

مطالعه اثر همزمان افزودنیهای پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید و MDBS بر دمای تبلور و شفافیت پلی پروپیلن با روش تاگوچی

Study of Synchronous Effect of PP-g-MA and MDBS Additives on Crystallization Temperature and Transparency of PP by Taguchi Method

محمدعلی سبزیعلی ناصری، عبدالرسول ارومیه ای*، محمد رضوی نوری

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۳/۱۲/۱۸، پذیرش: ۸۴/۶/۸

چکیده

در این پژوهش، اثر همزمان پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید و دی پارا متیل دی بنزیلیدن سوربیتول (MDBS) به عنوان عامل هسته‌زا - شفاف‌کننده روی پلی پروپیلن بررسی شده است. خاصیت هسته‌زایی این مواد با ارزیابی افزایش دمای تبلور پلی پروپیلن (PP) به کمک دستگاه گرماسنج تفاضلی پویایی و شفاف‌کنندگی آنها با ارزیابی شفافیت PP به وسیله دستگاه طیف نورسنج فرا بنفش بررسی شد. عوامل مؤثر بر دو متغیر یاد شده، با استفاده از طراحی آزمایش تاگوچی ارزیابی شد و شرایط بهینه برای افزایش دمای تبلور و نیز شفافیت PP معین شد. همچنین، اهمیت عوامل مؤثر بر افزایش این دو عامل محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد مهمترین عامل در افزایش دمای تبلور PP، مقدار MDBS بوده و مهمترین عامل اثرگذار در افزایش شفافیت PP، نوع پلی پروپیلن مصرفی است.

واژه‌های کلیدی

پلی پروپیلن، هسته‌زایی، تبلور، شفافیت، روش تاگوچی

مقدمه

شده، از این رو مدت زمان چرخه قالبگیری کاهش می‌یابد. از طرفی مهمترین عامل تعیین کننده شفافیت در PP ساختار نیمه بلوری آن است. نور در مرز فاز بلوری و بی شکل متفرق می‌شود، پس شفافیت بطور مستقیم با اندازه و تعداد گویچه‌ها در PP رابطه دارد. شفافیت

افزودن عوامل هسته‌زا به پلی پروپیلن (PP) تعداد زیادی هسته برای شروع تبلور فراهم می‌کند. بنابراین، گویچه‌ها کوچکتر و بیشتر می‌شوند. هسته‌زایی باعث افزایش دما و سرعت تبلور می‌شود، در نتیجه قطعات قالبگیری شده در دمای بیشتری از قالب خارج

Key Words

polypropylene, nucleation, crystallization, transparency, Taguchi method

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: a.romiehie@ippi.ac.ir

قطعات پلی پروپیلنی با استفاده از قالبهای صیقلی و کاهش اندازه گویچه ها از راه تنظیم شرایط فرایند، افزایش می یابد. البته سرد کردن سریع، دمای کم مذاب و قالب نیز در این زمینه مؤثرند. هر چند دمای کم قالب موجب کاهش صیقلی شدن سطح محصول می شود [۱].

دسته ای از عوامل هسته زا به عنوان عوامل شفاف کننده PP بکار می روند. دی بنزیلیدن سوربیتول اندازه گویچه ها را کاهش داده بنابراین شفافیت زیادی ایجاد می کند. عوامل هسته زا در مذاب PP همواره به شکل جامد باقی مانده، و حین سرد شدن به عنوان هسته هایی برای شروع تبلور عمل می کنند. ولی، عوامل شفاف کننده در مذاب PP ذوب و سپس پخش می شوند. این مواد با سرد شدن، دوباره جامد شده، به عنوان عوامل هسته زا عمل می کنند. عوامل شفاف کننده اندازه نواحی بلوری را کاهش می دهند، بنابراین نور متفرق شده کاهش و شفافیت افزایش می یابد، ضمن آن که شفاف بودن این عوامل هم باعث بهبود شفافیت کل می شود [۲]. افزودن عوامل شفاف کننده به PP، این ماده را برای بسته بندیهای صلب مثل ظروف غذایی مناسب می کند. افزون بر خواصی مثل دمای واپیچش گرمایی زیاد، سفتی، مقاومت ضربه ای، ارزانی و قابلیت بازیافت، رزینهای شفاف شده PP قابل مقایسه با PET، SAN، پلی استیرن و PVC هستند. شفاف کننده های PP به طور کلی از مشتقات دی بنزیلیدن سوربیتول بوده و دمای تخریب آنها از ۲۳۰ تا ۲۶۰°C با توجه به نوع ماده متغیر است [۱].

Irgaclear DM یکی از عوامل هسته زا از نوع دی پارا متیل دی بنزیلیدن سوربیتول (MDBS) است که علاوه بر افزایش سرعت تبلور در پلی پروپیلن باعث شفافیت آن نیز می شود [۳].

