

# مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی کوپلیمر آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) پر شده با کربنات کلسیم

آیدا آدینه اصل

دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

حیدر رنجبر

مدیر بخش تحقیق و توسعه پتروشیمی تبریز، تبریز، ایران

سیامک زواره

گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

محراب فلاحی سامبران\*

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

**چکیده:** ترموپلاستیک آکریلونیتریل - بوتادین - استایرن (ABS) یکی از پلاستیک‌های مهندسی می‌باشد که در صنایع معمولاً به صورت کامپوزیتی یا آلیاژی استفاده می‌شود. پرکننده‌های ذره‌ای مثل کربنات کلسیم به واسطه قیمت پایین آنها در پلاستیک‌ها مصرف بالایی دارند. در این پژوهش کامپوزیت  $CaCO_3/ABS$  در سه ترکیب درصد از کربنات کلسیم با سه اندازه ذره متفاوت میکرومتری به همراه سازگار کننده پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS) مورد بررسی قرار گرفت. فرمولاسیون‌ها توسط طراحی آزمایش با روش تاگوچی برای سه فاکتور مذکور در سه سطح انجام شد. پس از نمونه سازی در اکسترودر دو پیچه همسوگرد، نمونه‌ها با قالب گیری تزریقی تهیه و تست‌های کشش، ضربه، سختی راکول، شاخص جریان مذاب و دمای نرمی وایکت انجام شد. نتایج نشان داد که اثر عمده  $CaCO_3$  بر مقاومت ضربه و تأثیر کمی بر سایر ویژگی‌ها دارد. به طوری که ۰/۵، ۱ و ۲ درصد کربنات کلسیم باعث شد که از استحکام ضربه آیزود ترموپلاستیک ABS به ترتیب ۱۲، ۲۷ و ۳۹ درصد کم شود و مقدار آن از ۲۱/۱ کیلوژول بر مترمربع به ۱۸/۵، ۱۵/۳ و ۱۲/۹ برسد.

**واژه‌های کلیدی:** ABS، کربنات کلسیم، استحکام ضربه، روش تاگوچی

**KEYWORDS:** ABS, Calcium carbonate, impact strength, Taguchi method

## مقدمه

مورد توجه صنایع مختلف و پژوهشگران قرار گرفته است [۱]. کامپوزیت‌های پلیمری حاصل مخلوط مواد پلیمری با برخی مواد دیگری

به دلیل احساس نیاز به توسعه و تولید مواد جدید با خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب، کامپوزیت‌های پلیمری در دهه‌های گذشته

\*E-mail: mehrab.fallahi@aut.ac.ir

\*عهدہ دار مکاتبات

با این حال برای کاربردهایی که دارای اجزای ساختاری در خودرو، محفظه‌های قطعات الکتریکی و الکترونیکی، لوازم خانگی و همچنین دستگاه‌های ارتوتیک می‌باشند، نیاز به تحقیق و بررسی گسترده تر دارد تا دوام و ظرفیت تحمل تنش آن بهتر اثبات و نشان داده شود [۱۲]. تاکنون بسیاری از محققان اثر اختلاط پلیمرها با انواع پرکننده‌ها را بررسی کرده‌اند [۱۳]. *تانگ* و همکاران خواص مکانیکی کامپوزیت‌های ABS / کرنات کلسیم را که در آن پرکننده‌ها دارای اندازه‌ها و رفتارهای سطحی متفاوت می‌باشند بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که مدول یانگ کامپوزیت‌ها با افزایش کسر وزنی پرکننده‌ها به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد [۱۴]. *جیانگ* و همکاران [۱۵] رفتار مکانیکی کامپوزیت ABS با پرکننده کرنات کلسیم در اندازه نانومتری و میکرومتری را بررسی و نتایج آنها را با هم مقایسه کردند. نمودارهای مدول کششی و استحکام کششی نهایی در مقابل درصد وزنی پرکننده نشان داد که پرکننده میکرومتری نسبت به پرکننده نانومتری دارای مدول کششی بالاتری می‌باشد ولی استحکام کششی نهایی برای کامپوزیت‌هایی با ذرات نانومتری بالاتر از ذرات میکرومتری می‌باشد. *شائو* و همکاران خواص کششی و استحکام ABS پر شده با کرنات کلسیم را بررسی کردند و متوجه شدند که نمونه‌های پر شده دارای تنش تسلیم پایین‌تر و همچنین استحکام کششی کمتری هستند، با این حال مدول کمی افزایش می‌یابد. البته ازدیاد طول شکست در درصد‌های حجمی پایین از ABS خالص کمی بیشتر بوده و نسبت به درصد‌های بالا به مقدار قابل توجهی بیشتر است [۱۶]. همچنین استحکام ضربه چارپی کامپوزیت ABS / کرنات کلسیم را برای ذرات زیر یک میکرومتر بررسی نموده و مقدار آن را برای ABS و نمونه‌های پر شده با کرنات کلسیم گزارش کردند. *آلکسیف* و همکاران پایداری حرارتی کامپوزیت‌های ABS پر شده با کرنات کلسیم، تالک و باریت را بررسی کرده و نشان دادند که شاخص جریان مذاب برای ABS بدون پر کننده و همچنین پر شده ذرات، با افزایش زمان ماند از ۵ تا ۲۰ دقیقه در دمای ۲۳۰، کاهش می‌یابد [۱۷]. *تانگ* و همکاران [۱۸] نشان دادند که در کامپوزیت ABS / کرنات کلسیم مقدار شاخص جریان مذاب با افزایش دما به طور خطی افزایش می‌یابد و اندازه ذرات در آن پارمتر موثرتری است. در این پژوهش نیز به مطالعه و بررسی تاثیر پر کننده رایج کرنات کلسیم در ABS پرداخته شده است. هدف بررسی تاثیر افزایش کرنات کلسیم به ABS در کاهش قیمت تمام شده، بهبود خواص فیزیکی مکانیکی و یا ترکیبی از دو عامل فوق می‌باشد. پخش ذرات میکرو متری کرنات کلسیم در زمینه ABS به روش آمیزه سازی باعث بهبود بعضی از خواص نظیر مدول یانگ می‌شود. این در حالیکه بعضی از خواص نظیر

از جمله ایاف و ذرات معدنی است که برای به دست آوردن محصولی با کیفیت و خواص برتر از پلیمر انجام می‌شود. به عبارت دیگر کامپوزیت‌های پلیمری برای برآورده کردن نیازهایی که از طریق پلیمرهای خالص امکان پذیر نیست طراحی و ساخته می‌شوند. یکی از کامپوزیت‌های شناخته شده، کامپوزیت‌های پلیمری پر شده با ذرات جامد است که پلیمر زمینه یا فاز پیوسته را تشکیل می‌دهد و ذرات پرکننده به عنوان تقویت کننده در زمینه حضور دارند [۲]. بسیاری از مواد پلیمری که امروزه بصورت تجاری ارائه می‌شوند، از نوع کامپوزیت است. چرا که دلایل زیادی برای استفاده از آنها نسبت به پلیمرهای خالص و تک جزئی وجود دارد. پرکننده‌ها در صنایع پلیمری اغلب به منظور کاهش قیمت، بهبود فرایندپذیری، کنترل چگالی، تاثیرات نوری مثل شفافیت، هدایت حرارتی، کنترل انبساط گرمایی، خواص الکتریکی، خواص آنتی استاتیک، خواص مغناطیسی، تأخیر اشتعال، بهبود خواص مکانیکی، سختی، سفتی، سایش و مقاومت پارگی مواد پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳]. برخی از پرکننده‌ها در صنعت پلیمر و کامپوزیت عبارت از دوده [۴]، سیلیکا [۵]، هیدروکسید آلومینیوم و منیزیم [۶]، ولاستونیت<sup>۱</sup> [۷] و خاک رس [۸]. همه ویژگی‌های مطلوب در یک کامپوزیت نمی‌تواند همزمان و یکجا وجود داشته باشد و بایستی تعادلی بین ویژگی‌های مطلوب و نامطلوب آن برقرار شود. خواص یک کامپوزیت براساس خصوصیات فازهای پیوسته و ناپیوسته مثل شکل و اندازه پرکننده، رفتار فصل مشترک بین فازها و ریخت‌شناسی حاصل، تعیین می‌شود و معمولاً یکی از این پارامترها دارای بیشترین تاثیر است. کامپوزیت‌های پلیمری در کاربردهای مختلفی از مزایای زیادی برخوردار است. از جمله وزن آن نسبت به فلزات کمتر است. فرآیند و شکل دهی آن آسان و در اندازه و اشکال مختلف قابل تولید است. کامپوزیت‌های پلیمری به دلیل استفاده کمتر از مواد پلیمری که معمولاً قیمت بالاتری نسبت به پرکننده‌ها دارند ارزان تر هستند و در مجموع از عملکرد و خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری برخوردار هستند [۹]. از طرف دیگر روز به روز تقاضای جهانی برای پلاستیک‌های مهندسی در حال افزایش است [۱۰] و در این میان کوپلیمر اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)<sup>۲</sup> و کامپوزیت‌های آن از جمله مواد مهندسی هستند که امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ترموپلاستیک از کوپلیمریزاسیون استایرن و اکریلونیتریل در حضور پلی بوتادین بدست می‌آید [۱] و دارای چقرمگی عالی، پایداری ابعادی خوب، قابلیت فرآیند آسان، مقاومت شیمیایی و ارزان است [۱۱]. این ماده در بسیاری از اجزای مهندسی مانند ماشین‌های اداری و تجاری، رایانه‌ها، گوشی‌های تلفن، فضای داخلی خودرو و غیره کاربرد دارد.

