



Review Article



DOI: 10.22034/farayandno.2025.2053191.1988



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

Optimization of Stirring Speed and Irganox 1076 Concentration for Enhanced Physical Properties of ABS Using Artificial Neural Networks

Fahimeh Derakhshanfard^{1*}

¹ Department of chemical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Received: 5 Dec 2024 Accepted: 8 Feb 2024

Abstract

This research was undertaken to investigate the efficacy of Irganox 1076 antioxidant in enhancing the impact strength of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer. Specifically, the study focused on ABS grade SD-0150, a product of Tabriz Petrochemical Company, which served as the base polymer. Irganox 1076 was strategically incorporated into the polymer matrix, functioning as both an impact modifier and a heat stabilizer, with the aim of improving the material's overall performance. To comprehensively evaluate the antioxidant's influence on the polymer's properties, a series of ABS/Irganox 1076 blends were meticulously prepared. These blends were then subjected to a battery of characterization tests, including the determination of melt flow index (MFI), Vicat softening temperature, and Izod impact strength. All experimental results were rigorously compared against the properties of the pristine ABS-SD0150, establishing a baseline for analysis. Furthermore, a multilayer perceptron (MLP) neural network, a sophisticated machine learning tool, was employed to model the collected experimental data. This computational approach facilitated the prediction of blend properties, offering insights beyond direct experimental measurements. The results of this study conclusively demonstrated that the incorporation of Irganox 1076 led to a significant improvement in the physical properties of ABS. Notably, the blend containing 2% by weight of Irganox 1076 exhibited markedly enhanced thermal stability, a critical factor for many applications. Additionally, the polymer's inherent resistance to environmental stress, was also substantially improved. These findings underscore the potential of Irganox 1076 as an effective additive for enhancing the performance characteristics of ABS polymers.

Keyword: Impact Resistant; Acrylonitrile Butadiene Styrene, Irganox 1076 Anti Oxidant, Artificial Neural Networks, Multi Layer Perceptron.

* f.dfard@gmail.com

Please Cite This Article Using:

Derakhshanfard, F "Optimization of Stirring Speed and Irganox 1076 Concentration for Enhanced Physical Properties of ABS Using Artificial Neural Networks", Journal of Farayandno – Vol. 19 – No. 88, pp. 75-88, In Persian, (2025).



DOI: 10.22034/farayandno.2025.2053191.1988



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

بررسی سرعت دور همزن در افزایش آنتی اکسیدان های Irganox 1076 بر روی خواص فیزیکی پلیمر آکریلونیتریل-بوتادین-استایرن با شبکه های عصبی مصنوعی

فهیمة درخشان فرد^{1*}

¹ گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

دریافت: 1403/09/15 پذیرش: 1403/11/20

چکیده

در این تحقیق با تهیه آمیزه های پلیمری ABS و آنتی اکسیدان Irganox1076، مقاومت در برابر ضربه ABS بهبود یافته است. برای تهیه این آمیزه های پلیمری، آکریلونیتریل-بوتادین-استایرن گرید SD-0150 تولیدی پتروشیمی تبریز به عنوان ماتریس انتخاب گردید و روش کار بر مبنای استفاده از آنتی اکسیدان Irganox1076 به منظور اصلاح کننده ضربه و مقاوم در برابر حرارت مورد استفاده قرار گرفت. تمام نتایج با همدیگر و با خواص آکریلونیتریل-بوتادین-استایرن گرید SD-0150 (نمونه مرجع) مقایسه گردید. از شبکه های عصبی مصنوعی روش MLP برای پیش بینی داده ها استفاده شده است. نتایج نشان دهنده آن است که حضور آنتی اکسیدان Irganox1076 در آمیزه های پلیمری سبب بهبود خواص فیزیکی ABS شده است. بررسی خواص VICAT، MFR، Tensile و IZOD پلیمر با نام تجاری ABS-SD0150 با تهیه آمیزه ABS / Irganox1076 با ترکیب درصد 98 درصد ABS و 2 درصد آنتی اکسیدان نشان دهنده بهبود خواص آن در برابر حرارت، ری اکستروژن چندباره، تنش های محیطی و خواص مکانیکی آن شده است.

کلمات کلیدی: مقاومت در برابر ضربه، آکریلونیتریل-بوتادین-استایرن، آنتی اکسیدان Irganox 1076، شبکه های عصبی مصنوعی، Multi-Layer Perceptron.

