قرارداده شده است.

واژگان کلیدی: کامپوزیت، اشعه فرابنفش، خواص مکانیکی

مقدمه

در سالیان دور از زمان یونان باستان دانشمندان بر این باور بودند که مواد را می‌توان به اجزای کوچک‌تر تبدیل کرد که تا حدی که خرد شدنی نباشند و این ذرات، بنیان و بنیاد مواد را تشکیل می‌دهند. در حدود ۴۰۰ سال پیش از میلاد مسیح دموکریتوس[1] فیلسوف یونانی، برای اولین بار واژه‌ی اتم را در زبان یونانی که به معنی تقسیم نشدنی است، به کار برد. از این رو شاید بتوان وی را بنیان‌گذار فناوری و علوم نانو دانست.

در میان کامپوزیت‌ها نانو کامپوزیت‌های زمینه پلیمری به علت خواص منحصر به فرد از جمله سبکی، مقاومت نسبت به خوردگی و فرآیند تولید نسبتا آسان آن‌ها، در صنایع کاربرد فراوانی دارند اما به علت وجود پلیمر در ماده زمینه این نوع کامپوزیت‌ها در برابر تابش اشعه فرابنفش، کاهش خواص مکانیکی از خود نشان میدهند، به طوری‌که یکی از چالش برانگیزترین مسایل در بحث کامپوزیت، ارایه راهکاری برای افزایش طول عمر کامپوزیت های زمینه پلیمری در برابر تابش اشعه فرابنفش شده است.

راهکارهای متفاوتی برای افزایش مقاومت نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری ارایه شده است که بسته به نوع ماده زمینه و کاربرد آن-ها، این راهکارها متفاوت است. از آن‌جایی که تخریب و کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت تحت تابش اشعه‌ی فرابنفش بر روی سطح کامپوزیت با ایجاد میکروترک آغاز می‌شود، این ترک‌ها به مرور زمان رشد یافته و کم‌کم باعث شکست قطعه‌ی کامپوزیتی می‌گردند. با توجه به خواص نانوذرات رس، در این پژوهش پیش‌بینی می‌شود که استفاده از نانوذرات رس در ترکیب با ماده‌ی زمینه رزین اپوکسی، میکروترک‌های ایجاد شده هنگام رشد و گسترش، به پیوند محکم نانوذرات برخورد کرده و از رشد آنها جلوگیری گردد. لذا در این پژوهش سه هدف زیر دنبال و مورد بررسی قرار گرفته می‌شود:

۱. محاسبه خواص مکانیکی کامپوزیت پیش و پس از تابش اشعه‌ی فرابنفش
۲. بررسی وابستگی نتایج به میزان درصد حجمی نانوذرات استفاده شده
۳. بررسی توزیع تصادفی ذرات بر مقاومت کامپوزیت در برابر تابش اشعه فرابنفش

تعریف کامپوزیت

به ماده مرکب یا چندسازه به صورت خلاصه کامپوزیت گفته می‌شود. در واقع کامپوزیت یک جامد غیر یکنواخت متشکل از حداقل دو یا چند ماده‌ی مختلف است که به صورت مکانیکی یا متالورژی به هم پیوند خورده‌اند. هر یک از اجزای مختلف کامپوزیت‌ها، هویت، ساختار و خصوصیات مشخصه‌ی خود را در کامپوزیت حفظ می‌کند و سطح مشترک بین مواد کاملاً قابل تشخیص است. ماده کامپوزیت حاصله دارای ترکیبی از این خصوصیات است که هر یک از مواد تشکیل دهنده به تنهایی امکان داشتن این ترکیب از خصوصیات را به صورت مجزا ندارند. طبق تعریف انجمن فلزات آمریکا، به ترکیب ماکروسکوپی دو یا چند ماده ی مجزا که سطح مشترک مشخصی بین آن‌ها وجود داشته باشد، کامپوزیت گفته می‌شود. این مواد تشکیل دهنده، خواص شیمیایی و فیزیکی کاملاً متفاوتی دارند و برای ساخت ماده‌ای که شبیه به هیچ‌کدام از این مواد مجزا نیست با هم ادغام می‌شوند. این مواد در داخل ماده جدید، مجزا و قابل تفکیک باقی می‌مانند و این موضوع وجه تمایز کامپوزیت‌ها از مخلوط‌ها و محلول‌های جامد است.[۱]

نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت‌ها شامل ترکیب ذرات در مقیاس مولکولی یا نانو در ماده زمینه پلیمری، فلزی و یا سرامیکی هستند. در نانومواد، نانوکامپوزیت‌ها جایگاه ویژه‌ای دارا می‌باشند. حضور ذرات در ساختار نانوکامپوزیت‌ها عموما باعث افزایش استحکام ماده زمینه می-شود. درواقع وقتی که ذرات نانو به ماده زمینه‌ی کامپوزیت اضافه می شوند، نیروی اعمالی به طور یکنواخت به ذرات انتقال می یابد و علاوه بر آن در اثر برهم کنش سطحی بین ماده‌ی زمینه و مواد تقویت‌کننده از خواص بهتری برخوردار می‌گردد. نوع و میزان این

[1] Democritus

برهم کنش می‌تواند نقش مهمی در خواص مختلف نانوکامپوزیت ایفا کند که یکی از این موارد افزایش خواص مکانیکی آن کامپوزیت خواهد بود. البته باید به این نکته توجه کرد که به مجرد اضافه کردن نانوذرات به ماده‌ی زمینه نمی‌توان به خواص بالاتری دست یافت و لازم است که در این ترکیب شرایطی الزاما رعایت شود.[۴]

نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری

به طور معمول نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری حاوی ۱ تا ۳ درصد حجمی نانوذرات هستند. بازار نانو کامپوزیت‌های مبتنی بر پلیمر در چند دهه‌ی اخیر بسیار رشد چشمگیری داشته است، به نحوی که در سال ۲۰۱۹ ارزش این بازار به مبلغ حدود ۴/۳۲ میلیارد دلار برآورد شده که پیش‌بینی می‌شود این رقم در سال ۲۰۲۷ به بیش از ۱۴/۳۷ میلیارد دلار افزایش یابد.[۵]

نانوکامپوزیت‌ها، چگالی کمی دارند و باعث بهبود خواص مکانیکی می شوند و می‌توانند به راحتی با مواد افزودنی اصلاح شوند. ماده زمینه پلیمری در این کامپوزیت‌ها، روش های تهیه و شکل دهی آنها را در مقایسه با دو گروه دیگر زمینه فلزی و زمینه سرامیکی برتری می دهد. به همین دلیل از آغاز دهه ۹۰ میلادی، مورد توجه محقیقن زیادی قرار گرفته‌اند. در این کامپوزیت‌ها، از دو نوع پلیمرهای نرم و سخت مانند پلی‌استر و رزین اپوکسی استفاده می‌شود. همچنین انواع نانوذرات از انواع مختلف کانی‌های خاک رس از جمله مونت موریلونیت، میکا، هالویسیت، کائولن و کواتز و یا نانولوله‌های کربن، نانوصفحات گرافن در این نانوکامپوزیت‌ها به عنوان فاز تقویت کننده استفاده می‌شود. این ذرات به عنوان ذرات پودری با اندازه‌ی نانومتری شناخته می‌شود.[۶]