(۱) Wollastonite

(۲) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و حرارتی ABS مقاوم به ضربه

ردیف	خاصیت	استاندارد تست	واحد	مقدار
۱	شاخص جریان مذاب (۵ kg/۲۰۰°C)	ASTM D 1238	g/10 min	۴٫۵
۲	نقطه نرم شدگی ویکات	ASTM D 1525	oC	۹۴
۳	دانسیته	ISO 1183	g/cc	۱٫۰۴
۴	استحکام کششی در نقطه تسلیم	ASTM D 638	MPa	۲۱
۵	استحکام کشش در شکست	ASTM D 638	MPa	۲۰
۶	ازدیاد طول در شکست	ASTM D 638	%	۵۵
۷	مدول خمشی	ASTM D 790	MPa	۱۷۵۰
۸	مدول کششی	ASTM D 638	MPa	۱۸۰۰
۹	مقاومت ضربه ایزود	ISO 180/1A	%	حداقل ۸٫۵

جدول ۲- ترکیب درصدی آمیزه ABS

اجزاء سازنده	ترکیب درصد نسبت به آمیزه (phr)
کوپلیمر استایرن-آکریلونیتریل (SAN)	۷۵
پودر کوپلیمر پیوندی (g-ABS)	۲۵
پلی دی متیل سیلوکسان (S50)-(PDMS)	۰/۸
استتارات منیزیم	۰/۴
آنتی اکسیدان فنلی (Irganox1076)	۰/۱
آنتی اکسیدان فسفیتی (Irgafos168)	۰/۲

این پلیمر تهیه شده بشرح جدول ۱ آمده است. فرآیند پیوند زنی و تولید g-ABS در پتروشیمی تبریز از طریق پلیمریزاسیون امولسیون است. فرآیند امولسیون مرسوم ترین شیوه تولید g-ABS است. در پتروشیمی تبریز کوپلیمر SAN از طریق فرآیند پلیمریزاسیون سوسپانسیون تولید می شود که این کوپلیمر به عنوان محصول میانی با g-ABS و استتارات منیزیم (انباه<sup>۱</sup>، ژاپن) جهت حذف ترکیبات اسیدی احتمالی، جلوگیری از چسبیدن پلیمر به قالب و خوردگی مسبر، اتیلن بیس استتار آمید (انباه، ژاپن) جهت پخش کامل g-ABS در زمینه SAN، ایرگافوس-۱۶۸ (سیبا<sup>۲</sup>، سوئیس) به عنوان آنتی اکسیدان ثانویه، ایرگانوکس-۱۰۷۶ (سیبا، سوئیس) به عنوان آنتی اکسیدان اولیه در مرحله اختلاط آمیزه سازی می شود (مطابق جدول ۲) تا آمیزه های قالب گیری ABS تولید شود. از پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS<sup>۵</sup>) (انباه، ژاپن) به عنوان عامل سازگار کننده ذرات کربنات کلسیم در زمینه استفاده گردید. جهت بررسی اثر اندازه ذرات کربنات کلسیم بر خواص محصول از سه اندازه ذرات ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکرونی استفاده شد. این مواد دارای سطح اصلاح شده برای سازگاری با فاز پلیمری می باشند. در این تحقیق، سه نوع کربنات کلسیم با ABS آمیزه سازی شده و تاثیر آنها بر محصول ABS مورد مطالعه قرار گرفته است.

استحکام در برابر ضربه کاهش پیدا می کند. تحقیقات نشان می دهد که مهاجرت ذرات پر کننده به سطح قطعه در فرآیند تزریق و توزیع نامنظم آنها باعث بروز چنین پدیده هایی می شود. به نظر می رسد استفاده از ذرات با سطح مقطع بیشتر باعث بهبود در توزیع ذرات شوند تا نهایتا باعث بهبود خواص مکانیکی نظیر کشش و غیره شوند. در این تحقیق آمیزه های ABS با استفاده از پر کننده کربنات کلسیم با اندازه ذرات و مقادیر مختلف تهیه شده و مشخصه های فرآیند پذیری، کشش، مدول، استحکام مکانیکی، مقاومت ضربه ای، دمای نقطه نرمی، سختی سطح پلیمر و خواص حرارتی آمیزه تهیه شده مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش ها

### مواد

جهت تهیه ABS نیاز به مواد میانی ABS-SD0150 است. این مواد میانی شامل ذرات لاستیکی پلی بوتادین پیوند خورده به کوپلیمر استایرن-کو-آکریلونیتریل (g-ABS<sup>۱</sup>) و نیز کوپلیمر استایرن-کو-آکریلونیتریل (SAN<sup>۲</sup>) است. این مواد از شرکت پتروشیمی تبریز تهیه شدند و مشخصات فیزیکی و حرارتی مهم

(۱) Acrylonitrile-co-Styrene graft Butadiene

(۳) Anbah

(۵) Polydimethylsiloxane (PDMS)

(۲) Styrene-co-Acrylonitrile copolymer (SAN)

(۴) Ciba

## تجهیزات

بمنظور بررسی رفتار فیزیکی و مکانیکی محصول، از اکسترودر دو مارپیچه آزمایشگاهی (SM twin screw lab. Extruder, L/D=36, intermeshing, Korea) استفاده گردید. دستگاه تزریق ساخت شرکت کره ای LG جهت تزریق نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای گرانول سازی از دستگاه گرانول ساز (SM pelletizer, Korea) استفاده شد. بمنظور بررسی فرآیند پذیری آمیزه تهیه شده مقدار شاخص جریان مذاب آمیزه‌ها به کمک دستگاه MFI ساخت شرکت ایتالیایی (Modular melt flow series: coded 7026.00, Ceast, Italy) و با استفاده از روش ASTM-D1238 در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و با اعمال وزنه ۵ کیلوگرم اندازه گیری گردید. برای انجام آزمون کشش از دستگاهی با مشخصات (Shimadzu, 5.5KN, Japan) طبق استاندارد ASTM-D638 استفاده گردید. آزمون مقاومت در برابر ضربه طبق استاندارد ASTM-D256 بفرم آیزود<sup>۱</sup> با دستگاهی با مدل و مشخصات (Resil impactor coded 6967.00, Ceast, Italy) انجام گردید. از دستگاه اندازه گیر دمای نرم شدگی ویکات، HD-PC ساخت شرکت ژاپنی Yasuda استفاده شد. همچنین از دستگاه اندازه‌گیری سختی در مقیاس Rockwell Hardness مطابق استاندارد ASTM-D785، ساخت شرکت آمریکایی Instron مدل Wilson Rockwell Hardness سری ۲۰۰۰ استفاده شد.

## طراحی آزمایش

روش تاگوچی<sup>۲</sup> یک روش مورد استفاده در زمینه کنترل کیفیت در صنایع تولیدی است. فلسفه تاگوچی در سه مفهوم اصلی و ساده بنا نهاده شده است: ۱- کیفیت باید هنگام تولید طراحی شود نه اینکه در طی فرایند ساخت محصول بررسی شود. ۲- محصول باید طوری طراحی گردد که در برابر فاکتورهای محیطی غیر قابل کنترل ایمن باشد. ۳- هزینه کیفیت باید به صورت تابع انحراف از حالت استاندارد اندازه گیری شده و ضرر و زیان‌ها در عرض سیستم سنجیده شود. تاگوچی بر این باور بود که بهترین راه بهبود کیفیت طراحی و ایجاد آن در خود محصول است. روش تاگوچی برای افزایش کیفیت در فاز طراحی شامل دو مرحله زیر است: ۱- بهینه کردن طراحی محصول / فرایند. ۲- غیر حساس کردن طراحی به اثر فاکتورهای غیر قابل کنترل. وقتی محصولی بهینه می‌شود، بهترین عملکرد را در شرایط کاری خواهد داشت، بسته به عملکرد تعیین شده حالت بهینه بر این نکته اشاره دارد که محصول به بیشترین، کمترین و یا مقدار مشخصه کیفیت رسیده است. طراحی آزمایش، توسعه یک طرح و یا طراحی کردن شرایط آزمایش مختلف می‌باشد.

در طراحی آزمایشات دو هدف را باید در نظر گرفت: ۱- تعداد آزمون‌ها. ۲- شرایطی که باید برای هر آزمایش مشخص گردد. در این مقاله متغیرهای اصلی مشتمل بر اندازه ذرات پرکننده کربنات کلسیم و مقدار سازگار کننده PDMS و درصد فیلر می‌باشد که این سه متغیر در سه سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد. کربنات کلسیم در سه مقدار ۰/۵، ۱ و ۲ درصد با اندازه ذرات میکرومتری و نهایتاً مقدار PDMS در سه مقدار ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد به روش تاگوچی طراحی آزمایش گردید. در صورتی که از روش طراحی تاگوچی استفاده نمی‌شد، تعداد آزمایش‌ها دارای ۲۷ فرمولاسیون می‌شد. ولی با روش تاگوچی، تعداد آزمایش‌ها به ۹ عدد کاهش یافت. متغیرها و سطوح مطابق جدول ۳ می‌باشد و فرمولاسیون و آزمایش‌های مربوط به نمونه‌ها که توسط نرم افزار تاگوچی طراحی شده است در جدول ۴ نشان داده شده است. نمونه‌ای به‌عنوان نمونه مرجع نیز تحت تست‌های مشترک قرار گرفت تا اثر فاکتورهای مربوطه قابل بررسی باشد.