اثر افزایش دی پارا متیل دی بنزیلیدن سوربیتول روی کاهش دمای تبلور بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش عامل هسته زا برای افزایش درصد تبلور تا مقداری بهینه مؤثر است و بیش از آن موجب کاهش مجدد درصد تبلور می شود [۴]. مقدار بهینه استفاده از دی پارا متیل دی بنزیلیدن سوربیتول حدود ۰/۳ درصد گزارش شده است، همچنین اثر این عامل هسته زا روی عوامل تبلور از جمله آنتالپی و دمای تبلور بررسی و مشخص شده است که افزایش عامل هسته زا تا مقدار ۰/۳ درصد، سرعت و دمای تبلور را افزایش می دهد [۵-۷]. ساز و کار کارایی مشتقات سوربیتول، تشکیل شبکه ای از تک لیفهای پیچ خورده است که باعث هسته زایی در PP می شود [۸].

یکی از محدودیتهای فیلمها و قطعات تولید شده از PP در صنعت بسته بندی، چاپ پذیری ضعیف آنهاست. به این منظور در ترکیب آنها از PP عامل دار شده استفاده می شود. مهمترین هدف از عامل دار کردن پلیمرها، افزایش چسبندگی بین فاز می باشد که از مصادیق آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش چسبندگی بین پلیمرها و فلزات،
- افزایش چسبندگی بین پلیمر و عوامل تقویت کننده در کامپوزیتها،
- افزایش چسبندگی لایه ها به یکدیگر در فیلمهای چند لایه،
- افزایش سازگاری پلیمرها در آلیاژها و
- افزایش رنگ پذیری و چاپ پذیری در منسوجات و فیلمهای پلیمری.

مونومرهای زیادی وجود دارند که قابل پیوندزنی روی زنجیر پلی اولفینها هستند. از جمله می توان به آکریلات و متاکریلات استرها، مشتقات استیرن، وینیل سیلانها، مالئات استرها، مشتقات مالئیمید و مالئیک انیدرید اشاره کرد که در این بین مالئیک انیدرید و مشتقات آن و آکریلیک اسید کاربرد بیشتری دارند.

چنانچه PP در تولید ظروف غذایی بکار رود، افزون بر خواص مکانیکی مناسب و کاهش نفوذ اکسیژن، قابلیت چاپ روی ظروف نیز یکی دیگر از خواص مطلوب برای PP بشمار می رود. بدین منظور لازم است قطبیت PP افزایش یابد. یکی از افزودنیهای که برای دستیابی به این هدف بکار می رود پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA) است. PP-g-MA باعث افزایش هسته زایی در PP شده و از نظر شکل شناسی، ساختار بلوری یکسانی با PP خالص ایجاد می کند [۹].

در این پژوهش، اثر هسته زایی همزمان PP-g-MA و MDBS و اثر آنها روی شفافیت PP با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی به وسیله نرم افزار Minitab بررسی شد. بدین منظور عامل $\Delta T_c = T_c - T_{c1}$ یعنی اختلاف بین دمای تبلور آمیخته و پلی پروپیلن فاقد عوامل ذکر شده، به عنوان معیاری برای ارزیابی عوامل گفته شده مورد بررسی قرار گرفته است. T_c و T_{c1} به ترتیب دمای تبلور آمیخته و PP فاقد عوامل هسته زا هستند. هر چقدر این عوامل دمای تبلور را بیشتر افزایش دهند، مطلوبترند زیرا باعث کاهش بیشتر چرخه تزریق می شوند. برای ارزیابی شفافیت PP از درصد عبور نور (نسبت نور خروجی به ورودی) استفاده شده است.

طراحی آزمایش

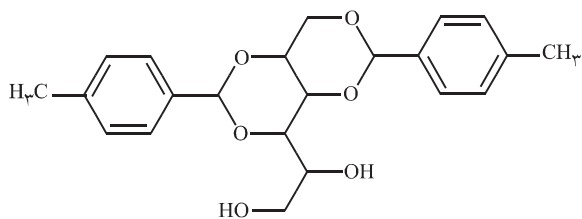
در این مقاله، آزمایشها با استفاده از روش تاگوچی طراحی شده اند. با استفاده از این روش می توان شرایط بهینه برای هر یک از عوامل انتخابی را روی خاصیت مورد نظر معین کرد. برای بدست آوردن شرایط بهینه هر خاصیت، مقادیر متوسط پاسخهایی که در آنها سطوح عاملی یکسان است، در مقابل آن سطوح در نموداری به نام نمودار آثار اصلی رسم می شود. پس از رسم نمودار، با توجه به آنکه ΔT_c پاسخی از نوع هر چه بیشتر، بهتر است، بنابراین سطحی که دارای بیشترین مقدار در نمودار

تجربی

جدول ۱ آرایه L₉ برای طراحی آزمایش تاگوجی، شامل ۹ آزمایش با سطوح ۱، ۲ و ۳ از عوامل A، B، C و D [۱۰].

