JARC

بهبود ویژگی‌های مکانیکی نانوچندسازه پلی‌استایرن- مونت‌موریلونیت با طراحی بهینه عامل‌های مؤثر در سنتز به روش تاگوچی

سحر عیسی زاده[۱] و مریم فربودی[۲و*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- استادیار شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

دریافت: مرداد ۱۳۹۶، بازنگری: شهریور ۱۳۹۶، پذیرش: مهر ۱۳۹۶

چکیده: در این پژوهش، باهدف بهبود ویژگی‌های مکانیکی پلی‌استایرن (PS)، نانوصفحات مونت‌موریلونیت (MMT) به‌عنوان عامل تقویت‌کننده انتخاب شد. نانوچندسازه پلی‌استایرن- مونت‌موریلونیت (PS-MMT) از طریق اختلاط نانوصفحات مونت‌موریلونیت با محلول پلی استایرن تهیه شد. روش طراحی آزمایش تاگوچی برای تعیین شرایط بهینه تهیه نانوچندسازه مورداستفاده قرار گرفت. اثر ۵ عامل (درصد مونت‌موریلونیت، نوع حلال، نوع پلی‌استایرن، دمای خشک شدن فیلم و مدت‌زمان هم‌زدن پس از افزودن مونت‌موریلونیت) در سطوح متفاوت بررسی شد. حالت بهینه با به‌کارگیری روش تجزیه نشانک به نوفه (S/N) تعیین شد. مشخص شد بیشترین و کمترین سهم، به ترتیب متعلق به عامل‌های نوع پلی‌استایرن و نوع حلال است. در روش S/N، تمام عامل‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار هستند. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به سامانه پراش پرتو ایکس بر اساس پاشش انرژی (EDX) برای مشخص کردن ترکیب و ساختار نانوچندسازه تهیه‌شده در حالت بهینه مورداستفاده قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: نانوچندسازه، پلی‌استایرن، مونت‌موریلونیت، تاگوچی

مقدمه

بسپارهای صنعتی و از جمله پلی‌استایرن با داشتن مزایایی چون ارزانی، قابلیت فراورش، سبکی و غیره کاربردهای وسیعی در زمینه‌های متفاوت دارند. با این وجود، ویژگی‌های مکانیکی ضعیف این مواد مانع به‌کارگیری آن‌ها در زمینه‌هایی می‌شود که نیازمند موادی با ویژگی‌های مکانیکی بالا هستند. با وجود کارایی قابل‌قبول فناوری چندسازه در تهیه مواد با ویژگی‌های بهبودیافته، در اغلب موارد مواد چندسازه‌ای تهیه‌شده نیز نمی‌توانند پاسخگوی نیازهای صنعتی به‌ویژه ازنظر تأمین ویژگی‌های مکانیکی مطلوب باشند. در سال‌های اخیر پژوهشگران دریافته‌اند که چنانچه مواد در مقیاس‌های کوچک‌تر تهیه شود، پیوندهایی که ماده با ابعاد کوچک (نانو) با فازهای اطراف خود برقرار می‌کند، به‌مراتب قوی‌تر از مقیاس‌های بزرگ‌تر است. بر این اساس شاخه جدیدی از چندسازه به نام نانوچندسازه‌ها، معرفی و توسعه‌یافته‌اند [۱ و ۲].

در نانوچندسازه‌های پایه بسپاری اجزائی با طبیعت معدنی و اندازه‌هایی در ابعاد نانو و با ساختارهای متفاوت به‌عنوان جز تقویت‌کننده با درصد وزنی خیلی کم (بیشتر کمتر از ۶٪ وزنی) در بستر بسپاری مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، نانو چندسازه‌های

*عهده‌دار مکاتبات: m.farbodi@iaut.ac.ir

بسپاری که ترکیبات هیبریدی آلی- معدنی بشمار می‌روند، به‌دلیل داشتن ویژگی‌های ترکیبات آلی و ویژگی‌های ترکیبات معدنی در کنار هم به‌شدت موردتوجه پژوهشگران هستند. برای مثال، تهیه نانوچندسازه بسپارهایی چون پلی‌وینیل کلراید، پلی‌استایرن و غیره با نانوساختارهایی چون نانولوله کربنی، نقره، تیتانیم دی‌اکسید و مونت‌موریلونیت گزارش شده است [۳ تا ۶].

از میان این نانوساختارها، مونت‌موریلونیت که افزون بر ارزانی و در دسترس‌بودن، باعث بهبود چشمگیر ویژگی‌هایی مانند استحکام کششی، پایداری گرمایی، مقاومت شیمیایی، نفوذناپذیری در برابر گازها، کاهش اشتعال‌پذیری و غیره می‌شود، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۷ تا ۹].