## تهیه نمونه‌ها

تهیه آمیزه‌های کامپوزیت ABS/CaCO<sub>3</sub>

در این مطالعه از اکسترودر برای تهیه نمونه‌ها استفاده شد. اکسترودر استفاده شده دارای ۶ ناحیه حرارتی بوده که دمای آن‌ها قابل تنظیم است. دستگاه فوق مجهز به نواحی دمایی با قابلیت تنظیم و کنترل بوده که در این مطالعه به ترتیب از قسمت خوراک دهی با ۱۶۰ °C شروع و با ۱۷۰ °C، ۱۹۰ °C، ۲۰۸ °C، ۲۲۰ °C، ۲۲۰ °C ادامه و در نهایت در دای با ۲۳۰ °C خاتمه می‌یابد.

پس از رسیدن دما، دستگاه روشن و دور مارپیچ بر روی ۱۴۰ rpm تنظیم شد. روش کار بدین صورت است که پس از توزین SAN، ABS، استئارات منیزیم، اتیلن بیس استارمید، آنتی اکسیدان اولیه، آنتی اکسیدان ثانویه و کربنات آنها را به خوبی با یکدیگر مخلوط و در داخل قیف نصب شده بر روی اکسترودر ریخته شد. رشته‌های خروجی از دستگاه اکسترودر پس از عبور از آب ۳۰°C به کمک دستگاه گرانول ساز تبدیل به گرانول شد. گرانول‌های تهیه شده بمدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس جهت حذف رطوبت نگهداری شدند.

## تهیه نمونه جهت آزمون‌های کشش و ضربه

یکی از مهمترین و رایجترین روش‌های شکل‌دهی پلاستیک‌ها، قالب‌گیری تزریقی می‌باشد. در این روش ماده پلاستیکی به شکل گرانول یا پودر، از طریق قیف تغذیه به محفظه اکسترودر هدایت و در آنجا حرارت دیده و نرم می‌شود. سپس مواد مذاب با عبور از نازل با فشار به داخل قالب با دمای پایین‌تر رانده می‌شوند. با گذشت زمان مناسب

(۱) Izod impact strength

(۲) Taguchi Method

جدول ۳- عوامل موثر و سطوح استفاده شده در تهیه آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>

عوامل (پارامتر)	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
درصد کربنات کلسیم (CCP)	۰/۵	۱	۲
اندازه ذرات کربنات کلسیم (CCBS)	۴۰ میکرون	۲۰ میکرون	۱۰ میکرون
درصد پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲

جدول ۴- طراحی آزمایش L9 بر اساس روش تاگوچی

عوامل آزمایش	مقدار کربنات کلسیم (phr)	اندازه ذرات کربنات کلسیم (میکرون)	مقدار PDMS (phr)
۱	۰/۵	۴۰	۰/۰۵
۲	۰/۵	۲۰	۰/۱
۳	۰/۵	۱۰	۰/۲
۴	۱	۴۰	۰/۱
۵	۱	۲۰	۰/۲
۶	۱	۱۰	۰/۰۵
۷	۲	۴۰	۰/۲
۸	۲	۲۰	۰/۰۵
۹	۲	۱۰	۰/۱

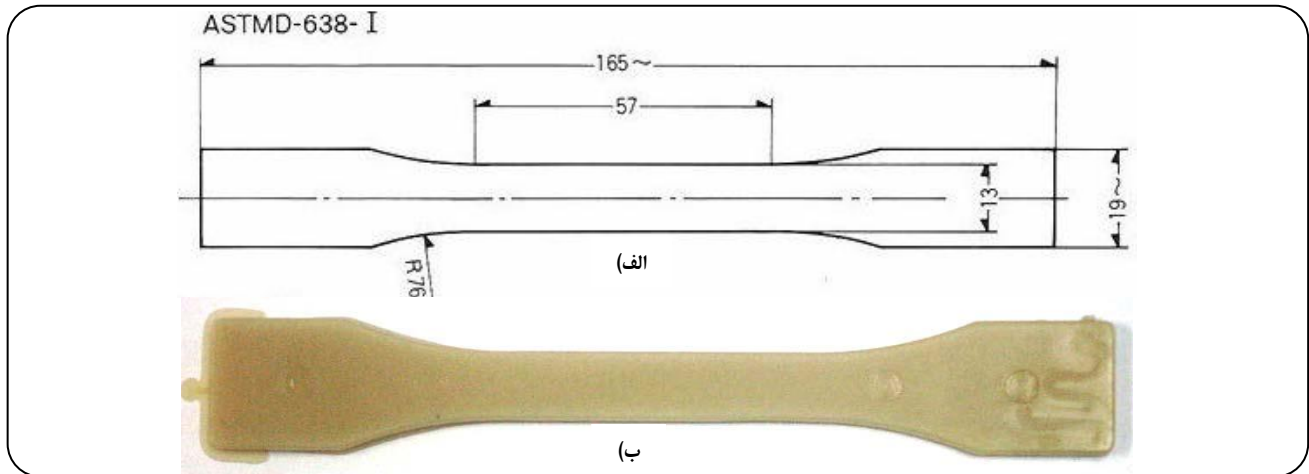
تعیین این ویژگی از مهم ترین قسمت های تولید و فرآیند محصولات پلیمری و کامپوزیتی است. به طوری که با بررسی آن پیش از سایر خواص یک پلیمر یا کامپوزیت از جمله خواص حرارتی، نوری و رئولوژیکی، امکان مقایسه مواد، کنترل کیفیت و بهبود خواص در اختیار تولیدکنندگان قرار می گیرد. این ویژگی ها را می توان بر روی یک نمودار به عنوان منحنی تنش/ کرنش ترسیم کرد تا جزئیاتی مانند نقطه ای که در آن ماده شکست خورده و همچنین جزئیات خواصی مانند مدول الاستیسیته، کرنش و استحکام تسلیم را نشان دهد. ساده ترین آزمون کشش، قرار دادن یک نمونه از پلیمر با ابعاد مشخص بین دو گیره است که آن را محکم نگاه داشته اند. از طریق یکی از گیره ها، نیروی کشش به نمونه تحت کشش آغاز می شود درحالی که گیره دیگر ثابت است. نیروی کشش را کم کم افزایش داده تا تغییر طول در نمونه مشاهده و نهایتاً منجر به پارگی و شکست شود. به کمک هر وسیله مناسبی که وجود دارد، یک سر ماده ثابت نگه داشته می شود که تکان نخورد و سپس سر دیگر آن تحت کشش قرار می گیرد. در آزمون کشش تغییرات طول و نیروی لازم جهت کشیدن را از زمانی که نیروی کشش اعمال می شود تا زمانی که ماده شروع به کش آمدن می کند و در نهایت پارگی رخ می دهد، محاسبه می کنند. در این کار پژوهشی برای بررسی استحکام کششی و میزان ازدیاد طول در نقطه شکست و تسلیم نمونه ها از دستگاه تنسومتر استفاده شد. نمونه ها به صورت دمبلی مطابق استاندارد ASTM D638 (type I) در ابعاد نشان داده شده در شکل ۱ قالب گیری شد و آزمون کشش بر روی آنها انجام گرفت [۱۹].

و لازم برای سرد و جامد شدن پلاستیک، قالب باز شده و قطعه از آن خارج می شود. تقسیم بندی دستگاه های تزریق یا بر اساس حداکثر فشار قابل اعمال هنگام بسته شدن قالب و یا بر اساس حداکثر مقدار پلی استایرن قابل تزریق در هر بار تزریق می باشد. دمای مناطق مختلف ماشین تزریق به ترتیب زیر بود: المان اول (زیر و نزدیک قیف تغذیه): ۱۸۰ درجه سلسیوس، المان دوم و سوم (محل اقامت مواد): ۲۱۰ درجه سلسیوس، سر نازل (خروجی): ۲۲۰ درجه سلسیوس. بعد از اینکه سیستم از لحاظ دمایی پایا شد، ابتدا مقداری ABS خالص جهت تمیز کردن سیلندر و ماردون وارد سیستم می شد و پس از اطمینان از تمیز شدن سیستم تزریق، نمونه شاهد قالبگیری می شد، سپس نمونه ABS خالص که در اکسترودر زمان ماندی برابر با نمونه های ABS/CaCO<sub>3</sub> در دما و شرایط اختلاط داشته را در قیف تزریق ریخته و باز هم بعد از اطمینان از تمیز شدن سیستم تزریق قالبگیری انجام می گرفت. قالب مورد استفاده در دستگاه تزریق شامل دمبل (مطابق با استاندارد (type I) ASTM D638) و نمونه بدون ناچ (مطابق با استاندارد ASTM D256) جهت آزمون های کشش و ضربه است که از هر آمیزه ۵ دمبل و ۵ نمونه ناچ دار برای انجام آزمون های کششی و ضربه تهیه شد.