آزمایش	عامل	A	B	C	D
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۲	۱	۲	۲	۱
۳	۳	۱	۳	۳	۱
۴	۴	۲	۱	۲	۳
۵	۵	۲	۲	۳	۱
۶	۶	۲	۳	۱	۲
۷	۷	۳	۱	۳	۲
۸	۸	۳	۲	۱	۳
۹	۹	۳	۳	۲	۱

مواد
در این پژوهش، برای بررسی اثر نوع و ساختار پلی پروپیلن از سه نوع پلی پروپیلن با مشخصات آمده در جدول ۴ استفاده شد که اندازه گیری شاخص جریان مذاب در شرایط ۱۹۰°C/۷۲ kg انجام شده است. همچنین، از Irgaclear DM به عنوان عامل هسته زا - شفاف کننده از نوع دی پارا متیل دی بنزیلیدن سوربیتول (MDBS) محصول شرکت Ciba با ساختار شیمیایی (۱) به عنوان عامل شفاف کننده، پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید از نوع Exxelor PO ۱۰۱۵ محصول شرکت Exxon Mobil با مقدار پیوند ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد و شاخص جریان مذاب ۲۲ g/۱۰min در شرایط ۱۹۰°C/۷۲ kg و ضد اکسنده Irganox B۲۲۵ از شرکت Ciba به عنوان عامل هسته زا استفاده شد.



ساختار (۱)

دستگاهها

در این پژوهش، اکسترودر دو پیچه ناهمسوگرد ساخت شرکت Collin آلمان با نسبت L/D برابر ۲۵ و حداکثر دور ۲۵۰ rpm، دستگاه پرس

جدول ۳ شرح هر یک از آزمایشهای ۹ گانه طراحی شده به روش تاگوجی.

سطح عامل	A	B	C	D
۱	۰/۸۰	۲	۰	۴۰
۲	۰/۸۰	۴	۰/۱	۶۰
۳	۰/۸۰	۶	۰/۲	۸۰
۴	Top	۲	۰/۱	۸۰
۵	Top	۴	۰/۲	۴۰
۶	Top	۶	۰	۶۰
۷	HP	۲	۰/۲	۶۰
۸	HP	۴	۰	۸۰
۹	HP	۶	۰/۱	۴۰

باشد به عنوان سطح بهینه در عامل مورد نظر انتخاب می شود. سپس، در تحلیل ANOVA علاوه بر تعیین واریانس تغییرات پاسخ برای هر یک از عوامل، می توان با استفاده از مقدار تغییراتی که هر عامل در پاسخ ایجاد می کند، مقدار اثر هر عامل را روی پاسخ مورد نظر (در اینجا ΔT_c یا شفافیت) بدست آورد.

در این مقاله آرایه متعامد L₉ که شامل ۹ آزمایش به شرح بیان شده در جدول ۱ است، برای طراحی آزمایش انتخاب شد که شامل ۴ عامل A، B، C و D است و هر یک در سه سطح ۱، ۲ و ۳ مطرح هستند. در جدول ۲ عوامل و سطوح مربوط به آنها مشخص شده است [۱۰]. شایان ذکر است که سطوح، بر طبق محدوده معمول مورد استفاده در پژوهشها و آزمایشهای انجام شده معین شدند [۷-۵]. در ضمن، منظور از مقدار عامل هسته زا یا ماده عامل دار، درصد وزنی آنهاست. در جدول ۳ شرح هر یک از آزمایشهای ۹ گانه طراحی شده با روش تاگوجی آورده شده است.

جدول ۲ شرح عوامل انتخاب شده در طراحی آزمایش و سطوح مربوط به هر یک از آنها.

عامل	نشانه	سطح		
		۱	۲	۳
نوع پلی پروپیلن	A	۰/۸۰	Top	HP
مقدار PP-g-MA (%)	B	۲	۴	۶
مقدار MDBS (%)	C	۰	۰/۱	۰/۲
دور (rpm)	D	۴۰	۶۰	۸۰

جدول ۴ مشخصات انواع پلی پروپیلن مصرفی.

