مجله علوم و فناوری نساجی
سال دوم، شماره ۲، شماره پیاپی ۳
صفحه ۱۱۳-۱۰۴، ۱۳۹۱
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

بهینه‌سازی و پیش‌بینی خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای پلی‌پروپیلن- پلی‌بوتیلن ترفتالات(PP/PBT) با استفاده از روش طراحی آزمایش رویه پاسخ

Optimization and Prediction of Mechanical Properties of Polypropylene/Poly(butylene terephthalate) Blend Fibers Using Response Surface Methodology

محمدعلی توانایی[۱،*]، احمد موسوی شوشتری[۲]، فاطمه گوهرپی[۳]، محمد بامنی مقدم[۴]

۱- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵
۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۳- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵
۴- تهران، دانشگاه علامه طباطبایی، دانشکده اقتصاد، گروه آمار، صندوق پستی ۸۴۷۳-۱۴۱۵۵

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۱۰

چکیده

یکی از اهداف مهم اختلاط پلیمرها در تولید الیاف آمیخته‌ای، بهبود خواص مکانیکی الیاف است. به دلیل تعدد اجزای پلیمری در تولید الیاف آمیخته‌ای، معمولا بهینه‌سازی ترکیب درصد اجزا، برای دستیابی به خواص بهینه، مستلزم صرف زمان طولانی و هزینه زیاد است. در این پژوهش، با استفاده از روش طراحی آزمایش رویه پاسخ، طرح آزمایشی تهیه شد. متغیرهای ورودی، ترکیب درصد جزء پراکنده و سازگارکننده بود و نتایج خروجی مدنظر از خواص مکانیکی شامل، ازدیاد طول تا پارگی، استحکام، مدول اولیه و کار مخصوص تا پارگی و ضرایب تغییرات آنها انتخاب شدند. با استفاده از طراحی آزمایش، الیاف آمیخته پلیمری به روش مذاب‌ریسی و با استفاده از اکسترودر تک‌پیچی مجهز به ناحیه اختلاط فلوتی از نوع مدوک (Maddock) تهیه شدند. پس از بررسی خواص مکانیکی نمونه‌ها، با استفاده از این روش آماری، ترکیب درصد بهینه اجزا برای تولید الیاف آمیخته‌ای با خواص مکانیکی مطلوب، تعیین و مدل‌هایی برای پیش‌بینی خواص مکانیکی ارائه شده است. ترکیب درصد بهینه با استفاده از این روش، با توجه به اجزای بستر- پراکنده و سازگارکننده به ترتیب ۶۴/۸-۳۱/۷-۳/۵ معین شد. همچنین، نتایج ترکیب درصد بهینه و روند تغییرات خواص مکانیکی با استفاده از روش رویه پاسخ، انطباق بسیار خوبی با نتایج تجربی تولید هر یک از نمونه‌ها، نشان داد.

کلمات کلیدی
روش رویه پاسخ،
طراحی آزمایش،
الیاف آمیخته پلیمری،
خواص مکانیکی

مقدمه

اســـتفاده از آمیخته‌های پلیمری در مقیاس تجاری در بازار مصرف مواد پلیمری از دهه ۱۹۸۰ میلادی با سرعت رشد بسیار زیاد گزارش شده است [۱]. در دهه گذشته حدود ۳۰ درصد کل تولید مواد پلاســـتیکی، اختصاص به محصولات آمیخته‌ای داشته است[۲]. در حال حاضر نیز بخش زیادی از محصولات پلاستیکی، ســـامانه‌های پلیمری چندجزئی هســـتند. مهم‌ترین دلایل توجه به آمیخته‌های پلیمری را می‌توان به شرح زیر عنوان کرد[۳]:

۱- تقریباً طیف نامحدودی از خواص مواد با اختلاط اجزای پلیمری قابل دستیابی است.

۲- خواص مواد را براساس نیاز می‌توان با انتخاب صحیح نوع اجزا و نسبت ترکیب آنها در آمیخته تنظیم کرد.

۳- آمیخته کردن اجزای پلیمری بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر از سنتز پلیمرهای جدید است.

۴- تولید آمیخته‌ها بر پایه اســـتفاده از پلیمرهای مناسب، سبب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود.

۵- در فراینـــد اختلاط و تولید محصولات جدید می‌توان از ضایعات پلاستیکی استفاده کرد. این راهکار علاوه بر کاهش هزینه تولید، در ســـالم نگاه‌داشتن محیط زیست نیز مؤثر است.

تولید الیاف آمیخته‌ای برای بهبود طیف گســـترده‌ای از خواص نظیر بهبود خواص مکانیکی، افزایش قابلیت رنگرزی، کاهش تجمع الکتریسیته ســـاکن، کاهش اشتعال‌پذیری، افزایش جذب آب، افزایش پوشـــانندگی، افزایش پایداری

*مسئول مکاتبات، پیام نگار: ma.tavanaie@yazduni.ac.ir

نـــوری و گرمایی، افزایش مقاومت در برابر آلودگی، کاهش ایجاد پرز، بهبود جمع‌شدگی، بهبود شفافیت، بهبود استحکام و بازیابی کشسان در شرایط تر و گرم و بهبود مقاومت در برابر چروک انجام می‌شود.

همچنیـــن از این روش در تهیـــه الیاف برای کاربردهـــای تبادل یونی و جداسازی ناخالصی‌ها، تهیه چرم مصنوعی و پارچه جیر و عایق‌سازی تجهیزات الکترونیکی استفاده می‌شود [۴]. با توجه به وجود سه ماده پلیمری مختلف (جزء بستر، پراکنده و سازگارکننده) در تولید الیاف آمیخته‌ای، تعیین ترکیب درصد بهینه این اجزا برای دســـتیابی به خواص مکانیکی مطلوب از اهمیت بسیاری برخوردار است. تهیه تعداد زیاد نمونه با توجه محدوده تغییرات مقدار ایـــن اجزا، علاوه بر صرف وقت زیاد، نیازمند هزینـــه زیاد تهیه مواد اولیه و آزمون‌های بعدی روی الیاف است.

بنابراین، اســـتفاده از روش‌های طراحی آزمایش برای بهینه‌کردن تعداد آزمایش‌ها با هدف دســـتیابی به نتایج دقیق در خواص نهایی مدنظر توأم با مطالعه عمیق در رفتار ماده با تغییر متغیرها، اهمیت بســـیاری دارد. یکی از روش‌های معتبر و کارا در این خصوص روش طراحی آزمایش رویه پاســـخ (response surface methodology،RSM) است. روش رویه پاسخ را با انجام اصلاحاتی در روش مشهور تاگوچی اولین بار Box و Wilson در سال ۱۹۵۱ میلادی معرفی کرده‌اند[۵].

روش رویه پاســـخ یکی از شـــاخه‌های مهم طراحی آزمایش‌هاســـت که مجموعه‌ای از فنون ریاضی و آماری، شامل طرح آزمایش آماری، مدل‌سازی آماری و بهینه‌سازی مقدماتی و مفید را برای توسعه فرایندی جدید، بهینه‌سازی تولید، بهبود طرح و فرمول‌بندی تولیدی جدید ایجاد کرده اســـت[۶،۷]. از روش رویه پاســـخ در حل بعضی از مسائل مهم صنعتی و پژوهشی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۸،۹]:

۱- طراحی یک رویه پاســـخ برای ناحیه کاری مدنظر (فرمول‌بندی فرایند تولید)،

۲- بهینه‌سازی پاسخ یا مشخصه کیفیت (پیدا کردن بهترین سطوح از عامل‌ها برای تولید بهینه)،

۳- بهینه‌سازی توأم چند مشخصه کیفیت و

۴- پایدارســـازی فرایند تولید یا محصولات نســـبت به متغیرهای آشفتگی (turbulence) (در سامانه پاسخ دوگان).