گزارش‌های بسیاری در زمینه تهیه نانوچندسازه پلی استایرن-مونت‌موریلونیت به روش‌های متفاوت و باهدف بهبود خواص فراورده موردنظر وجود دارد. برای مثال، ونگ[1] و همکارانش نانوچندسازه پلی استایرن-خاک‌رس اصلاح‌شده با استیبنیم[2] را تهیه کردند و مقاومت دمایی آن را با نانوچندسازه پلی استایرن-خاک‌رس آمونیومی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که نانوچندسازه به‌دست آمده، از مقاومت گرمایی بالاتری نسبت به نانوچندسازه پلی‌استایرن-خاک‌رس آمونیومی برخوردار است [۱۰]. برا[3] و همکارانش نانوچندسازه پلی استایرن-سیلیکا را به روش اختلاط محلول تهیه‌کرده و ویژگی‌های دمایی آن را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که دمای انتقال شیشه‌ای با افزایش در صد نانوذره سیلیکا افزایش می‌یابد و بیشترین مقاومت دمایی نانوچندسازه با ۱۸ درصد سیلیکا به‌دست می‌آید [۱۱]. یانکالا[4] و همکارانش نانوچندسازه پلی استایرن-مونت‌موریلونیت را تهیه و فرایند را به روش طراحی آزمایش بهینه کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نانوچندسازه ساخته‌شده ساختار ورقه ورقه‌ای داشته و دمای تخریب بیشتری را در مقایسه با پلی‌استایرن خالص نشان داد [۱۲].

مطالعات نشان می‌دهد تعیین شرایط بهینه از طریق بررسی تأثیر عامل‌های مؤثر بر روی ویژگی‌های نانوچندسازه تهیه‌شده بخش اعظم کار پژوهشی را به خود اختصاص می‌دهد [۱۳و۱۴]. در سال‌های اخیر استفاده از طراحی آزمایش به روش تاگوچی با قابلیت کاهش تعداد آزمایش‌های موردنیاز (از راه ترکیب متغیرها و بررسی همزمان اثر آن‌ها) به‌دلیل صرفه‌جویی در وقت و هزینه نسبت به روش فاکتوریل کامل، ترجیح داده می‌شود [۱۵و۱۶].

در بررسی‌های انجام‌شده هیچ گزارشی در مورد به‌کارگیری روش طراحی آزمایش تاگوچی برای بهینه‌سازی متغیرهای مؤثر برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی و پایداری گرمایی نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت موریلونیت یافت نشد. بنابراین، در کار پژوهشی حاضر با توجه به رقابت شدید صنایع، برای تولید فراورده‌هایی باکیفیت مطلوب و قیمت پایین، تهیه نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت‌موریلونیت با به‌کارگیری روش تاگوچی برای بهینه‌سازی عامل‌های مؤثر بر ویژگی‌های مکانیکی، با به‌کارگیری نسبت نشانک به نوفه[5] (S/N) انجام شده است.

بخش تجربی

مواد شیمیایی

تتراهیدروفوران (THF)، ساخت شرکت سیگما آلدریچ با خلوص ۹۹ درصد، پلی‌استایرن گرید GPPS1540 (نوع ۱) و گرید GPPS1460 (نوع ۲) ساخت پتروشیمی تبریز، کلروفرم و تولوئن ساخت شرکت مرک، نانوخاکرس اصلاح‌شده نوع مونتموریلونیت با نام تجاری closite 30B ساخت شرکت Product Southern Clay آمریکا در کار پژوهشی مورداستفاده قرار گرفته است.

دستگاه‌ها و تجهیزات

برای ثبت طیف‌های FTIR از دستگاه طیف‌نورسنج مدل Tensor27-Bruker استفاده شد. آنالیز ترموگراویمتری برای نمونه‌ها با دستگاه TGA مدل PL-TGA شرکت Polymer Laboratories آلمان انجام شد. برای ثبت منحنی‌های تنش -کرنش از دستگاه کشش مدل Zwick/Roell-ASTM 638، ساخت کشور آلمان استفاده شد. برای پخش مونت‌موریلونیت در محلول پلی‌استایرن

1. Dongyan Wang 2. Stibonium 3. O. Bera 4. S. Erdm Yalgnkaya 5. Signal to noise

از حمام فراصوت مدل Lbs2 شرکت FALC استفاده شد. برای مطالعه ریخت‌شناسی سطح نانوچندسازه، میکروسکوپ الکترون روبشی مدل MIRA3 FEG-SEM ساخت کمپانی Tescan کشور چک مورداستفاده قرار گرفت. این دستگاه مجهز به سامانه پراش پرتو ایکس بر اساس پاشش انرژی (EDX) بود و برای تعیین نوع و مقدار درصد عناصر و همچنین، توزیع عناصر تشکیل‌دهنده در یک نقطه نانوچندسازه مورداستفاده قرار گرفت.

طراحی آزمایش

در این پژوهش به‌منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی پلی‌استایرن از طریق تهیه نانوچندسازه آن با مونت‌موریلونیت، بررسی اثر ۵ عامل، نوع حلال (A) در سه سطح، درصد وزنی مونت‌موریلونیت (B) در سه سطح، نوع پلی‌استایرن (C) در دو سطح (۱ یا ۲)، دمای خشک‌شدن فیلم (D) در دو سطح، مدت هم‌زدن پس از افزودن مونت‌موریلونیت (E) در دو سطح طبق جدول ۱ در دستور کار قرارگرفت.