#### آزمون ها

##### آزمون کشش

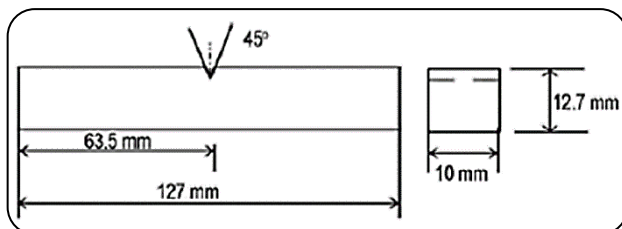
در هویت شناسی مواد پلیمری و کامپوزیتی همانند سایر مواد مثل فلزات ویژگی های کششی از مهم ترین خواص مکانیکی به حساب می آید.



شکل ۱ - ابعاد نمونه کشش بر اساس استاندارد ASTM D638 (type I) بر حسب میلیمتر و (ب) تصویری از نمونه ساخته شده با دستگاه تزریق

#### آزمون ضربه

آزمون ضربه نیز جزو آزمون‌های هویت‌شناسی مکانیکی مواد پلیمری و کامپوزیتی است که از طریق ایجاد تنش دینامیکی و به دست آوردن انرژی شکست مواد انجام می‌شود. در واقع تست ضربه تمایل مواد به شکنندگی و شکست ترد را نشان می‌دهد. این آزمون معیاری برای مقایسه رفتار مواد در برابر ضربه با رفتار مواد در برابر بار استاتیکی است. در این آزمون مقدار انرژی لازم برای شکستن نمونه در اثر ضربه را مشخص می‌کند. این آزمون یک نوع آزمون شبیه سازی بوده و برای جلوگیری از شکست نمونه و یا پیش بینی شکست آن کاربرد دارد و نحوه انجام آن بدین طریق است که نمونه دارای ناچ محکم به گیره دستگاه تست ضربه ایزود بسته شده و آونگ در پایین ترین نقطه حرکتش به آن برخورد می‌کند. آونگ پس از برخورد به نمونه و شکستن آن هنوز انرژی داشته و بالا می‌رود. بالاترین ارتفاع آونگ یادداشت می‌شود. مقدار واقعی انرژی‌ای که باعث شکست قطعه می‌شود، توسط یک شاخص خوانده می‌شود. این شاخص همراه با آونگ روی یک صفحه مدرج در حال حرکت بوده و در موقعیت ماکزیمم آونگ متوقف می‌شود. نتیجه آزمون ضربه ایزود به صورت انرژی در واحد سطح گزارش می‌شود و معمولاً با واحد کیلوژول بر مترمربع بیان می‌شود. مساحتی که محاسبه می‌شود، مقطع باقی مانده در قسمت شکاف است. در این پژوهش آزمون ضربه ایزود مطابق استاندارد ASTM D256 صورت گرفت [۲۰] و نمونه‌ها در ابعاد بیان شده در شکل به روش قالب‌گیری تزریقی تهیه شدند (ابعاد نمونه‌های قالب‌گیری شده در شکل ۲ نشان داده شده است) و ناچ بعد از قالب‌گیری بر روی نمونه با تراش نمونه ایجاد شد. اندازه گیری‌ها بر روی پنج نمونه از هر آمیزه انجام گرفت و نتایج به صورت میانگین و بر حسب  $\text{kJ/m}^2$  گزارش شد.



شکل ۲ - ابعاد نمونه‌های آزمون ضربه بر اساس استاندارد [15] ASTM D256

#### آزمون شاخص جریان مذاب

برای شناسایی خواص فرایندی مواد پلیمری، آزمون‌های متفاوتی در آزمایشگاه‌های معتبر دنیا انجام می‌گیرد که بسیاری از این آزمون‌ها دارای هزینه بالا و وقت‌گیر هستند. اما در صنعت به دلیل لزوم شناسایی هر چه سریعتر خواص رئولوژیکی مواد پلیمری و کامپوزیتی از شاخصی به نام شاخص جریان مذاب استفاده می‌شود. این شاخص در حقیقت مقیاسی از جریان پذیری مواد در حالت مذاب است. یکای این شاخص، به صورت مقدار مواد پلیمری ذوب شده عبور کرده از یک روزنه استاندارد بر حسب گرم با قطر، طول و فشار معین در ده دقیقه در دمای مشخص تعریف شده است. در این پژوهش آزمون MFI مطابق استاندارد ASTM D1238 در دمای  $200^\circ\text{C}$  درجه سلسیوس و بار ۵ کیلوگرم انجام شد. از نمونه‌های به شکل گرانول و با وزن ۵ گرم استفاده شد [۲۱].

#### آزمون دمای نرمی وایکت

از آنجایی که مواد پلیمری نسبت به سایر مواد از جمله فلزات و سرامیک به تغییرات دمایی وابستگی بیشتری دارند و دما می‌تواند کارایی و کیفیت این نوع مواد را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد لذا پلیمرها و کامپوزیت‌های آنها نیاز به انجام آزمونی دارند که بتواند دمای نرم شوندگی و در نتیجه کاهش خواص آنها را نشان دهند.

جدول ۵ - اثر متغیرها (اندازه ذرات کربنات کلسیم، مقدار کربنات کلسیم و مقدار S50) بر مشخصه‌های محصول

R.HD.	Vicat (oC)	Tensile Strength (Kgf/cm)	Izod Impact Strength (Kj/m2)	MFI (g/10 min)	S50 (wt%)	CaCO3 Bead Size (µm)	CaCO3 (wt%)	شماره نمونه
۱۰۴/۹	۹۶/۳	۴۷۰	۲۱/۱	۲/۷	۰	۰	۰	۰
۱۰۵/۷	۹۶/۱	۴۴۴	۱۸/۹	۲/۷	-/۰.۵	۴۰	-/۰.۵	۱
۱۰۵/۴	۹۶	۴۴۵	۲۱	۲/۷	۰/۱	۲۰	۰/۰.۵	۲
۱۰۶/۳	۹۷/۷	۴۴۲	۱۵/۷	۲/۶	۰/۲	۱۰	۰/۰.۵	۳
۱۰۵/۳	۹۵/۸	۴۳۴	۱۶/۵	۲/۸	۰/۱	۴۰	۱	۴
۱۰۶/۱	۹۵/۸	۴۴۲	۱۷/۹	۳	۰/۲	۲۰	۱	۵
۱۰۶/۴	۹۷/۴	۴۳۹	۱۲/۳	۲/۷	-/۰.۵	۱۰	۱	۶
۱۰۵/۴	۹۶/۳	۴۲۳	۱۳/۸	۲/۹	۰/۲	۴۰	۲	۷
۱۰۵/۱	۹۵/۹	۴۲۸	۱۳/۹	۲/۸	-/۰.۵	۲۰	۲	۸
۱۰۵/۸	۹۷/۹	۴۳۶	۱۱	۲/۶	۰/۱	۱۰	۲	۹

توسط بار جزئی میزان سختی را کول مشخص می‌شود. در این مقاله آزمون سختی را کول مطابق استاندارد ASTM D785 و با روش R Scale [۲۳] و پس از گذشت ۷ ثانیه و در ضخامت بیش از ۳ میلی متر اندازه‌گیری شد. لازم به توضیح است قطر کره استفاده شده ۱/۲۷ cm بود.

### نتایج و بحث

در این بخش مشخصات محصول تولیدی با فرمولاسیون‌های پیشنهادی نرم افزار تاگوچی از حیث خواص اصلی که مشتمل بر خواص جریان پذیری، استحکام ضربه ایزود، استحکام کششی، سختی را کول و دمای نرمی وایکت است، بررسی گردیده است. مطابق طراحی آزمایش انجام گرفته توسط نرم افزار تاگوچی، ۹ ترکیب برای نمونه سازی و بررسی مشخصات محصول مشخص گردید. لازم به ذکر است که فاکتورها که مشتمل بر مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار S50 به عنوان سازگار کننده بود، در سه سطح به ترکیبی که مشتمل بر مواد اولیه‌ای همچون SAN، ABS-g و افزودنی‌های مربوطه بودند، اضافه گردیدند. یک فرمولاسیون نیز به عنوان نمونه مرجع، بدون فاکتورهای مذکور نمونه سازی و نهایتاً نتایج همه نمونه‌ها مطابق جدول ۵ می‌باشد. بر اساس تحلیل‌های نرم افزار تاگوچی از مقادیر جدول ۵، نحوه اثر گذاری فاکتورها در سطوح مختلف برای مشخصه‌های محصول در منحنی‌هایی استخراج گردید که ذیلاً به بررسی هر یک از مشخصه‌ها و اثرگیری آن از فاکتورها و سطوح مربوطه پرداخته می‌شود.