نوع پلی پروپیلن	ساختار	نام اختصاری	شرکت سازنده	شاخص جریان مذاب (g/10min)
PI 0800	هموپلیمر	080	پتروشیمی بندر امام	۸
Topilene J 740	کوپلیمر دسته‌ای	Top	Hyosung	۲۵
Alastian PP HP 8-1	هموپلیمر	HP	Basell	۷/۵

نتایج و بحث

اثر عوامل هسته‌زا روی دمای تبلور

شکل‌های ۱ تا ۳ گرمانگاشت DSC هر یک از انواع اولیه PP و آمیخته‌های مربوط به آنها (بیک تبلور) را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی موارد مطرح شده، دمای تبلور نسبت به PP خالص افزایش یافته است. در جدول ۵ مقدار افزایش کمی T_c نسبت به PP اولیه گزارش شده است. با مقایسه شکل ۱ و جدول ۵ می‌توان دریافت که مقدار افزایش دمای تبلور در تمامی آمیخته‌های تهیه شده از پلی پروپیلن ۰۸۰ نسبت به پلی پروپیلن ۰۸۰ بدون عوامل هسته‌زا، تقریباً یکسان است. علت وقوع چنین پدیده‌ای را می‌توان چنین بیان کرد که اگرچه از آمیخته ۱ تا ۳ مقدار MDBS افزایش می‌یابد و T_c باید به دماهای بیشتر منتقل شود، اما به علت افزایش بیش از ۲ درصد PP-g-MA که حد

جدول ۵ افزایش دمای تبلور آمیخته‌ها و انواع پلی پروپیلن اولیه.

نوع آمیخته	T_c (°C)	ΔT_c (°C)
۰۸۰	۱۱۸/۵۴	۰
۱	۱۲۴/۱۹	۵/۶۵
۲	۱۲۶/۲۹	۷/۷۵
۳	۱۲۵/۳۶	۶/۸۲
Top	۱۲۴/۰۵	۰
۴	۱۲۸/۳۸	۴/۳۳
۵	۱۳۵/۳۹	۱۱/۳۴
۶	۱۲۵/۴۲	۷/۳۷
HP	۱۱۹/۳۶	۰
۷	۱۳۴/۶۷	۱۵/۳۱
۸	۱۲۵/۱۱	۵/۷۵
۹	۱۲۵/۵۰	۶/۱۴

Mini Test Press-۱۰ ساخت شرکت Toyoseiki ژاپن با حداکثر فشار و دما به ترتیب ۳۵ MPa و ۴۰۰°C، دستگاه DSC مدل PL-DSC ساخت شرکت Polymer Laboratory انگلستان و طیف نورسنج فرابنفش (UV-Vis) مدل CE۱۰۲۱ ساخت شرکت Cecil انگلستان بکار گرفته شد.

روشها

آماده‌سازی نمونه‌ها

پلی پروپیلن، ماده عامل دار، عامل هسته‌زا و ۰/۲ درصد ضد اکسنده ابتدا به طور دستی با هم مخلوط شده، پس از یکنواختی ظاهری، به منظور اختلاط درون اکسترودر دوپیچه ناهمسوگرد، در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۴۵°C و دور ۴۰، ۶۰ و ۸۰ rpm قرار گرفتند.

قابلیت فشاری

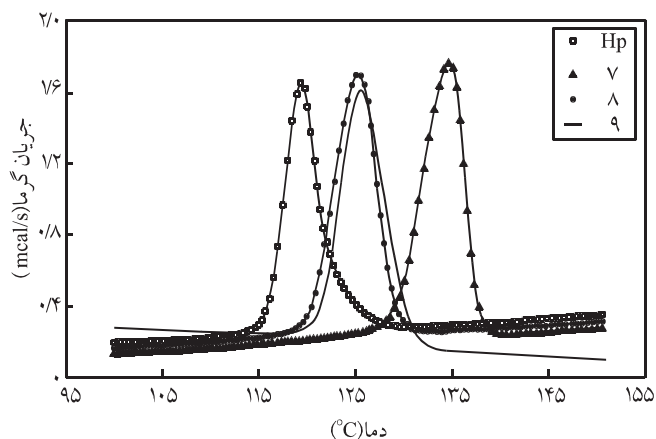
دانه‌های حاصل از اکستروژن مواد، به وسیله قالب فلزی در دستگاه پرس در دمای ۲۳۰°C به شکل ورقهایی به ضخامت ۱۵۰ μm در آمده، سریعاً در دمای تعادل مخلوط آب و یخ سرد شدند.

فرایند تبلور

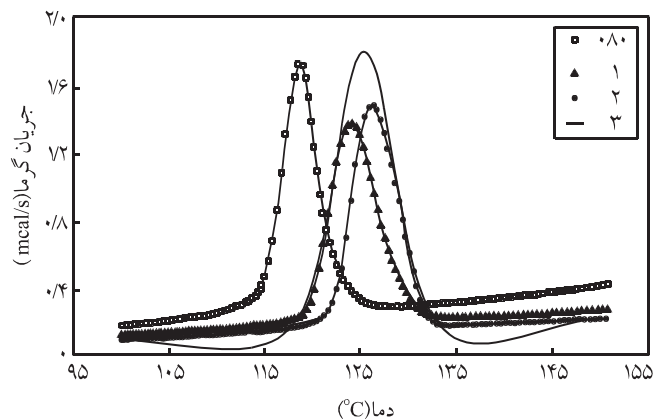
این فرایند در دستگاه DSC در جو نیتروژن انجام شده است. نمونه‌ها ابتدا تا دمای ۲۱۰°C با سرعت ۱۰°C/min گرم شدند و برای حذف تاریخچه گرمایی ۵ min در این دما باقی ماندند. سپس، با سرعت ۱۰°C/min تا دمای محیط سرد شدند.