مزایا و معایب نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت‌ها خواص مکانیکی و فیزیکی بالایی در محدوده گسترده‌ای از دما را دارا هستند. افزودن نانوذرات به فاز زمینه، باعث افزایش چشم گیر خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت می‌شود. در مقابل این خواص منحصربه‌فرد مشکلاتی در ساخت این نانوکامپوزیت‌ها وجود دارد که در ذیل بیان گردیده است:

- عدم توزیع یکنواخت نانوذرات در ماده زمینه می‌تواند حتی تا حد زیادی خواص نانوکامپوزیت را کاهش دهد.
- تجمع و کلوخگی نانوذرات در نانوکامپوزیت‌ها، موجب افزایش انرژی سطحی شده و به دنبال آن کاهش خواص مکانیکی را به دنبال دارد.
- استفاده از نانوذرات در بعضی از کاربردها به دلیل پیچیدگی فرایند ساخت و همچنین استفاده از مواد شیمیایی گران قیمت جهت توزیع یکنواخت آنها کاربرد آنها را در مصارف خاص محدود می کند.[۹]

اشعه فرابنفش

اشعه فرابنفش[۲] موجی در محدوده‌ی موج‌های الکترومغناطیسی با طول موجی در محدوده‌ی ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر می‌باشد.طول موج اشعه‌ی فرابنفش کوتاه‌تر از نور مرئی وبلندتر از اشعه ایکس است. به عبارت دیگر، انرژی آن کمتر از پرتو ایکس و بیشتر از نور مرئی می‌باشد. اشعه فرابنفش در نور خورشید موجود است و حدودا شامل ۱۰ درصد تمام امواج منتشر شده‌ی خورشید را شامل می‌شود. پرتو فرابنفش به صورت کاملا اتفاقی با مشاهده‌ی تغییر رنگ و تیرگی املاح نقره در مقابل نور مستقیم خورشید کشف گردید. در سال ۱۸۰۱ دانشمند المانی به نام یوهان ویلهلم ریتر بر اثر مشاهداتش توجه نمود که تابش‌های فرابنفش که از نوع نورهای نامرئی هستند، عامل تغییر رنگ و تیرگی صفحات کاغذ آغشته به کلرید نقره می‌باشند.او در آن زمان این پدیده را پرتوهای شیمیایی نامید.[۱۴]

[2] ultraviolet

پژوهش‌های پیشین

کاسمونو[3] و همکارانش(۲۰۱۳) در پژوهشی با عنوان "آماده‌سازی و خواص کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات خاک رس"، دریافتند که افزودن ۳ درصد حجمی نانو رس منجر به افزایش استحام کششی و خمشی و ضربه ای و چغرمگی به ترتیب ۴۱، ۲۰، ۹۵، ۱۹ درصدمی‌شود. [۱۸]

هاندان پلاک و همکاران(۲۰۲۱) طی پژوهشی دریافتند که نانو ذرات خاک رس مونتمریلونیت گزینه بسیار جذاب‌تری در مقایسه با دیگر نانو ذرات مورد استفاده جهت حفاظت در برابر اشعه فرابنفش هستند و نتایج امیدوار کننده ای نسبت به نتایج مشابه و متداول برای محافظت از اشعه‌ی فرابنفش مانند نانوذرات اکسید تیتانیوم به‌دست آمد، به نحوی که نتایج این دو افزودنی در برابر تابش اشعه فرابنفش یکسان بود. لذا نانوذرات خاک رس مونتمریلونیت با توجه به سازگاری بیشتر با محیط زیست می‌تواند یکی از گزینه های جذاب انتخاب این نانوذره برای محافظت از نانوکامپوزیت در برابر تابش اشعه فرابنفش باشد.[۲۳]

ساخت نانو کامپوزیت

برای ساخت نانوکامپوزیت مورد نظر از روش فرآوری محلول استفاده شده و با توجه به درصد اختلاط توصیه شده کارخانه‌ی سازنده رزین، به وسیله فرمول درصد حجمی میزان زرین، عامل سختی ساز و وزن نانوذرات محاسبه و محلول رزین و نانو ذرات ابتدا توسط همزن مکانیکی به خوبی با هم اختلاط داده شد. پس از ۳۰ دقیقه کارکرد همزن مکانیکی، بلافاصله محلول درون دستگاه همزن فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه قرار و پس از اتمام کار همزن فراصوت ، محلول درون قالب سیلیکونی قرارداده شده و عملیات قالب ریزی به اتمام رسید. رزین مورد استفاده ۹۰ دقیقه پس از افزودن عامل سختی ساز تقریبا خشک و در در دمای ۲۵ درجه پس از حدود هفت روز به استحکام نهایی رسید.

آزمون کشش

آزمون کشش اساسی‌ترین آزمون مکانیکی است که می‌توان بر روی یک ماده جامد انجام داد. در این آزمون به بیان ساده با قراردادن دو سر نمونه بین فک‌های دستگاه و کشیده شدن نمونه با اعمال بار یکنواخت، واکنش نمونه را نسبت به بار اعمالی را می‌توان تعیین نمود. به طور مشخص در آزمون کشش می‌توان به دو مشخصه‌ی مهم ماده شامل استحکام کششی و ازدیاد طول ماده پی برد. در مراحل اولیه آزمون رابطه بین نیروی وارد شده و ازدیاد طول نمونه رابطه‌ی خطی برقرار است که با برداشتن بار مجدد به طول اولیه‌ی خود باز می‌گردد. به این ناحیه، ناحیه الاستیک گفته می‌شود. پس از این ناحیه با برداشتن نیرو پس از اعمال بار نمونه به اندازه‌ی اولیه‌ی خود باز نمی‌گردد و با افزایش بار ماده وارد تغییر شکل پلاستیک می‌شود. به نقطه‌ای که در آن نمونه از تغییر شکل الاستیک وارد تغییر شکل پلاستیک می‌گردد، نقطه‌ی تسلیم و یا حد الاستیک می‌گویند. البته که در نمونه های ترد مثل رزین اپوکسی نقطه تسلیم همان نقطه شکست قطعه‌ی نمونه آزمون می‌باشد.

دستگاه مورد استفاده در این پژوهش برای آزمون کشش، دستگاه یونیورسال است. آزمون کشش بر اساس استاندارد نرخ مشخص شده در استاندارد ATSM D3039 به اندازه ۲ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد.

آزمون FESEM[4]

پس از اتمام فرآیند پخت، نمونه‌ها از قالب جدا شده و به تفکیک درون بسته بندی قرار گرفته و برای بررسی دقیق کلوخگی نانو ذرات روش FESEM انتخاب شده و به آزمایشگاه مجهز به این میکروسکوپ انتقال داده شد.

[3] cusmono

[4] filed Emission Scanning Electoron Microscope

میکروسکوپ الکترونی روبشی

میکروسکوپ الکترونی روبشی یکی از انواع میکروسکوپ الکترونی است که قابلیت عکس‌برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۵۰۰۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتررا دارد. میکروسکوپ الکترونی روبشی یکی از مناسب‌ترین وسایل در دسترس برای آزمایش و تحلیل ساختارشناسی نانوساختارها و شناسایی ترکیبات شیمیائی آن‌هاست. توانائی SEM[5] برای بررسی سطح مواد بی نظیر بوده و دارای برتری‌های فراوانی نسبت به میکروسکوپ‌های نوری است. در میکروسکوپ‌های نوری تشکیل تصویر با استفاده از نورهای منعکس شده از سطح نمونه صورت می‌گیرد، در حالی که در SEM این مهم با بکارگیری الکترون‌ها میسر می‌گردد. در واقع این میکروسکوپ یکی از روش‌های تولید تصاویر با روبش یک پرتو الکترونی روی سطح نمونه است. طول موج الکترون‌ها از فوتون‌های نور کوتاه‌تر بوده و طول موج کوتاه‌تر باعث ایجاد وضوح، قدرت تفکیک و حصول اطلاعات مناسب‌تر می‌شود. در حقیقت در SEM هیچ سیستم نوری-الکترونی برای تشکیل تصویر و بزرگنمایی وجود ندارد، بلکه تصویر از مشاهده نقطه به نقطه‌ی پدیده‌های سطح منتج از اثر متقابل پرتوی الکترونی با سطح نمونه تشکیل می‌شود. با این روش تصاویر سه بعدی از ساختار، نمونه به دست می‌آید.

میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی

میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی همانند میکروسکوپ SEM است و عموما ویژگی‌های اساسی SEM نظیر قدرت تفکیک، عمق تمرکز، تنوع سیگنال‌ها و پردازش آن‌ها را حفظ کرده است. تفاوت اساسی این دو میکروسکوپ در تفنگ الکترونی (منبع تولید الکترون) و روش تولید پرتو الکترونی است. نوع تفنگ میکروسکوپ SEM انتشار گرمایی و میکروسکوپ FESEM انتشار میدانی است. تفنگ انتشار میدانی به انرژی حرارتی برای غلبه بر سد پتانسیل سطحی نیاز ندارد. با اعمال میدان الکتریکی بسیار بالا به سطح فلز، الکترون‌ها از سطح جدا می‌شوند.

اثر تونلی[6] به جای اثر انتشار گرمایی باعث عبور الکترون‌های تراز هدایت از سد سطحی می‌شود. هنگام عملیات، الکترون‌ها توسط میدان ولتاژ اعمال شده، به صورت فیزیکی از نوک بسیار تیز بلور تنگستنی (حدود ۱۰۰ نانومتر شعاع نوک) جدا می‌شوند. تفنگ انتشار میدانی پرتو الکترونی بیشترین شدت را تولید می‌کند که ۱۰۴ برابر بزرگ‌تر از تفنگ حرارتی با رشته تنگستنی و ۱۰۰۰ برابر بزرگ‌تر از تفنگ حرارتی با رشته هگزابرید لانتانیم است که نتیجه آن بهبود قدرت تفکیک است FESEM .اطلاعات عنصری و توپوگرافیکی را در بزرگنمایی ۱۰ تا ۳۰۰۰۰۰ برابر، با عمق میدان بصری بی‌نهایت فراهم می‌کند FESEM .در مقایسه با SEM، تصاویری واضح‌تر با رزولوشن ۱ تا ۰/۵نانومتر فراهم می‌کند. اثرات الکترواستاتیکی منفی بر تصاویر FESEM کمتر از SEMاست. همچنین FESEM ها در ولتاژهای پایین‌تر، کیفیت تصویری بیشتری نسبت به SEM ها دارند.

آزمون فشار

آزمون فشار، یکی از آزمون‌های مخرب مورد استفاده برای تعیین خواص مکانیکی مواد است. آزمون فشار عمدتا مبنایی است برای پذیرش یا رد مواد ترد غیر فلزی و دیگر موادی که استحکام کششی بسیار اندکی دارند. این تست معمولا برای بررسی کیفیت مواد ترد مانند چدن، آلیاژهای شکننده و هم چنین مواد غیر فلزی دیگری که تحت شرایط کاری بیشتر تحت تاثیر نیروهای فشاری قرار می‌گیرند، به کار می‌رود. آزمون فشار آزمونی است که در آن نمونه‌ی آزمایش، نیروهایی مخالف هم را تجربه می‌کند. به این معنی که به نمونه از دو جهت مقابل، نیروی فشاری وارد می گردد. به عبارت دیگر نمونه در طی آزمایش، فشرده، کوبیده، یا کاملا مسطح می‌گردد. نمونه این آزمون می‌تواند مکعب، استوانه یا حتی بخشی از یک لوله باشد.

[5] Scanning Electoron Microscope
[6] Tunnel diode

نحوه انجام آزمون کشش

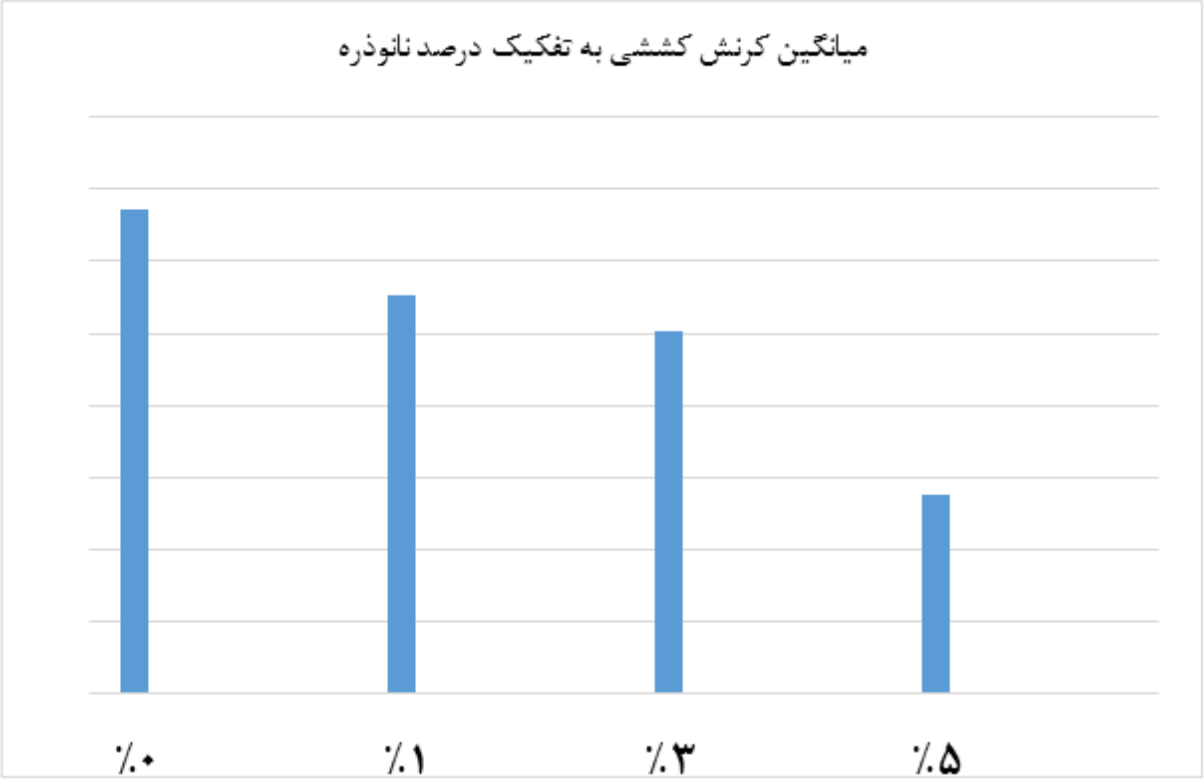
برای انجام این آزمون، نمونه بین دو صفحه‌ی دستگاه یونیورسال قرار می‌گیرند. انتخاب نوع فک دستگاه آزمون عمدتا بر مبنای پارامترهایی مانند شکل، هندسه و خواص استحکامی قطعه انجام می‌شود. دو صفحه‌ی دستگاه نیروی اعمالی را در دو سطح مقابل هم در نمونه پخش کرده و سپس این صفحات به کمک دستگاه آزمون یونیورسال به سمت هم فشرده شده و موجب مسطح شدن نمونه می‌گردند. دستگاه مورد استفاده در این پژوهش برای تست کشش یونیورسال است. نرخ تست کشش بر اساس استاندارد مشخص شده در استاندارد ATSM D3039 به اندازه ۲ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد. برای این پژوهش در مجموع تعداد ۸ عدد کد نمونه تست مختلف تعریف شده است که پاسخ ۸ عدد کد نمونه تست آورده شده است. برای هر کد نمونه آزمون ابتدا ۳ بار تست متوالی انجام شد که به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود.