### آزمون شاخص جریان مذاب

اثر مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر شاخص جریان مذاب در شکل ۳ نشان داده شده است. افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم روندی افزایشی را در شاخص MFI نشان می‌دهند،

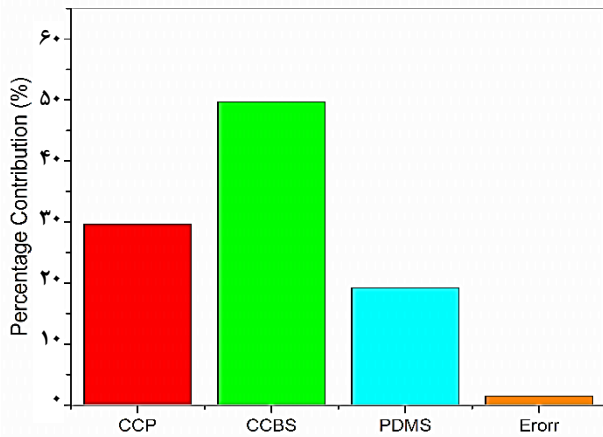
آزمون وایکات برای مشخص شدن دمایی که پلیمرها فرم اولیه خود را از دست می‌دهند و تغییر شکل داده و نرم می‌شوند، استفاده می‌شود. این آزمون برای به دست آوردن میزان و معیاری است که مقاومت دمایی، یک نمونه پلیمری و یا مواد پلیمری استفاده‌شده در نمونه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. در این پژوهش این آزمون مطابق استاندارد ASTM D 1525 انجام شد [۲۲]، بعد از نفوذ سوزن در نمونه به اندازه ۱ mm دمای بدست آمده، به عنوان دمای نرم شدگی ماده پلاستیکی می‌باشد. نمونه‌ها در ابعاد ۱۰×۱۰×۳ میلی متر مربع توسط قالب‌گیری تزریقی تهیه شدند. برای آزمون در مورد هر آمیزه حداقل دو نمونه مورد استفاده قرار گرفت.

### آزمون سختی

آزمون سختی پلیمر یکی از اصلی‌ترین و رایج‌ترین آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی مواد پلیمری و کامپوزیتی است. سختی، به عنوان مقاومت یک ماده در برابر نفوذ و فرورفتگی ناشی از یک جسم صلب سخت تر از آن و یا به عبارت دیگر مقاومت در برابر ایجاد فرورفتگی، خراش یا سایش در سطح ماده تعریف می‌شود. در این آزمون‌ها یک جسم نفوذ کننده سخت به سطح نمونه مورد آزمایش فشار داده می‌شود. با اعمال فشار یک تنش سه جهتی (کششی، فشاری و برشی) ایجاد و سبب تغییر شکل در سطح نمونه می‌شود. این آزمون به دلیل سادگی، بسیار رایج و مورد استفاده است.

سختی انواع متفاوتی دارد و روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری آن وجود دارد. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها آزمون سختی را کول<sup>۱</sup> است. این مقیاس در واقع عمق فرورفتگی ایجاد شده توسط یک بار مشخص را روی سطح یک نمونه مشخص می‌کند. با اندازه‌گیری این فرورفتگی و مقایسه آن با فرورفتگی ایجاد شده

(۱) Rockwell Hardness



شکل ۴ - سهم اثرگذاری فاکتورهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر شاخص MFI کامپوزیت ABS/CaCO<sub>3</sub>

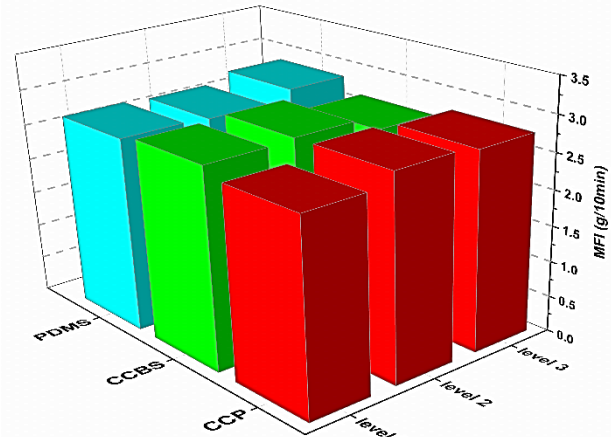
افزایش می‌یابد. در اندازه ذرات خیلی کوچک، استحکام ضربه به خاطر شدت تراکم، با اندازه ذرات کاهش می‌یابد. بنابراین استحکام ضربه با تغییر اندازه ذرات به یک حد کمتر می‌رسد.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، افزایش مقدار کربنات کلسیم باعث کاهش شدید استحکام ضربه می‌شود. این رفتار با کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم نیز دیده می‌شود، به نحوی که در اندازه ذرات ریز و درشت باعث کاهش استحکام ضربه می‌شود و این افت در اندازه ذرات ریز بیشتر است. اثرگذاری PDMS ضعیف بوده و در ترکیب درصد متوسط اثر بهتری دارد.

شکل ۶ اثر هر کدام از این سه فاکتور را بر استحکام ضربه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقدار کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS به ترتیب، دارای سهم اثرگذاری بیشتری در این شاخص هستند. بر خلاف اثر فاکتور PDMS که در محدوده خطای آزمایش است، اثرگذاری مقدار کربنات کلسیم بر شاخص استحکام ضربه خیلی شدیدتر است.

#### آزمون شاخص استحکام کشی

شکل‌های ۷ تا ۱۶ منحنی‌های تنش‌های کرنش نمونه‌های صفر تا ۹ را با چند بار تکرار نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، تکرارپذیری ازدیاد طول تا شکست مناسب نمی‌باشد. عدم تکرارپذیری این فاکتور می‌تواند ناشی از مشکلات قالب‌گیری و حساسیت ABS به یکنواختی نمونه باشد. عدم وجود یکنواختی و نهایتاً تکرارپذیری این فاکتور حتی برای نمونه صفر، حاکی از غیر قابل استناد بودن این مولفه در سایر نمونه‌ها نیز است. لذا در این تحقیق صرفاً از تنش تسلیم استفاده شده است. لازم به ذکر است که آزمایشگاه شرکت‌های پتروشیمی نیز برای نمونه‌های تولیدی خود این شرایط را دارند و صرفاً از مولفه تنش تسلیم استفاده و به آن استناد می‌نمایند.



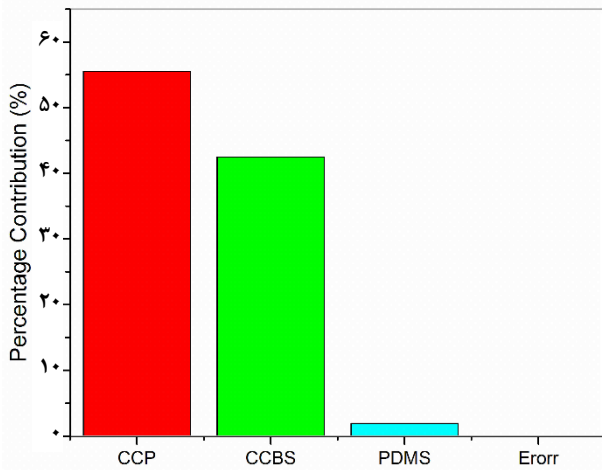
شکل ۳ - نمودار اثر درصد کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و درصد PDMS بر شاخص MFI آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>

همچنین افزایش مقدار کربنات کلسیم و PDMS روند افزایشی را در شاخص جریان مذاب دارند.

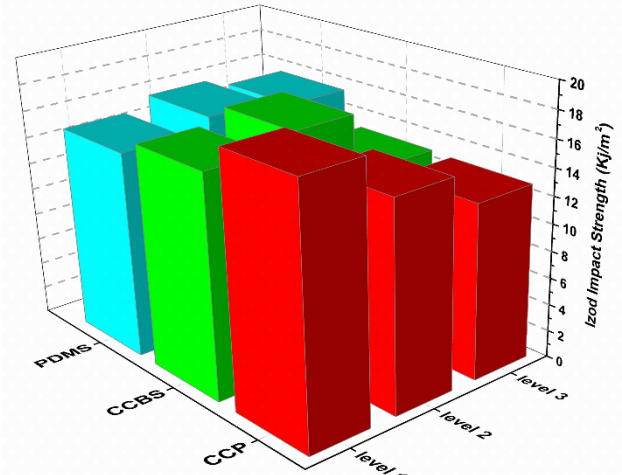
اصولاً اثر فیلر بر مقدار شاخص جریان مذاب بدین صورت است که این ذرات به واسطه جامد بودن باعث سخت شدن حرکت زنجیرهای پلیمر شده و این شاخص را کاهش می‌دهند. از طرف دیگر ممکن است که در ترکیب درصدهایی به واسطه ایجاد پدیده‌ای مشابه رفتار غلطکی، باعث افزایش این شاخص شوند. مطابق شکل ۴ موثرترین عامل در کاهش شاخص مذاب اندازه ذرات می‌باشد که با کاهش اندازه ذرات و افزایش سطح آن مقاومت در برابر حرکت زنجیرهای پلیمر افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که مقدار کربنات کلسیم عامل مهمی در کاهش شاخص مذاب می‌باشد، ولی این اثر در درصدهای بالاتر فیلر نمود بیشتری پیدا می‌کند. البته با توجه به اینکه شاخص مذاب پلیمر پایه 2.7 g/10 min می‌باشد و تغییرات شاخص مذاب نسبت به پلیمر پایه +۰/۳ و -۰/۱ است، و مقدار اختلافات در شاخص جریان مذاب در نمونه‌های متفاوت ناچیز می‌باشد، لذا خطای آزمایش می‌تواند اثر گذار بوده باشد.