در روش رویه پاسخ معمولی به علت اینکه فرض می‌شود، واریانس مشخصه کیفیت ثابت است، امکان پایدارسازی فرایند وجود ندارد، در نتیجه میانگین فرایند بهینه‌سازی می‌شود. اما، در روش پاسخ دوگان با فرض اینکه واریانس مشخصه کیفیت ثابت نیست، با مدل‌بندی واریانس مشخصه کیفیت، سعی در پایدارسازی فرایند است.

طرح‌های استاندارد، طرح‌هایی هستند که دارای سه شرط، نبود محدودیت در انجام تعداد آزمایش مورد نیاز، نبود محدودیت خطی بین متغیرهای طرح و نبود متغیر گسسته باشند.

طرح مرکزی مرکب (combined central design، CCD) یکی از مهم‌ترین این طرح‌هاست که بر اساس مدل مرتبه دوم در روش رویه پاسخ عمل می‌کند. مدل مرتبه دوم در روش رویه پاســـخ، نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند، زیرا علاوه بر قابلیت نمایش حالت‌های مختلف توابع منحنی، برآورد پارامترهای این مدل نیز بسیار راحت است. از راه تجربی نیز ثابت شده است، مدل مرتبه دوم برای مدل‌سازی سامانه (فرایند تولید) بسیار مناسب است و آثار مرتبه سوم و بالاتر معمولاً مهم نیست[۸].

طرحCCD علاوه بر داشـــتن همه ویژگی‌های طرح‌های رویه پاسخ، یک طرح عاملی دوسطحی کامل اســـت که به آن تعدادی آزمایش اضافی برای برآورد آثار مدل مرتبه دوم، افزوده می‌شـــود. در این نوع طراحی به‌طور مثال بـــرای حالتی که دو متغیر درنظر گرفته می‌شـــود، یک طرح پایه 2^k درنظر گرفته می‌شود که مقدار k برابر با ۲ است (یعنی 2^2). به این طرح یک نقطه مرکزی و چهار نقطه محوری بـــرای آزمون نیکویی برازش و برآورد اثرهای درجه دوم مدل رویه پاســـخ اضافه می‌شـــود که نتیجه آن یک طرح CCD خواهد بود [۸].

در روش رویه پاسخ می‌توان با معرفی چند متغیر مستقل به عنوان ورودی، طراحی آزمایش انجام داد. ســـپس با انجام تعداد بهینه آزمایش می‌توان به ارتباط بین یک یا چند متغیر ارزیابی شـــده وابسته (خروجی) دست یافت [۱۰]. این روش در پژوهش‌های زیست‌فناوری به‌ویژه در بهینه‌سازی ترکیب درصد ماده در محیط‌ها [۱۱،۱۲]، فرایند تخمیر [۱۳،۱۴]، شرایط واکنش کاتالیزشده [۱۵]، واکنش‌های اکســـایش [۱۶] و فرایندهای غذایی [۱۷] استفاده شده است.

در پژوهش‌های نساجی نیز در این خصوص مقالات بسیاری وجود دارد [۲۳-۱۸]، که اغلب در فرایندهای محلول شیمیایی و تصفیه پساب‌های رنگی بوده اســـت. مؤلفان نتایج استفاده از این روش را در مطالعه و پیش‌بینی آثار هم‌زمان دمای اکســـتروژن و شرایط انجماد در فرایند مذاب‌ریسی بر خواص فیزیکـــی و مکانیکی نخ نوریس پلی‌پروپیلن قبلا گزارش کرده‌اند [۲۴]. در پژوهش یاد شده با تولید فقط ۱۵ نمونه الیاف پلی‌پروپیلن و تغییر متغیرهای دمای اکســـتروژن و شرایط انجماد براساس نمونه‌های طراحی شده به روش RSM، محدوده‌ای مشـــخص از دما و شـــرایط سرمادهی برای دستیابی به بهترین خواص در الیاف نهایی معین شد.

از آنجا که پژوهش‌های انجام شـــده در خصوص استفاده از این روش برای پیش‌بینی خواص الیاف آمیخته‌ای بســـیار اندک اســـت. در این پژوهش، با اســـتفاده از روش طراحی آزمایش رویه پاسخ، طراحی آزمایش برای تولید نمونه الیاف آمیخته پلیمری به روش مذاب‌ریســـی انجام شده است. بدین منظور دو متغیر مقدار جزء پراکنده و مقدار سازگارکننده به‌طور هم‌زمان در طراحی آزمایش درنظر گرفته شد و مقدار جزء بستر با کسر مجموع مقادیر دو جزء دیگر از مقدار واحد معین شد. در بخش خروجی نیز با استفاده از نتایج خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای تولید شده و نایکنواختی این خواص، نمونه بهینه تعیین و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خواص مکانیکی نیز ارائه شده است.

تجربی

مواد

مواد اولیه استفاده شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

پلی‌پروپیلن (PP) تک‌آرایش از نوع رئولوژی کنترل‌شده ساخت شرکت Sabic عربستان، پلی‌بوتیلن ترفتالات (PBT) ساخت شرکت Eurotech فرانسه و سازگارکننده از نوع پلی‌پروپیلن پیوندخورده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA)

جدول۱- مشخصات مواد اولیه استفاده شده در تولید الیاف آمیخته‌ای.

مشخصه / نوع پلیمر	PP	PBT	PP-g-MA
شاخص جریان مذاب* ($g/10min$)	۲۴/۸	۵۱/۱	۱۹۵/۰
دمای ذوب (^oC)	۱۶۴/۲	۲۲۳/۶	۱۶۴/۹
دمای تبلور (^oC)	۱۱۳/۴	۱۹۴/۸	۱۱۷/۲

* شاخص جریان مذاب گرانول‌های PP و PP-g-MA در دمای 230^oC و با وزنه $2/16\ kg$ و شاخص جریان مذاب گرانول‌های PBT در دمای 250^oC و با وزنه $2/16\ kg$ اندازه‌گیری شده است.

ساخت شـــرکت Pluss Polymer هندوستان. همه مواد به شکل گرانول (granule) بودند. برخی مشخصات مهم مواد اولیه در جدول ۱آمده است.

روش‌ها

آماده‌سازی مواد اولیه

گرانول‌های پلی‌پروپیلن و پلی‌پروپیلن پیوندخورده با مالئیک انیدرید به دلیل جذب بســـیار ناچیز رطوبت به هیچ عملیات آماده‌ســـازی نیاز نداشتند. اما، گرانول پلی‌بوتیلن ترفتالات (PBT) که پلیمری از خانواده پلی‌استرهاســـت، به دلیل حساسیت به رطوبت و اکسیدشـــدن در دماهای زیاد حین فرایند اکستروژن، در عملیات خشک‌کردن قرار گرفت.

