Applied Research in Chemical - Polymer Engineering

Vol. 5, No.2
page 105-116 ,summer 2021

Investigation of Influence of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on the Properties of Expandable Polystyrene and Simulation of Laboratory Data via Artificial Neural Networks

Amir Mehralizadeh[1], Fahimeh Derakhshanfard[*2], Zohreh Ghazi Tabatabaei[3]

1 Department of Chemical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
2 Department of Chemical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
3 Department of Applied Chemistry, Ahar Branch,Islamic Azad University, Ahar, Iran

Abstract

Research subject: Expandable polystyrene (EPS) has many applications. This polymer is prepared by the radical polymerization. This material has many uses in packaging and insulation industries. Some of the properties of this polymer like low mechanical strength caused its applications to be limited. By adding some materials, these properties can be improved. Styrene-butadiene-styrene (SBS) block copolymer is one of these the materials that can improve quality of the EPS.
Research approach: In this research, EPS having different percentages of SBS (0, 0.01, 0.02, 0.03) in different conversion percentages (0.6, 0.63, 0.66, 0.69) has been prepared. Different tests like impact test, modular melt flow test, Vicat softening temperature test, Tensile at break test, K-value test, Rochwell hardness test and elongation at break test were done on the prepared polymer. Laboratory gained data has been simulated by multi-layer perceptron (MLP) method of artificial neural networks (ANN) and the simulated data covers the laboratory data perfectly.
Main Results: Investigating the tests showed that in constant percentages of SBS in EPS with increase in conversion percentage of EPS, the numerical amount of the tests increases except MFI test (low MFI number means better quality). By increasing SBS percentage in the EPS, the properties of polymer increases. In addition, the results of simulation showed that the laboratory data covers the simulated data perfectly. The data obtained from the results of this research can be used for predicting the data for the points which has not been tested. Adding SBS in different weight percentages of polystyrene in different conversion percentages has been used for the first time in this research in order to increase the properties of polystyrene. Laboratory data results in points which has not been tested has been acquired by applications of ANN.

key words

Expandable Polystyrene

Styrene –Butadiene-Styrene Block Copolymer

Mechanical Strength

Artificial Neural Networks

*To whom correspondence should be addressed:
f.dfard@gmail.com

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

پژوهش‌های کاربردی
مهندسی شیمی - پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته ای
سال پنجم، شماره ۲، نسخه ۱
تابستان ۱۴۰۰ ، صفحه ۱۱۶-۱۰۵

بررسی تأثیر کوپلیمر قطعه‌ای استایرن–بوتادین–استایرن بر خصوصیات پلی‌استایرن انبساطی و شبیه‌سازی داده‌های آزمایشگاهی با شبکه‌های عصبی مصنوعی

امیر مهرعلیزاده[۱]، فهیمه درخشان فرد*[۲]، زهره قاضی طباطبایی[۳]

۱ گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
۲ گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
۳ گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

چکیـــده

موضـــوع تحقیـــق: پلی‌اســتایرن انبســاطی کاربــرد گســترده‌ای دارد. ایــن پلیمــر بــه روش پلیمری‌شــدن رادیکالــی تهیــه می‌شــود. ایــن مــاده در صنایــع بســته‌بندی و عایــق‌کاری کاربــرد فراوانــی دارد. بعضــی از ویژگی‌هــای ایــن پلیمــر از جملــه اســتحکام مکانیکــی پاییــن آن باعــث شــده تــا کاربــرد آن محــدود شــود. بــا اضافــه کــردن بعضــی از مــواد می‌تــوان ویژگی‌هــای ایــن پلیمــر را بهبــود داد. کوپلیمــر قطعــه‌ای استایرن-بوتادین-اســتایرن از جملــه مــوادی هســتند کــه بــا اضافــه کــردن آن بــر پلی‌اســتایرن انبســاطی می‌تــوان کیفیــت پلیمــر را بهبــود داد.

یافتــه هــای تحقیــق: در ایــن مقالــه، پلی‌اســتایرن انبســاطی حــاوی درصدهــای وزنــی مختلــف کوپلیمــر قطعــه‌ای استایرن-بوتادین-اســتایرن (۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲و۰/۰۳) در درصــد تبدیل‌هــای مختلــف پلی‌اســتایرن انبســاطی (۰/۶۰، ۰/۶۳، ۰/۶۶و ۰/۶۹ درصــد) تهیــه شــده اســت. آزمون‌هــای مختلفــی از جملــه آزمــون ضربــه، شــاخص جریــان مــذاب، ســنجش میــزان نرمــی پلیمــر، اســتحکام کشــش در نقطــه شکســت، K-value، ســنجش میــزان ســختی پلیمــر، میــزان ازدیــاد طــول تــا نقطــه شکســت بــر روی پلیمــر تولیــدی انجــام شــد. داده‌هــای به‌دســت‌آمده از آزمایش‌هــا بــا شــبکه‌های عصبــی مصنوعــی MLP شبیه‌ســازی شــد و نتایــج شبیه‌ســازی به‌خوبــی، داده‌هــای آزمایشــگاهی را پوشــش داد.

نتایــج تحقیــق: مطالعــه آزمون‌هــا نشــان داد کــه در درصدهــای ثابــت کوپلیمــر قطعــه‌ای استایرن-بوتادین-اســتایرن در پلی‌اســتایرن انبســاطی، بــا افزایــش درصــد تبدیــل پلی‌اســتایرن انبســاطی بــه غیــر از آزمــون شــاخص جریــان مــذاب (کــه پاییــن بــودن آن نشــان از کیفیــت بــالای پلیمــر اســت)، مقــدار عــددی بقیــه آزمون‌هــا افزایــش یافتــه اســت. افزایــش درصــد کوپلیمــر قطعــه‌ای استایرن-بوتادین-اســتایرن در پلی‌اســتایرن انبســاطی، در درصــد تبدیل‌هــای ثابــت پلی‌اســتایرن انبســاطی ویژگی‌هــای پلیمــر را بهبــود بخشــیده اســت. نتایــج شبیه‌ســازی نشــان داد کــه داده‌هــای آزمایشــگاهی بــه خوبــی نتایــج شبیه‌ســازی را پوشــش می‌دهــد. بــه کمــک نتایــج به‌دســت آمــده از شبیه‌ســازی می‌تــوان در نقاطــی کــه آزمایــش انجــام نشــده بــا نتایــج شبیه‌ســازی داده‌هــای مربــوط را پیش‌گویــی کــرد. افــزودن درصدهــای مختلــف کوپلیمــر قطعــه‌ای استایرن-بوتادین-اســتایرن بــه پلی‌اســتایرن انبســاطی در درصــد تبدیل‌هــای مختلــف به‌منظــور افزایــش خــواص پلی‌اســتایرن بــرای اولیــن بــار در ایــن مقالــه مــورد مطالعــه قــرار گرفتــه اســت و نتایــج داده‌هــای آزمایشــگاهی بــرای پیشــگویی در نقاطــی کــه آزمایــش صــورت نگرفتــه بــا کمــک شــبکه‌های عصبــی مصنوعــی شبیه‌ســازی شــده اســت.