#### آزمون شاخص استحکام ضربه ایزود

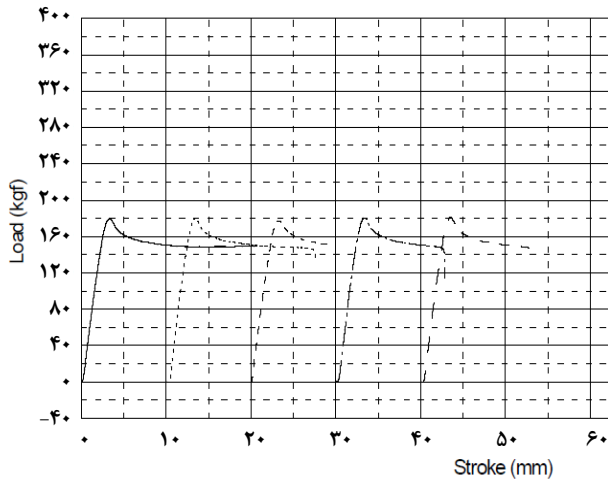
تأثیر کربنات کلسیم بر چقرمگی کامپوزیت، توسط آزمون ضربه اندازه گیری می‌شود. آزمون‌های سرعت بالا می‌تواند رفتار شکست ماده را از حالت چقرمه به شکننده تبدیل کند و این یکی از دلایلی است که نتایج حاصل از آزمون ضربه را با کشش متمایز ساخته است. عموماً پرکننده‌های سخت در پلیمر سخت استحکام ضربه پلیمر را کاهش می‌دهد. این که استحکام ضربه پلیمرهای ترد با افزودن پرکننده‌های سخت کاهش می‌یابد، عجیب نیست. زیرا استحکام ضربه با مساحت زیر منحنی تنش کرنش به دست می‌آید. استحکام ضربه با کاهش اندازه ذرات تا جایی که کلوخه‌ای شدن اتفاق نیافتد،



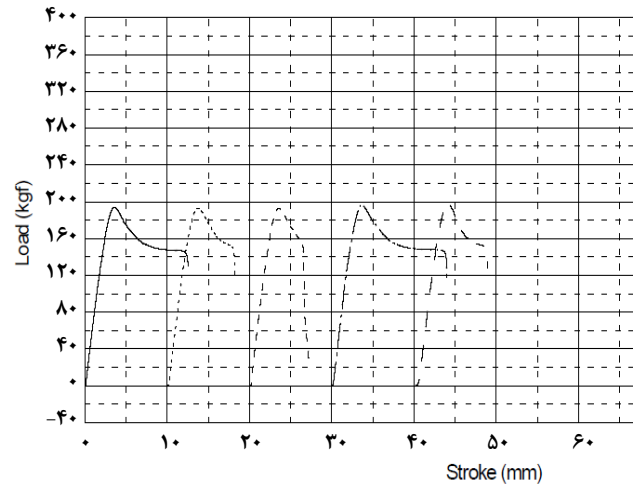
شکل ۶- سهم اثرگذاری فاکتورهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر استحکام ضربه ایزود کامپوزیت ABS/CaCO<sub>3</sub>



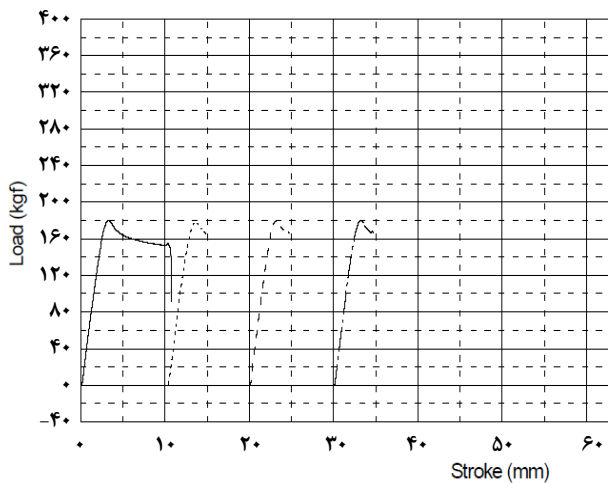
شکل ۵- نمودار اثر درصد کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و درصد PDMS بر استحکام ضربه ایزود آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>



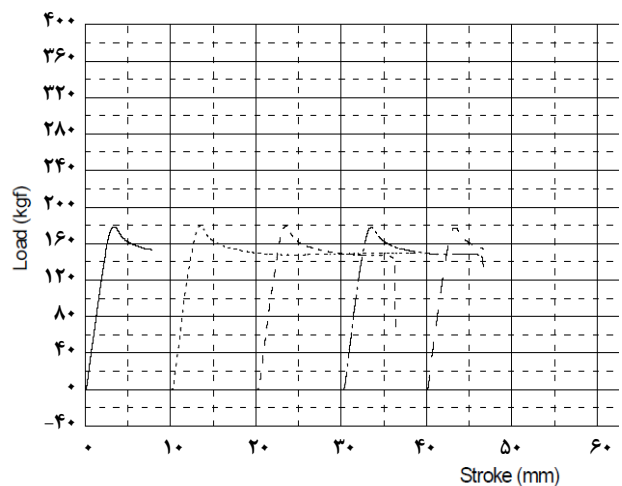
شکل ۸- منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره یک (۵ نمونه تکراری).



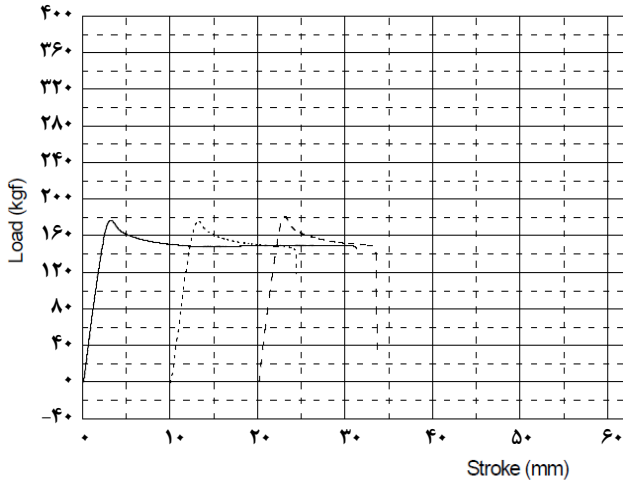
شکل ۷- منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره صفر (۵ نمونه تکراری).



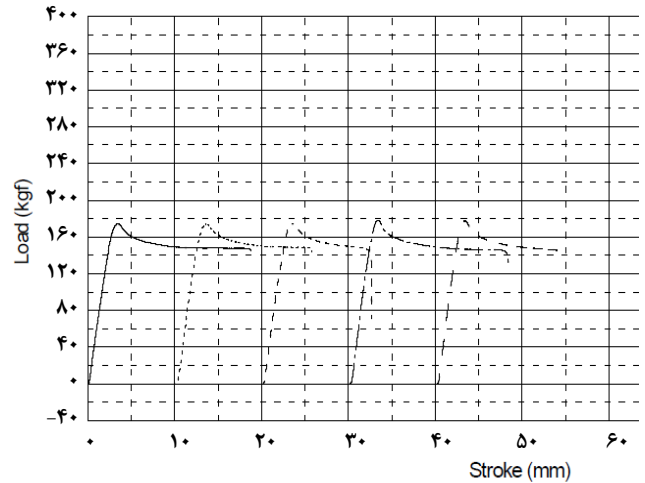
شکل ۱۰- منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره سه (۵ نمونه تکراری).



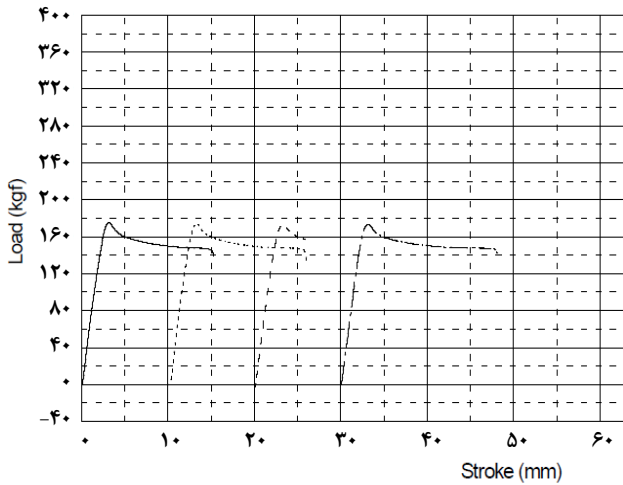
شکل ۹- منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره دو (۵ نمونه تکراری).



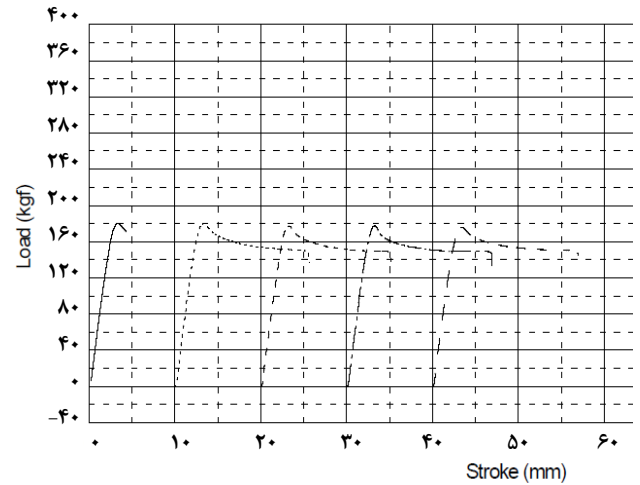
شکل ۱۲ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره پنج (۳ نمونه تکراری).