* f.dfard@gmail.com

1- مقدمه

در پژوهش‌های قدیمی‌تر، پایداری حرارتی کوپلیمر ABS با افزودن ترکیبی از تری فنیل فسفات، رزین اپوکسی و سیلان به طور قابل توجهی بهبود یافته است. تری فنیل فسفات به عنوان پایدارکننده اولیه عمل کرده و پایداری حرارتی را افزایش می‌دهد. رزین اپوکسی نیز با تبدیل به رادیکال و سپس اسید در حین حرارت، به پایداری بیشتر کوپلیمر کمک می‌کند. استفاده همزمان این سه افزودنی، اثر سینرژیکی داشته و پایداری حرارتی کوپلیمر را به میزان بسیار بیشتری نسبت به استفاده از تری فنیل فسفات به تنهایی افزایش می‌دهد [1]. در تحقیقی، محققان برای بهبود پایداری حرارتی کوپلیمر ABS از افزودنی‌هایی مانند کلرید کلسیم، کلرید آهن، سیلیسیم و کلرید سرب استفاده کرده‌اند. با استفاده از روش ترموگراویمتری، نمونه‌های ABS خالص و نمونه‌های حاوی افزودنی‌ها در شرایط مختلف حرارتی (در حضور اکسیژن و نیتروژن) مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده‌اند که در محیط اکسیژن، سیلیسیم با واکنش با کلریدهای فلزات، ترکیبی به نام سیلیسیم تتراکلرید تولید می‌کند. این ترکیب باعث افزایش پایداری حرارتی و کاهش اشتعال‌پذیری کوپلیمر ABS می‌شود [2]. در پژوهشی، محققان نانوکامپوزیتی از جنس پلی‌آمید 6، ABS و نانوذرات خاک رس تولید کرده‌اند. با اضافه کردن نانوذرات خاک رس به این آمیزه، ساختار آن بهبود یافته و اتصال بهتری بین لایه‌های مختلف ایجاد شده است. این بهبود ساختار منجر به افزایش خواص مکانیکی و حرارتی نانوکامپوزیت نسبت به مواد اولیه شده است. به عبارت دیگر، با استفاده از نانوذرات خاک رس، یک ماده جدید با خواص بهتر تولید شده است [3]. در تحقیقی، محققان به دنبال بهبود خواص مکانیکی قطعات چاپ شده با پرینتر سه بعدی بودند. برای این منظور، آن‌ها پودر آلومینا را به ماده اولیه (ABS) اضافه کردند و سپس قطعاتی را با استفاده از روش چاپ سه بعدی FDM تولید کردند. نتایج نشان داد که با وجود انتظار افزایش استحکام، افزودن آلومینا به ABS باعث کاهش استحکام کششی و فشاری قطعات شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که در این شرایط خاص، افزودن آلومینا به جای تقویت، خواص مکانیکی ABS را تضعیف کرده است [4]. در پژوهشی، محققان به بررسی تأثیر نور ماوراء بنفش بر کوپلیمر ABS پرداخته‌اند. آن‌ها مشاهده کرده‌اند که در معرض نور UV، ABS شروع به تجزیه شده و رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند. این رادیکال‌ها باعث تخریب بیشتر پلیمر می‌شوند. برای جلوگیری از این تخریب، از افزودنی Tinuvin استفاده شده است. این افزودنی با جذب نور UV و جلوگیری از تشکیل رادیکال‌های آزاد، از تخریب پلیمر جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، Tinuvin مانند یک سپر محافظتی عمل کرده و طول عمر پلیمر را افزایش می‌دهد [5]. در تحقیقی، محققان به بررسی تأثیر افزودن نانوذرات آلومینا به ورق‌های ABS و جوشکاری آن‌ها به روش اصطکاکی اغتشاشی (FSW) پرداخته‌اند. هدف از این کار، بهبود خواص مکانیکی محل اتصال و بررسی شرایط بهینه جوشکاری بوده است. نتایج نشان داده‌اند که با تنظیم پارامترهای جوشکاری مانند سرعت چرخش و سرعت خطی، می‌توان اتصالات با کیفیت مناسبی ایجاد کرد و همچنین با افزودن نانوذرات آلومینا به ABS باعث افزایش استحکام کششی و سختی محل جوش شده است و همچنین سرعت چرخش بالا به کیفیت بهتر جوش کمک می‌کند [6]. در تحقیقی، رفتار ABS را در مقابل اشعه‌ی UV در حضور و عدم حضور ترکیبات آمینی مورد مطالعه قرار گرفته است. با روش ESRI محصولات تخریب مطالعه شده است و مشخص شد که افزودنی‌های آمینی پایداری پلیمر را در مقابل اشعه افزایش می‌دهد. مکانیسمی که سبب این پایداری می‌شود به این صورت می‌باشد که ترکیبات آمینی در مقابل حرارت و اشعه‌ی UV رادیکال نیترواکسید تولید می‌کند که این رادیکال باعث

پایداری حرارتی و پایداری در مقابل اشعه‌ی UV می‌شود [5]. در پژوهشی، با هدف بهبود خواص مکانیکی و فرآیندپذیری آلیاژهای پلیمری، آلیاژهایی از پلی استال (POM) و آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) به همراه افزودنی‌هایی مانند ترموپلاستیک پلی‌یورتا (TPU)، سازگارکننده اکریلاتی و نانوذرات خاک رس تولید و بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که افزودن این افزودنی‌ها به ویژه نانوذرات خاک رس، باعث بهبود خواص مکانیکی آلیاژ، کاهش اندازه ذرات و بهبود توزیع آن‌ها در ماتریس پلیمری می‌شود. همچنین، مطالعات رئولوژیکی نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در رفتار جریان آلیاژهای تولید شده نسبت به پلیمرهای خالص است. بررسی‌های میکروسکوپی نیز تأیید می‌کنند که نانوذرات خاک رس ساختار لایه‌ای خود را در آلیاژ حفظ کرده و به بهبود خواص آن کمک می‌کنند [7]. در تحقیقی، پلیمر ABS در حضور روغن دانه‌های گیاهی حرارت داده شده و تخریب نمودند. مکانیسم تخریب حرارتی بدست آمده و پیشنهاد شده واکنش تخریب با مکانیسم رادیکالی پیش می‌رود. دما و زمان و غلظت واکنش دهنده‌ها می‌تواند شرایط واکنش را تحت تأثیر قرار دهد. سپس ترکیبات حاصله با روش کروماتوگرافی نفوذ ژلی مورد بررسی قرار گرفته و با تفسیر طیف‌های به دست آمده از FT-IR مشخص شد که روغن‌های گیاهی با ایجاد پیوند با پلیمر باعث پایداری آن می‌گردد [14]. در پژوهشی، محققان به بررسی رفتار ABS به تنهایی و در ترکیب با پلیمرهای دیگری مانند پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید (PVC) و پلی پروپیلن در برابر حرارت پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که زمانی که ABS با PVC ترکیب می‌شود، پایداری حرارتی آن نسبت به زمانی که به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاهش می‌یابد [8]. در پژوهشی، با هدف بهبود خواص ضربه‌ای نانوکامپوزیت‌ها، آمیزه‌هایی از پلی‌آمید 6 و ABS حاوی نانوذرات کربنات کلسیم تولید و بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که افزودن نانوذرات کربنات کلسیم به این آمیزه‌ها باعث بهبود قابل توجه مقاومت ضربه‌ای، به ویژه در نمونه‌های دارای شکاف، می‌شود. این بهبود به دلیل تغییرات ایجاد شده در ریزساختار نانوکامپوزیت و افزایش پراکندگی نانوذرات در ماتریس پلیمری است [9]. در پژوهشی، به منظور بهبود خواص مکانیکی آلیاژهای پلیمری، تأثیر ترکیب و شرایط فرآیند قالب‌گیری تزریقی بر استحکام کششی آلیاژهای پلی‌کربنات (PC)، پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) و آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نسبت PC در آلیاژها، استحکام کششی افزایش می‌یابد. همچنین، پارامترهای فرآیند قالب‌گیری مانند دمای تزریق نیز بر استحکام کششی تأثیرگذار هستند [10]. در پژوهشی، به منظور بهبود خواص مکانیکی، نانوکامپوزیت‌هایی بر پایه پلیمر ABS و نانوذرات اکسید آلومینیوم تولید شده و خواص مکانیکی آن‌ها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن نانوذرات آلومینا به ماتریس پلیمری ABS منجر به افزایش قابل توجه استحکام کششی نانوکامپوزیت‌ها می‌شود. بیشترین افزایش استحکام در نمونه‌هایی با 3 درصد وزنی نانوذرات مشاهده شده است. این بهبود خواص مکانیکی به دلیل توزیع یکنواخت نانوذرات در ماتریس پلیمری و ایجاد پیوندهای مکانیکی بین ماتریس و نانوذرات است [11]. در تحقیقی، با هدف بهبود پایداری حرارتی گرافت-آکریلونیتریل بوتادین استایرن (g-ABS)، از یک آنتی‌اکسیدان جدید به نام بنزوفورانون استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این آنتی‌اکسیدان به طور موثری از تخریب حرارتی g-ABS جلوگیری می‌کند. مکانیسم عملکرد این آنتی‌اکسیدان به گونه‌ای است که با تأخیر در شروع واکنش‌های اکسیداسیون، از تخریب زنجیره‌ای پلیمر جلوگیری می‌کند. همچنین، استفاده از بنزوفورانون به همراه سایر آنتی‌اکسیدان‌ها، مانند فسفیت‌ها و فنل‌ها، منجر به افزایش بیشتر پایداری حرارتی می‌شود [12]. در پژوهشی، رفتار شکست آمیزه‌های دوجزئی ABS و نایلون 6 با