کلمــات کلیــدی

پلی‌استایرن انبساطی

کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن

استحکام مکانیکی

پلیمری‌شدن

شبکه‌های عصبی مصنوعی

*مسئول مکاتبات:
f.dfard@gmail.com

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

۱ مقدمه

افزودن کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن(SBS) ، به انواع پلی‌استایرن انبساطی (EPS) به خاطر داشتن عملکرد بهتر در مقایسه با همین پلیمر بدون افزودنی اهمیت فراوانی دارد [۱-۳]. EPS به دلیل داشتن خصوصیات مهم همیشه یکی از مهم‌ترین مواد بوده و همچنین در زمینه‌های فراوانی کاربرد دارد[۴]. امروزه، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در صنایع پلیمری کاربرد بسیار زیادی دارد و همچنین، با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) امکان پیش‌بینی مقادیر ممکن شده است که به دلیل کاهش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای دست‌یابی به داده‌ها، بسیار کارآمد است [۵و۶]. در روش متداول تولید EPS، دو آغازگر متفاوت دارای دو درجه دمای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و تمامی مواد در همان مرحله اول پیمانه به راکتور افزوده می‌شوند. طولانی بودن مدت زمان پلیمری‌شدن و سختی‌های کنترل کردن فرایند پلیمری‌شدن از جمله مشکلات روش متداول است. برای رفع این مشکلات، روش تزریق چندمرحله‌ای آغازگر (MID) مورد استفاده قرار گرفت. در روش MID آغازگر مرحله اول، در چندین نوبت تزریق و دمای بالاتر در مقایسه با روش متداول، وارد راکتور می‌شود[۷]. نتایج تحقیقی نشان داده که بهترین عملکرد ترکیب‌های تازه، ترکیب ۲۰٪ Polypropylene/ SBS است و همچنین آزمون ترکیب شده دمای کم و آزمون حرارت دینامیکی، نشان‌دهنده تأثیر بهتر در شکننده‌بودن این ترکیب در دمای پایین بدون افزودن سازگارکننده است[۸]. با افزایش SBS، عملکرد پلیمر افزایش می یابد. همچنین مدول و گرانروی آن با محتوای SBS افزایش یافته است[۹]. پلیمر ساخته شده از SBS نسبت به غشای پلی‌تترافلوئورواتیلن دارای غشایی با منافذ بزرگ‌تر و قطر لیفی بیشتری است و همچنین غشای SBS خروج نمک بهتری داشته است و مهم‌تر از همه این که می‌توان توسط فرایند ساده‌ای آن را ساخت. علاوه بر این، غشای SBS استحکام مکانیکی بهتری نسبت به غشای پلی‌تترافلوئورواتیلن داشته است[۱۰]. برای یافتن خصوصیات کامپوزیت‌های بر پایه دورریزهای پلی‌استایرن انبساطی که توسط ۲۰٪ وزنی الیاف تقویت شده است، خواص مکانیکی، گرمایی، رئولوژی و مورفولوژی آن مورد ارزیابی قرار گرفته شد. این تحقیق نشان داده که کامپوزیت‌های درست شده توسط زمینه‌های بازیافتی نشان‌دهنده پایداری گرمایی بیشتر و گرانروی مذاب بیشتر در مقایسه با کامپوزیت‌های به‌دست آمده از زمینه‌های پایه است. فضای خالی دیده شده در میکروسکوپی الکترونی پویشی نشان می دهد که پیوستگی ضعیفی بین سطحوح وجود دارد[۱۱]. خواص پودر کامپوزیت چوب/ دورریزهای پلی‌استایرن انبساطی که توسط مقاوم‌ساز در برابر آتش اصلاح شده است، مورد بررسی قرار گرفته است. پایداری ابعادی کلی در شکل جذب آب و قطر تورم با ویژگی موجی از نمونه‌ها با کامپوزیت‌های چوب / پلی‌استایرنی صنعتی قابل مقایسه بودند. کامپوزیت چوب / پلی‌استایرن حاوی دی آمونیوم فسفات (DAP) (diammonium phosphate) قابلیت بیشتری برای استفاده به عنوان محصولات کامپوزیتی دارای مقاوم‌ساز در برابر آتش نشان داد[۱۲]. در تحقیقی، حلالیت و نفوذ نرمال-پنتان در ترکیب‌های پلی-استایرن دارای وزن مولکولی کم و متیل‌متاکریلات با وزن مولکولی بالا مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی قابلیت ترکیب‌های آغشته شده به نرمال پنتان، از معادله حالت استفاده شد. نتایج، نشان‌دهنده توافق خوب میان داده‌های تجربی و تحلیل‌های عددی است [۱۳]. شبیه‌سازی داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آماده از گرانروی نفت خام حاوی درصدهای مختلف نانوذرات WO_3، TiO_2، Fe_2O_3، ZnO و NiO با شبکه‌های عصبی مصنوعی RBF (Radial Basis Function) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این مطالعه مشخص کرد که شبکه‌های عصبی RBF به دلیل دارا بودن مبانی علمی مستحکم و همچنین قابلیت صاف کردن نویزها، از عملکرد مناسبی برخوردار است[۱۴]. برای استفاده دوباره از پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET) و کاهش مشکلات زیست‌محیطی، دورریز PETدر وزن‌های مختلف (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵) با کوپلیمر اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) در شرایط مختلف از لحاظ دمایی، زمانی و سرعتی اکسترودر، با یکدیگر مخلوط شدند. نتایج نشان داد که در شرایط ثابت دما و زمان و سرعت اکسترودر، با افزایش میزان دورریز PET در ABS، مقادیر آزمون‌های ضربه‌ای و میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست کاهش می‌یابند و مقادیر شاخص جریان مذاب ، شاخص نرمی پلیمر و شاخص زرد افزایش می‌یابند. همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای حالتی که میزان دورریز PET در ABS ثابت است تغییرات برای آزمون‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و داده‌های آزمایشگاهی توسط ANN شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده پوشش کامل داده‌های آزمایشگاهی توسط نتایج شبیه‌سازی بود[۱۵].

در این مقاله، پلی‌استایرن انبساطی حاوی درصدهای مختلف کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن (۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲و۰/۰۳) در درصد تبدیل‌های مختلف پلی‌استایرن انبساطی (۰/۶۰، ۰/۶۳، ۰/۶۶و ۰/۶۹ درصد) تهیه شده است. بررسی نویسندگان این مقاله نشان می‌دهد که تاکنون در این زمینه، مطالعه‌ای انجام نشده است. کارهای قبلی انجام شده مربوط به اضافه کردن کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن در

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

جدول ۱ لیست مواد استفاده شده به همراه منابع تولید مواد
Table 1 List of used materials along with their sources

Material	Source
Deionized water	Tabriz Petrochemical Company (TPC)
Styrene monomer	Tabriz Petrochemical Company (TPC)
Styrene-butadiene-styrene (SBS) block copolymer	Arak Petrochemical Company
Tricalcium phosphate	Merck
Alkylbenzene sulfonate sodium soap	Merck
Dibenzoyl peroxide	Merck
Tertiary-butyl perbenzoate	Merck
Polyvinyl alcohol	Merck
Hydroxyethyl cellulose	Merck
Antioxidants	Merck
CK12	SUNPOR

حین پلیمری‌شدن است که نتیجه افزایش استحکام مکانیکی در این حالات خیلی کم است [۵-۷]. در همه این پژوهش ها هدف از اضافه کردن کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن بهبود خاصیت پلیمر پلی‌استایرن انبساطی بوده است. آزمون‌های مختلفی بر روی پلیمر تولیدی انجام شده است. داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها با شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی به خوبی، داده‌های آزمایشگاهی را پوشش داده است.