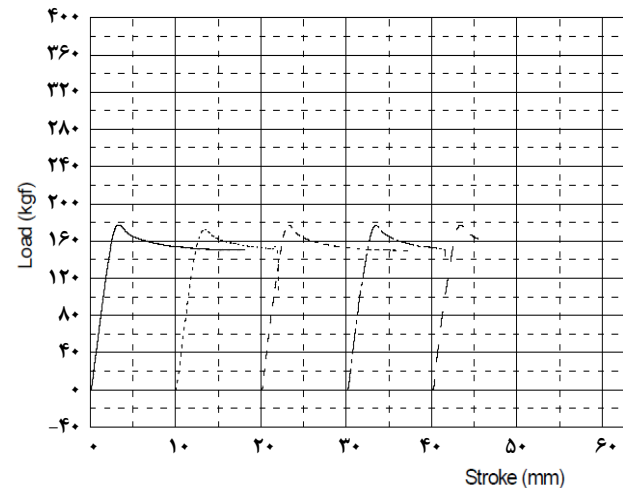
شکل ۱۱ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره چهار (۵ نمونه تکراری).



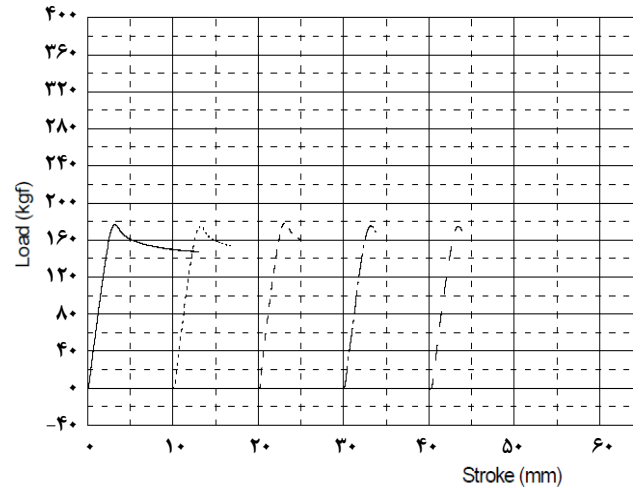
شکل ۱۴ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره هفت (۵ نمونه تکراری).



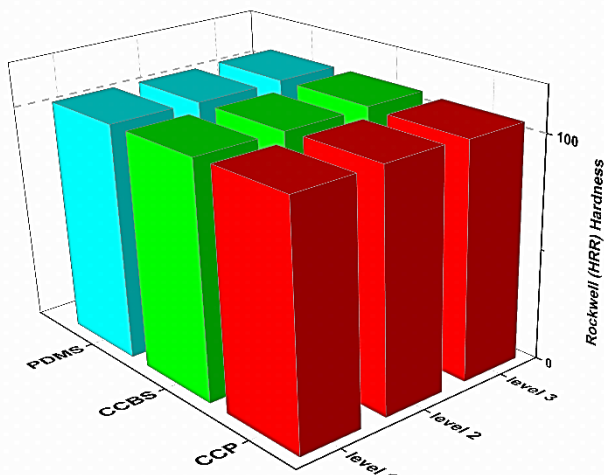
شکل ۱۳ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره شش (۵ نمونه تکراری).



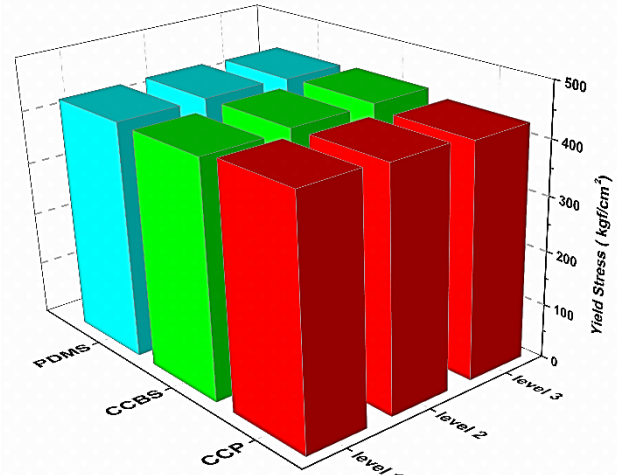
شکل ۱۶ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره نه (۵ نمونه تکراری).



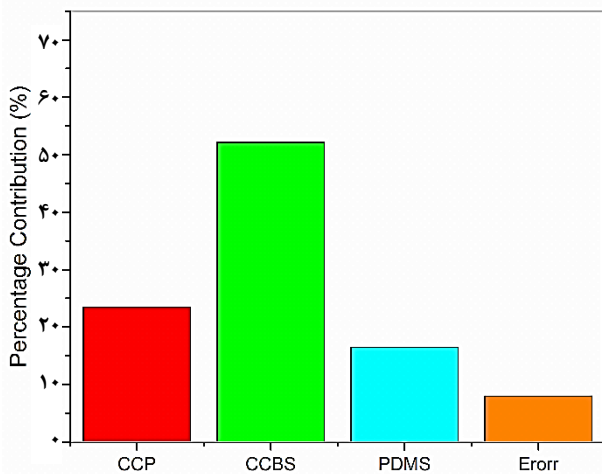
شکل ۱۵ - منحنی تنش کرنش برای نمونه شماره هشت (۵ نمونه تکراری).



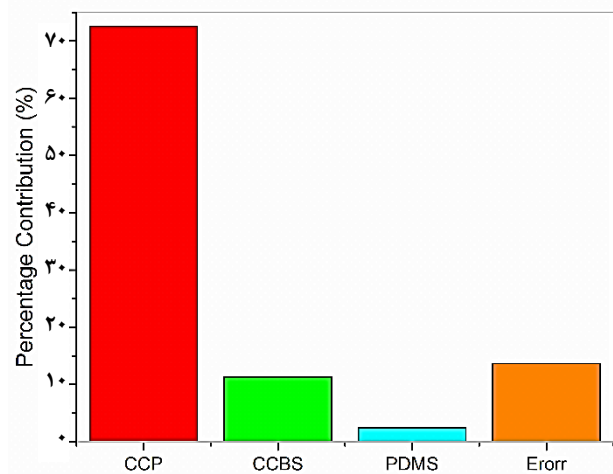
شکل ۱۹ - نمودار اثر درصد کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و درصد PDMS بر سختی راکول آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>



شکل ۱۷ - نمودار اثر درصد کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و درصد PDMS بر استحکام کششی آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>



شکل ۲۰ - سهم اثر گذاری فاکتورهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر سختی راکول آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>



شکل ۱۸ - سهم اثر گذاری فاکتورهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر استحکام کششی آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>

تا حدود زیادی تحت تاثیر خطای آزمایش قرار گیرد. البته شکل ۲۰ هم نشان می‌دهد که پس از اندازه ذرات کربنات کلسیم، اثر گذاری عامل خطا بر مشخصه سختی راکول مقدار بالایی می‌باشد.

### آزمون دمای نرمی وایکت

دمای نرمی وایکت TV عامل مهمی برای خواص مقاومتی پلیمر به حساب می‌آید. اثر متغیرهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و همچنین مقدار PDMS بر دمای نرمی وایکت کامپوزیت‌های ABS/CaCO<sub>3</sub> در شکل ۲۱ نشان داده شده است. شکل ۲۲ نشانگر اثر ناچیز PDMS و مقدار کربنات کلسیم می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود این متغیرها دارای اثراتی بسیار ضعیف هستند که می‌تواند در حد خطای آزمایش باشد. اثر اندازه ذرات بیشتر از سایر متغیرها بوده و با کاهش اندازه ذرات

شکل ۱۷ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار و اندازه کربنات کلسیم تنش تسلیم دچار افت می‌شود ولی این روند با افزایش مقدار PDMS معکوس است. عموماً استحکام کششی مواد کامپوزیتی تا حدی به چسبندگی بین سطحی زمینه و پرکننده‌ها بستگی دارد. مطابق شکل ۱۸ اثر مقدار کربنات کلسیم بر استحکام ضربه بسیار موثر است در حالیکه اثر اندازه ذرات و مقدار S50 عملاً ناچیز است. البته اثر خطای آزمایش نیز در این مشخصه بالاست.

### آزمون سختی در مقیاس راکول

همانطور که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود محدوده تغییرات مشخصه سختی راکول با تغییرات مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و همچنین مقدار PDMS بسیار باریک می‌باشد، لذا روند تغییرات می‌تواند

### نتیجه گیری

۱- افزایش اندازه ذرات کربنات کلسیم باعث افزایش شاخص جریان مذاب می‌شود. همچنین افزایش مقدار کربنات کلسیم و PDMS باعث افزایش شاخص جریان مذاب می‌شود ولی اثر اندازه ذرات بیشتر است. تغییرات این شاخص با تغییر فاکتورهای اعمال شده ضعیف می‌باشد.