درصدهای مختلف از هر جزء بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش درصد ABS در آمیزه، رفتار شکست از حالت ترد به نرم تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، آمیزه با حدود 70 درصد وزنی ABS، بیشترین انرژی جذب ضربه و بیشترین ازدیاد طول قبل از شکست را نشان می‌دهد. تحلیل‌های میکروسکوپی نیز نشان می‌دهند که در این ترکیب، ساختار یکنواخت‌تری در آمیزه ایجاد شده است [13]. در تحقیقات پیشین در مورد استفاده شبکه‌های عصبی مصنوعی برای رسیدن به داده‌های بیشتر، روش MLP برای تاثیر سرعت اختلات در ترکیب شدن پلیمرهای پلی استایرن و آکریلونیتریل پولی استایرن مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش هوش مصنوعی، داده‌های بدست آمده، داده‌های آزمایشگاهی را به خوبی در بر گرفت. نتایج نشان داد که افزودن ABS خصوصیتی مانند مقاومت ضربه‌ای، قدرت کششی و ... را بهبود بخشید [15]. همچنین، در تحقیقی دیگر در رابطه با شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش MLP از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پلیمریزاسیون پلی استایرن انبساطی به روش تزریق چند مرحله‌ای آغازگر مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی شبیه سازی‌ها مشخص شد که زمان پلیمریزاسیون مرحله اول کاهش یافته است و همچنین مقدار آغازگر مورد نیاز برای انجام پلیمریزاسیون بهینه شده است و سرانجام مقدار تزریق‌ها به نصف کاهش پیدا کرده است. با در نظر گرفتن تمامی این موارد، زمان پلیمریزاسیون تا 60% زمان پلیمریزاسیون مرسوم کاهش پیدا کرده است [16].

در این تحقیق، به منظور بهبود مقاومت به ضربه پلیمر آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)، آمیزه‌هایی از این پلیمر با افزودن آنتی‌اکسیدان Irganox 1076 تهیه گردید. ماتریس پایه در این تحقیق، گرید SD-0150 تولیدی پتروشیمی تبریز انتخاب شد. از شبکه‌های عصبی مصنوعی روش MLP برای پیش‌بینی نتایج برای نقاطی که آزمایشی صورت نگرفته بود مورد استفاده قرار گرفت. هدف از افزودن آنتی‌اکسیدان، بهبود مقاومت به ضربه و افزایش پایداری حرارتی پلیمر ABS است. برای ارزیابی تأثیر افزودن آنتی‌اکسیدان بر خواص مکانیکی و حرارتی آمیزه‌ها، پارامترهایی همچون شاخص جریان مذاب (MFI)، دمای نرمی و ویکات و مقاومت به ضربه ایزود اندازه‌گیری خواهد شد.

2- مواد و تجهیزات

1-1- مواد

در این تحقیق از گرید SD-0150 پلیمر آکریلونیتریل بوتادین استایرن تولیدی در مجتمع پتروشیمی تبریز استفاده شده است. آنتی‌اکسیدان مورد استفاده در این تحقیق با نام تجاری Irganox 1076 و ترکیب اکتادسیل-3- (3,5) دی ترشیو بوتیل-4-هیدروکسی فنل) پروپیونات¹ ساخت شرکت باسف² سوئیس می‌باشد

2-2- تجهیزات

از دستگاه تزریق ال جی-کره³ با دمای اکسترودر 190 درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. فشار تزریق 60bar، حجم محوطه تزریق 116 cm³، حجم قالب 25 cm³ بوده است.

¹ Octadecyl-3-(3,5 -di-tert.-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionate

² Basf

³ LG, Korea

2-3- روش کار

بر اساس مطالعات انجام گرفته برای تولید آمیزه پلیمر ABS با آنتی اکسیدان ثانویه با خواص فیزیکی بالا، جهت تولید صنعتی و کاربرد راحت تر این آمیزه پلیمری، ABS گرید SD-0150 تولیدی شرکت پتروشیمی تبریز مبنای این تحقیق قرار داده شده است. برای تهیه آمیزه پلیمری از آنتی-اکسیدان Irganox 1076 استفاده شده است. نمونه‌ها با ترکیب درصد‌های مختلف ABS و آنتی اکسیدان طبق توضیحاتی که در زیر ارائه می‌گردد تهیه گردیده است. تهیه گرانول با استفاده از نمونه تولیدی واحد ABS خط E مجتمع پتروشیمی تبریز صورت گرفت که نمونه مرجع می باشد و آنتی اکسیدان به این نمونه اضافه خواهد گردید. تهیه قطعه و تعیین MFI و IZOD نمونه نیز در آزمایشگاه خط B همین مجتمع انجام خواهد شد. بررسی و تحلیل نتایج و رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار اکسل انجام گرفته است.

در تهیه نمونه‌ها ابتدا نمونه شاهد بدون هیچ افزودنی به عنوان نمونه مرجع انتخاب شد و آزمایشات مورد نیاز بر روی آن انجام گرفت تا با آمیزه‌های دیگر در آخر مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه گردد، سپس طی مراحل‌ی که در ذیل به آنها اشاره خواهد شد، نمونه‌ها با افزودنی‌های ذکر شده تولید گردید.