بررسی آزمون کشش در نمونه‌ها بعد از افزودن نانو ذرات رس نسبت به نمونه فاقد نانوذره

نتایج میانگین آزمون کشش در هر میزان از افزودن نانوذره در نمودار نشان داده شده است.

نمودار ۱: مقایسه تاثیر افزایش درصد حجمی نانوذرات بر تنش کششی شکست

در نمودار نتایج نشان می‌دهد که افزودن درصد حجمی نانوذرات باعث کاهش تنش کششی شده و با افزایش میزان افزودنی خاک رس به ترتیب در نمونه‌های ۱ ٪ و۳ ٪ و ۵ ٪ ، میزان تنش کششی در نقطه‌ی شکست کاهش می‌یابد.



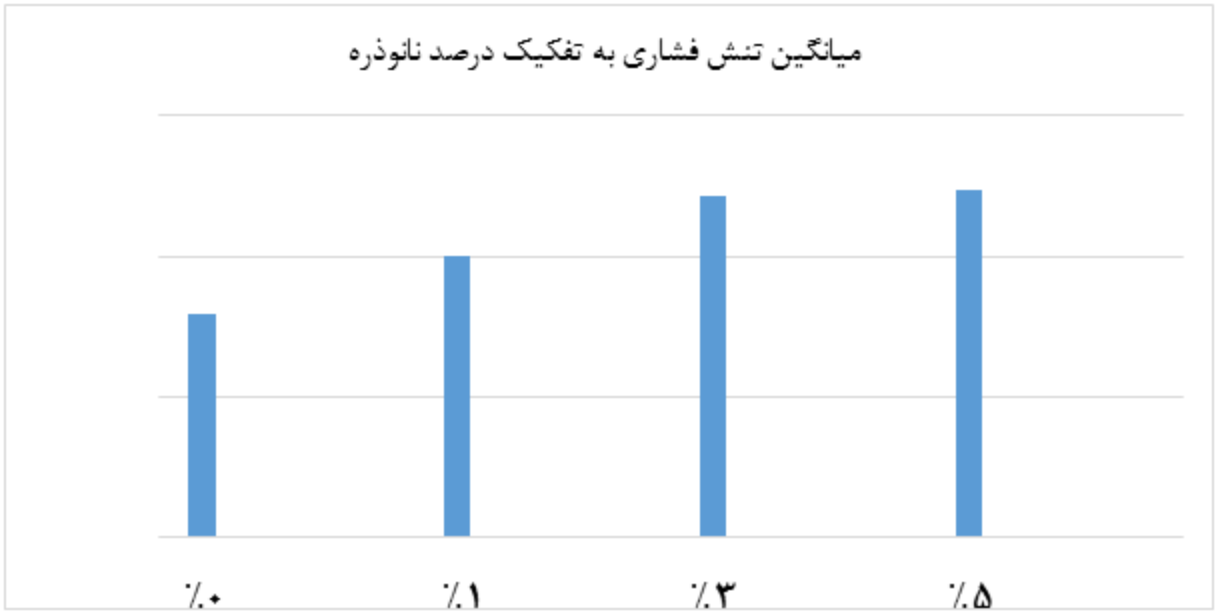
نمودار ۲: مقایسه تاثیر افزایش درصد حجمی نانوذرات برکرنش کششی شکست

در نمودار کرنش کششی در نقطه شکست مورد مقایسه قرار گرفته است.

در نمودار نتایج نشان می‌دهد که کرنش شکست با افزودن نانوذره به رزین اپوکسی افزایش یافته و ماده‌ی زمینه بدون افزودنی نسبت به ماده دارای افزودنی نانوذرات رس کاهش مقاومت مکانیکی را داشته است.

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۱۴۱-۱۲۶

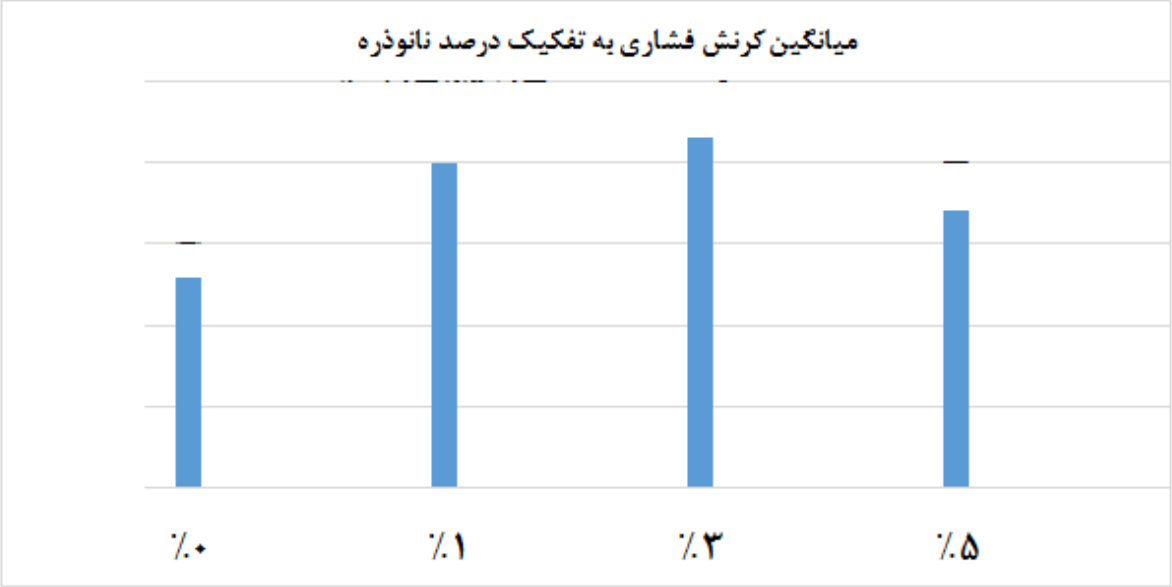
بررسی آزمون فشار در نمونه‌ها بعد از افزودن نانو ذرات رس نسبت به نمونه فاقد نانوذره



نمودار ۳: مقایسه تاثیر افزایش درصد حجمی نانوذرات بر تنش فشاری شکست

نتایج آزمون فشار در نمونه‌های آزمون فشار در نمودار به تفکیک نانو ذره آورده شده است.

نمودار ۳ نشان می‌دهد که نتایج تنش فشاری برعکس تنش کششی با افزایش نانوذره افزایش می‌یابد که نشان دهنده‌ی صحت آزمون‌ها و روش‌های انجام این پژوهش است. از نمودار نتیجه گیری می‌شود که افزایش درصد حجمی نانو ذرات جهت افزایش خواص فشاری موثر خواهد بود.