با افزایش درصد کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن در پلی استایرن انبساطی در درصد تبدیل‌های ثابت پلی‌استایرن انبساطی مقدار عددی آزمون ضربه، شاخص نقطه نرمی شدن، K-value، کشش در نقطه تسلیم، افزایش می‌یابد و مقدار عددی شاخص جریان مذاب، تنش در نقطه تسلیم و میزان آزمون سنجش سختی کاهش می‌یابد. علت این تغییرات آن است که حضور کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن به عنوان جزء لاستیکی، نرمی پلیمر را افزایش می‌دهد.

جدول ۲ مقادیر مواد مورد استفاده
Table 1 Amounts of materials used

material	formulation	amount (g- %wt)
Deionized water	H_2O	510– 59.81
Styrene monomer	C_8H_8	309– 36.2
SBS block copolymer	$C_{12}H_{14}$	3.1 - 0.36
Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	12 - 1.407
Alkylbenzene sulfonate sodium soap	$C_{16}H_{25}NaO_3S$	8.184 - 0.95t
Dibenzoyl peroxide	$C_{14}H_{10}O_4$	0.45 – 0.05
Tertiary-butyl perbenzoate	$C_{11}H_{14}O_3$	1.21 - 0.14
Polyvinyl alcohol	$(C_2H_4O)_x$	0.26 – 0.03
Hydroxyethyl cellulose	$C_{29}H_{52}O_{21}$	0.195 - 0.02
Antioxidants	----------	0.33-0.34
CK12	----------	0.195

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

بهتر است افزایش کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن در پلی‌استایرن انبساطی در درصد تبدیل بالای پلی‌استایرن انبساطی انجام شود؛ چون بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش این ماده مقدار همه آزمون‌ها به غیر از شاخص جریان مذاب که پایین بودن آن نشان از بالا بودن کیفیت پلیمر است در بالاترین میزان خود بوده است.

۲ تجربی

۲-۱ مواد

۲-۲ تجهیزات

برای پلیمری‌شدن، راکتور شیشه‌ای یک لیتری ته گرد با قطر ۴ اینچ استفاده شده که در داخل حمام روغن قرار دارد. به‌منظور گرم کردن روغن از گرم‌کن برقی دارای تنظیم دمایی و برای سرمایش از جریان آب سرد داخل لوله‌های مارپیچی حمام استفاده می‌شود. همزن به‌کاررفته از نوع سه‌پره‌ای با زاویه ۴۵ درجه و از جنس فولاد ضدزنگ دو ردیف با موتور قابل تنظیم ساخت شرکت HEIDOLPH آلمان بود که در سرعت rpm ۴۰۰ استفاده شد. درپوش راکتور به وسیله گیره استیلی و با استفاده از پیچ و مهره سر آن به روی راکتور قرار داده می‌شد. درپوش دارای چهار دهانه است که دهانه وسطی برای قرار گرفتن میله همزن در نظر گرفته شده است. با استفاده از دماسنج وارد شده از یکی از دهانه‌ها ، دمای داخل راکتور کنترل می‌شد. دهانه‌های دیگر نیز برای افزایش مواد و واکنشگرها در نظر گرفته شده است (در فشار اتمسفری). دستگاه قالب‌گیری تزریقی به کار رفته برای تهیه نمونه‌های آزمون، ساخت کشور فرانسه و با مارک بیلیون بود که در آن فشار تزریق ۶۰ بار و فشار برگشت ۲۰ بار و دما بین ۱۹۵ تا ۲۱۰ درجه سانتیگراد، حجم محوطه تزریق ۱۱۶ سانتی‌متر مکعب و حجم قالب ۲۵ سانتی‌متر مکعب است. برای به‌دست آوردن شاخص مذاب مخلوط پلیمری طبق استاندارد ASTM D1238 از دستگاه زوئیک مدل ۴۱۰۶ با وزنه ۵ کیلوگرمی در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. جهت اندازه‌گیری نقطه نرمی مخلوط پلیمری طبق استاندارد ASTM D1525 از دستگاه کیت ایتالیا با وزنه ۱۰ نیوتن استفاده شد که در آن، سوزن استاندارد به اندازه ۱ میلی‌متر در قطعه نفوذ می‌کند. آزمون ضربه‌ای آیزود طبق استاندارد ASTM D256 در شرایط شیار روی قطعات تزریق شده در اندازه ۸۰ در ۱۰ در ۴ میلی‌متر توسط دستگاه Ceast ایتالیا انجام شد. آزمون کششی توسط دستگاه Lloyd LR10k، بر اساس استاندارد ASTMD638 با سرعت کشش ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. آزمون کشش برای تعیین استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در نقطه شکست و تسلیم استفاده شد. برای اندازه‌گیری سختی سطح نمونه‌های تولید شده با غلظت‌های مختلف آنتی‌اکسیدان از روش آزمون ASTM D-785 استفاده شد و دستگاه این آزمون ساخت شرکت WILSON ROCKWALL-Series ۲۰۰۰ بود. مقدار K-value نمونه‌ها توسط گرانروی‌سنج، مدل BP-۲۲ ساخت Normandia-labo فرانسه اندازه‌گیری شد و از روش SUNPOR 7.2.4 (DIN EN ISO 1628-1) استفاده شد. در این روش، نسبت گرانروی محلول پلیمر (دارای غلظتی برابر با ۵٪ وزنی) در تولوئن به گرانروی تولوئن خالص اندازه‌گیری می‌شود و برای تعیین میزان K-value استفاده می‌شود. محاسبات میزان K-value بر پایه معادله (۱) است[۷].

$$k = \frac{1.51g\eta_r - 1 + \sqrt{1 + (\frac{2}{c} + 2 + 1.51g\eta_r)1.51g\eta_r}}{150 + 300c} \qquad (۱)$$

and K value = 1000 × k

در این معادله c غلظت محلول پلیمر(g/cm^3) و η_r نسبت گرانروی که به‌صورت t/t۰ مشخص شده که در آن t مدت زمان جریان خروجی محلول پلیمر از لوله موئین گرانروی‌سنج و t۰ مدت زمان جریان حلال خالص است.