2-4- هوش مصنوعی

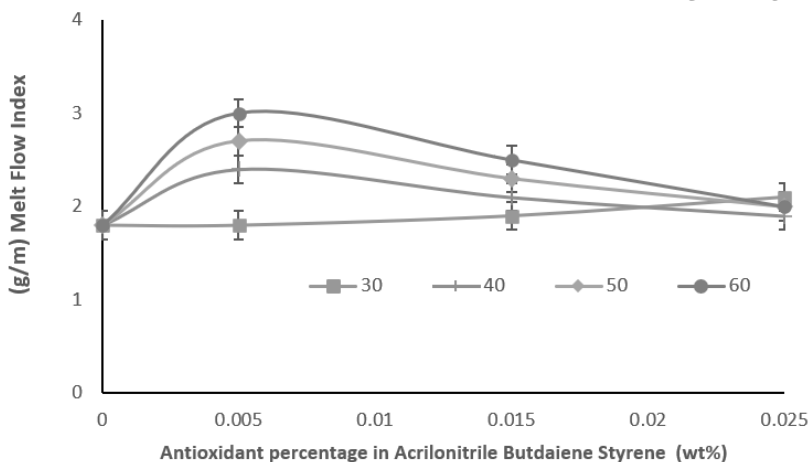
شبکه‌های عصبی MLP از لایه‌های متعددی از نورون‌ها تشکیل شده‌اند. اگرچه می‌توان از چندین لایه پنهان در این شبکه‌ها استفاده کرد، اما استفاده از یک لایه پنهان به دلیل سادگی ساختار، برای مسائل ساده‌تر مناسب‌تر است. استفاده از لایه‌های پنهان بیشتر می‌تواند منجر به پیچیدگی بیش از حد مدل شود. برای آموزش این شبکه‌ها، الگوریتم‌های یادگیری مانند انتشار پس‌رو استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها وزن‌های سیناپسی بین نورون‌ها را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که شبکه بتواند داده‌های ورودی را به درستی طبقه‌بندی یا پیش‌بینی کند. با استفاده از شبیه‌سازی و ایجاد نمودارهای سه بعدی، می‌توان دقت مدل‌های MLP را ارزیابی کرد. این نمودارها نشان می‌دهند که مدل تا چه اندازه می‌تواند داده‌های واقعی را پوشش دهد و برای پیش‌بینی داده‌های جدید استفاده شود. شبکه‌های عصبی MLP با قابلیت یادگیری الگوهای پیچیده و غیرخطی، ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی خواص و مقادیر بهینه در مواد و فرآیندها هستند. این شبکه‌ها می‌توانند با آموزش بر روی داده‌های تجربی، روابط پنهان بین متغیرهای ورودی (مانند درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط) و متغیرهای خروجی (مانند مقاومت به ضربه) را شناسایی کنند. پس از آموزش، شبکه MLP می‌تواند برای پیش‌بینی خواص مواد در شرایط جدید یا برای یافتن مقادیر بهینه متغیرهای ورودی به منظور دستیابی به خواص مطلوب مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، با استفاده از شبکه MLP می‌توان مقادیر بهینه درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط را تعیین کرد که منجر به حداکثر مقاومت به ضربه در پلیمر می‌شود. همچنین، این شبکه‌ها می‌توانند برای پیش‌بینی خواص مواد در شرایطی که انجام آزمایش‌های تجربی دشوار یا پرهزینه است، مورد استفاده قرار گیرند.

3- نتایج و بحث

مؤلفه‌های مختلف از قبیل شاخص جریان مذاب، خواصیت کششی، نقطه نرمی، مقاوت ضربه‌ای برای مقادیر مختلفی از آنتی اکسیدان Irganox 1076 (0/005, 0/010, 0/015, 0/020 و 0/025 wt%) در پلیمر آکریلونیتریل بوتادین

استایرن مورد بررسی قرار گرفت و همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی داده‌های پیش‌بینی شده برای همین مؤلفه‌ها در درصد‌های وزنی (0, 0/1, 0/2, 0/3 wt%) و سرعت اختلاط‌های متفاوت (0/3, 0/4, 0/5 و 0/6 rpm) نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

3-1- بررسی شاخص جریان مذاب



شکل 1- بررسی شاخص جریان مذاب در مقادیر مختلف درصد آنتی‌اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن

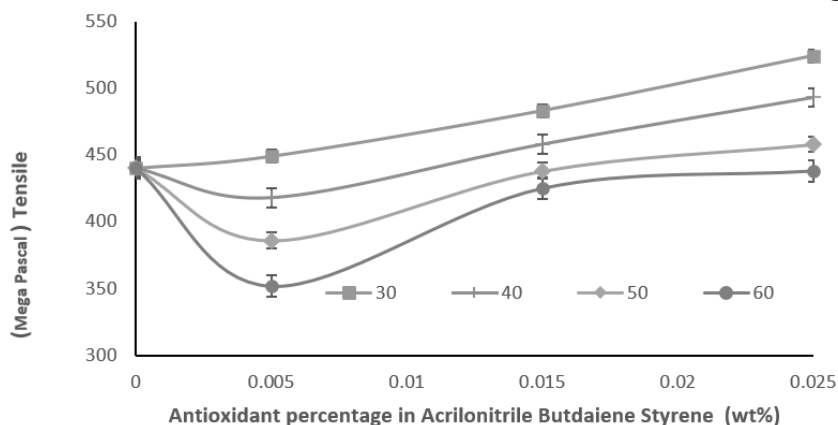
همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود، با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، شاخص جریان مذاب به طور کلی افزایش می‌یابد. این نشان‌دهنده آن هست که با افزودن آنتی‌اکسیدان، ویسکوزیته مذاب کاهش یافته و جریان‌پذیری پلیمر بهبود یافته است. یکی از دلایل احتمالی افزایش MFI با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، کاهش برهم‌کنش‌های بین مولکولی در اثر حضور آنتی‌اکسیدان است. این کاهش برهم‌کنش‌ها باعث می‌شود که زنجیره‌های پلیمری آزادتر حرکت کرده و در نتیجه ویسکوزیته مذاب کاهش یابد. با افزایش سرعت اختلاط، شاخص جریان مذاب نیز به طور کلی افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که با افزایش سرعت اختلاط، مولکول‌های پلیمر بیشتر شکسته شده و طول زنجیره مولکولی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش ویسکوزیته و افزایش جریان‌پذیری می‌شود. افزایش سرعت اختلاط باعث ایجاد تنش‌های برشی بیشتری در مذاب شده و این تنش‌ها منجر به شکستن زنجیره‌های پلیمری و کاهش وزن مولکولی می‌شوند. کاهش وزن مولکولی به نوبه خود باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش جریان‌پذیری می‌شود. سرعت اختلاط و درصد آنتی‌اکسیدان بر روی MFI با هم تعامل دارند.