با توجه به متغیرها و سطوح انتخاب‌شده، آرایه اورتوگونال L۱۶ برای طراحی این آزمایش طبق جدول ۲ انتخاب شد. با توجه به آرایه اورتوگونال انتخاب‌شده، آزمایش‌ها مطابق با چیدمان آرایه انجام و نتایج جمع‌آوری شد. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست آمده از نسخه DEMO نرم‌افزار (Qualitek 4version 7.2.0) استفاده شده است. در روش طراحی آزمایش تاگوچی از نسبت نشانک به نوفه (S/N) برای تعیین بهترین شرایط آزمایش استفاده می‌شود. نظر به این‌که هدف این مطالعه، تعیین شرایط تهیه نانوچندسازه پلی‌استایرن–مونت‌موریلونیت با ویژگی‌های مکانیکی بهتر بود، از معادله‌ی تعیین‌کننده‌ی نسبت S/N (هر چه بزرگ‌تر– بهتر) استفاده شد. در این حالت مقدار نسبت $(S/N)_i$ برای آزمایش i ام به‌صورت معادله‌ی ۱ نشان داده می‌شود.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = -10Log\left(\frac{1}{n}\sum_i\left(\frac{1}{y_i^2}\right)\right) \qquad (۱)$$

که n و y_i در معادله‌ی فوق به ترتیب معرف تعداد آزمایش‌ها و مقدار پاسخ موردنظر فرآیند در آزمایش i ام هستند. با توجه به آرایه اورتوگونال انتخاب‌شده، آزمایش‌ها مطابق با چیدمان آرایه انجام و نتایج جمع‌آوری می‌شود. برای تجزیه‌وتحلیل نتایج ضروری است اثر اصلی هر یک از عامل‌ها در تمامی سطوح تعیین شوند. برای مثال، مطابق معادله‌ی ۲، اثر اصلی عامل A برابر است با:

$$\bar{A}_L = \frac{\sum Y_i}{N} \qquad (۲)$$

که در آن Y_i مقدار پاسخ در آزمایش i ام در سطح L و N تعداد پاسخ‌هاست. از تفاوت قدر مطلق کمترین و بیشترین تأثیر هر عامل، عاملی که بیشترین سهم را دارد مشخص می‌شود.

در روش تاگوچی برای تحلیل نتایج از آنالیز واریانس استفاده می‌شود که در آن، بسیاری از کمیت‌ها مانند درجه آزادی، مجموع مربعات، میانگین مربعات و غیره به شکل یک جدول استاندارد اندازه‌گیری و طبقه‌بندی می‌شود. این کمیت‌ها و روابط مابین

جدول ۱ متغیرها و سطوح آن‌ها در طراحی آزمایش

تعداد عامل‌ها	عامل‌ها	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
۱	نوع حلال (A)	تولوئن	THF	کلروفرم
۲	درصد مونت‌موریلونیت (B)	٪۱	٪۳	٪۵
۳	نوع پلی‌استایرن (C)	۱	۲	-
۴	دمای خشک شدن فیلم (D)	۲۵°C	۵۰°C	-
۵	مدت‌زمان هم‌زدن پس از افزودن مونت‌موریلونیت (E)	۱ ساعت	۲ ساعت	-

آن‌ها، به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۷].

مجموع مربعات عامل A(SA) با معادله ۳ محاسبه می‌شود. در این معادله Y_{An} و N_{An} به ترتیب مقدار پاسخ و تعداد آزمایش‌هایی است که در آن عامل A در n امین سطح خود قرار دارد. تابع تصحیح CF بر اساس معادله ۴ محاسبه می‌شود که در آن N تعداد کل آزمایش‌ها مطابق آرایه اورتوگونال و Y_i مقدار پاسخ در i امین آزمایش است.

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_{A1}} Y_{A1}^2}{N_{A1}} + \frac{\sum_{i=1}^{N_{A2}} Y_{A2}^2}{N_{A2}} + \cdots + CF \quad (۳)$$

$$CF = \frac{\sum_{i=1}^{N} Y_i}{N} \quad (۴)$$

با در نظر گرفتن f_A به‌عنوان درجه آزادی عامل A، واریانس عامل $A(V_A)$ با معادله ۵ به‌دست می‌آید.

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} \quad (۵)$$

بنابراین، درصد مشارکت عامل $A(P_A)$ با استفاده از معادله‌های ۶، ۷ و ۸ قابل‌محاسبه است. در این معادله‌ها V_e واریانس خطا و میانگین پاسخ است.

جدول ۲ آرایه اورتوگونال L۱۶

شماره آزمایش	عامل‌ها				
	A	B	C	D	E
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۱	۱	۱
۳	۱	۳	۲	۲	۲
۴	۱	۱	۲	۲	۲
۵	۲	۱	۱	۲	۲
۶	۲	۲	۱	۲	۲
۷	۲	۳	۲	۱	۱
۸	۲	۱	۲	۱	۱
۹	۳	۱	۲	۱	۲
۱۰	۳	۲	۲	۱	۲
۱۱	۳	۳	۱	۲	۱
۱۲	۳	۱	۱	۲	۱
۱۳	۱	۱	۲	۲	۱
۱۴	۱	۲	۲	۲	۱
۱۵	۱	۳	۱	۱	۲
۱۶	۱	۱	۱	۱	۲

$$P_A(\%) = \frac{S_{A'}}{S_T} \quad (۶)$$

$$S_{A'} = S_A - (V_e \times f_A) \quad (۷)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^{N}(Y_i - \bar{Y}) \quad (۸)$$

نسبت واریانس (ضریب فیشر) F_A که برای بررسی معنی‌داربودن اثر عامل‌ها استفاده می‌شود نیز بر اساس معادله ۹ به‌دست می‌آید.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (۹)$$

روش تهیه نانو چندسازه

برای تهیه نانوچندسازه از روش محلول استفاده شده، به این منظور مقدار ثابت ۰٫۶ گرم پلی‌استایرن (۱ یا ۲) در ۴۰ میلی‌لیتر حلال حل شد. سپس مونت‌موریلونیت به محلول پلی‌استایرن افزوده شد و به مدت مشخص (۱ یا ۲ ساعت) با همزن مغناطیسی هم‌زده شد. در ادامه برای پخش مونت‌موریلونیت در محلول پلی‌استایرن از حمام فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد.