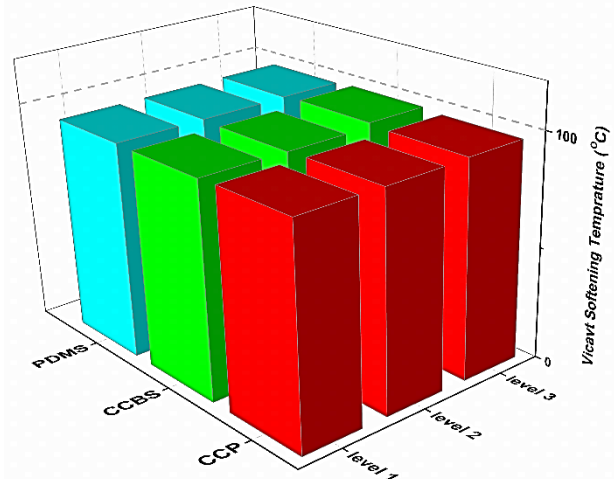
۲- افزایش مقدار کربنات کلسیم باعث کاهش استحکام ضربه شده و این رفتار با کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم دیده می‌شود، ریز و درشت بودن اندازه ذرات باعث کاهش استحکام ضربه شده و این افت در اندازه ذرات ریز بیشتر است. PDMS دارای اثر بسیار ضعیف و غیر منطقی در این شاخص است. از فاکتورهای اعمال شده بیشترین اثر بر این شاخص، متعلق به مقدار و سپس اندازه ذرات کربنات کلسیم است.

۳- قالب‌گیری پلیمر ABS برای تست کشش بسیار حساس بوده و ازدیاد طول در نقطه شکست دارای تکرارپذیری نمی‌باشد. لذا نتایج این مشخصه اعمال نگردید.

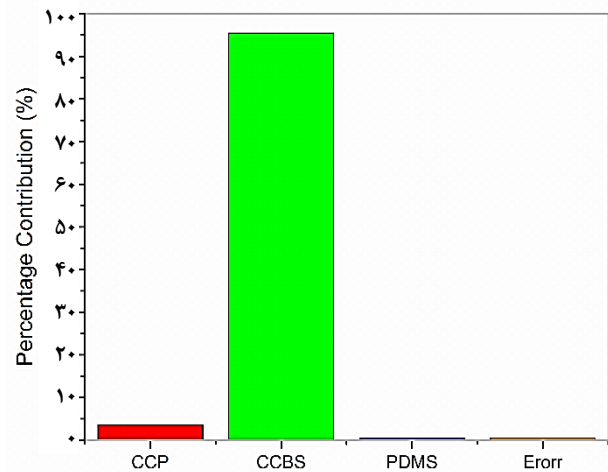
۴- استحکام کششی کامپوزیت با افزایش مقدار کربنات کلسیم کاهش می‌یابد. با افزایش PDMS و کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم این شاخص کاهش بسیار ناچیزی را داراست. به عبارتی تنها عامل اثرگذار مقدار کربنات کلسیم می‌باشد.

۵- سختس راکول با فاکتورهای اعمالی تغییرات ناچیز دارد.

۶- کاهش اندازه ذرات کربنات کلسیم باعث افزایش دمای نرمی وایکت می‌شود. اثر گذاری مقدار کربنات کلسیم و PDMS ناچیز می‌باشد.



شکل ۲۱ - نمودار اثر درصد کربنات کلسیم، اندازه ذرات کربنات کلسیم و درصد PDMS بر دمای نرمی وایکات آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>.



شکل ۲۲ - سهم اثرگذاری فاکتورهای مقدار و اندازه ذرات کربنات کلسیم و مقدار PDMS بر دمای نرمی وایکات آمیزه ABS/CaCO<sub>3</sub>

باعث افزایش وایکت می‌شود. چگونگی عملکرد فیلرها بر دمای نرمی عمدتاً ناشی از ممانعت در برابر حرکت زنجیرهای پلیمر توسط ذرات می‌باشد.

### مراجع

- [1] Gurjar D., Sharma S., Sarkar M., [A Review on Testing Methods of Recycled Acrylonitrile Butadiene-Styrene](#). *Materials Today: Proceedings*, **5(14)**: 28296-28304 (2018).
- [2] Hsissou R., Seghiri R., Benzekri Z., Hilali M., Rafik M., Elharfi A., [Polymer Composite Materials: A Comprehensive Review](#). *Composite structures*, **262**: 113640 (2021).

- [3] Yadav R., Singh M., Shekhawat D., Lee S.Y., Park S.J., [The Role of Fillers to Enhance the Mechanical, Thermal, and Wear Characteristics of Polymer Composite Materials: A Review](#). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **175**: 107775 (2023).
- [4] Wilke L.A., Robertson C.G., Karsten D.A., Hardman N.J., [Detailed Understanding of the Carbon Black–Polymer Interface in Filled Rubber Composites](#). *Carbon*, **201**: 520-528 (2023).
- [5] Park G., Lee H., Sim J.H., Kim A., Kim M., Paeng K., [Polymer Segmental Dynamics Near the Interface of Silica Particles in the Particle/Polymer Composites](#). *Journal of Colloid and Interface Science*, **629**: 256-264 (2023).
- [6] Xiao J., Hobson J., Ghosh A., Haranczyk M., Wang D.Y., [Flame Retardant Properties of Metal Hydroxide-Based Polymer Composites: A Machine Learning Approach](#). *Composites Communications*, **40**: 101593 (2023).
- [7] Lakshmi R., Choudhary R., Senatov F., Kaloshkin S., Kothandam S., Ponnamma D., Sadasivuni K.K., Swamiappan S., [Fabrication and Bioactivity Studies of Wollastonite/Polycaprolactone Composites](#). *International Journal of Nano and Biomaterials*, **10(2)**: 86-99 (2023).
- [8] Hussain E., Ahtesham A., Shahadat M., Nasir M., Ibrahim M., Ismail S., [Recent Advances of Clay/Polymer-Based Nanomaterials for the Treatment of Environmental Contaminants in Wastewater: A Review](#). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **12(3)**: 112401 (2024).
- [9] Sudeepan J., Kumar K., Barman T.K., Sahoo P., [Study of Friction and Wear Properties of ABS/Kaolin Polymer Composites Using Grey Relational Technique](#). *Procedia Technology*, **14**: 196-203 (2014).
- [10] Costa V.C., Aquino F.W.B., Paranhos C.M., Pereira-Filho E.R., [Use of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for the Determination of Polycarbonate \(PC\) and Acrylonitrile-Butadiene-Styrene \(ABS\) Concentrations in PC/ABS Plastics from E-Waste](#). *Waste management*, **70**: 212-221 (2017).
- [11] Hsu Y.G., Lin F.J., [Organic–Inorganic Composite Materials from Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Copolymers \(ABS\) and Silica Through an in Situ Sol-Gel Process](#). *Journal of applied polymer science*, **75(2)**: 275-283 (2000).
- [12] Olivera S., Muralidhara H.B., Venkatesh K., Gopalakrishna K., Vivek C.S., [Plating on Acrylonitrile–Butadiene–Styrene \(ABS\) Plastic: a Review](#). *Journal of materials science*, **51**: 3657-3674 (2016).
- [13] Hiremath A., Murthy A.A., Thipperudrappa S. KN B., [Nanoparticles Filled Polymer Nanocomposites: A Technological Review](#). *Cogent engineering*, **8(1)**: 1991229 (2021).
- [14] Tang C.Y., Chan, L.C., Liang, J.Z., Cheng, K.W.E. and Wong, T.L., [Mechanical and Thermal Properties of ABS-CaCO<sub>3</sub> Composites](#). *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **21(15)**: 1337-1345 (2002).

- [15] Jiang L., Lam Y.C., Tam K.C., Chua T.H., Sim G.W., Ang L.S., [Strengthening Acrylonitrile-Butadiene-Styrene \(ABS\) with Nano-Sized and Micron-Sized Calcium Carbonate](#). *Polymer*, **46(1)**: 243-252 (2005).
- [16] Fu S.-Y., Lauke B., [Characterization of Tensile Behaviour of Hybrid Short Glass Fibre/Calcite Particle/ABS Composites](#). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **29(5-6)**: 575-583 (1998).
- [17] Alekseev A.A., Abdulrahim R.M., Osipchik V.S., Kirichenko E.A., Chernyshova V.N., [Heat Stability of Filled ABS Copolymers](#). *International Polymer Science and Technology*, **30(7)**: 18-21 (2003).
- [18] Tang C.Y., Liang J.Z., [A Study of the Melt Flow Behaviour of ABS/CaCO<sub>3</sub> Composites](#). *Journal of Materials Processing Technology*, **138(1-3)**: 408-410 (2003).
- [19] Miller A., Brown C., Warner G., [Guidance on the use of Existing ASTM Polymer Testing Standards for ABS Parts Fabricated Using FFF](#). *Smart and Sustainable Manufacturing Systems*, **3(1)**: (2019).
- [20] Venkatesan K., Bhaskar G., [Evaluation and Comparison of Mechanical Properties of Natural Fiber Abaca-Sisal Composite](#). *Fibers and Polymers*, **21**: 1523-1534 (2020).
- [21] Singh G., Brar G.S., Singh R., [On Rheological, Mechanical, Thermal, Wear and Morphological Properties of Melamine Formaldehyde Reinforced Recycled ABS for Sustainable Manufacturing](#). in E3S Web of Conferences, EDP Sciences (2021).
- [22] Bharne M., Bhosle S., [Mechanical & Thermal Properties of fly Ash Filled ABS](#). *Int. J. Eng. Res. Technol*, **3**: 750-756 (2014).
- [23] Dhas J E.R., Lewise K A.S., Kulandaiyappan N.K., Raja V., Saleel C.A., Alwetaishi M., Arputharaj B.S., Hassan Deif A.M., AL-bonsrulah H.A.Z., [Manufacturing and Experimental Characterization of New-Developed Natural Fiber Reinforced Polymer Nanocomposite](#). *journal of materials research and technology*, **26**: 6084-6095 (2023).