3-2- بررسی

از شکل 2 می‌توان دریافت که با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان تا حدی مشخص، مقاومت کششی کاهش می‌یابد. این کاهش احتمالاً به دلیل اختلال آنتی‌اکسیدان در برهم‌کنش‌های بین زنجیره‌ای پلیمر و کاهش انسجام ساختاری است. اما پس از رسیدن به یک نقطه حداقل، با افزایش بیشتر درصد آنتی‌اکسیدان، مقاومت کششی مجدداً افزایش می‌یابد. این افزایش ممکن است به دلیل اثر تقویت‌کنندگی آنتی‌اکسیدان بر ساختار پلیمر یا به دلیل نقش آنتی‌اکسیدان در کاهش تخریب اکسیداتیو پلیمر در حین فرآیند باشد. به طور کلی، با افزایش سرعت اختلاط، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل بهبود توزیع آنتی‌اکسیدان در ماتریس پلیمر و همچنین کاهش اندازه ذرات آنتی‌اکسیدان

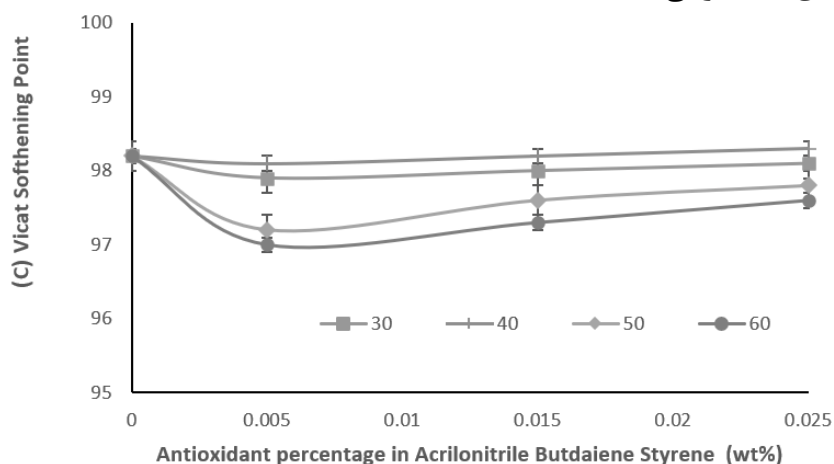
است که منجر به افزایش برهمکنش بین آنتی اکسیدان و پلیمر می شود. تأثیر متقابل بین درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی مقاومت کششی قابل مشاهده است. در برخی موارد، افزایش سرعت اختلاط می تواند اثر کاهش مقاومت کششی ناشی از افزایش درصد آنتی اکسیدان را جبران کند.

خواصیت کششی



شکل 2- بررسی کشش در مقادیر مختلف درصد آنتی اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن

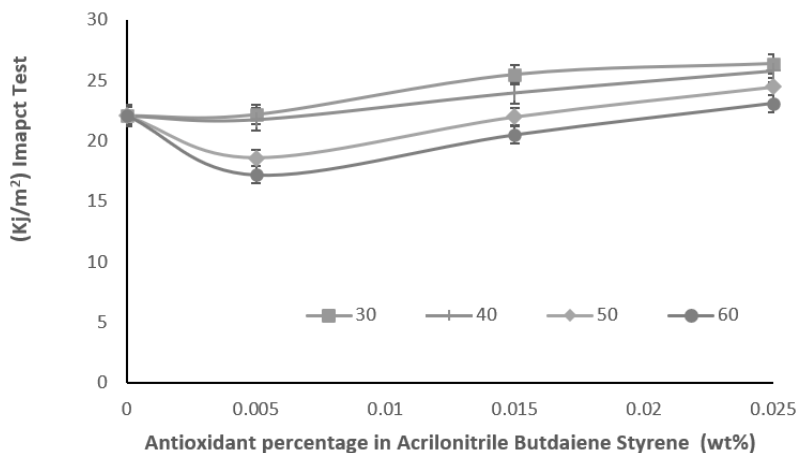
3-3- بررسی دمای نقطه نرمی



شکل 3- بررسی دمای نقطه نرمی در مقادیر مختلف درصد آنتی اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن

در شکل 3 به طور کلی، با افزایش درصد آنتی اکسیدان، دمای نرمی ویکات کاهش می یابد. این کاهش نشان می دهد که با افزودن آنتی اکسیدان، مقاومت پلیمر در برابر نرم شدن در دماهای بالا کاهش یافته است. این امر ممکن است به دلیل اختلال آنتی اکسیدان در برهمکنش های بین زنجیره های پلیمر و کاهش انسجام ساختاری باشد. با افزایش سرعت اختلاط، دمای نرمی ویکات کمی افزایش می یابد. این افزایش ممکن است به دلیل جهت گیری زنجیره های پلیمری در جهت جریان سیال در حین اختلاط و افزایش اندکی در انسجام ساختاری باشد. تأثیر متقابل بین درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی دمای نرمی ویکات قابل مشاهده است. در برخی موارد، افزایش سرعت اختلاط می تواند اثر کاهش دمای نرمی ویکات ناشی از افزایش درصد آنتی اکسیدان را جبران کند.