روش تهیه فیلم‌های بسپاری

به‌منظور تهیه فیلم‌های بسپاری (فیلم پلی‌استایرن خالص و فیلم‌های نانوچندسازه‌ای)، محلول موردنظر تهیه‌شده را روی یک صفحه ۱۰ سانتی‌متری ریخته و در دمای مشخص (۲۵ یا ۵۰ °C) خشک شد و در نهایت فیلم جامد تشکیل‌شده به‌آرامی از سطح شیشه جدا شد. لازم به ذکر است که تهیه محلول خالص پلی‌استایرن مطابق روش یادشده در غیاب مونت‌موریلونیت انجام گرفت.

بررسی خواص مکانیکی

روش مورداستفاده برای مطالعه ویژگی‌های مکانیکی از یک روش استاندارد با شماره ASTM (D - 638) اتخاذ شده است. نمونه‌هایی از فیلم‌های تهیه‌شده مطابق روش یادشده با ابعاد ۵×۱ سانتی‌متر به‌دقت تهیه و به گیره‌های ثابت و متحرک دستگاه کشش وصل شد به‌طوری‌که ۳ سانتی‌متر از نمونه‌ها در بین دو گیره قرار گرفته باشد. سپس گیره متحرک با سرعت ثابت

۱۰ mm/min در دمای محیط کشیده شد تا نمونه‌ها به نقطه پارگی برسند. آزمون کشش برای هر نمونه دو بار تکرار و داده‌ها ثبت شد.

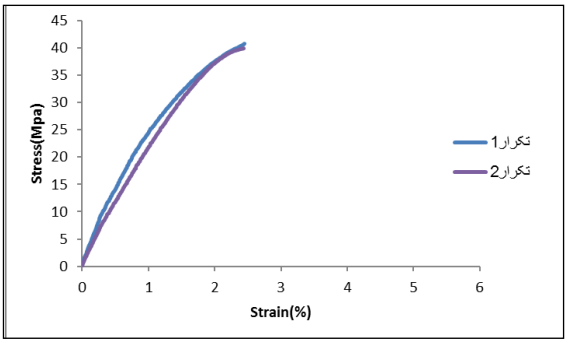
نتیجه‌ها و بحث

نتایج بررسی خواص

از داده‌های به‌دست آمده، منحنی‌های تنش کرنش رسم و مقادیر استحکام کششی برای هریک از فیلم‌ها استخراج و در جدول ۳ جمع‌آوری شد. مطابق این جدول، فیلم آزمایش شماره ۱۰ با دارا بودن بیشترین استحکام کششی نسبت به سایر فیلم‌ها از خواص مکانیکی بهتری برخوردار است. در شکل (۱) منحنی‌های تنش کرنش برای این فیلم با دو بار تکرار نشان داده شده است.

جدول ۳ استحکام کششی نمونه‌ها برای دو بار تکرار و نسبت S/N برای هریک از آزمایش‌ها

شماره نمونه	استحکام کششی (MPa) (تکرار اول)	استحکام کششی (MPa) (تکرار دوم)	S/N
۱	۳۱	۳۰	۲۹٫۶۸۲
۲	۳۳	۳۳	۳۰٫۳۷۰
۳	۳۶	۳۷	۳۱٫۲۴۳
۴	۳۵	۳۴	۳۰٫۷۵۳
۵	۳۰	۳۰	۲۹٫۵۴۲
۶	۳۲	۳۱	۲۹٫۹۶۲
۷	۳۵	۳۷	۳۱٫۱۱۵
۸	۳۵	۳۷	۳۱٫۱۱۵
۹	۳۸	۴۱	۳۱٫۹۱۳
۱۰	۴۳	۴۳	۳۲٫۶۶۹
۱۱	۳۲	۳۱	۲۹٫۹۶۲
۱۲	۳۰	۳۱	۲۹٫۶۸۲
۱۳	۳۳	۳۳	۳۰٫۳۷۰
۱۴	۳۵	۳۴	۳۰٫۷۵۳
۱۵	۳۳	۳۲	۳۰٫۲۳۴
۱۶	۳۰	۲۹	۲۹٫۳۹۲



شکل ۱ منحنی‌های تنش کرنش نانوچندسازه پلی‌استایرن–مونت‌موریلونیت ۳ درصد وزنی (نمونه ۱۰) با دو بار تکرار

روش S/N برای تجزیه داده‌ها

مقادیر (S/N) با توجه به معادله (۱) برای هر یک از ۱۶ آزمایش محاسبه شد، که در جدول ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به مقادیر محاسبه‌شده برای نسبت (S/N)، آزمایش شماره ۱۰ بیشترین نسبت (S/N) را دارد که نشان می‌دهد داده‌های این آزمایش نسبت به ۱۵ آزمایش دیگر از پراکندگی کمتری برخوردار است. هرچه نسبت (S/N) بیشتر باشد بهتر است، چون هدف افزایش استحکام کششی نمونه است.