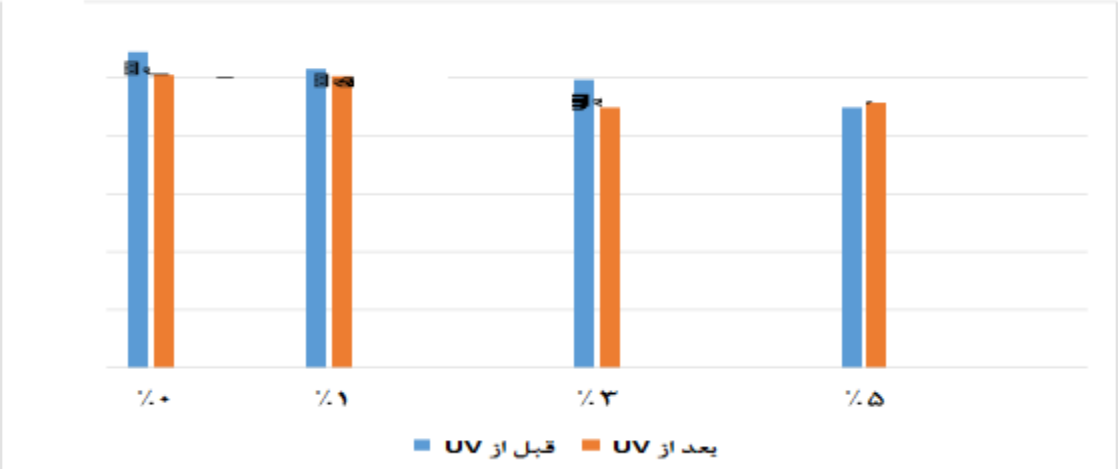
نمودار ۴. مقایسه تاثیر افزایش درصد حجمی نانوذرات برکرنش فشاری شکست

در نمودار کرنش فشاری شکست نمونه‌های آزمون مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که درصد حجمی ۱ ٪ و ۳ ٪ نقاط بهینه‌ی کرنش فشاری هستند که باتوجه به نتایج آزمون FESEM قابل نتیجه گیری است که کلوخگی نانوذرات بر کرنش فشاری تاثیر مستقیم دارد.

بررسی نتایج آزمون‌های کشش و فشار قبل و بعد از تابش اشعه‌ی فرابنفش

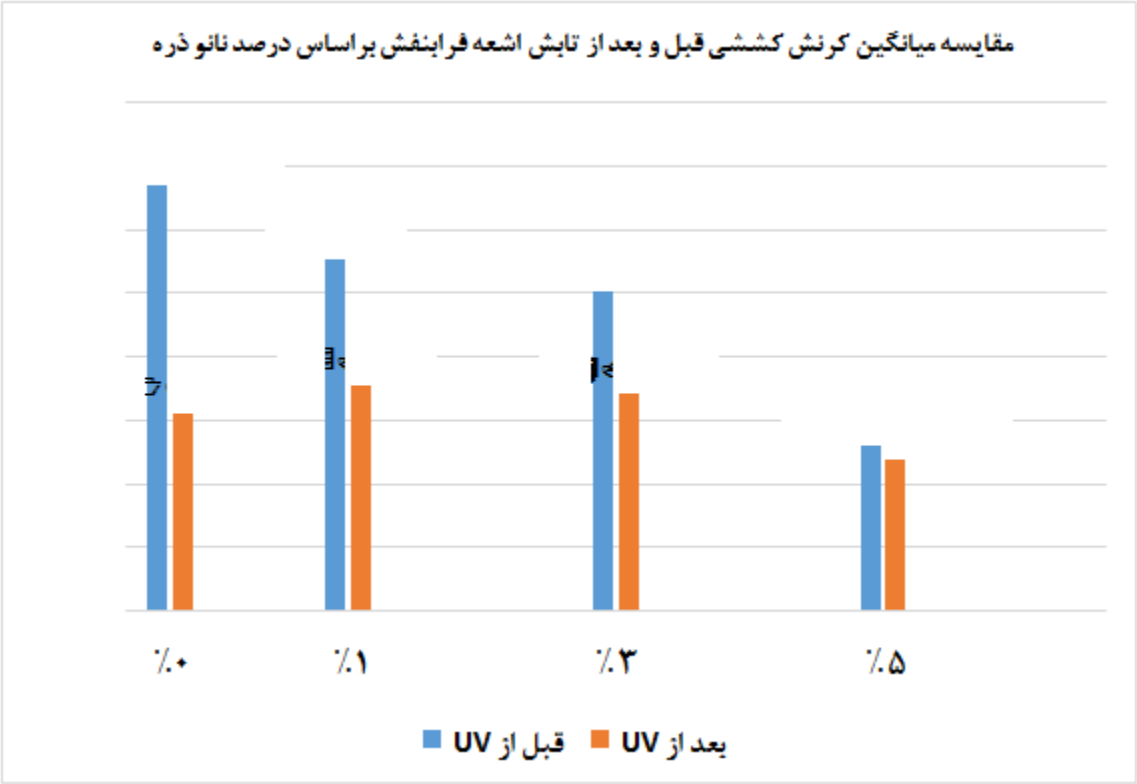
نتایج آزمون‌های کشش و فشار بر روی نمونه‌های حاوی درصد مشابه نانوذره قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش مورد بررسی قرار گرفت که این نتایج در نمودار به برای تنش کششی شکست آزمون کشش آورده شده است.



نمودار ۵: مقایسه میانگین تنش کششی شکست قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش بر اساس درصد نانوذره

همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد با افزودن نانوذره تنش کششی تغییر محسوسی نسبت به نمونه صفر درصد نداشته است اما نتایج کرنش کششی شکست نتیجه جالب توجهی به ما نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه‌ای کرنش کششی در نمودار نشان داده شده است.



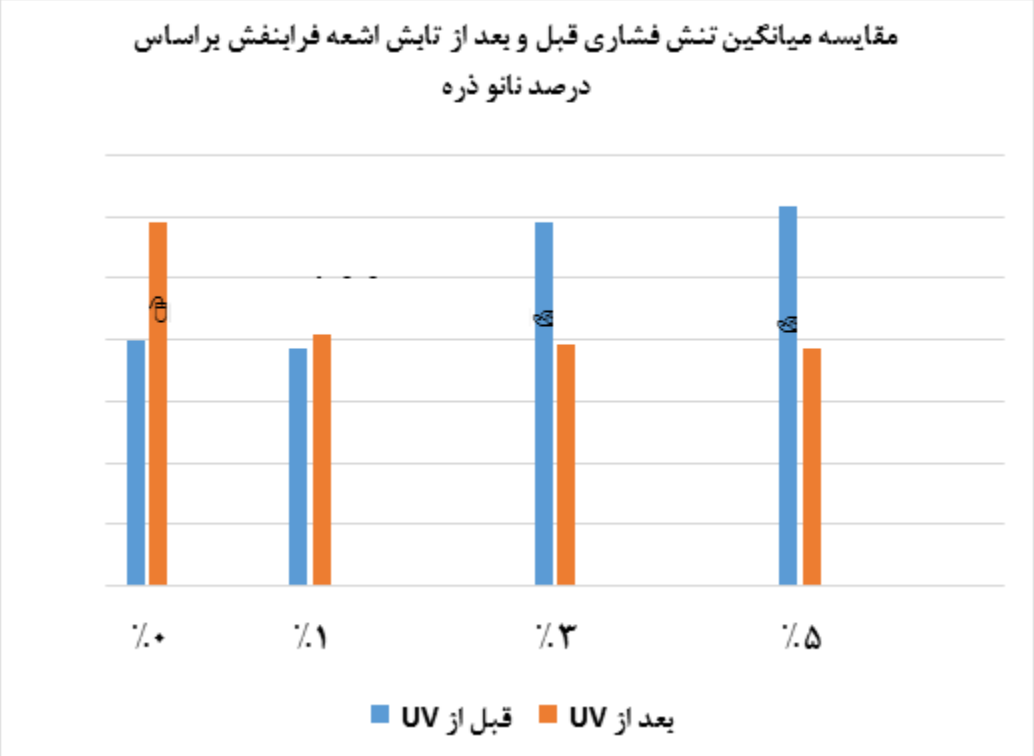
نمودار ۶: : مقایسه میانگین کرنش کششی قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش براساس درصد نانو ذره

در نمودار نشان داده شده است که افزایش درصد حجمی نانوذره منجر به کاهش تاثیر تابش اشعه‌ی فرابنفش و کاهش اختلاف تنش کششی قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش شده است.