۲-۳ روش کار

سامانه آزمایشگاهی که در شکل ۱ نشان داده شده درابتدا به دهانه راکتور و در شیشه‌ای آن، روغن سیلیکون مالیده می‌شود تا در دمای بالا بتوان در راکتور را از بدنه آن جدا کرد. به داخل راکتور ۵۱۰ میلی‌لیتر آب اضافه شده و سپس ۱۲ گرم تری‌کلسیم‌فسفات (عامل تعلیق‌ساز) و ۶/۲ میلی‌لیتر صابون الکیل بنزن سولفونات سدیم افزوده شده و به مدت نیم ساعت با همزن با دور rpm ۴۰۰ هم زده می‌شود. کوپلیمر قطعه‌ای استایرن-بوتادین-استایرن در درصد وزنی‌های مختلف (۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲و ۰/۰۳) داخل ۳۴۰ میلی‌لیتر استایرن حل شده و مقدار ۰/۳۳ گرم آنتی اکسیدان به آن اضافه شده و توسط همزن همزده شد تا کاملاً در آن حل شود. سپس مخلوط به داخل راکتور اضافه می‌شود. دمای راکتور تا ۸۸ درجه سانتی‌گراد بالا می‌رود. قبل از رسیدن به ۴۰ درجه سانتی-گراد آغازگر به داخل راکتور اضافه می‌شود و بعد دما به ۸۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. وقتی دما به ۸۸ درجه سانتی‌گراد رسید مقدار ۰/۱۹۵ گرم کمک پراکنده ساز آلی با نام تجاری CK۱۲ که در ۳۰ میلی‌لیتر آب حل شده است به راکتور اضافه می‌شود که دو ساعت بعد از رسیدن به ۸۸ درجه سانتی‌گراد به میزان ۲۶ میلی‌لیتر پلی(وینیل الکل) اضافه می‌شود. سه ساعت بعد از افزودن پلی‌وینیل الکل، حمام روغن خاموش شده و جریان آب به داخل حمام روغن وصل می‌شود

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

تـا اینکـه دمـای داخـل راکتـور بـه ۳۰ درجـه سـانتی‌گراد برسـد. سـپس محتویـات راکتـور تخلیـه شـده، پلیمـر بـا آب شست‌وشـو داده شـده و در نهایـت خشـک می‌شـود. از ایـن مرحلـه بـه بعـد نمونـه بـرای انجـام آزمـون آمـاده می‌شـود.

شکل۱ تصویر راکتور تولید پلی استایرن انبساطی در بعد آزمایشگاهی
Figure 1: Reactor used for production of EPS in laboratory scale

۲-۴ شبکه‌های عصبی مصنوعی

شـبکه‌های MLP از تعـدادی نـورون در لایه‌هـای منظـم سـاخته شـده اسـت. بـا اینکـه در شـبکه‌های MLP می‌تـوان از چندیـن لایـه میانـی اسـتفاده کـرد ولـی شـبکه‌های دارای یـک لایـه میانـی بـه دلیـل داشـتن سـاختاری سـاده، بـرای کاربردهـای جزئـی مفیدتـر هسـتند. اسـتفاده از چندیـن لایـه میانـی بـه درجـه آزادی غیـر لازم منجـر می‌شـود. شـبکه‌های MLP تثبیـت ضرایـب وزنـی کـه در فنـاوری انتشـار برگشـتی (back-propagation) یـا هـر دو روش بهینه‌سـازی دیگـر بـه کار مـی‌رود آمـوزش داده می‌شـود. در ایـن روش بـا مطالعـه نتایـج شبیه‌سـازی کـه منجـر بـه نمودارهـای سـه‌بعدی می‌شـود، از یـک طـرف می‌تـوان میـزان پوشـش داده‌هـای به-دسـت‌آمده از آزمایش‌هـا بـا نتایـج شبیه‌سـازی را ارزیابـی کـرد و از طـرف دیگـر می‌تـوان بـرای نقاطـی کـه آزمایـش انجـام نشـده بـا کمـک ایـن نتایـج، داده‌هـای آزمایشـگاهی را پیش‌بینـی کـرد.

۳ نتایج و بحث

۳-۱ نتایج آزمایشگاهی

کوپلیمـر قطعـه‌ای استایرن-بوتادین-اسـتایرن (SBS) بـا ترکیـب درصدهـای وزنـی مختلـف (۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲و۰/۰۳) طـی فراینـد سـنتز پلی‌اسـتایرن انبسـاطی (EPS) تـا درصـد تبدیـل (۰/۶۰، ۰/۶۳، ۰/۶۶و ۰/۶۹ درصـد) اضافـه شـد و آزمون‌هـای مختلـف (میـزان ازدیـاد طـول تـا نقطـه شکسـت، شـاخص K-value، مقـدار سـختی پلیمـر، تنـش در نقطـه شکسـت، شـاخص نرمـی پلیمـر، شـاخص جریـان مـذاب و آزمـون ضربـه) روی پلیمـر تولیـدی انجـام شـد. نتایـج آزمون‌هـا در نمودارهـای ۲ تـا ۸ نشـان داده شـده اسـت.

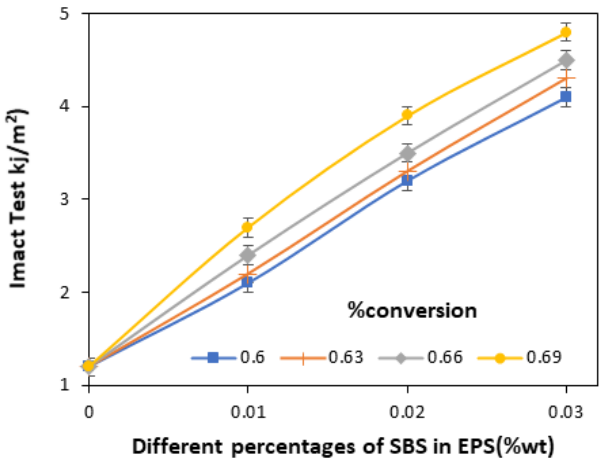
شـکل ۲ نتایـج آزمـون ضربـه در درصـد هـای مختلـف و درصدهـای مختلـف SBS در EPS را نشـان می‌دهـد. همان‌طـور کـه از نمـودار مشـخص اسـت بـا اضافـه کـردن SBS کـه باعـث افزایـش فـاز لاسـتیکی و پراکنـده سـاختن انـرژی جـذب شـده در مقابـل ضربـه بـا سـرعت بـالا و در نتیجـه باعـث بـالا رفتـن اسـتحکام در مقابـل ضربـه می‌شـود. بـرای همـه درصـد تبدیل‌هـا نمودارهـا بـا شـیب یکسـانی افزایـش یافتـه اسـت. در درصـد تبدیل‌هـای یکسـان SBS/ EPS بـا افزایـش درصـد تبدیـل بـه دلیـل بـالا رفتـن درصـد پلیمـر نسـبت بـه مونومـر مقـدار آزمـون ضربـه و به‌دنبـال آن اسـتحکام افزایـش می‌یابـد.