بررسی اثر اصلی عامل‌ها

مطابق معادله ۲ اثر اصلی عامل‌ها در ۳ سطح برای عامل‌های A و B و در ۲ سطح برای عامل‌های C، D و E محاسبه شد که مقادیر آن در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به مقادیر تفاوت، (L_2-L_1) (با در نظر گرفتن قدر مطلق اعداد) در این جدول، ترتیب سهم عامل‌ها به‌صورت C>B>D>E>A است. به‌بیان‌دیگر، سهم اثر عامل C از همه بیشتر و سهم اثر عامل A از همه کمتر است.

همچنین، با استفاده از جدول فوق سطح بهینه عامل‌ها بر اساس نوع پاسخ مشخص می‌شود و چون پاسخ‌ها از نوع بیشتر، بهتر هستند، بنابراین هر ستونی که از بین L_1 و L_2 برای عامل‌های دوسطحی و از بین L_1 و L_2 و L_3 برای عامل ۳ سطحی، عدد بزرگ‌تری داشته باشد، سطح بهینه عامل خواهد بود. بنابراین،

شرایط بهینه به‌صورت $A_3B_2C_2D_1E_2$ است که در جدول ۵ آورده شده است و درواقع همان شرایط فیلم شماره ۱۰ مطابق جدول آرایه اورتوگونال (جدول ۲) است. در شکل ۲ نیز اثر اصلی عامل‌ها نسبت به سطوح آن‌ها رسم شده است. از این نمودارها نیز شرایط بهینه $A_3B_2C_2D_1E_2$ به‌راحتی قابل‌استخراج است.

جدول ۴ اثر اصلی عامل‌ها در سطوح مربوط

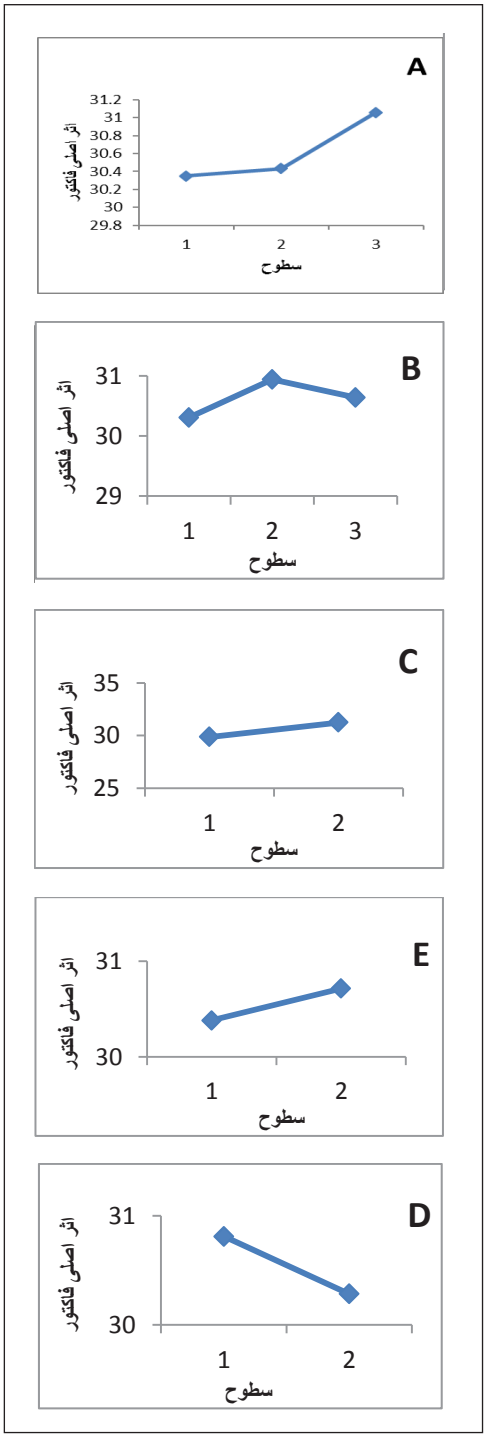
عامل‌ها	سطح ۱ (L_1)	سطح ۲ (L_2)	سطح ۳ (L_3)	L_2- L_1
A	۳۰٫۳۵۰	۳۰٫۴۳۴	۳۱٫۰۵۶	۰٫۰۸۳
B	۳۰٫۳۰۶	۳۰٫۹۳۹	۳۰٫۶۳۹	۰٫۶۳۲
C	۲۹٫۸۵۳	۳۱٫۲۴۱		۱٫۳۸۷
D	۳۰٫۸۱۱	۳۰٫۲۸۳		-۰٫۵۲۸
E	۳۰٫۳۸۱	۳۰٫۷۱۴		۰٫۳۳۲

جدول ۵ تعیین شرایط بهینه در روش تجزیه (S/N)

عامل‌ها	شرح سطوح	سطح‌ها
A	کلروفرم	۳
B	٪۳	۲
C	GPPS1460	۲
D	۲۵°C	۱
E	۲	۲

تجزیه واریانس

به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن اثر عامل‌های موردبررسی و تعیین درصد مشارکت آن‌ها در توزیع پراکندگی پاسخ‌ها، از روش تجزیه واریانس استفاده شد که محاسبات مربوط با استفاده از معادله‌های ۳ تا ۹ انجام و در جدول ۶ آورده شده است. مطابق مقادیر به‌دست آمده در این ستون مجموع مربعات عامل E از ۱۰٪ بزرگ‌ترین مجموع مربعات (۷٫۷۰۸ مربوط به عامل C) کمتر است. بنابراین، این عامل حذف و درجه آزادی آن به خطا افزوده شد. بر این اساس محاسبات جدول واریانس دوباره انجام شد که نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ تحت عنوان تجزیه واریانس ادغام‌شده، آورده شده است.