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۱۴۱-۱۲۶

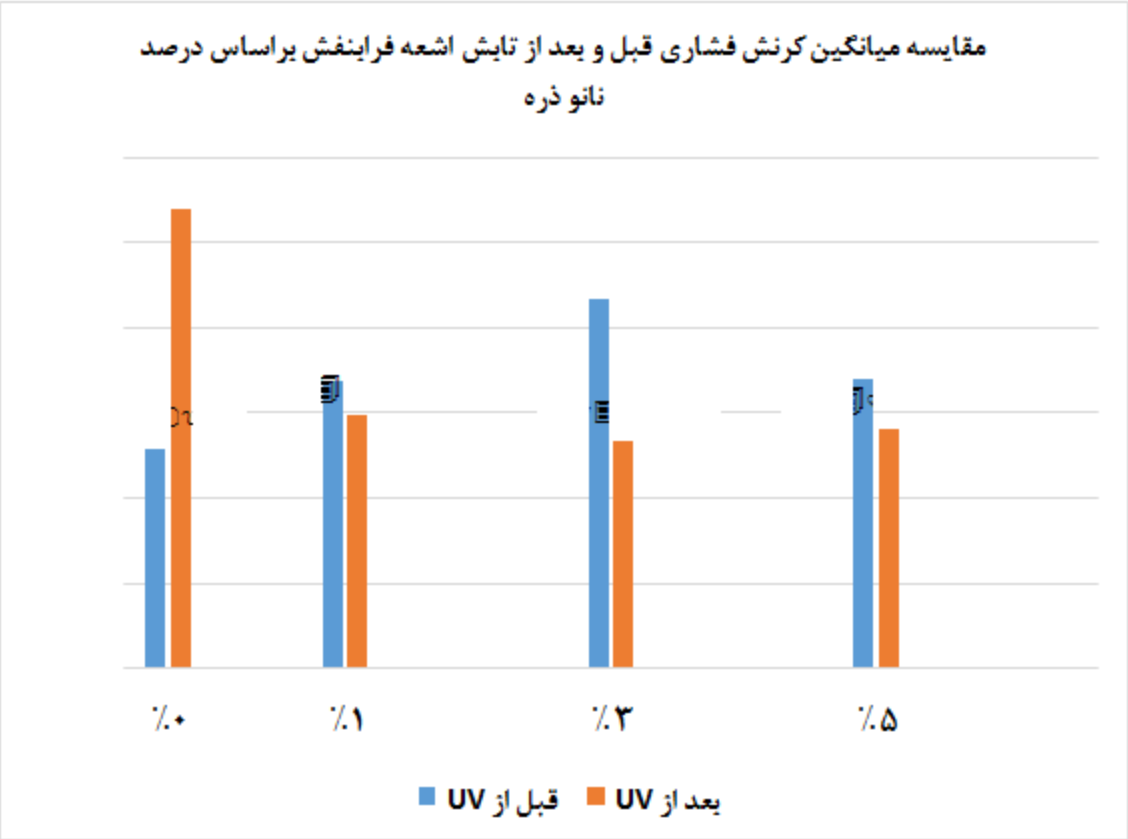
مقایسه آزمون فشار در نانوکامپوزیت‌های حاوی نانوذرات قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش

نتایج مقایسه آزمون فشار در نمودار نشان داده شده است.



نمودار ۷: مقایسه میانگین تنش فشاری قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش براساس درصد نانو ذره

همانگونه که در نمودار قابل مشاهده است تنش فشاری با افزودن نانوذره قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش ارتباط معناداری را نشان نمی‌دهد. همان‌گونه که در بالا مطرح شد بهتر است آزمون فشار مجدد تکرار گردد.



نمودار ۸: مقایسه میانگین کرنش فشاری شکست قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش براساس درصد نانو ذره

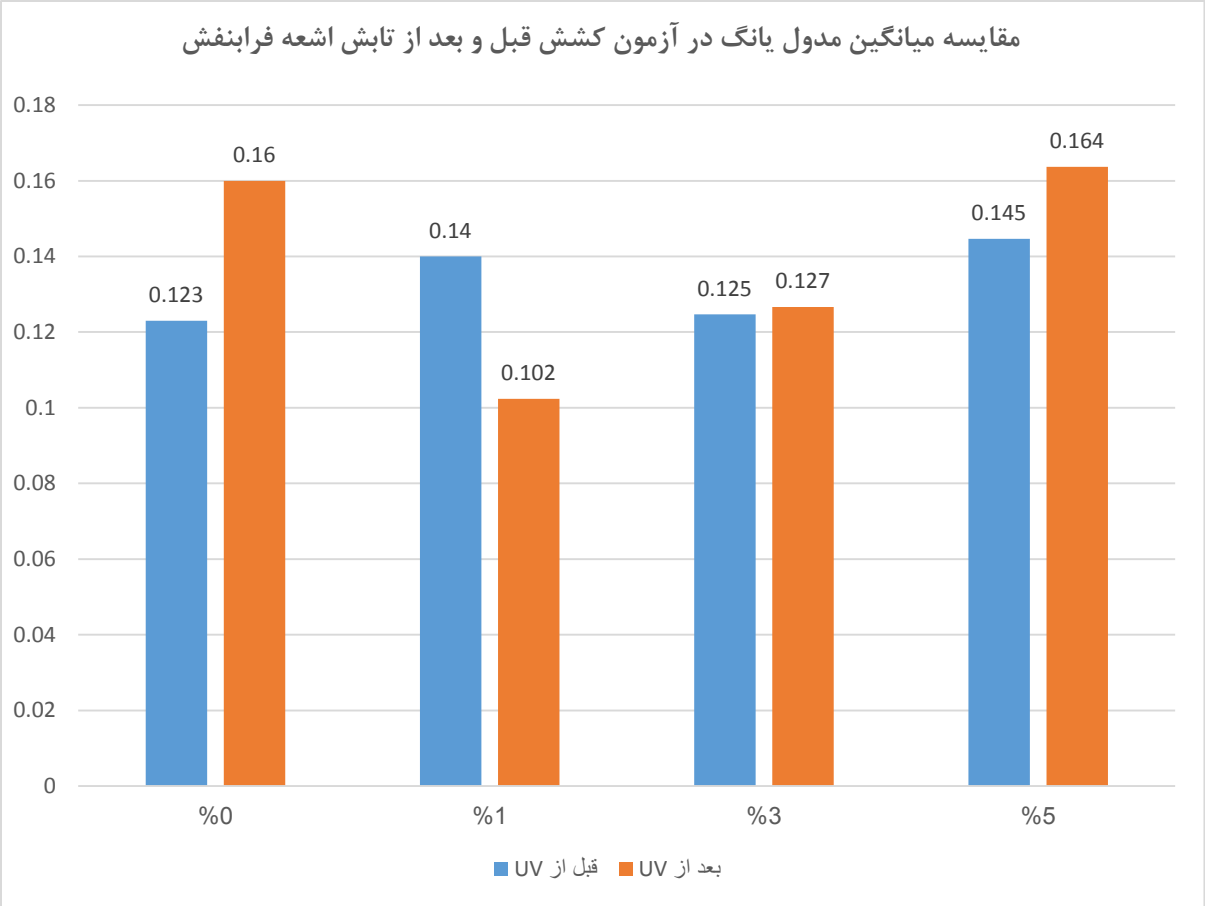
در نمودار نتایج کرنش فشاری با هم مقایسه شده است.