نتایـج آزمـون شـاخص جریـان مـذاب (MFI) در درصـد تبدیل‌هـای مختلـف و درصدهـای مختلـف SBS/EPS در شـکل ۳ نشـان داده شـده اسـت. در درصـد تبدیل‌هـای ثابـت بـا افزایـش درصـد وزنـی SBS/EPS بـا توجـه بـه پخـش شـدن فـاز لاسـتیکی در ماتریـس و ایجـاد پیونـد بیـن فازهـا و تشـکیل پیونـد عرضـی در بیـن ذرات، MFI کاهـش می‌یابـد. همچنیـن در درصـد وزنی‌هـای ثابـت SBS/EPS بـا افزایـش درصـد تبدیـل از ۰/۶تـا ۰/۶۹ بـه دلیـل افزایـش درصـد پلیمـر بـه مونومـر، مقـدار MFI اندکـی کاهـش می‌یابـد.

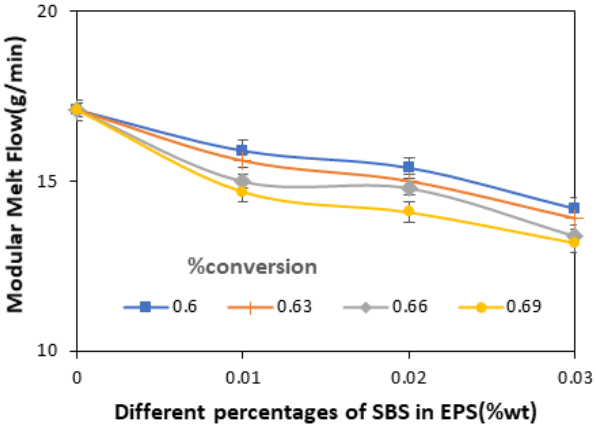
نتایـج آزمـون (Vicat) در درصـد وزنـی مختلـف SBS/EPS و درصـد تبدیل‌هـای مختلـف در شـکل ۴ نشـان داده شـده اسـت. بـا اضافـه شـدن درصـد وزنـی SBS/EPS در درصـد تبدیـل ثابـت بـه دلیـل افزایـش درصد جـزء لاسـتیکی، نرمی پلیمـر افزایـش می‌یابـد. شـیب افزایـش نرمـی پلیمـر بـرای درصـد تبدیـل پاییـن بـه خاطـر بـالا بـودن میـزان مونومـر، کم‌تـر اسـت؛ ولـی در درصـد تبدیـل ۰/۶۶ افزایـش نرمـی پلیمـر نسـبت بـه حالـت بـدون SBS خیلـی بیشـتر اسـت.

بررسـی اسـتحکام کششـی در نقطـه شکسـت در درصدهـای مختلـف SBS/EPS در درصـد تبدیل‌هـای مختلـف در شـکل ۵ نشـان داده شـده اسـت. بـا توجـه بـه ایـن کـه افزایـش

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



شکل ۲: نتایج آزمون ضربه در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS
Figure 1: Results of Impact Test in different percentages of SBS in EPS in different conversion percentages



شکل ۳: نتایج آزمون شاخص جریان مذاب در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS
Figure 2: Results of Modular Melt Flow in different percentages of EPS and different percentages of SBS/EPS

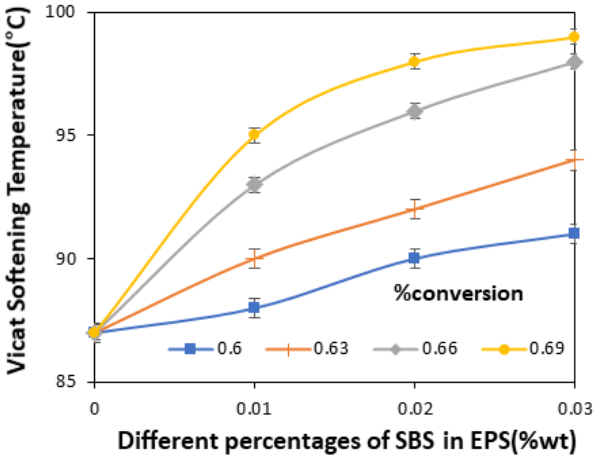
SBS باعث تغییر حالت پلاستیک از حالت صلب به لاستیک انعطاف‌پذیر می‌شود؛ با افزایش درصد SBS/ EPS در درصد تبدیل های ثابت، مقدار تنش در نقطه شکست نسبت به حالت بدون SBS کاهش می‌یابد. افزایش درصد تبدیل در درصدهای ثابت SBS/EPS باعث افزایش تنش در نقطه تسلیم می‌شود که دلیل آن، افزایش استحکام کششی است. بالا بودن درصد مونومر در پلیمر باعث کاهش تنش در نقطه تسلیم می‌شود.

نتایج مربوط به شاخص K-value در شکل ۶ گزارش شده است. افزایش درصد تبدیل در درصدهای ثابت SBS/EPS باعث افزایش K-value شده است چون در درصد تبدیل‌های پایین، امکان تشکیل زنجیرهای کوتاه نسبت به درصد تبدیل‌های بالا بیشتر است. به دلیل پراکنده شدن فاز لاستیکی در ماتریس و ایجاد پیوند بین آن‌ها، میزان K-value در درصد تبدیل ثابت با افزایش SBS افزایش یافته است.

کاهش مقدار سختی پلیمر با افزایش جزء لاستیکی در درصد تبدیل‌های ثابت در شکل ۷ نشان داده شده است. نسبت شیب کاهش سختی برای درصد تبدیل پایین پلیمر نسبت به بقیه حالت‌ها به دلیل بالا بودن مونومر بیشتر است. در ضمن با افزایش درصد تبدیل در درصد ثابت SBS/EPS به دلیل افزایش مقدار پلیمر نسبت به مونومر، مقدار سختی پلیمر افزایش می‌یابد.

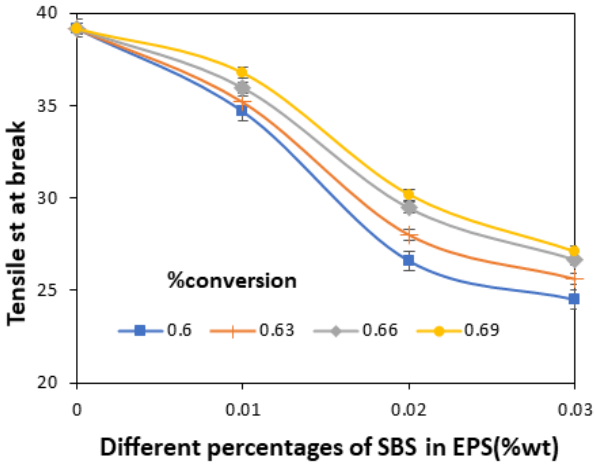
در شکل ۸ میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست برای درصد تبدیل‌های ثابت با افزایش درصد SBS/EPS با شیب تندی افزایش می-یابد ولی این افزایش با تغییر درصد تبدیل برای درصدهای ثابت SBS/EPS تقریبا ثابت و افزایش خیلی جزئی است. افزایش SBS باعث افزایش فاز لاستیکی پلیمر نهایی شده و به دنبال آن باعث افزایش میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست می‌شود.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



شکل ۴: نتایج آزمون (Vicat) در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS

Figure 4: Results of Vicat Softening Temperature in different percentages of SBS in EPS and different conversion percentages of EPS



شکل ۵: نتایج استحکام کششی در نقطه شکست در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS

Figure 5: Results of Tensile at break in different percentages of SBS in EPS in different conversion percentages of EPS

۳-۲ نتایج شبیه‌سازی

برای پیش‌بینی و مطالعه‌ی بهتر، نتایج داده‌های آزمایشگاهی با شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP شبیه‌سازی شد. شکل ۹ عملکرد یادآوری و تعمیم شبکه MLP برای آزمون ضربه در درصد تبدیل‌های مختلف EPS و درصدهای مختلف SBS/EPS را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده دقیقاً روی هم قرار گرفته و نهایتاً شکل به صورت یک سطح مشخص شده که امکان استفاده از داده‌ها برای نقاطی که آزمایش انجام نیافته است وجود دارد.