شفافیت

نمونه‌های قابلیت‌گیری شده به ضخامت ۱۵۰ μm در دستگاه طیف نورسنج UV-Vis قرار گرفته، مقدار درصد عبور نور از آنها اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که این اندازه‌گیریها در پنج طول موج ۶۰۰، ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ nm به عنوان طول موج مرجع در مدل‌سازی استفاده شد.



شکل ۳ گرمانگاشت DSC پلی پروپیلن نوع HP و آمیخته های ۷ تا ۹ (دمای تبلور).



شکل ۱ گرمانگاشت DSC پلی پروپیلن نوع ۰.۸۰ و آمیخته های ۱ تا ۳ (دمای تبلور).

MDBS است و در آمیخته ۹ مقدار PP-g-MA بیش از حد بهینه است، در نتیجه هسته زایی محدود می شود.

در شکل ۴، آثار اصلی عوامل بر متوسط پاسخ (ΔT_c) رسم شده است که در آن متوسط پاسخ برای هر سطح از هر عامل مشاهده می شود، از آنجا که ΔT_c بیشتر، مطلوبتر است، برای هر عامل، سطحی به عنوان سطح بهینه انتخاب می شود که پاسخ را بیشینه کرده باشد. با توجه به شکل، شرایط بهینه به صورت D_4 ، C_3 ، B_1 و A_3 معین می شود.

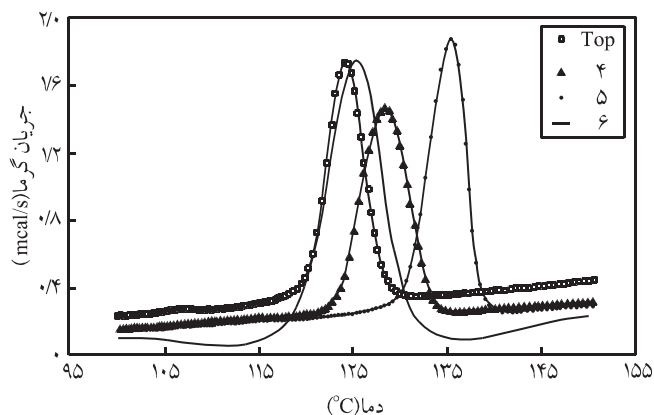
در جدول ۶ نتایج حاصل از تحلیل ANOVA آورده شده که در آن بر مبنای اختلافی که هر عامل در پاسخ ایجاد می کند، مقدار اثر هر یک از عوامل معرفی شده بر افزایش T_c مشخص شده است.

نتایج جدول ۶ نشان می دهد که عامل مقدار MDBS بیش از عوامل دیگر بر سرعت تبلور پلی پروپیلن مؤثر است. چنین نتیجه ای با توجه به اثر هسته زایی و اهمیت آن در افزایش T_c قابل پیش بینی بوده و همان طور که از جدول ۶ استنباط می شود، بیشترین مقدار مورد استفاده یعنی ۰/۲ درصد بهترین نتیجه را می دهد. مقدار PP-g-MA در درجه دوم اهمیت قرار دارد و کمترین مقدار بکار رفته یعنی ۲ درصد بهترین

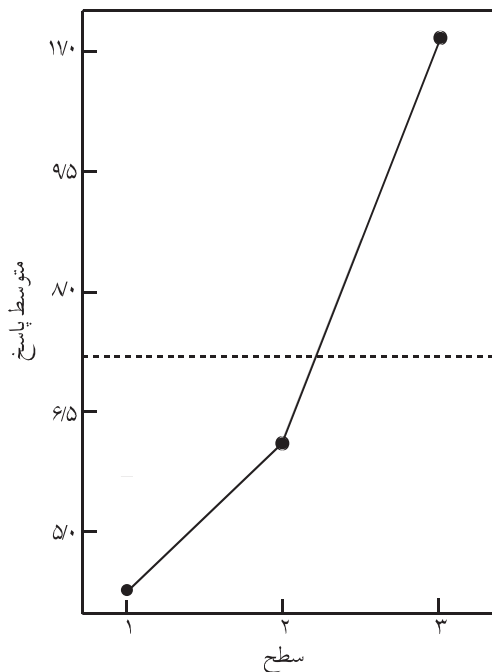
جدول ۶ تحلیل ANOVA برای افزایش T_c ، درصد تأثیر و واریانس تغییرات پاسخ برای هر یک از عوامل.