کرنش فشاری شکست قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش کمترین اختلاف مربوط به نانوذره ۱ ٪ افزایش بیش از ۵۰ درصدی را تجربه کرده است که احتمال می‌رود دلیل این پدیده تاثیر اشعه فرابنفش بر روی پلیمر باشد که از نظر علم شیمی باید مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی مدول یانگ قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش در آزمون فشار

مدول یانگ برای آزمون کشش محاسبه و در نمودار نشان داده شده است.

نمودار ۹: مقایسه میانگین مدول یانگ در آزمون کشش قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش

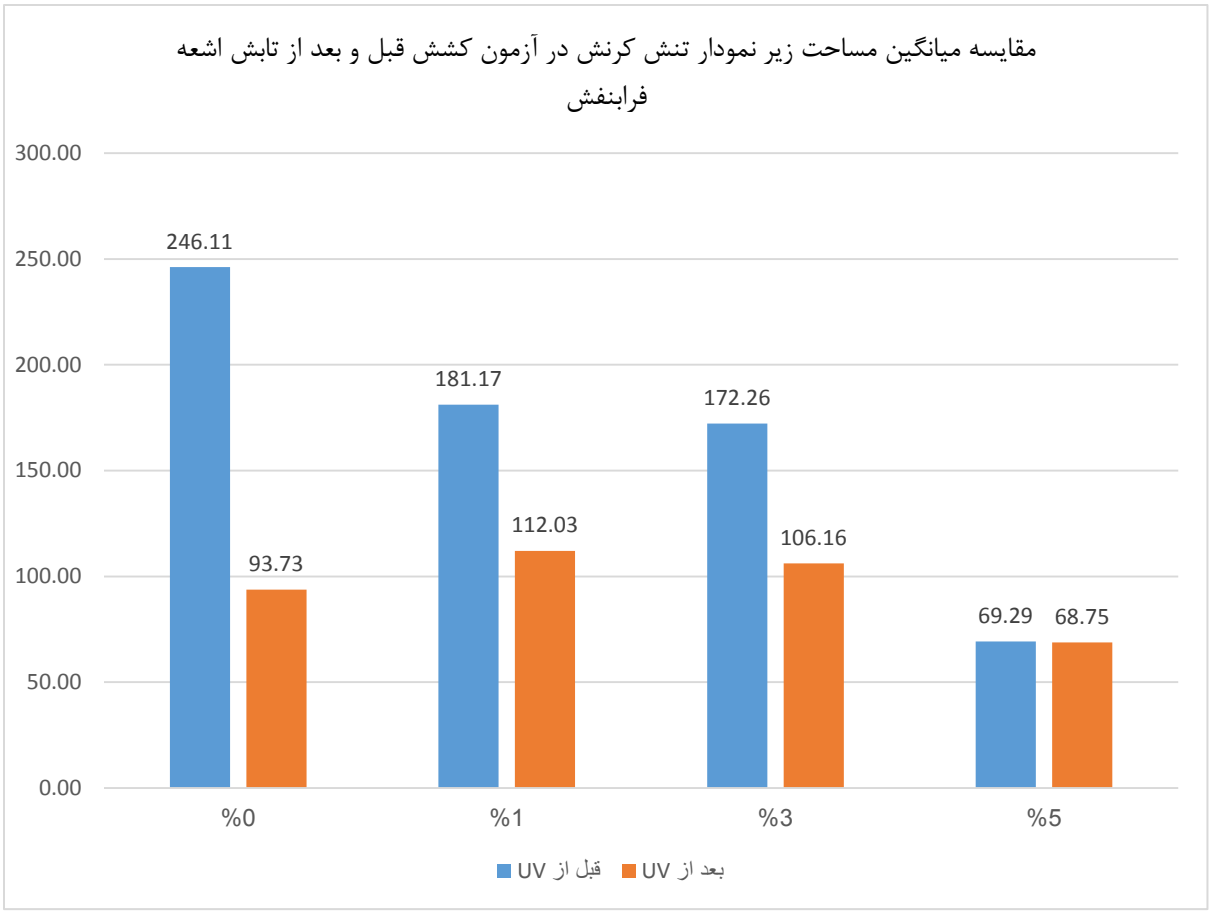


همان‌گونه که از نمودار پیداست مدول یانگ نمی‌توان بر اساس تغییرات نظر خاصی از نظر مکانیکی در این رابطه ارائه داده و ارتباط معناداری بین آن‌ها پیدا کرد. زیرا نتایج نشان دهنده افزایش مدول یانگ پس از تابش اشعه فرابنفش که خلاف انتظار دیدگاه مهندسی مکانیک است و می‌بایت در یک پژوهش شیمیایی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد.

بررسی سطح زیر نمودار تنش-کرنش آزمون کشش قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش

مساحت زیر نمودارهای تنش-کرنش برای آزمون کشش از نتایج آزمون برای هر آزمون به صورت مجزا استخراج شده و پس از میانگین گیری در نمودار نمایش داده شده است.

همانگونه که از نمودار مشخص است با افزایش نانوذرات، اختلاف مساحت زیر نمودار تنش قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش کاهش یافته به نحوی که در نمونه ۰٪ کاهش خواص به میزان ۶۲٪ بوده که در نمودارهای ۱٪ و ۳٪ این کاهش خواص به ۳۸٪



نمودار ۱۰: مقایسه میانگین مساحت زیر نمودار تنش کرنش در آزمون کشش قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش

رسیده است. در نمونه ۵٪ حجمی نانوذره اختلاف بین مساحت قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش به مقدار بسیار ناچیزی در حدود ۱٪ اختلاف رسیده که نشان دهنده تاثیر مثبت افزودن نانوذره به رزین به در جهت محافظت در برابر تابش اشعه فرابنفش است.

نتیجه گیری

بررسی آزمون FESEM

بررسی نتایج این آزمون نشان داد که بهترین درصد حجمی افزودنی نانو رس برای جلوگیری از پدیده‌ی کلوخگی ۱ ٪ و ۳ ٪ حجمی می‌باشد. افزودن بیش از اندازه‌ی این مقدار به دلیل وجود نیروی بین مولکولی قوی بین نانوذرات رس و تمایل آن‌ها به پیوند مولکولی با یک‌دیگر باعث ایجاد ذرات کلوخه شده و افزایش میزان کلوخگی باعث توزیع نامناسب نانوذرات در سطح نانوکامپوزیت می‌گردد. همچنین پدیده‌ی کلوخگی سطح انرژی شکست را در نقطه‌های کلوخه شده بالاتر خواهد برد.