برای خشـــک‌کردن PBT از خشک‌کن ناپیوســـته مجهز به کانال تغذیه نیتروژن و مخزن قابل چرخش اســـتفاده شد. عملیات خشک‌کردن در یک مرحلـــه به مدت حدود $8\ h$ در دمای 120^oC انجام شـــد. برای تولید الیاف آمیخته‌ای، اختلاط در حالت جامد مواد به شکل گرانول انجام شده است. در این روش، اجزای آمیخته به شکل گرانول پیش از تغذیه به اکسترود با توجه به ترکیب درصد مدنظر با استفاده از ترازوی رقمی با دقت چهار رقم توزین و به روش مکانیکی (دستی) با یکدیگر مخلوط شدند. سپس، به قیف تغذیه اکسترودر منتقل شدند. حین فرایند مذاب‌ریسی در اکسترودر عمل اختلاط انجام شد.

طراحی آزمایش

از روش رویه پاســـخ بـــرای طراحی آزمایش و انتخـــاب نمونه بهینه الیاف آمیختـــه‌ای از لحاظ ترکیب درصد اجزای آمیخته و درصد ســـازگارکننده اســـتفاده شد. بدین منظور، یک طرح مرکب مرکزی با دو متغیر درصد جزء پراکنده آمیخته (PBT) و درصد سازگارکننده (PP-g-MAH) درنظر گرفته شد. شایان ذکر است، محدوده مقادیر جزء پراکنده و سازگارکننده استفاده شـــده در طراحی آزمایش بر مبنای پژوهش‌های پیشین [۲۵]، به ترتیب ۵ تا ۴۰ درصد و ۰/۵ تا ۵ درصد درنظر گرفته شـــد. ســـپس، در خروجی این طراحی، تعداد ۱۳آزمایش (برای تولید نمونه) به شرح جدول۲ معین و مطالعه شد. تولید نمونه‌ها بر اســـاس توصیه قطعی این روش باید به ترتیب ردیف گزارش شده تولید می‌شد که به همین ترتیب نیز انجام شد. سپس، براساس برخی خواص مهم مکانیکی الیاف آمیخته‌ای (PP/PBT) بهینه‌سازی پاسخ، یعنی پیدا کردن بهترین سطوح از متغیرها برای تولید بهینه، انجام شد. یکی از اهداف و کاربردهای روش رویه پاسخ، پیدا کردن ناحیه و نقطه بهینه است که این روند به شکل دنباله‌ای است و به‌طور کلی می‌توان آن را در سه مرحله زیر بیان کرد:

مرحله اول: کاهش تعداد متغیرها به منظور کاهش تعداد آزمایش‌ها (آزمایش غربالگری)،

مرحله دوم: قرارگرفتن در ناحیه‌ای خارج از ناحیه بهینه و حرکت به ســـوی ناحیه بهینه با استفاده از روش شیب‌های صعودی یا نزولی و

مرحله سوم: قرارگرفتن در ناحیه بهینه و تلاش برای پیدا کردن نقطه بهینه

برای انجام مراحل گفته‌شـــده در طراحی آزمایش و پاســـخ بهینه. نرم‌افزار طراحی آزمایش Design Expert ویرایش۶-۰-۱۰ به‌کار گرفته شـــد. استفاده از روش طراحی آزمایش رویه پاسخ به دلایل زیر بوده است:

۱- بررسی دقت عملی (تکرارپذیری) روش رویه پاسخ نسبت به نتایج حاصل از شرایط تجربی تهیه هر یک از نمونه‌ها در خواص مکانیکی الیاف آمیخته تولید شده [۲۵]،

۲- تعیین بهترین ترکیب درصد الیاف آمیخته‌ای از لحاظ خواص مکانیکی و استفاده از آن برای مطالعات سایر متغیرهای مورد بررسی و

۳- تعییـــن مدل‌هایی برای نحوه تغییر خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای با تغییر ترکیب درصد اجزای آمیخته و سازگارکننده.

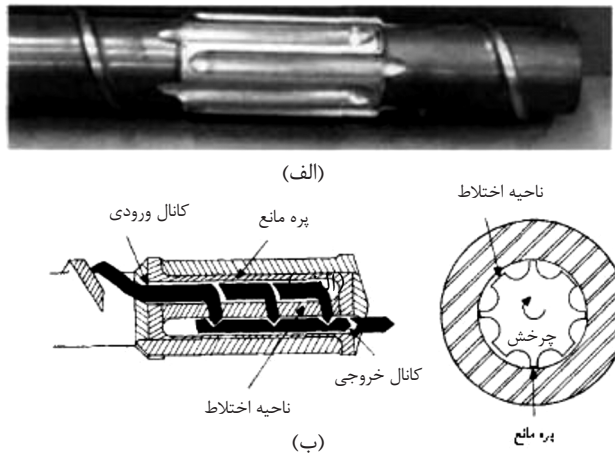
تولید الیاف آمیخته‌ای PP/PBT به روش مذاب‌ریسی

برای تولید الیاف آمیخته‌ای پلی‌پروپیلن و پلی‌بوتیلن ترفتالات از دســـتگاه مذاب‌ریســـی آزمایشگاهی استفاده شـــد. از آنجا که استفاده از اکسترودر نرم‌کننده با پیچ استاندارد برای اختلاط مؤثر اجزای پلیمری مناسب نیست [۲۸-۲۶]. در این پژوهش، مطالعه اختلاط اجزای آمیخته با درصدهای زیاد

جدول۲- ترکیب درصد اجـــزای پراکنده (PBT) و ســـازگارکننده (PP-g-MAH) معین شده به کمک روش طراحی آزمایش رویه پاسخ.

شماره نمونه به ترتیب تولید	مقدار اجزا (٪)		
	PP*	PBT	PP-g-MAH
۱	۸۹/۲	۱۰/۱	۰/۷
۲	۶۱/۴	۳۶/۱	۲/۵
۳	۸۵/۶	۱۰/۱	۴/۳
۴	۶۰/۸	۳۴/۹	۴/۳
۵	۷۵/۰	۲۲/۵	۲/۵
۶	۷۵/۰	۲۲/۵	۲/۵
۷	۷۳/۱	۲۲/۵	۴/۴
۸	۷۷/۰	۲۲/۵	۰/۵
۹	۶۴/۴	۳۴/۹	۰/۷
۱۰	۷۵/۰	۲۲/۵	۲/۵
۱۱	۸۸/۶	۸/۹	۲/۵
۱۲	۷۵/۰	۲۲/۵	۲/۵
۱۳	۷۵/۰	۲۲/۵	۲/۵

* مقدار جزء بستر با کسر مجموع مقادیر دو جزء حاصل از طراحی آزمایش در هر ردیف از مقدار واحد معین شده است.



شکل ۱- تصویر نمونه از بخش اختلاط مدوک استفاده شده در پیچ اکسترودر [۲۸،۲۹]: (الف) تصویر ناحیه اختلاط مدوک و (ب) طرح کلی از مقطع جانبی و جلوی ناحیه اختلاط مدوک و نحوه عبور مواد مذاب در آن.

جزء پراکنده در ترکیب درصد آمیخته و ایجاد اختلاطی مطلوب مدنظر بوده است بنابراین از اکسترودری با پیچ مجهز به ناحیه اختلاط از نوع فلوتی (fluted mixing device) در ناحیه بین ذوب و اندازه‌گیری پیچ استفاده شد.

اثربخشی این نوع پیچ که به نام مدوک (Maddock) معروف است (شکل ۱) در اختلاط اجزای آمیخته توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است [۳۲-۲۹]. مشخصات عمومی اکسترودر و پیچ استفاده شده در تولید نمونه‌ها در جدول ۳ آمده است.