شکل ۲ نمودارهای اثر اصلی عامل‌های D,C,B,A و E نسبت به سطوح آن‌ها در روش S/N

جدول ۶ تجزیه واریانس در روش S/N

عامل‌ها	درجه آزادی (f)	مجموع مربعات (S)	واریانس (V)	نسبت واریانس (F)	مجموع مربعات خالص (S´)	درصد مشارکت (P)
A	۲	۱٫۴۰۲	۰٫۷۰۱	۱۱٫۵۵۱	۱٫۲۸۱	۱۰٫۴۴۵
B	۲	۱٫۱۱۲	۰٫۵۵۶	۹٫۱۵۸	۰٫۹۹	۸٫۰۷۶
C	۱	۷٫۷۰۸	۷٫۷۰۸	۱۲۶٫۹۵۵	۷٫۶۴۷	۶۲٫۳۴۰
D	۱	۱٫۱۱۵	۱٫۱۱۵	۱۸٫۳۷۵	۱٫۰۵۴	۸٫۵۹۹
E	۱	۰٫۴۴۲	۰٫۴۴۲	۷٫۲۹۲	۰٫۳۸۲	۳٫۱۱۴
خطا	۸	۰٫۴۸۵	۰٫۰۶۰			۷٫۴۲۶
کل آزمایش	۱۵	۱۲٫۲۶۷				٪۱۰۰

جدول ۷ تجزیه واریانس ادغام‌شده در روش S/N

عامل‌ها	درجه آزادی (f)	مجموع مربعات (S)	واریانس (V)	نسبت واریانس (F)	مجموع مربعات خالص (S´)	درصد مشارکت (P)
A	۲	۱/۴۰۲	۰٫۷۰۱	۶٫۷۹۸	۱٫۱۹۶	۹٫۷۵۳
B	۲	۱/۱۱۲	۰٫۵۵۶	۵٫۳۹	۰٫۹۰۵	۷٫۳۸۴
C	۱	۷٫۷۰۸	۷٫۷۰۸	۷۴٫۷۱۷	۷٫۶۰۵	۶۱٫۹۹۶
D	۱	۱٫۱۱۵	۱٫۱۱۵	۱۰٫۸۱۴	۱٫۰۱۲	۸٫۲۵۳
E	(۱)	(۰٫۴۴۲)	حذف	حذف	-----	-----
خطا	۹	۰٫۹۲۸	۰٫۱۰۳			۱۲٫۶۱۴
کل آزمایش	۱۵	۱۲٫۲۶۷				٪۱۰۰

بررسی معنی‌داری اثر عامل‌ها

مقادیر نسبت واریانس (F) با توجه به معادله ۹ برای تک‌تک عامل‌ها در جدول ۶ آورده شده است. این مقادیر با مقادیر نسبت واریانس استخراج‌شده از جدول‌های استاندارد، ضرایب فیشر در سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه و معنی‌داربودن اثر عامل‌ها مشخص شد.

$F_{0.95,1,8} = 5.3$ و $F_{0.95,2,8}=4.45$، مقادیر نسبت واریانس استخراج‌شده از جدول‌های فیشر هستند که در زیرنویس F، نخستین عدد از سمت چپ درصد اطمینان، عدد دوم درجه آزادی عامل و عدد سوم، درجه آزادی خطا را نشان می‌دهد. چون مقادیر محاسبه‌شده در جدول ۶ برای تمام عامل‌ها از مقادیر استخراج‌شده از جدول فیشر بزرگ‌تر هستند پس اثر تمام عامل‌ها بامعنی است. در سطح اطمینان ۹۹٪ نیز $F_{0.99,1,8} = 11.25$ و $F_{0.99,2,8}=8.64$ اثر تمام عامل‌ها غیر از عامل E بامعنی است.

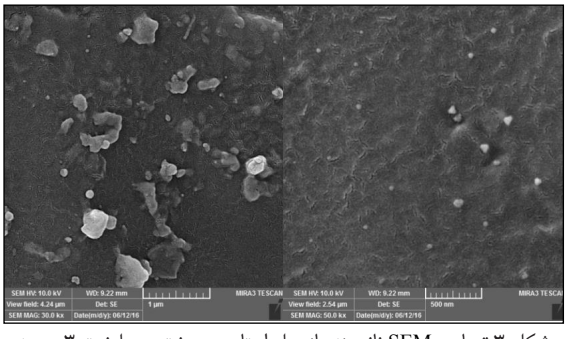
مقایسه نسبت واریانس محاسبه‌شده در جدول با مقادیر استخراج‌شده از جدول فیشر در سطح اطمینان ۹۵٪ $F_{0.95,1,8} = 5.32$ و $F_{0.95,2,8}=4.45$ و در سطح اطمینان ۹۹٪ $F_{0.99,1,8} = 11.25$ و $F_{0.99,2,8}=8.64$ نشان می‌دهد اثر هر چهار عامل معنی‌دار است. همچنین، با حذف عامل E شرایط بهینه به‌صورت $A_3B_2C_2D_1$ درمی‌آید.