عامل	سطح بهینه	واریانس	درصد تأثیر
A	۳	۹/۰	۱۳/۷
B	۱	۱۲/۸	۱۹/۵
C	۳	۳/۴	۵/۵
D	۲	۵/۴	۸/۲

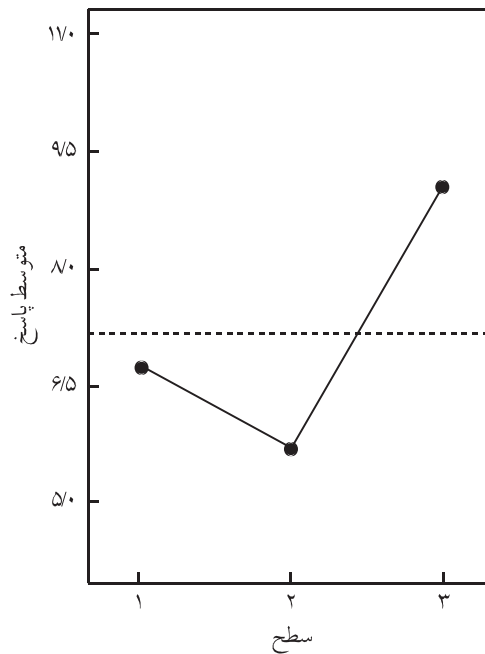
بهینه آن است، ذرات PP-g-MA کلوخه شده، اثر افزایش MDBS را خنثی می کند. اما، در شکل ۲ به این دلیل که آمیخته ۶ هم مانند آمیخته ۱ فاقد MDBS است، اختلاف بین دمای تبلور آمیخته و پلی پروپیلن Top چندان زیاد نبوده، افزایش جزئی در دمای تبلور این دو آمیخته ناشی از وجود PP-g-MA و نقش هسته زایی آن در آمیخته است. اما، آمیخته ۵ که بیشترین مقدار MDBS را دارد، بیشترین افزایش را در دمای تبلور نشان می دهد. شکل ۳ که مربوط به آمیخته های حاصل از پلی پروپیلن HP است، نشان می دهد که بیشترین افزایش دمای تبلور مربوط به آمیخته ای با بیشترین مقدار MDBS یعنی آمیخته ۷ است. در مقایسه آمیخته های ۵ و ۷ با آمیخته ۳ که در بین مجموعه ها بیشترین مقدار MDBS را دارند، می توان گفت در آمیخته ۳ مقدار PP-g-MA بسیار بیشتر از مقدار بهینه آن است، بنابراین T_c آن کمتر از دو آمیخته ۵ و ۷ است. آمیخته های ۸ و ۹ نیز کاهشی مشابه دارند، زیرا آمیخته ۸ فاقد



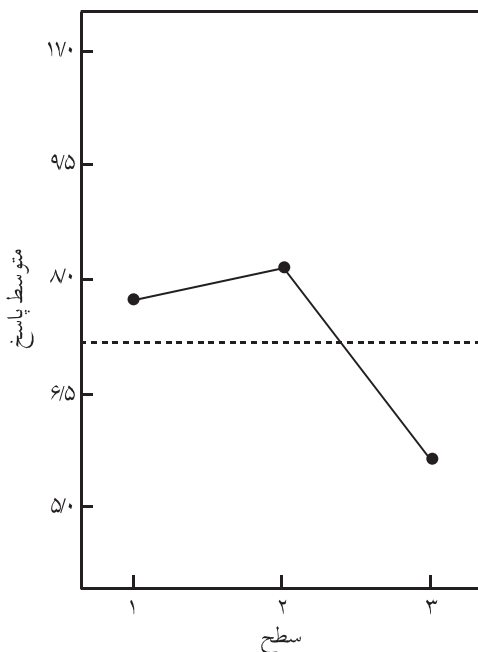
شکل ۲ گرمانگاشت DSC پلی پروپیلن نوع Top و آمیخته های ۴ تا ۶ (دمای تبلور).