رشته‌ساز استفاده شده دارای ۲۰ روزنه با قطر ۰/۹ mm بوده است. ناحیه انجماد رشته‌ها از زیر رشته‌ساز تا اولین راهنمای نخ به مسافت ۹۵ cm به وسیله هوای فشرده با فشار حدود ۲/۵ bar خنک‌سازی می‌شد، پس از آن نخ تولید شده طی مسافت ۱۵۰ cm روی بوبین، به وسیله دستگاه پیچنده جمع‌آوری می‌شد. پس از مطالعات اولیه و تغییرات انجام شده در فرایند در یک ترکیب درصد انتخاب شده برای آمیخته و با توجه به مشخصات مواد اولیه، مشخصات ثابت فرایند تولید به شرح جدول ۴ تنظیم شد.

جدول۳- مشخصات اکسترودر و پیچ دارای ناحیه اختلاط مدوک.

مشخصات پیچ اکسترودر	مقدار
قطر پیچ (mm)	۱۹
عرض دنده (mm)	۲/۷
L/D	۲۵
نسبت فشردگی	۱/۵
عمق نهایی کانال (mm)	۲/۰
طول حدیده، Die (mm)	۵۸
تعداد نواحی گرمایی*	۴
**مشخصات ناحیه اختلاط (Maddock)	مقدار
طول ناحیه Maddock (mm)	۶۰
تعداد کانال‌ها- ورودی	۴
تعداد کانال‌ها- خروجی	۴
طول هر شیار (mm)	۵۰
عرض هر شیار (mm)	۵
ضخامت دیواره هر شیار (mm)	۲/۵
عمق شیار (mm)	۲/۰

* یک ناحیه گرمایشی نیز از انتهای قالب تا سر رشته‌ساز به ۴ ناحیه مزبور اضافه می‌شود.
** ناحیه اختلاط بین بخش ذوب و اندازه‌گیری اکسترودر قرارگرفته است.

جدول۴- مشخصات ثابت فرایند مذاب‌ریسی الیاف آمیخته‌ای.

مشخصه	مقدار
دمای ناحیه تغذیه اکسترودر (°C)	۱۸۰
دمای ناحیه ذوب اکسترودر (°C)	۲۳۰
دمای ناحیه اندازه‌گیری اکسترودر (°C)	۲۴۰
دمای قالب (°C)	۲۵۰
دمای سر رشته‌ساز (°C)	۲۵۰
سرعت پیچ اکسترودر (rpm)	۷/۵
فشار هوای خنک‌سازی (bar)	۲/۵
سرعت پیچنده (m/min)	۱۱۵

بررسی خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای

از دستگاه آزمون خواص کششی ساخت شرکت ایرانی الیما برای ارزیابی خواص کششی الیاف استفاده شد.

عملکرد این دستگاه براساس سرعت ثابت ازدیاد طول است. برای افزایش دقت در انجام آزمون‌ها از الیاف به‌شکل تک‌رشته استفاده شد و فاصله فک‌ها ۵۰ mm، سرعت انجام آزمایش ۵۰۰ mm/min و تنش اولیه برای رفع ناصافی تک‌رشته‌ها پیش از آزمون در حدود ۰/۱ cN/tex درنظر گرفته شد. برای هر نمونه حداقل ۱۰ تکرار انجام شد و میانگین، انحراف معیار و درصد ضریب تغییرات نمونه‌ها بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای تولید شده بر اساس خروجی طراحی آزمایش در جدول ۵ آمده است. همان‌طور که در بخش مقدمه نیز اشاره شد، یکی از مهم‌ترین دلایل اختلاط پلیمرها برای تولید الیاف، بهبود خواص مکانیکی است.

بنابراین برای دریافت نتیجه خروجی یا تعیین ترکیب درصد بهینه آمیخته PP/PBT برای تولید الیاف براساس خواص مکانیکی حاصل، بیشتربودن ازدیاد طول تا پارگی (کشش‌پذیری بیشتر)، استحکام، مدول اولیه و کار مخصوص تاپارگی الیاف آمیخته‌ای و کمتربودن درصد ضریب تغییرات (یکنواختی خواص) آنها با امتیازی بیشتر (دو برابر) معین شد.

سپس، در خروجی بهینه‌سازی روش رویه پاسخ (RSM)، بهترین نمونه با شرایط آمده در جدول ۶ معرفی شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بهترین نمونه با ترکیب درصد اجزای بستر- پراکنده- سازگارکننده به ترتیب ۶۴/۸-۳۱/۷-۳/۵ معین شده است.

این نتیجه با نتایج بخشی از مطالعه پیشین مؤلفان [۲۵] درباره اثر اجزای الیاف آمیخته‌ای بر خواص مکانیکی این الیاف به صورت جزء به جزء (۲۵ نمونه، ۵ سطح جزء پراکنده و در هریک از آنها ۵ سطح سازگارکننده) مطابقت بسیار خوبی را نشان می‌دهد. در پژوهش مزبور، بهترین ترکیب درصد اجزای بستر-پراکنده- سازگارکننده به ترتیب ۶۵-۳۰-۵ معین شده بود.

جدول۵- نتایج خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای PP/PBT تولید شده براساس طراحی آزمایش به روش رویه پاسخ.

ترتیب تولید (Run)	ترکیب درصد آمیخته PP/PBT/PP-g-MA	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	استحکام (cN/tex)	مدول اولیه (cN/tex)	کار مخصوص تا پارگی (cN/tex)
۱	۸۹/۲ – ۱۰/۱ – ۰/۷	۵۳۹/۸ (۴۳/۶)*	۷/۷ (۱/۲)	۱۵/۸ (۴/۰)	۲۶/۰ (۳/۶)
۲	۶۱/۴ – ۳۶/۱ – ۲/۵	۴۰۷/۲ (۵۶/۲)	۵/۳ (۰/۸)	۱۲/۶ (۳/۶)	۱۷/۳ (۴/۲)
۳	۸۵/۶ – ۱۰/۱ -۴/۳	۵۰۸/۱ (۶۹/۴)	۷/۰ (۱/۸)	۱۵/۴ (۵/۸)	۲۵/۳ (۱۰/۶)
۴	۶۰/۸ – ۳۴/۹ – ۴/۳	۴۱۲/۵ (۳۱/۸)	۸/۰ (۱/۰)	۱۷/۷ (۳/۶)	۱۹/۸ (۳/۸)
۵	۷۵ – ۲۲/۵ – ۲/۵	۵۰۱/۵ (۹۳/۸)	۷/۵ (۱/۲)	۱۹/۶ (۴/۲)	۲۳/۱ (۷/۴)
۶	۷۵ – ۲۲/۵ – ۲/۵	۵۳۳/۵ (۶۴/۶)	۷/۷ (۱/۶)	۱۸ (۴/۱)	۲۰/۲ (۷/۰)
۷	۷۳/۱ – ۲۲/۵ – ۴/۴	۴۴۹/۱ (۷۰/۶)	۶/۹ (۱/۲)	۱۲/۱ (۳/۸)	۲۰/۵ (۶/۸)
۸	۷۷ – ۲۲/۵ – ۰/۵	۶۲۴/۱ (۳۵/۰۱)	۵/۷ (۰/۶)	۱۱/۸ (۲/۸)	۲۱/۷ (۳/۰)
۹	۶۴/۴ – ۳۴/۹ – ۰/۷	۴۰۹/۶ (۸۲/۲)	۴/۴ (۱/۰)	۱۳/۲ (۳/۲)	۱۳/۱ (۳/۶)
۱۰	۷۵ – ۲۲/۵ – ۲/۵	۵۱۲/۶ (۴۱/۰)	۹/۸ (۱/۲)	۱۸/۷ (۵/۲)	۳۵/۰ (۵/۸)
۱۱	۸۸/۶ – ۸/۹ – ۲/۵	۵۲۵/۷ (۹۹/۲)	۵/۷ (۱/۴)	۱۴/۱ (۴/۳)	۱۹/۹ (۹/۴)
۱۲	۷۵ – ۲۲/۵ – ۲/۵	۴۸۹/۹ (۳۲/۲)	۷/۹ (۱/۲)	۱۳/۹ (۶/۳)	۳۲/۱ (۷/۶)
۱۳	۷۵ – ۲۲/۵ – ۲/۵	۴۹۷/۴ (۳۹/۶)	۸/۳ (۱/۲)	۱۳/۶ (۵/۲)	۲۴/۵ (۵/۶)