درصد مشارکت عامل‌ها

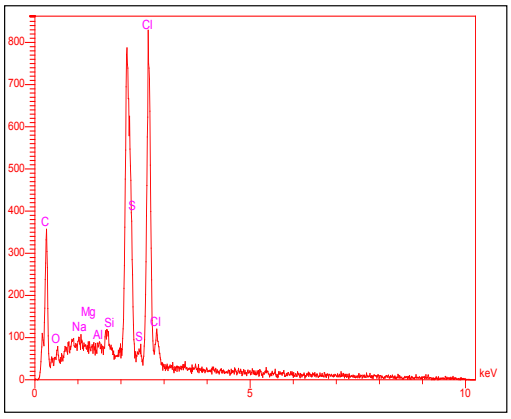
از عامل درصد مشارکت عامل‌ها (جدول ۶)، درواقع درصد سهم عامل‌ها در توزیع پراکندگی پاسخ مشخص می‌شود. با توجه به این ستون، سهم مربوط به خطا در آزمایش کم (۷٫۴۲۶٪) است. بنابراین، طراحی آزمایش قابل‌قبول است و نشان می‌دهد که در طراحی آزمایش عامل مهمی، نادیده گرفته نشده است. مطابق این ستون درصد مشارکت عامل‌ها به‌صورت C >A>D>B>E است. در جدول تجزیه واریانس ادغام‌شده (جدول ۷) نیز وضعیت به همین ترتیب است.

بررسی نتایج تصاویر SEM

در شکل ۳، تصاویر SEM برای نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت‌موریلونیت با ۳ درصد وزنی مونت‌موریلونیت نشان داده شده است. با توجه به تصاویر ثبت‌شده، نانوساختارهای مونت‌موریلونیت در زمینه پلی‌استایرن پخش‌شده و به‌صورت نقاط سفید در ساختار سطحی نانوچندسازه قابل‌مشاهده است. در بررسی EDX در شکل ۴ نیز مقدار عناصر کربن، اکسیژن، سیلیکون، سدیم و سایر عناصر موجود در نانوچندسازه پلی استایرن-مونت‌موریلونیت نشان داده شده و مقدار درصد هر یک از این عناصر در جدول ۸ آمده است. همچنین، توزیع عناصر تشکیل‌دهنده در یک نقطه نانوچندسازه در شکل ۵ آمده است که نشان می‌دهد عناصر موجود در نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت‌موریلونیت به‌طور یکنواخت با درصدهای متفاوت در نانوچندسازه وجود دارند.



شکل ۳ تصاویر SEM نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت موریلونیت ۳ درصد وزنی در بزرگنمایی ۵۰۰ نانومتر و یک میکرومتر



شکل ۴ عناصر موجود در نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت موریلونیت

جدول ۸ مقدار عناصر موجود در نانوچندسازه پلی‌استایرن-مونت‌موریلونیت

عناصر	مقدار (٪)
کربن	۶۸٫۳۱
اکسیژن	۹٫۶۱
سدیم	۰٫۷۴
منیزیم	۰٫۳۸
آلومینیم	۰/۴۰
سیلیکون	۱٫۱۴
گوگرد	۱٫۶۹
کلر	۱۷٫۷۴

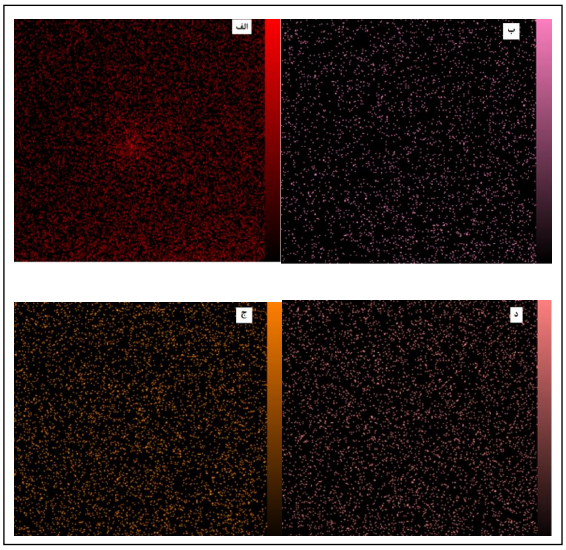
نتیجه گیری

به‌منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی PS تهیه نانوچندسازه‌های پلی استایرن-مونت‌موریلونیت با در نظر گرفتن تأثیر ۵ عامل (درصد مونت‌موریلونیت، نوع حلال، نوع پلی‌استایرن، دمای خشک‌شدن فیلم، مدت‌زمان هم‌زدن پس از افزودن مونت‌موریلونیت) در سطوح متفاوت با استفاده از روش تاگوچی و مطابق با آرایه اورتوگونال L_{16} انجام گرفت.