3-4- بررسی مقاومت ضربه‌ای



شکل 4- بررسی مقاومت ضربه‌ای در مقادیر مختلف درصد آنتی‌اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن

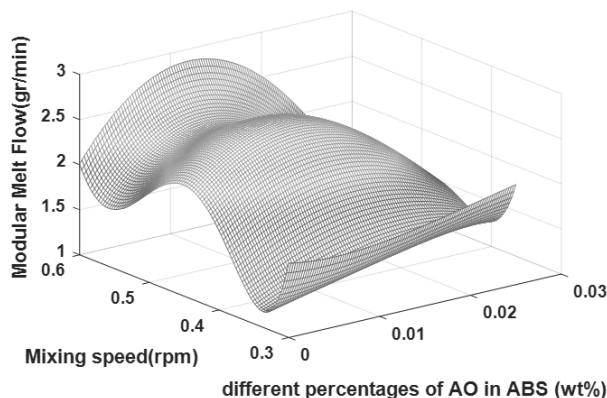
در شکل 4 ابتدا با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. این کاهش احتمالاً به دلیل اختلال آنتی‌اکسیدان در برهم‌کنش‌های بین زنجیره‌ای پلیمر و کاهش انسجام ساختاری است. اما پس از رسیدن به یک نقطه حداقل، با افزایش بیشتر درصد آنتی‌اکسیدان، مقاومت به ضربه مجدداً افزایش می‌یابد. این افزایش ممکن است به دلیل اثر تقویت‌کنندگی آنتی‌اکسیدان بر ساختار پلیمر یا به دلیل نقش آنتی‌اکسیدان در کاهش تخریب اکسیداتیو پلیمر در حین فرآیند باشد. به طور کلی، با افزایش سرعت اختلاط، مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل بهبود توزیع آنتی‌اکسیدان در ماتریس پلیمر و همچنین کاهش اندازه ذرات آنتی‌اکسیدان است که منجر به افزایش برهم‌کنش بین آنتی‌اکسیدان و پلیمر می‌شود. در برخی موارد، افزایش سرعت اختلاط می‌تواند اثر کاهش مقاومت به ضربه ناشی از افزایش درصد آنتی‌اکسیدان را جبران کند.

علاوه بر موارد ذکر شده، افزایش مقاومت به ضربه در درصدهای بالاتر آنتی‌اکسیدان می‌تواند ناشی از تشکیل ساختارهای میکرو یا نانو در مقیاس مولکولی باشد که به عنوان مراکز پراکندگی انرژی عمل می‌کنند. این ساختارها، که ممکن است شامل خوشه‌های آنتی‌اکسیدان یا تغییرات در مورفولوژی پلیمر باشند، می‌توانند انرژی ضربه را به طور موثرتری جذب و پراکنده کنند، در نتیجه از شکست پلیمر جلوگیری نمایند. همچنین، بهبود چسبندگی بین فاز آنتی‌اکسیدان و ماتریس پلیمری، که ناشی از افزایش سرعت اختلاط است، می‌تواند نقش مهمی در افزایش مقاومت به ضربه ایفا کند. این چسبندگی قوی‌تر، انتقال تنش را بهبود می‌بخشد و از ایجاد ترک و گسترش آن در ماتریس پلیمری جلوگیری می‌کند.

3-5- بررسی نقاط پیش‌بینی شده برای شاخص جریان مذاب

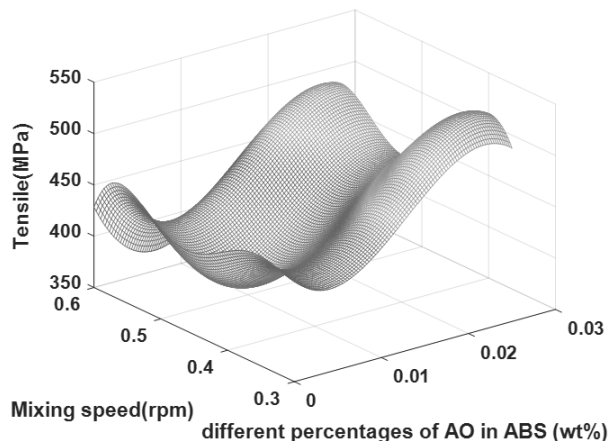
با توجه به شکل 5 همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، به طور کلی MFI افزایش می‌یابد. این به دلیل کاهش ویسکوزیته مذاب در اثر افزودن آنتی‌اکسیدان است. با افزایش سرعت اختلاط، MFI نیز به طور کلی افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که در سرعت‌های بالاتر، زنجیره‌های پلیمری بیشتر شکسته شده و طول زنجیره مولکولی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش ویسکوزیته و افزایش جریان‌پذیری می‌شود. نمودار نشان می‌دهد که تأثیر

متقابل پیچیده‌ای بین درصد آنتی‌اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی MFI وجود دارد. در برخی مناطق از نمودار، افزایش سرعت اختلاط می‌تواند اثر افزایش درصد آنتی‌اکسیدان بر روی MFI را تقویت کند، در حالی که در مناطق دیگر ممکن است این اثر کاهش یابد. این نشان می‌دهد که مکانیسم‌های پیچیده‌ای در تعامل بین این دو پارامتر وجود دارد. با توجه به شکل، رابطه بین متغیرها به صورت خطی نیست و ممکن است شامل تعاملات غیرخطی باشد و همچنین در این شکل، می‌توان نقاطی را شناسایی کرد که در آن‌ها MFI به حداکثر یا حداقل خود می‌رسد. این نقاط می‌توانند برای بهینه‌سازی فرآیند تولید مفید باشند.



شکل 5- بررسی شاخص جریان مذاب در مقادیر مختلف درصد آنتی‌اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن در سرعت‌های اختلاط مختلف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

3-6- بررسی نقاط پیش‌بینی شده برای خواص کششی

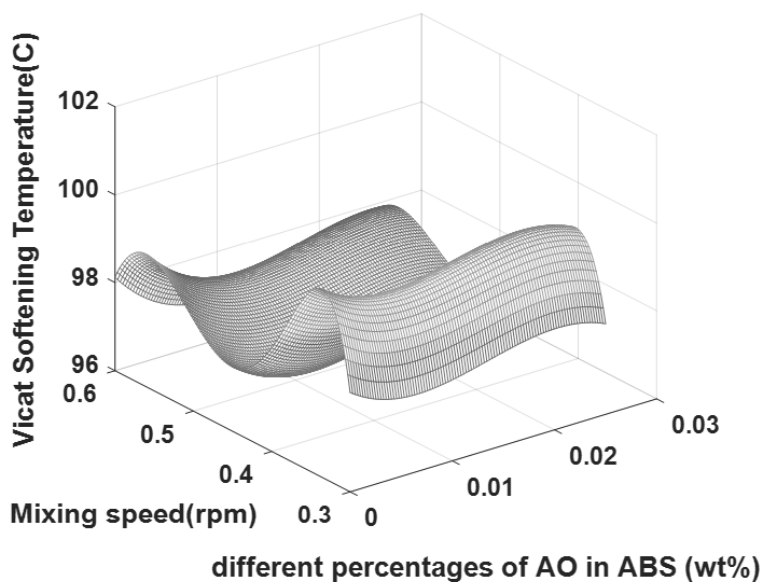


شکل 6- بررسی کشش در مقادیر مختلف درصد آنتی‌اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن در سرعت‌های اختلاط مختلف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