* اعداد داخل پرانتز، انحراف معیار داده‌ها از میانگین (SD) است.

این نتیجه می‌تواند مبین دقت خوب روش رویه پاسخ در بهینه‌سازی خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای توأم با تولید تعداد نمونه کمتر، صرف زمان کوتاه‌تر و هزینه تهیه مواد اولیه و هزینه تولید نمونه‌های کمتر باشد.

در شکل ۲ منحنی‌های رویه پاسخ اثر تغییرات هم‌زمان ترکیب درصد اجزای آمیخته و سازگارکننده بر خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای، حاصل از پردازش نرم‌افزار RSM آمده است.

در شکل ۳ منحنی‌های رویه پاسخ اثر تغییرات هم‌زمان ترکیب درصد اجزای آمیخته و سازگارکننده بر ضرایب تغییرات (CV٪) خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای حاصل از پردازش نرم‌افزار RSM نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های۲ و ۳ ملاحظه می‌شود، ازدیاد طول تا پارگی الیاف آمیخته‌ای با افزایش مقدار جزء پراکنده روند کاهشی و با افزایش مقدار سازگارکننده ابتدا افزایش و پس از مقداری معین از سازگارکننده روند کاهشی دارد (منحنی سهمی شکل). مقدار نایکنواختی آن تا مقدار حدود ۳۵ درصد از جزء پراکنده روند کاهشی نشان می‌دهد. با توجه به کمتربودن ازدیاد طول تا پارگی زنجیرهای جزء پراکنده PBT نسبت PP [۲۵] نیز مشاهده

جدول۶- نمونه بهینه الیاف آمیخته‌ایPP/PBT براساس پاسخ روش رویه پاسخ (RSM).

ترکیب درصد آمیخته PP/PBT/PP-g-MA	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	استحکام (cN/tex)	مدول اولیه (cN/tex)	کار تا پارگی (cN/tex)
۶۴/۸ – ۳۱/۷ – ۳/۵	۴۴۴/۳ (۹/۴)*	۶/۹ (۱۴/۲)	۱۵/۳ (۲۹/۹)	۳۰/۹ (۲۳/۹)

* اعداد داخل پرانتز، مقدار ضریب تغییرات (CV ٪) را نشان می‌دهد.

این رفتار کاملا توجیه‌پذیر است. با افزایش سهم جزئی که ازدیاد طول تا پارگی کمتری از PP دارد، انتظار می‌رود ازدیاد طول تا پارگی الیاف آمیخته‌ای حاصل نیز کاهش یابد. نکته جالب اینکه در تمام ترکیب درصدهای جزء پراکنده تا حدود ۲/۵ درصد از سازگارکننده ازدیاد طول تا پارگی افزایش نشان می‌دهد و پس از این مقدار، روند کاهشی است. این نتیجه مبین اثر سازگارکننده تا مقداری بحرانی است (حد سیرشدگی) که از این نقطه به بعد حتی می‌تواند به عنوان ناخالصی سبب کاهش ازدیاد طول تا پارگی الیاف آمیخته‌ای شود. تغییرات ازدیاد طول تا پارگی الیاف آمیخته‌ای بر اساس نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفی در خروجی پردازش نرم‌افزار، حاکی از معنادار بودن این نتایج است (جدول ۷).

استحکام الیاف آمیخته‌ای با افزایش مقدار جزء پراکنده ابتدا روندی افزایشی با سرعت شدید (تا حدود ۲۹ درصدPBT) سپس روند کاهشی نشان داده است. اما، با افزایش مقدار سازگارکننده، تغییرات قابل توجهی در استحکام الیاف ملاحظه نمی‌شود. یکنواختی استحکام الیاف نیز با افزایش مقدار جزء پراکنده با سرعتی کند افزایش نشان داده است. تغییرات استحکام الیاف آمیخته‌ای براساس نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفی در خروجی پردازش نرم‌افزار، حاکی از معنادارنبودن این نتایج است. اما، بر اساس تحلیل واریانس یک‌طرفی با نرم‌افزار SPSS روی ریز نتایج حاصل از استحکام الیاف آمیخته‌ای انتخابی، تغییرات استحکام در سطح اطمینان ۹۵درصد، معنادار است. این افزایش استحکام در بررسی‌های دقیق پیشین به ایجاد یکنواخت‌ترین قطر و تعداد زیاد ریزلیفچه‌های (microfibrils) جزء پراکنده در بستر الیاف آمیخته‌ای نسبت داده شده است که باعث افزایش برهم‌کنش بین‌سطحی دوجزء می‌شود. [۲۵]. کاهش استحکام با افزایش بیشتر مقدار جزء پراکنده (نزدیک به ۴۰ درصد) نیز می‌تواند به دلیل نزدیک‌شدن به ناحیه وارونگی فاز و نایکنواختی‌های حاصل در قطر ریزلیفچه‌ها باشد.

مدول اولیه الیاف آمیخته‌ای و یکنواختی آن نیز با افزایش مقدار جزء پراکنده و سازگارکننده تغییراتی نشان نداده است که با توجه به روابط مدل (۳) نیز قابل تأیید است. بروز این عدم تغییر در مقادیر مدول اولیه حاصل با تغییر در مقادیر اجزای الیاف آمیخته‌ای را می‌توان به سرعت کم برداشت الیاف و آرایش‌یافتگی کم زنجیرهای پلیمری و در پی آن سرعت تبلور کم در این الیاف، نسبت داد. احتمالاً تغییرات ساختاری کم حاصل در این الیاف نوریس، باعث این عدم تغییرات قابل توجه در مدول‌های اولیه بوده است.

کار مخصوص تا پارگی الیاف کمیتی است که برایند تغییرات ازدیاد طول تا پارگی و استحکام است. با توجه به کاهش ازدیاد طول تا پارگی و به ترتیب افزایش و کاهش استحکام با افزایش مقدار جزء پراکنده، به دلیل مقدار تغییرات بیشتر ازدیاد طول تا پارگی، کار مخصوص تا پارگی، روندی کاهشی

نشـــان می‌دهد. درحالی‌که به دلیل افزایش یکنواختی ازدیاد طول تا پارگی و اســـتحکام با افزایش مقدار جزء پراکنـــده (کاهش CV ٪) یکنواختی کار مخصوص تا پارگی نیز بهبود نشان می‌دهد.