ویژگی‌های مکانیکی نانوچندسازه تهیه‌شده بررسی و مقادیر به‌دست آمده برای استحکام کششی (دو بار تکرار) فیلم‌های نانوچندسازه‌ای به‌عنوان نتایج مورداستفاده برای تجزیه تحلیل

داده‌ها با استفاده از روش S/N مورداستفاده قرار گرفت و حالت بهینه با شرایط (درصد مونت‌موریلونیت: ۳٪، نوع حلال: کلروفرم، نوع پلی‌استایرن: GPPS1460، دمای خشک شدن فیلم: ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مدت‌زمان هم‌زدن پس از افزودن مونت‌موریلونیت: ۲ ساعت) به‌دست آمد. بررسی معنی‌داربودن اثر عامل‌ها نشان داد در روش S/N تمامی عامل‌ها معنی‌دار بوده است.

تصاویر SEM ثبت‌شده برای نانو چندسازه حالت بهینه، تحلیل EDX برای تعیین مقدار عناصر کربن، اکسیژن و سیلیکون موجود در نانوچندسازه و همچنین، نحوه توزیع این عناصر در نانوچندسازه مشخص کرد که ذرات سیلیکون یا به‌عبارت‌دیگر مونت‌موریلونیت به‌خوبی در تمام منطقه سطح فیلم توزیع‌شده و به‌صورت نقاط درخشان دیده می‌شوند.



شکل ۵ توزیع عناصر موجود در نانوچندسازه پلی استایرن–مونت موریلونیت
(الف) کربن، (ب) اکسیژن، (ج) سیلیکون و (د) سدیم

مراجع

[1] Vacaman, M.; Redon, L.; Mater. Sci. 273, 223-227, 1995.

[2] Ritther, M.N.; Cer. Soc. Bull. 76, 51-54, 1997.

[3] Kazukauskas, V.; Kalendra, V.; Bumby, C. W.; Ludbrook, B.M.; Kaiser, A.B.; Phys. Stat. Sol. C. 5, 3172-3174, 2008.

[4] Dwivedi, P.; Narvi, S.S.; Tewari, R.P.; IJSRP; 2, 1-5, 2012.

[5] Sokhandani, P.; Babaluo, A.A.; Rezaei, M.; Shahrezaei, M.; Hasanzadeh, A.; Mehmandoust, S.G.; et al.; JAPS; 129, 3265–3272, 2013.

[6] Pagacz, J.; Pielichowski, K.; J Vinyl. Addit. Techno. 15, 61–76, 2009.

[7] Sarfraz, A.; Warsi, M.; Sarwar, M.; Ishaq, M.; Bull. Mater. Sci.; 35, 539-544, 2012.

[8] Gong, F.; Feng, M.; Zhao, C.; Zhang, S.; Yang, M.; Polym. Degrad. Stab. 84, 289-294, 2004.

[9] Gong, F.; Feng, M.; Zhao, C.; Zhang, S.; Yang, M.; Polym. Test. 23, 847–853, 2004.

[10] Wang, D.; Wilkie, C.A.; Polym. Degrad. Stab. 82, 309–315, 2003.

[11] Beraa, O.; Pili´ca, B.; Pavli cevi´ca, J.; Jovi˘ci´ca, M.; Hollób, B.; Mészáros Szécsényib, K.; et al.; Thermochim Ata. 515, 1–5, 2011.

[12] Erdem Yalk, S.; Turk, J.; Chemo. 34, 581 – 592, 2010.

[13] Sudarisman, D.I.; J. Mater. Sci. Eng. A. 498, 65–68, 2008.

[14] Xiong, W.Y.; Yu, C.; Wen, D.J.; Compos. Sci. Technol. 65, 1769–1779, 2005.

[15] Mahapatra, S.S.; Patnaik, A.; Materials & Design. 30, 2791-2801, 2009.

[16] Canel, T.; Kaya, A.U.; Çelik, B.; Opt. Laser Technol. 44, 2347-2353, 2012.

[17] Hakimian, E.; Sulong, A. B.; Materials & Design. 42, 62-71, 2012.

[18] Nourbakhsh, A.; Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 28, 435-450, 2013.

[19] Zahedi, M.; Tabarsa, T.; Madhoushi, M.; Shakeri, A.R.; J. of Wood & Forest Science and Technology. 20, 95-110, 2013.

JARC

Improving mechanical properties of polystyrene-montmorillonite nanocomposite using optimal parameter design by Taguchi method

S. Isazadeh[1] and M. Farbodi[2,*]

1. MSc student in Applied Chemistry, Department of Chemistry, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. Associate Prof. of Applied Chemistry, Department of Chemistry, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Recieved: August 2017, Revised: September 2017, Accepted: October 2017

Abstract: In this research, with the aim of improving mechanical properties of polystyrene (PS), montmorillonite (MMT) nanosheets were selected as reinforcing agent. PS-MMT nanocomposite was prepared by dispersing MMT nanosheets in a PS solution. Taguchi experimental design method was used to determine the optimal conditions for preparation of nano composite. The effects of five factors including MMT percentage, type of solvent, type of polystyrene, film drying temperature, and stirring time were investigated in different levels. Optimal conditions were determined by using of the signal/noise (S/N) method. It was distinguished that the highest and lowest effects belong to polystyrene type and solvent type, respectively. In S/N method, all factors are significant in the confidence level of 95%. Scanning electron microscopy (SEM) coupled with an energy dispersive X-ray system (EDX) was used to characterize the composition and structure of nanocomposite film prepared in optimal condition.

Keywords: Nanocomposite, Polystyrene, Montmorillonite, Taguchi

*Corresponding author Email: m.farbodi@iaut.ac.ir