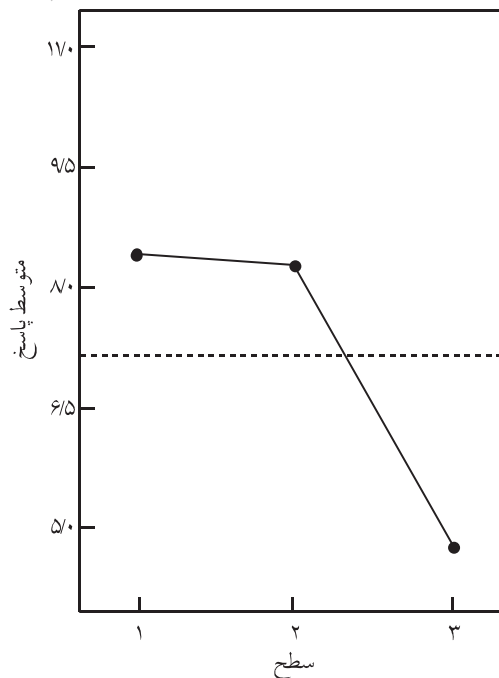
(ج)



(الف)



(ب)

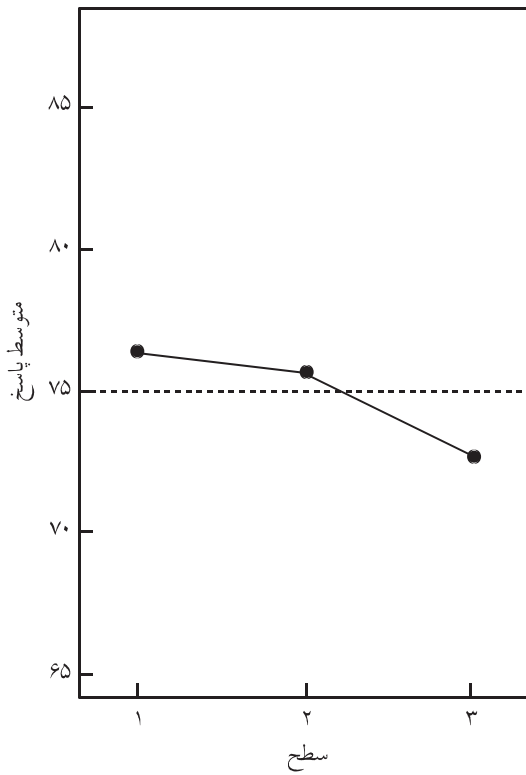


(د)

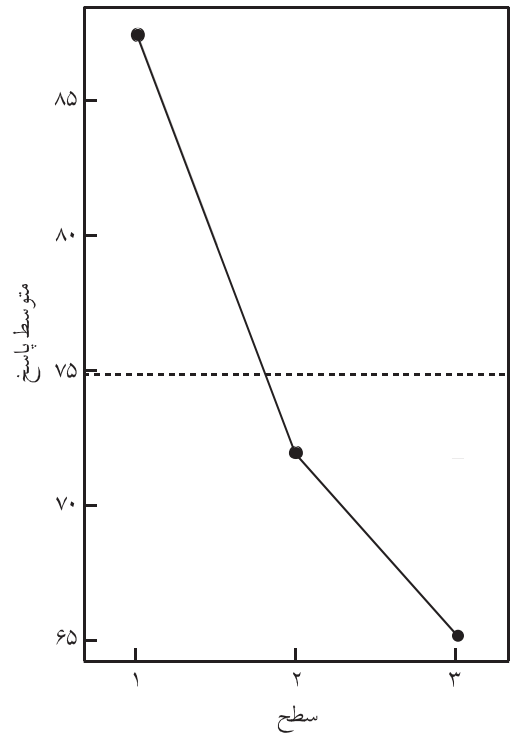
شکل ۴ آثار اصلی عوامل انتخابی مختلف بر افزایش T_c پلی پروپیلن برای تعیین شرایط بهینه: (الف) نوع PP، (ب) مقدار PP-g-MA، (ج) مقدار MDBS و (د) دور تیغه های چرخنده.

دارد، این موضوع نشان می دهد که اثر هسته زایی روی افزایش دمای تبلور PP بیشتر از اثر اختلاف در ساختار مولکولی انواع پلی پروپیلن مصرفی است. دور تیغه های چرخنده (rotor) هم آنقدر کم اثر است که

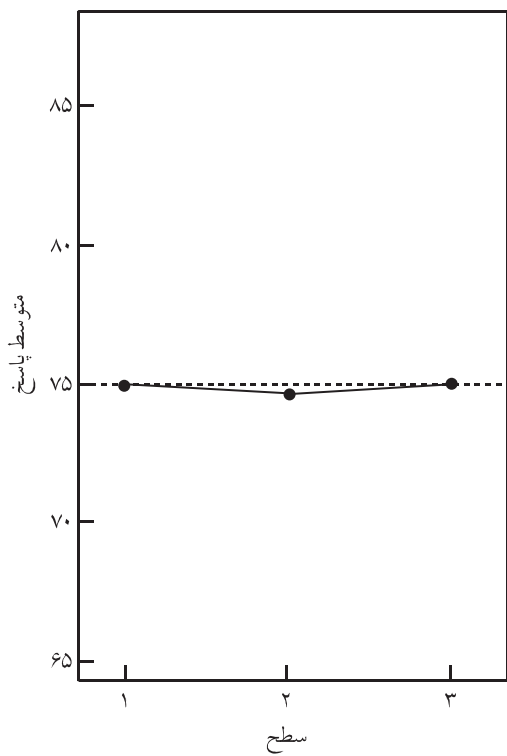
شرایط را ایجاد می کند، زیرا کلوخه های شدن آن در مقادیر بیشتر، از کارایی آن به عنوان عامل هسته زا می کاهد [۹، ۱۱-۱۴]. جدول ۶ نشان می دهد که نوع پلی پروپیلن مصرفی از نظر اهمیت در رتبه سوم قرار