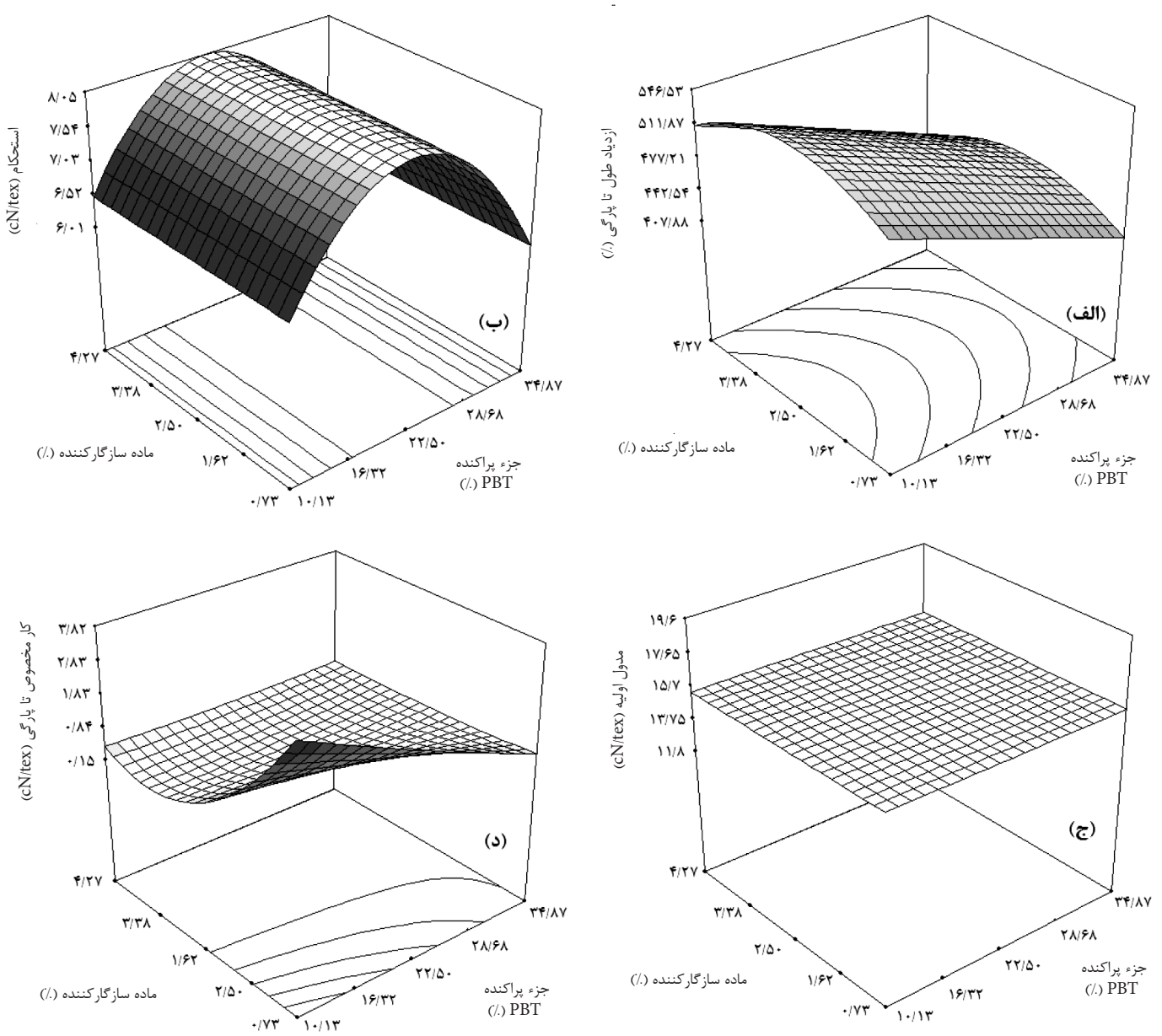
معادله‌های (۱)، (۲) و (۴) مدل‌های پیش‌بینی‌کننده استحکام، ازدیاد طول تا پارگی و کار مخصوص تا پارگی الیاف آمیخته PP/PBT است و معادله (۳) مقدار تعیین‌شده برای مدول اولیه این الیاف است که به شکل عددی ثابت معین شده است.

این مدل‌ها با توجه به عوامل متغیر مقدار جزء پراکنده و سازگارکننده است که با نرم‌افزار طراحی آزمایش رویه پاســـخ، محاسبه و معین شده‌اند. شایان ذکر است، مدل ۴ با یک انتقال (جذر معکوس) در نرم‌افزار، به شکل ارائه شده معین شده است.

مدل (۱)

$$E_b = -۱۱/٤\ \Phi_c^{۲} + ٥٦/٥\ \Phi_c - ٤/۱\ \Phi_d + ٥۱۸/۳$$

$$C.V.\ \%\ (E_b) = -۰/۷\ \Phi_d + ۳۰/۷$$



شکل۲- منحنی‌های رویه پاسخ (RSM) برای اثر هم‌زمان ترکیب درصد اجزای آمیخته و سازگارکننده بر خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای: (الف) ازدیاد طول تا پارگی، (ب) استحکام، (ج) مدول اولیه، (د) کارمخصوص تا پارگی.

مدل (۲)

$$T_b = -۰/۰۱\ \Phi_d^{۲} + ۰/۵۱\ \Phi_d + ۲/۵۳$$

$$C.V.\ \%\ (T_b) = -۰/۲۷\ \Phi_d\ \Phi_c + ۵/۹۲\ \Phi_c + ۰/۵۵\ \Phi_d + ۶/۰۸$$

مدل (۳)