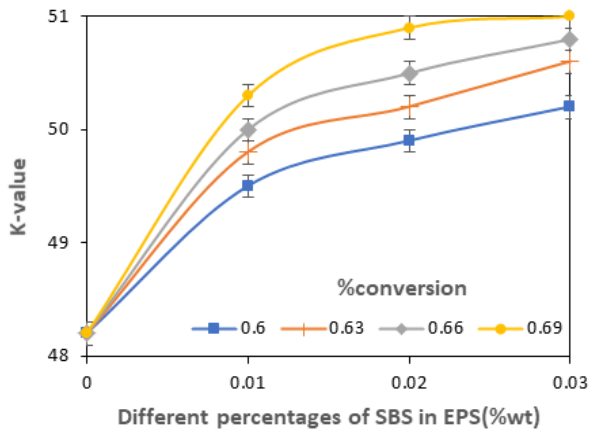
نتایج شبیه‌سازی آزمون شاخص جریان مذاب در درصد تبدیل‌های مختلف EPS و درصد مختلف SBS/ EPS در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است پدیده Overfitting وجود ندارد و داده‌های آزمایشگاهی به‌خوبی داده‌های شبیه‌سازی را پوشش داده است.

شکل ۱۱ نتایج شبیه‌سازی مربوط به آزمون شاخص نرمی پلیمر را نشان می‌دهد که تجمع نقاط و قرار گرفتن آن‌ها بر روی هم نشان از پوشش کامل نتایج شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی دارد. نمودار عملکرد تعمیم به‌صورت یک سطح است که هیچ گونه نوسان در آن وجود ندارد.

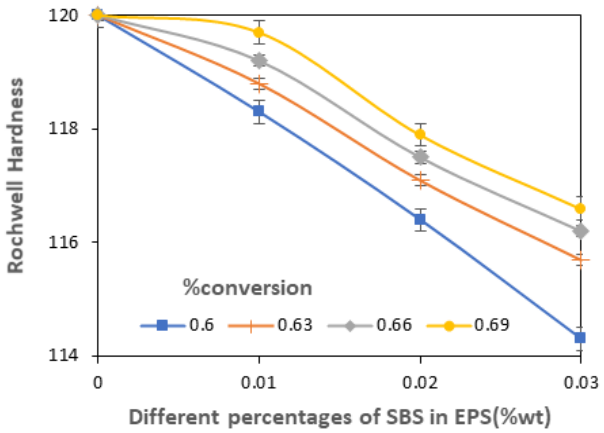
نمودار عملکردی و تعمیم نتایج آزمون تنش در نقطه شکست در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی به‌صورت کامل داده‌های آزمایشگاهی را پوشش داده است.

نتایج آزمون‌های K-value، میزان سنجش سختی پلیمر، ازدیاد طول در نقطه شکست هم به‌ترتیب در شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده‌اند. نمودارهای

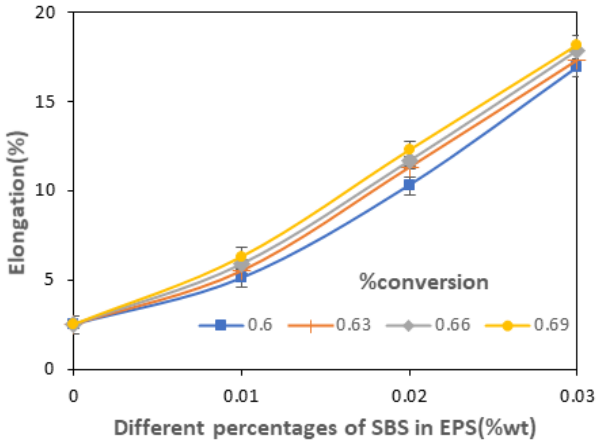
[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



شکل ۶: نتایج آزمون شاخص K-value در نقطه شکست در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS
Figure 6: Results of K-value in different percentages of SBS in EPS in different conversion percentages of EPS

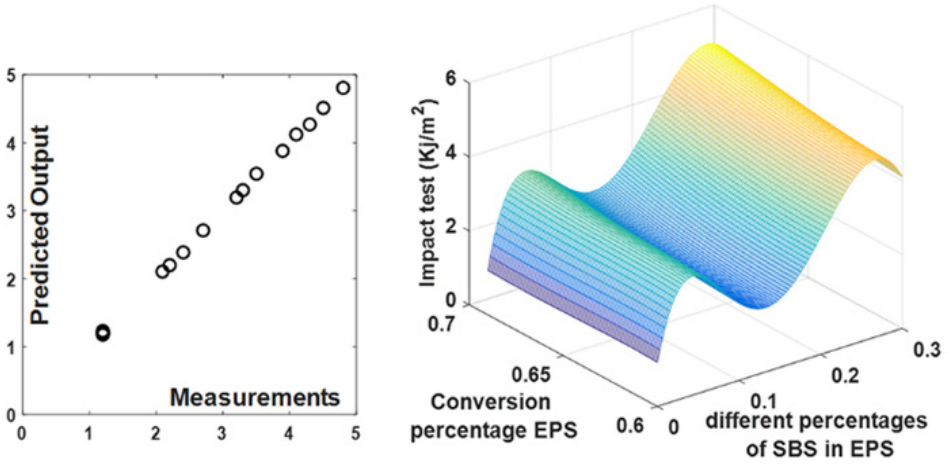


شکل ۷: نتایج مقدار سختی پلیمردر درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS
Figure 7: Results of Rochwell Hardness in different percentages of SBS in EPS in different conversion percentages of EPS