همانطور که در شکل 6 مشاهده می‌شود، رابطه بین درصد آنتی‌اکسیدان و مقاومت کششی پیچیده‌تر از یک رابطه خطی ساده است. در برخی مناطق، با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، مقاومت کششی افزایش می‌یابد و در برخی مناطق دیگر، کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که مکانیسم‌های مختلفی در اثر افزودن آنتی‌اکسیدان بر روی مقاومت کششی تأثیر می‌گذارند. به طور کلی، با افزایش سرعت اختلاط، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل بهبود توزیع آنتی‌اکسیدان در ماتریس پلیمر و همچنین کاهش اندازه ذرات آنتی‌اکسیدان است که منجر به افزایش برهم‌کنش

بین آنتی اکسیدان و پلیمر می شود. شکل 6 نشان می دهد که تأثیر متقابل پیچیده ای بین درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی مقاومت کششی وجود دارد. در برخی مناطق از نمودار، افزایش سرعت اختلاط می تواند اثر کاهش مقاومت کششی ناشی از افزایش درصد آنتی اکسیدان را جبران کند، در حالی که در مناطق دیگر ممکن است این اثر تقویت شود. این نشان می دهد که مکانیسم های پیچیده ای در تعامل بین این دو پارامتر وجود دارد. همچنین در شکل 6، می توان نقاطی را شناسایی کرد که در آن ها مقاومت کششی به حداکثر می رسد. این نقاط می توانند برای بهینه سازی فرآیند تولید مفید باشند.

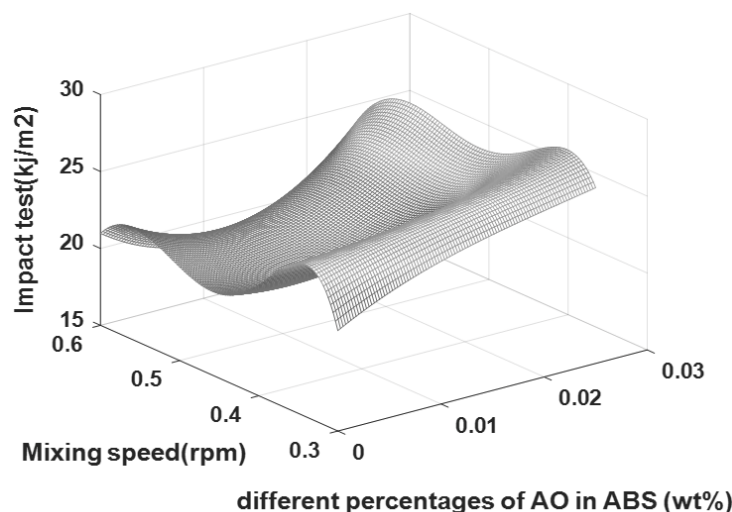
3-7- بررسی نقاط پیش بینی شده برای دمای نقطه نرمی



شکل 7- بررسی دمای نقطه نرمی در مقادیر مختلف درصد آنتی اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن در سرعت های اختلاط مختلف با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

با توجه به شکل 7 به طور کلی، با افزایش درصد آنتی اکسیدان، دمای نرمی ویکات کاهش می یابد. این کاهش نشان می دهد که با افزودن آنتی اکسیدان، مقاومت پلیمر در برابر نرم شدن در دماهای بالا کاهش یافته است. این ممکن است به دلیل اختلال آنتی اکسیدان در برهمکنش های بین زنجیره ای پلیمر و کاهش انسجام ساختاری باشد. به طور کلی، با افزایش سرعت اختلاط، دمای نرمی ویکات کمی افزایش می یابد. این افزایش ممکن است به دلیل جهت گیری زنجیره های پلیمری در جهت جریان سیال در حین اختلاط و افزایش اندکی در انسجام ساختاری باشد. نمودار نشان می دهد که تأثیر متقابل پیچیده ای بین درصد آنتی اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی دمای نرمی ویکات وجود دارد. در برخی مناطق از نمودار، افزایش سرعت اختلاط می تواند اثر کاهش دمای نرمی ویکات ناشی از افزایش درصد آنتی اکسیدان را جبران کند، در حالی که در مناطق دیگر ممکن است این اثر تقویت شود. این نشان می دهد که مکانیسم های پیچیده ای در تعامل بین این دو پارامتر وجود دارد. همچنین در شکل 7، می توان نقاطی را شناسایی کرد که در آن ها دمای نرمی ویکات به حداقل یا حداکثر می رسد. این نقاط می توانند برای بهینه سازی فرآیند تولید مفید باشند.

3-8- بررسی نقاط پیش‌بینی شده برای تست مقاومت ضربه‌ای



شکل 8- بررسی مقاومت ضربه‌ای در مقادیر مختلف درصد آنتی‌اکسیدان در آکریلونیتریل بوتادین استایرن در سرعت‌های اختلاط مختلف با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

همانطور که در شکل 8 مشاهده می‌شود، رابطه بین درصد آنتی‌اکسیدان و مقاومت به ضربه ایزود پیچیده‌تر از یک رابطه خطی ساده است. در برخی مناطق، با افزایش درصد آنتی‌اکسیدان، مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد و در برخی مناطق دیگر، کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که مکانیسم‌های مختلفی در اثر افزودن آنتی‌اکسیدان بر روی مقاومت به ضربه تأثیر می‌گذارند. به طور کلی، با افزایش سرعت اختلاط، مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل بهبود توزیع آنتی‌اکسیدان در ماتریس پلیمر و همچنین کاهش اندازه ذرات آنتی‌اکسیدان است که منجر به افزایش برهمکنش بین آنتی‌اکسیدان و پلیمر می‌شود. نمودار نشان می‌دهد که تأثیر متقابل پیچیده‌ای بین درصد آنتی‌اکسیدان و سرعت اختلاط بر روی مقاومت به ضربه وجود دارد. در برخی مناطق از نمودار، افزایش سرعت اختلاط می‌تواند اثر کاهش مقاومت به ضربه ناشی از افزایش درصد آنتی‌اکسیدان را جبران کند، در حالی که در مناطق دیگر ممکن است این اثر تقویت شود. این نشان می‌دهد که مکانیسم‌های پیچیده‌ای در تعامل بین این دو پارامتر وجود دارد. همچنین در شکل 8، می‌توان نقاطی را شناسایی کرد که در آن‌ها مقاومت به ضربه به حداکثر می‌رسد. این نقاط می‌توانند برای بهینه‌سازی فرآیند تولید مفید باشند.

4- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که افزودن آنتی‌اکسیدان Irganox 1076 به پلیمر ABS گرید SD-0150 منجر به بهبود قابل توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی این پلیمر شده است. به طور مشخص، آمیزه حاوی 2 درصد وزنی آنتی‌اکسیدان، بهینه‌ترین خواص را از نظر شاخص جریان مذاب (MFI)، دمای نرمی و یکتا، مقاومت به ضربه ایزود و مقاومت کششی از خود نشان داده است. مکانیسم این بهبود را می‌توان به افزایش پایداری حرارتی ناشی از حضور آنتی‌اکسیدان، کاهش تخریب اکسیداتیو و تقویت برهم‌کنش‌های بین مولکولی در ماتریس پلیمری نسبت داد. این امر منجر به بهبود مقاومت پلیمر در برابر تنش‌های محیطی، حرارت و فرآیندهای شکل‌دهی مکرر شده است.

با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (روش Multi-layer Perceptron) مدل‌هایی برای ترکیبات آنتی اکسیدان Irganox 1076 با ABS در درصد‌های وزنی متفاوت و سرعت اختلاط متغیر ارائه شد که نتایج را برای داده‌هایی که آزمایش نشده است نیز پیش بینی کرده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از آنتی‌اکسیدان Irganox 1076 به عنوان یک اصلاح‌کننده مؤثر در بهبود خواص مکانیکی و حرارتی پلیمر ABS توصیه می‌شود.

5- منابع

- [1] J. Jang, J. Kim, and J. Y. Bae, "Synergistic effect of ferric chloride and silicon mixtures on the thermal stabilization enhancement of ABS," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 90, no. 3, 2005.
- [2] K. Lee, J. Kim, J. Bae, J. Yang, S. Hong, and H. K. Kim, "Studies on the thermal stabilization enhancement of ABS; synergistic effect by triphenyl phosphate and epoxy resin mixtures," *Polymer (Guildf)*, vol. 43, no.8, 2002.
- [3] J. G. Bokria and S. Schlick, "Spatial effects in the photodegradation of poly(acrylonitrile-butadiene-styrene): A study by ATR-FTIR," *Polymer (Guildf)*, vol. 43, no. 11, 2002.
- [4] M. Brebu, T. Bhaskar, K. Murai, A. Muto, Y. Sakata, and M. A. Uddin, "The individual and cumulative effect of brominated flame retardant and polyvinylchloride (PVC) on thermal degradation of acrylonitrile-butadiene- styrene (ABS) copolymer," *Chemosphere*, vol. 56, no. 5, 2004.
- [5] A. Mamat, T. Vu-Khanh, P. Cigana, and B. D. Favis, "Impact fracture behavior of nylon-6/ABS blends," *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, 1997.
- [6] D. Dong, S. Tasaka, S. Aikawa, S. Kamiya, N. Inagaki, and Y. Inoue, "Thermal degradation of acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer in bean oil," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 73, no. 2, 2001.
- [7] A. Mehralizadeh, F. Derakhshanfard, Z. Ghazitabatabaei, "Studying the Influence of the Mixing Speed of the Polymer Blend of General-Purpose Polystyrene and Acrylonitrile-Butadiene Styrene with the Applications of Artificial Neural Networks", *Iranian Journal of Chemical Engineering (IJChE) journal*, page 21-32, 2020.
- [8] A. Mehralizadeh, F. Derakhshanfard, "Applications of Multi-Layer Perceptron Artificial Neural Networks for Polymerization of Expandable Polystyrene by Multi-Stage Dosing Initiator", *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, Vol. 41, No. 3., 2022.
- [9] ا. ل. و. ج. س. و. خ. ح. علی، "تهیه و بررسی خواص نانوکامپوزیت سازگار شده پلی آمید 6/1 - آکریلونیتریل بوتادین - استایرین کوپلیمر / خاک رس"، 1386.
- [10] قلی زاده روشن، آرمان و ذوالفقاری، عباس و شاکری، محسن، "بررسی اثر افزودن ذرات Al_2O_3 به پلیمر ABS بر استحکام کششی و فشاری قطعات ساخته شده با چاپگر سه بعدی"، 1397، FDM.
- [11] غفاریان، سمیه و دانش منش، حبیب و زبرجد، سیدمجتبی، "بررسی تاثیر نانوذرات Al_2O_3 بر خواص اتصال ورق‌های ABS متصل شده به روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی"، 1396، FSW.
- [12] ح. آ. م. و. ق. میلاد، "تهیه و بررسی خواص رئولوژیکی و مورفولوژیکی آلیاژهای پلی استال / اکریلونیتریل بوتادی ان استایرین / ترموپلاستیک الاستومر پلی یورتان و نانو کامپوزیت‌های آن"، 1395.
- [13] ب. م. و. ش. ن. ک. و. م. ا. و. ع. علیرضا، "مطالعه تجربی شکل شناسی و رفتار ضربه‌ای نانوکامپوزیت‌های PA6/ABS/ $CaCO_3$ "، فصلنامه علوم و فناوری کامپوزیت، دوره 3، شماره 1، 1395.
- [14] م. مسعود، "مقایسه و بررسی تجربی تاثیر شرایط فرآیند و نسبت ترکیب مخلوط‌های PC/ABS و PC/PMMA بر استحکام کششی حداکثر قطعات تولیدشده به روش قالب‌گیری تزریقی"، 1394.

- [15] آسیایی، تقی و ازدست، طاهر و ممقانی شیشوان، سجاد، "اثر افزودن نانو ذرات اکسید آلومینیوم با درصدهای وزنی مختلف بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت‌های ABS/ اکسید آلومینیوم"، 1392.
- [16] آقا بابازاده، میرزا و لک، محمدرضا و اجلالی، لادن و موسی نژاد، طیبه، "سنتز و بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی بنزوفورانون‌ها در فرآیند تولید گرافت-آکریلو نیتریل، بوتادین، استیرن، (g-ABS)". 1388.