بررسی چشمی نتایج آزمون تابش اشعه فرابنفش بر روی پلیمر خالص و نانوکامپوزیت خاک رس

پدیده‌ی زرد شدگی در پلیمر بر اثر تابش اشعه‌ی فرابنفش در نمونه‌های آزمون به چشم غیر مسلح کاملا قابل تشخیص بود و در پلیمر بدون افزودنی شاهد تغییر رنگ بیشتری نسبت به پلیمرهای دارای افزودنی مشاهده گردید. هرچه میزان نانوذرات رس در ماده‌ی زمینه افزایش می‌یافت، تغییر رنگ نمونه های تحت تابش نسبت به نمونه‌های فاقد تابش اشعه فرابنفش کاهش می‌یافت که نشان دهنده‌ی تاثیر افزودن نانوذره بر جلوگیری از ایجاد پدیده‌ی زرد شدگی می‌باشد.

صحت سنجی نتایج آزمون های کشش و فشار قبل از تابش اشعه فرابنفش

۱. با افزودن درصد حجمی نانوذرات تنش کششی را در نقطه‌ی شکست کاهش یافت.

۲. همچنین با افزودن نانوذرات تنش فشاری را در نقطه‌ی شکست افزایش یافت.

این نتیجه‌گیری نشان دهنده صحت آزمون انجام شده می‌باشد.

مقایسه نتایج آزمون‌های کشش و فشار قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش

با مقایسه نتایج آزمون‌های کشش وفشار قبل و بعد از تابش اشعه فرابنفش می‌توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات علاوه بر اینکه خواص کششی را کاهش می‌دهد، تاثیر محسوسی بر خواص نانوکامپوزیت در برابر تابش اشعه فرابنفش نخواهد داشت. همچنین اگرچه افزودن نانوذرات خواص فشاری نانوکامپوزیت را تقویت نمود اما برای محافظت از تابش اشعه فرابنفش نتوانست موثر واقع شود. اما با بررسی سطح زیر نمودار تنش کرنش آزمون‌های کشش مشاهده شد که با افزودن نانوذرات قابلیت جذب انرژی از ۶۲٪ اختلاف قبل و بعد از تابش در نمونه ۱٪ حجمی به ۳۸٪ در نمونه های ۱٪ و۳٪ رسید که در بهترین حالت یعنی در نمونه ۵٪ این اختلاف به ۱٪ رسیده که نشان دهنده تاثیر مثبت بر جلوگیری از کاهش میزان قابلیت جذب انرژی در نمونه‌های حاوی نانوذره‌ی خاک رس در برابر تابش اشعه فرابنفش کاهش محسوسی نداشته است و نشان دهنده‌ی موثر بودن افزودن نانو ذرات در پارامتر قابلیت جذب انرژی می‌باشد

منابع

۱. ویسی پیام ، "کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌ها"، انجمن مهندسی مواد و متالوژی دانشگاه آزاد نجف آباد، ۱۳۸۹.

۲. حسینی، امید، "نانوکامپوزیت‌ها در صنعت" ، اولین کنگره ملی شیمی نوین ایران، دانشگاه آزاد شیراز، ص ص ۱-۵، ۱۳۹۰.

۳. خرم‌نژادیان، شهرزاد و خرم‌نژادیان، شیرین، ۱۳۹۷، بررسی تخریب نوری، تجزیه زیستی، جذب آب و خاصیت‌های مکانیکی پلاستیکهای تخریب پذیر برای استفاده در صنعت‌های بسته بندی، فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳، صص ۲۰۳-۲۱۶.

۴. دلشاد خطیبی، سعیدی، لطیفی"نانو ساختارها و نانو کامپوزیت‌ها"، انتشارات دانش پویان جوان، ۱۳۸۵.

۵. رستم پور نیما, الماسی تینوش, رستم پور معصومه, بیات حسنا & ,کریمی سعیده. بررسی میزان شدت پرتوهای فرابنفش خورشیدی نوع A در شهر همدان.

۶. نوارچیان، نریمانی، "ریزساختار، پایداری حرارتی و خواص مکانیکی نانو کامپوزیت های پلی (وینیل کلراید) - خاک رس" مجله مهندسی شیمی ایران، شماره ۲۳، ص ص۸۱-۹۲، ۱۳۸۵

7. Bagheri, R., Marouf, B. T., & Pearson, R. A. (2009). Rubber-toughened epoxies: a critical review. *Journal of Macromolecular Science®, Part C: Polymer Reviews*, *49*(3), 201-225.

8. Calvert, P., "Potential applications of nanotubes", Carbon Nanotubes, CRC Press, Boca Raton, pp. 277-292, 1997.
9. Fisher, F. T., Bradshaw, R. D., & Brinson, L. C. (2003). Fiber waviness in nanotube-reinforced polymer composites—I: Modulus predictions using effective nanotube properties. *Composites science and technology*, *63*(11), 1689-1703.
10. Guo, F., Aryana, S., Han, Y., & Jiao, Y. (2018). A review of the synthesis and applications of polymer–nanoclay composites. *Applied Sciences*, *8*(9), 1696.
11. Iijima, S. (2002). Carbon nanotubes: past, present, and future. *Physica B: Condensed Matter*, *323*(1-4), 1-5.
12. Isik, I., Yilmazer, U., & Bayram, G. (2003). Impact modified epoxy/montmorillonite nanocomposites: synthesis and characterization. *Polymer*, *44*(20), 6371-6377.
13. Lu, T., et al. "UV degradation model for polymers and polymer matrix composites." Polymer degradation and stability 154 (2018): 203-210.
14. Merah, N., Ashraf, F., & Shaukat, M. M. (2022). Mechanical and Moisture Barrier Properties of Epoxy–Nanoclay and Hybrid Epoxy–Nanoclay Glass Fibre Composites: A Review. *Polymers*, *14*(8), 1620.
15. Rafiee, M. A., Rafiee, J., Wang, Z., Song, H., Yu, Z. Z., & Koratkar, N. (2009). Enhanced mechanical properties of nanocomposites at low graphene content. *ACS nano*, *3*(12), 3884-3890.
16. S.T.Peters, handbook of composites,1998
17. Srivastava and, D., Wei, C., & Cho, K. (2003). Nanomechanics of carbon nanotubes and composites. Appl. Mech. Rev., 56(2), 215-230.
18. Treacy, M. J., Ebbesen, T. W., & Gibson, J. M. (1996). Exceptionally high Young's modulus observed for individual carbon nanotubes. *nature*, *381*(6584), 678-680.
19. Utraki, L. A., "Clay Containing Polymeric Nanocomposites", Rapra Technology, Vol. 1, pp. 147-152, 2004.
20. Wildan, M. W., & Mohd Ishak, Z. A. (2013). Preparation and properties of clay-reinforced epoxy nanocomposites. *International Journal of Polymer Science*, *2013*.
21. Yasmin, A., Abot, J. L., & Daniel, I. M. (2003). Processing of clay/epoxy nanocomposites by shear mixing. *Scripta materialia*, *49*(1), 81-86.
22. Zaman, I., Phan, T. T., Kuan, H. C., Meng, Q., La, L. T. B., Luong, L., ... & Ma, J. (2011). Epoxy/graphene platelets nanocomposites with two levels of interface strength. *Polymer*, *52*(7), 1603-1611.