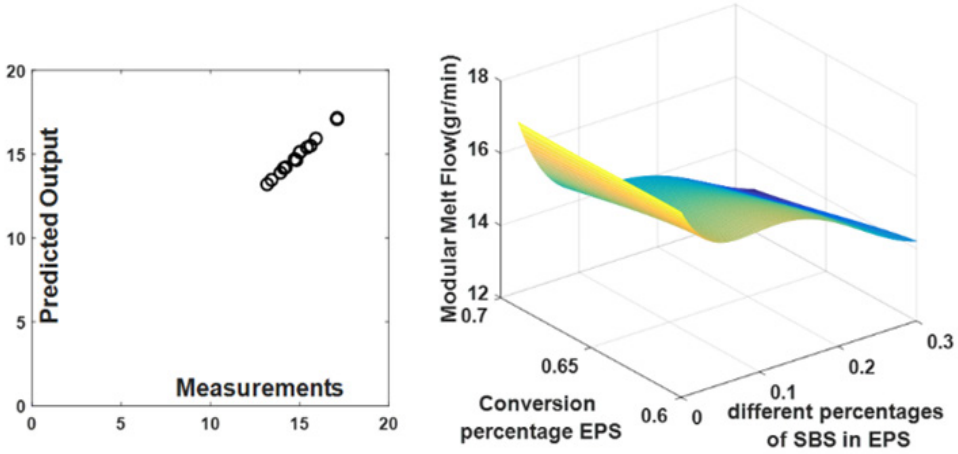
شکل ۸: نتایج میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست در درصدهای مختلف SBS در EPS در درصد تبدیل‌های مختلف EPS
Figure 8: Results of Elongation at break in different percentages of SBS in EPS in different conversion percentages of EPS

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



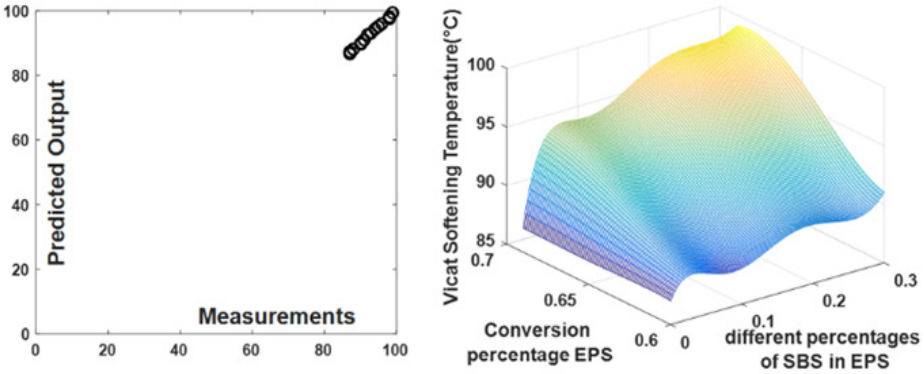
شکل ۹: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای آزمون ضربه در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

Figure 9: Recall and Regeneration of ANN for Impact Test in different conversion percentages of EPS and different percentages of SBS/EPS



شکل ۱۰: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای تست شاخص جریان مذاب در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

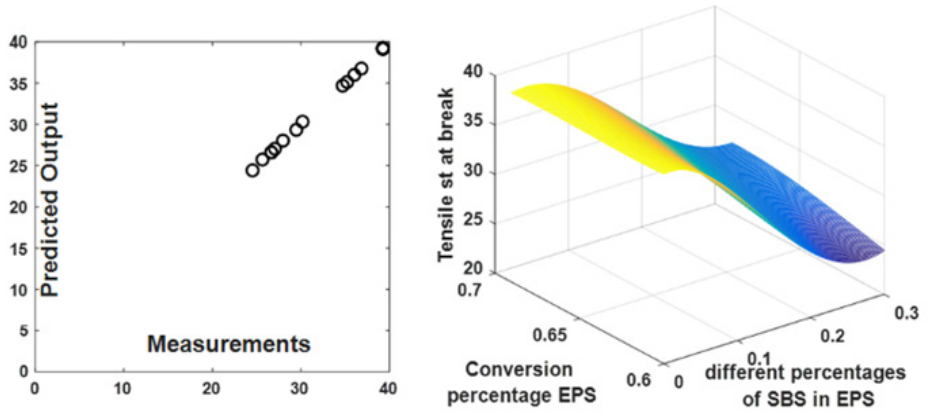
Figure 10: Results of simulation of Modular Melt Flow Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS



شکل ۱۱: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای آزمون شاخص نرمی پلیمر در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

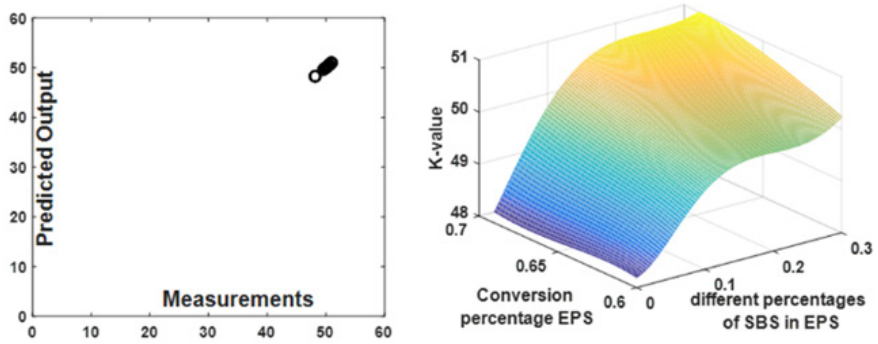
Figure 11: Results of simulation of Vicat Softening Temperature Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



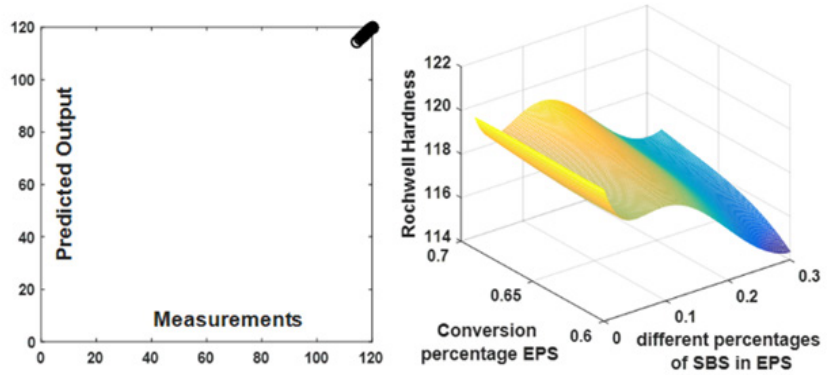
شکل ۱۲: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای آزمون تنش در نقطه شکست در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

Figure 12: Results of simulation of Tensile at Break Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS



شکل ۱۳: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای تست شاخص K-value در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

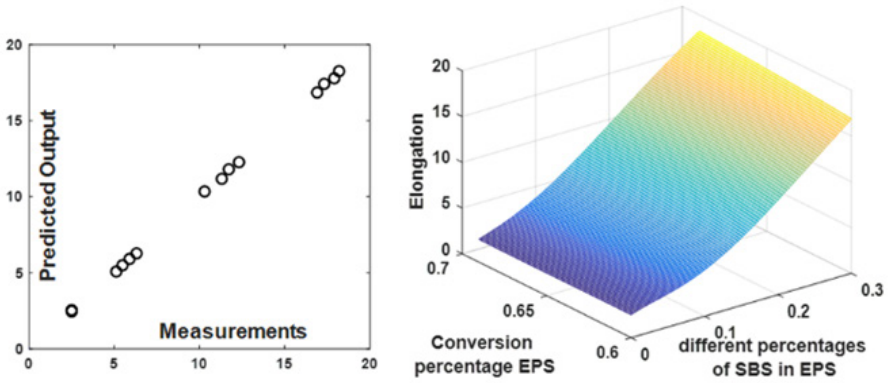
Figure 13: Results of simulation of K-value Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS



شکل ۱۴: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای تست مقدار سختی پلیمر در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

Figure 14: Results of simulation of Rochwell Hardness Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]



شکل ۱۵: عملکرد یاد آوری و تعمیم شبکه MLP برای تست میزان ازدیاد طول تا نقطه شکست در درصد تبدیل های مختلف EPS و درصد های مختلف SBS/EPS

Figure 15: Results of simulation of Elongation at Break Test in different conversion percentages of PES and different percentages of SBS/EPS

عملکرد آزمون K-value و میزان سنجش سختی پلیمر به‌صورت تجمیع شده در بالای نمودار قرار دارد و نمودار تعمیم ازدیاد طول در نقطه شکست به صورت صفحه‌ای هست که با نمودارهای قبلی تفاوت زیادی ندارد ولی چون نمودار عملکرد بهتری دارد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پوشش داده‌ها بخوبی انجام گرفته است. در کل، همه نمودارها نشان از این دارند که می‌توان برای قسمت‌های که آزمایش انجام نشده از نمودارهای شبیه‌سازی استفاده کرد.

۴ نتیجه‌گیری

- داده‌های ازمایشگاهی به‌دست‌آمده با شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP شبیه‌سازی شده، و نتایج شبیه سازی، به خوبی داده ها تجربی را پوشش داده است.
- با افزایش درصد SBS در EPS، مقادیر ضربه، شاخص نرمی پلیمر، K-Value و ازدیاد طول در نقطه شکست افزایش و مقدار آزمون‌های شاخص جریان مذاب و تنش در نقطه تسلیم و سختی پلیمر کاهش یافت.
- در درصدهای ثابت SBS در EPS با افزایش درصد تبدیل EPS به غیر از شاخص جریان مذاب، مقدار عددی بقیه آزمون‌ها افزایش یافت؛ زیرا به دلیل بالا بودن مقدار مونومر در درصد تبدیل‌های پایین، مقدار شاخص جریان مذاب افزایش می‌یابد ولی مقادیر آزمون‌های دیگر در درصد تبدیل‌های بالا بیشتر است.
- با توجه به این که بالا بودن مقدار عددی همه آزمون‌ها به غیر از شاخص جریان مذاب نشان از افزایش کیفیت پلیمر دارد، بنابراین برای دست یافتن به پلیمری با کیفیت بالاتر، بهتر است کار در درصد تبدیل بالاتری انجام شود.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]

مراجع

1. Jing Xin, Peng Xiang-Fang, Mi Hao-Yang, Wang Yuan-Sheng, Zhang Shuidong, Chen Bin-Yi, Zhou Hau-Min, Mou Wen-jie, Cell evolution and compressive properties of styrene–butadiene–styrene toughened and calcium carbonate reinforced polystyrene extrusion foams with supercritical carbon dioxide, Journal of Applied Polymer Science, 2016 ,43518-43508,(23)133.
2. Zhang Sheng, Ji Wenfei, Han Yi, Gu Xiaoyu, Li Hongfei, Sun Jun, Flame-retardant expandable polystyrene foams coated with ethanediol modified melamine–formaldehyde resin and microencapsulated ammonium polyphosphate, Journal of Applied Polymer Science, ,(28)135 2018 ,46493-46471.
3. Wang Luyao, Wang Cheng, Liu Pingwei, Jing Zhijiao, Ge Xuesong, Jiang Yijun, the flame resistance properties of expandable polystyrene foams coated with a cheap and effective barrier layer, Construction and Building Materials, ,176 2018 ,414–403.
4. Varnagiris Sarunas, Tuckute Simona, Lelis Maria de Fátima Fontes, Milcius Darius, SiO2 films as heat resistant layers for protection of expandable polystyrene foam from flame torch–induced heat, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2018 ,667-657,(5)31.
5. Sankar Ponraj Lakshmaniah, Sivasankar Sandrasekaran, Shunmugasundaram M, Kumar A Praveen, Predicting the polymer modified ferrocement ultimate flexural strength using artificial neural network and adaptive network based fuzzy inference system, Materials Today: Proceedings, 2020 ,1380-1375 ,27.
6. Sharmaa Aanchna, Kumar S. Anand, Kushvaha Vinod, Effect of aspect ratio on dynamic fracture toughness of particulate polymer composite using artificial neural network, Engineering Fracture Mechanics, ,106907 ,228 2020.
7. Derakhshanfard Fahimeh, Fazeli Naghmeh, Vaziri Ali, Heydarinasab Amir, Kinetic study of the synthesis of expandable polystyrene via multi-stage initiator dosing method, Journal Polymer Research, 2015 ,126-118 , (6)22.
8. Yimit M, Ni L, Du Y, Bkan R, Mechanical and aging properties of polypropylene and styrene-butadiene-styrene composites under outdoor and indoor conditions, Strength of Materials, 2018 ,799-788,(148)50.
9. Hasan M.D.Amanul, Ahmad Mohiuddin, Mannan Umme Amina, Tarefder Rafigul A, Laboratory investigation and modeling of high temperature performance of polymer modified binders (PMBs) with different concentration of styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer, airfield and highway pavements Modified asphalt binder characterization, International Airfield and Highway Pavements Conference, 2019 ,254–248
10. Duong Hong Cong, Chuai Dan, Woo Yun Chul, Shon Ho Kyong, Nghiem Long Duc, Sencadas Vitor, A novel Electrospun, hydrophobic, and elastomeric styrene-butadiene-styrene membrane for membrane distillation applications, Journal of Membrane Science, ,427-420 ,549 2018.
11. Borsoi Cleidi, Scienza Lisete.C, Zattera Ademir.J, Characterization of composites based on recycled expanded polystyrene reinforced with Curaua fibers, Journal of Applied Polymer Science, 2013 ,659-653 ,(1)128.
12. Chindaprasirt Prinya, Hiziroglu Salim, Waisurasingha Chattichai, Kasemsiri Pornnapa, Properties of wood flour/expanded polystyrene waste composites modified with Diammonium phosphate flame retardant, Polymer Composites, 2014 ,612-604 ,(4)36.
13. Azimi Hamidreza., Jahani Davoud, Nofar Mohammadreza, Experimental and Numerical Analyses of n-Pentane Solubility and Diffusivity in Polystyrene/Poly (methyl methacrylate) Blends, Journal Chemical Engineering, ,4604–4596 ,(9)65 2020.
14. Derakhshanfard Fahimeh, Mehralizadeh Amir, Application of artificial neural networks for viscosity of crude oil-based nanofluids containing oxides nanoparticles, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018 ,272-263 ,168.
15. Derakhshanfard Fahimeh, Mehralizadeh Amir, Characterization of polyethylene terephthalate wastes/ Acrylonitril-Butadiene styrene (PETW/ABS) composites with applications of artificial neural networks, SN Applied Sciences,2020 ,1883-1868,(2)11.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2025-07-12]