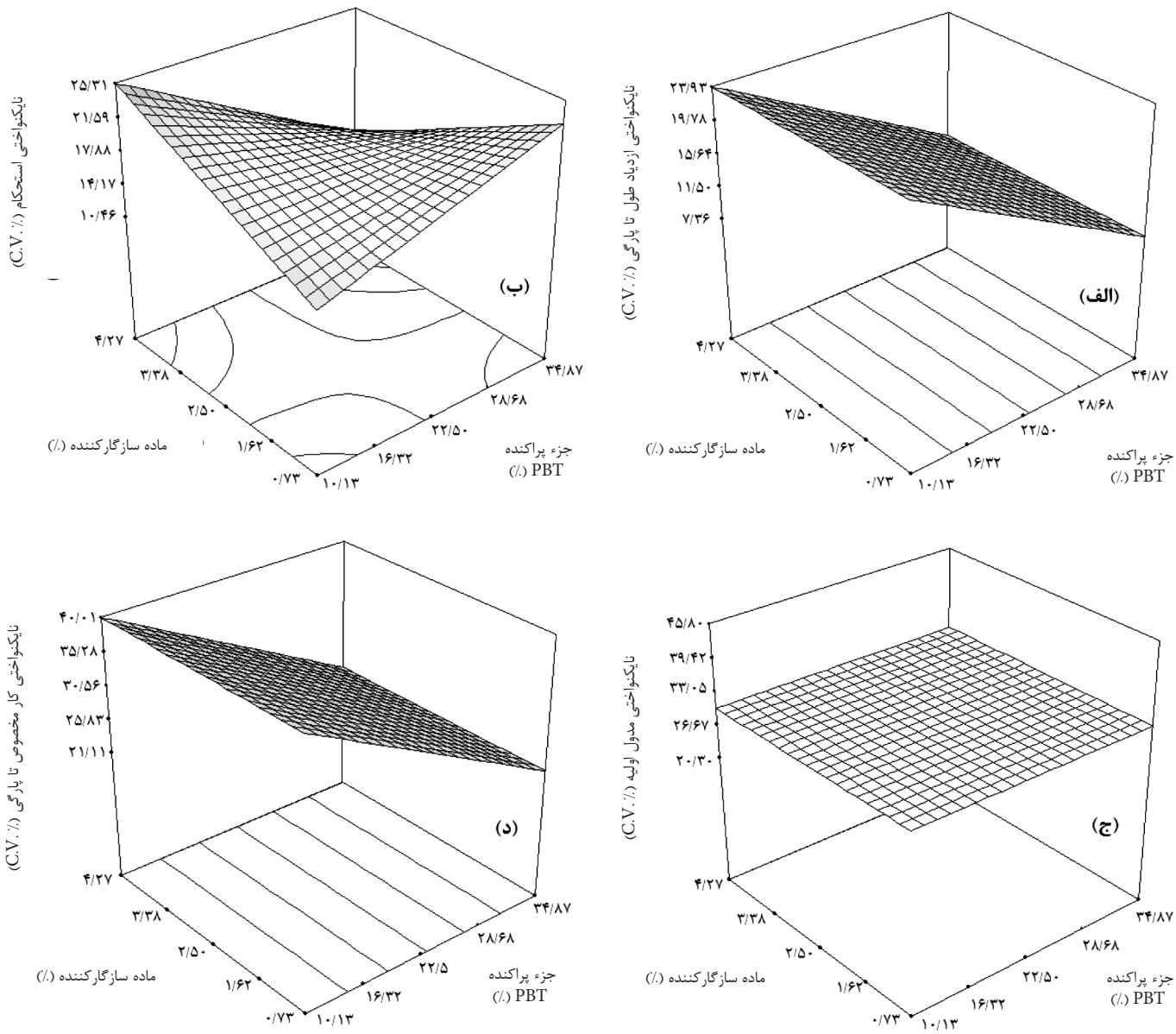
$$M_i = ۱۵/۳۵$$

$$C.V.\ \%\ (M_i) = ۲۹/۹۶$$

مدل (۴)

$$۱ / (R.W.)^{۱/۲} = -۰/۰۲\ \Phi_d\ \Phi_c^{۲} + ۰/۱۴\ \Phi_d\ \Phi_c + ۰/۷۶\ \Phi_c^{۲} + ۴/۹۲\ \Phi_d^{۲} - ۵/۲۲\ \Phi_c - ۰/۲۴\ \Phi_d + ۸/۷۳$$

$$C.V.\ \%\ (۱ / (R.W.)^{۱/۲}) = -۰/۷۶\ \Phi_d + ۴۷/۷$$



شکل۳- منحنی‌های رویه پاسخ (RSM) برای اثر هم‌زمان ترکیب درصد اجزای آمیخته و سازگارکننده بر ضرایب تغییرات (CV ٪) خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای (یکنواختی خواص): (الف) ازدیاد طول تا پارگی، (ب) استحکام، (ج) مدول اولیه و (د) کار تا پارگی.

جـدول ۷- داده‌های حاصل از تحلیـل واریانس یک‌طرفی (پردازش‌شـده با نرم‌افزار Design Expert).

ویژگی	مقدار F (F-value)	معناداری تغییرات مقدار F	نقض برازش* مقدار F	معناداری تغییرات نقض برازش مقدار F
ازدیاد طول تا پارگی	۱۳/۰۸	☑	۲/۰۸	☒
ضریب تغییرات ازدیاد طول تا پارگی	۹/۰۳	☑	۰/۹۳	☒
استحکام	۳/۷۵	☒	۲/۵۴	☒
ضریب تغییرات استحکام	۳/۴۶	☒	۰/۸	☒
مدول اولیه	-	-	۰/۸۴	☒
ضریب تغییرات مدول اولیه	-	-	۰/۳	☒
کار مخصوص تا پارگی	۶/۸۸	☑	-	-
ضریب تغییرات کار مخصوص تا پارگی	۹/۴۴	☑	۰/۷۴	☒

* Lack of fit F-value

E_b، T_b، M_i و R.W. به ترتیب نماد ازدیاد طول تا پارگی، اسـتحکام، مدول اولیه و کار مخصوص تا پارگی و Φ_c و Φ_d به ترتیب مقدار جزء سازگارکننده و جزء پراکنده در مدل‌هاست. با توجه به مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خواص مکانیکی که حاصل از روش رویه پاسـخ اسـتاندارد با طرح مرکب مرکزی (CCD) است می‌توان بر اساس مقدار اجزای پلیمری استفاده شده خواص مکانیکی الیاف حاصل را پیش‌بینی کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با اسـتفاده از روش طراحی آزمایش رویه پاسـخ تولید نمونـه الیاف آمیخته پلیمری پلی‌پروپیلن و پلی‌بوتیلن ترفتالات به روش مذاب‌ریسی و با اسـتفاده از اکسترودر تک‌پیچی مجهز به ناحیه اختلاط فلوتی (از نوع مدوک) طراحی آزمایش شـده است. دو متغیر مقدار جزء پراکنده و مقدار سازگارکننده به‌طور هم‌زمان به عنوان متغیرهای مدنظر (ورودی) در محدوده‌های مشخص استفاده شدند.

در بخش خروجی نیز با استفاده از نتایج خواص مکانیکی الیاف آمیخته تولید شده و نایکنواختی این خواص، نمونه بهینه تعیین و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خواص مکانیکی نیز ارائه شـده اسـت. بر اساس این روش، بهترین نمونه با ترکیب درصد اجزای بستر-پراکنده - سازگارکننده به ترتیب ۶۴/۸-۳۱/۷-۳/۵ معین شد و این نتیجه با نتایج مطالعه پیشین مؤلفان درباره اثر اجزای سازنده الیاف آمیخته‌ای بر خواص مکانیکی این الیاف به صورت جزء به جزء (۲۵ نمونه، ۵ سطح جزء پراکنده و در هریک از آنها ۵ سطح از سازگارکننده) مطابقت بسـیار خوبی را نشان می‌دهد. انطباق خوب نحوه تغییرات خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای، حاصل از خروجی روش رویه پاسخ، با نتایج تجربی حاصل از مطالعه هریک از نمونه‌ها، حاکی از کارایی این روش و مدل‌های ارائه شده، در پیش‌بینی خواص مکانیکی الیاف آمیخته‌ای PP/PBT است.

مراجع

1. Utracki L.A., *Polymer Alloys and Blends: Thermodynamics and Rheology,* Hanser, Munich, 1989.
2. Utracki L.A., *Commercial Polymer Blends,* Chemtech, Toronto, 1994.
3. Tavanaie M.A., Shoushtari A.M., Goharpey F., and Mojtahedi M.R.M., Matrix-fibril morphology and structure of polyblend fibers in melt spinning process: A review, *J. Polym. Sci. Techol. (in Persian),* 21, 367-388, 2008.
4. Hersh S.P., *Handbook of Fiber Science and Technology: High Technology Fibers,* Lewin M. and Preston J. (Eds.), III, Part A, Marcel Dekker, New York, 1985.
5. Box G.E.P. and Wilson K.B., On the Experimental Attainment of Optimum Conditions, *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B, Methodol*. 13, 1–45, 1951.
6. Myers R.H. and Montgomery D.C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments,* 2nd ed., John Wiley and Sons, USA, 2002.
7. Box G.E.P., Hunter W.G., and Hunter J.S., *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building,* 1st ed., John Wiley and Sons, USA, 1978.
8. Koksoy O. and Doganaksoy N., Joint optimization of mean and standard deviation using response surface methods, *J. Quality Technol.,* 35, 239–252, 2003.
9. Ghiassi Tarzi B., Ghavami M., Bassiri A., and Bameni Moghadam M., The effect of vacuum frying on the oil quality, *J. Food Technol. Nutrition,* 4, 2-12, 2007.
10. Rajasimman M., Sangeethaa R., and Karthika P., Statistical optimization of process parameters for the extraction of chromium (VI) from pharmaceutical wastewater by emulsion liquid membrane, *Chem. Eng. J.,* 150, 275–279, 2009.
11. Tavares A.P.M., Coelho M.A.Z., Agapito M.S.M., Coutinho J.A.P., and Xavier A.M.R.B. Selection and optimization of culture medium for exopolysaccharide production by Coriolus (Trametes) versicolor, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 21, 1499–1507, 2005.
12. Weuster-Botz D., Experimental design for fermentation media

development: statistical design or global random search, *J. Biosci. Bioeng.*, 90, 473–483, 2000.
13. Tavares A.P.M., Coelho M.A.Z., Agapito M.S.M., Coutinho J.A.P., and Xavier A.M.R.B., Optimization and modeling of laccase production by Trametes versicolor in a bioreactor using statistical experimental design, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 134, 233–248, 2006.
14. Medeiros A.B.P., Pandey A., Freitas R.J.S., Christen P., and Soccol C.R., Optimization of the production of aroma compounds by Kluyveromyces marxianus in solid state fermentation using factorial design and response surface methodology, *Biochem. Eng. J.*, 6, 33–39, 2000.
15. Soo E.L., Salieh A.B., and Basri M., Response surface methodological study on lipase catalyzed synthesis of amino acid surfactants, *Process Biochem.*, 39, 1511–1518, 2004.
16. Wang Y.X. and Lu Z.X., Optimization of processing parameters for the mycelial growth and extracellular polysaccharide production by Boletus spp. ACCC 50328, *Process Biochem.*, 40, 1043–1051, 2005.
17. Yann D., Didier H., and Daniel B., Utilisation of the experimental design methodology to reduce browning defects in hard cheeses technology, *J. Food Eng.*, 68, 481–490, 2005.
18. Khounia I., Marrotb B., and Amara R.B., Decolourization of the reconstituted dye bath effluent by commercial laccase treatment: optimization through response surface methodology, *Chem. Eng. J.*, 156, 121–133, 2010.
19. Gopinath K.P., Muthukumar K., and Velan M., Sonochemical degradation of Congo red: optimization through response surface methodology, *Chem. Eng. J.*, 157, 427–433, 2010.
20. Mohana S., Shrivastava S., Divecha J., and Madamwar D., Response surface methodology for optimization of medium for decolorization of textile dye Direct Black 22 by a novel bacterial consortium, *Bioresource Technol.*, 99, 562–569, 2008.
21. Olmez-Hanci T., Arslan-Alaton I., and Basar G., Multivariate analysis of anionic, cationic and nonionic textile surfactant degradation with the H_2O_2/UV-C process by using the capabilities of response surface methodology, *J. Hazard. Mater.*, 185, 193–203, 2011.
22. Korbahti B.K. and Tanyolac A., Electrochemical treatment of simulated textile wastewater with industrial components and Levafix Blue CA reactive dye: Optimization through response surface methodology, *J. Hazard. Mater.*, 151, 422–431, 2008.
23. Zarei M., Niaei A., Salari D., and Khataee A., Application of response surface methodology for optimization of peroxi-coagulation of textile dye solution using carbon nanotube–PTFE cathode, *J. Hazard. Mater.*, 173, 544–551, 2010.
24. Kasraie H.A., Shoushtari M., Moghaddam A.B., and Tavanaie M.A., Application of experimental design response surface methodology (RSM) in studying and prediction of a simultaneous effects of extrusion temperature and cooling condition on physical and mechanical properties of polypropylene as-spun yarn, *J. Amirkabir Uni. (in Persian),* 29, 89-96, 2009.
25. Tavanaie M.A., PhD Thesis, Amirkabir University of Technology, Textile Engineering Department, Tehran, 2009.
26. White J.L., Coran A.Y., and Moet A., *Polymer Mixing: Technology and Engineening,* Hanser, Munich, 2001.
27. Rauwendaal C., *Polymer Extrusion,* Hanser, Munich, 4th ed., 2001.
28. Han C.D., Lee K.Y., and Wheeler N.C., A study on the Performance of the Maddock mixing head in plasticating single-screw extrusion, *Polym. Eng. Sci.,* 31, 818-830, 1991.
29. Le Roy G., Apparatus for extrusion of thermoplastics, *US Pat. 3486192*, 1969.
30. Gregory R.B. and Street L.F., Extruder screw mixing section, *US Pat. 3411179,* 1968.
31. Maddock B.H., An improved mixing-screw design, *Soc. Polym. Eng. J.*, 23, 23-29, 1967.
32. Tadmor Z. and Klein I., Design of certain fluted mixing sections of extruder screws, *Polym. Eng. Sci.*, 13, 382-389, 1973.

Journal of
Textile Science
and Technology
Vol. 2, No.2, 104-113
Summer 2012
ISSN: 2151-7162

Optimization and Prediction of Mechanical Properties of Polypropylene/Poly(butylene terephthalate) Blend Fibers Using Response Surface Methodology

M.A. Tavanaie[1,*], A.M. Shushtari[2], F. Goharpey[3] and M.B. Moghaddam[4]

1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran
2. Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran
3. Department of Polymer Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran
4. Statistics Group, Department of Economy, Alame-Tabatabaie University, P.O. Box: 14155-8473, Tehran, Iran

Received 2 January 2012; Accepted 29 April 2012

Abstract

Achieving optimal improvements in mechanical properties of blend fibers is the ultimate goals of polymers blending. To obtain the best properties, optimization of polymer blend ratio takes a long time with high cost due to variation of polymeric constituents in blend fibers. In this study, an experimental design is introduced using response surface methodology (RSM). The fractions of matrix, dispersing agents and compatibilizers were selected as input parameters and mechanical properties included elongation-at-break, tenacity, initial modulus, specific work of rupture of blend fibers and their uniformities which were selected as output response. The blend fiber samples were produced in melt spinning process using a screw equipped with Maddock fluted mixing zone. The optimized blend ratio, based on the most desired mechanical properties, and prediction models were obtained by response results of RSM method. The best blend ratio was obtained as 64.8/31.7/3.5 relative to matrix, dispersing agents and compatibilizers of the blend fiber samples, respectively. Furthermore, the results showed good agreements between experimental and model predictions with high correlation coefficients.

Keywords

response surface methodology,
experimental design,
polymer blend fibers,
mechanical properties

(*) Address Correspondence to M.A.Tavanaie, Email: ma.tavanaie@yazduni.ac.ir