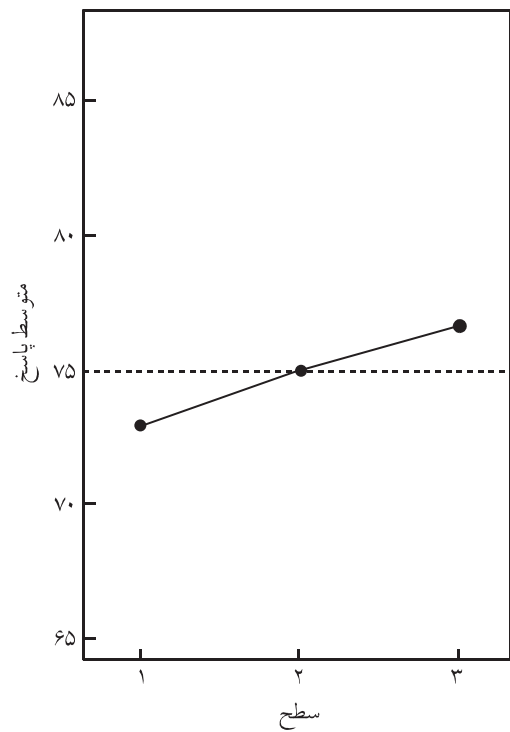
(ج)



(الف)



(د)



(ب)

شکل ۵ آثار اصلی عوامل انتخابی مختلف بر شفافیت PP در تعیین شرایط بهینه: (الف) نوع PP، (ب) مقدار PP-g-MA، (ج) مقدار MDDBS و (د) دور تیغه‌های چرخنده.

پلی پروپیلن و اثر شفاف کنندگی آنها نشان دهنده کارایی مناسب این مواد است. شفافیت آمیخته‌های مربوط به پلی پروپیلن Top با افزایش مقدار MDBS، کاهش می‌یابد. این امر را می‌توان به ناسازگاری کوپلیمر پلی پروپیلن با MDBS نسبت داد [1].

نتایج حاصل از تحلیل تاگوجی مربوط به آزمون شفافیت در شکل ۵ آمده است. چون افزایش هر چه بیشتر شفافیت مطلوبتر است، بنابراین در شکل ۵ سطوحی از عوامل انتخاب می‌شوند که پاسخ بیشینه را ارائه کنند. بر این اساس، سطوح بهینه عبارتند از: D_۳، C_۱، B_۳ و A_۱. هر چند که در نمونه ۰.۸۰ با ازدیاد عامل هسته زا، شفافیت افزایش می‌یابد، اما به علت ناسازگاری MDBS با دو نوع Top و HP با افزایش MDBS شفافیت این دو نوع کاهش می‌یابد. اثر همین امر روی متوسط پاسخ و در نتیجه روی تحلیل تاگوجی باعث شده تا مقدار صفر درصد به عنوان مقدار بهینه عامل A در نظر گرفته شود، در حالی که برای بدست آوردن شرایط بهینه با استفاده از نمونه ۰.۸۰ مقدار ۰.۲ درصد برای افزایش شفافیت در نظر گرفته می‌شود. این امر ناشی از خطای روش تاگوجی است. در ضمن، همان‌طور که در تحلیل نتایج برای افزایش دمای تبلور ذکر شد سرعت رشد گویچه‌های حاصل از PP-g-MA کم است، بنابراین سریع سرد کردن نمونه‌ها به کوچکتر شدن گویچه‌ها و در نتیجه افزایش شفافیت کمک می‌کند.

در جدول ۸ نتایج تحلیل ANOVA و اثر هر یک از عوامل بر شفافیت PP و آمیخته‌های آن گزارش شده است. نکته قابل توجه اثر بسیار زیاد نوع PP انتخاب شده در مقایسه با دیگر عوامل است. این مسأله از اختلاف زیاد در شفافیت سه نوع پلی پروپیلن مصرفی ناشی می‌شود که سبب اختلاف بسیار در شفافیت هر گروه از آمیخته‌ها با آمیخته‌های حاصل از سایر انواع شده است. از طرف دیگر، چون مبنای ارزیابی اثر هر عامل در طراحی آزمایش اختلافی است که آن عامل در پاسخها ایجاد می‌کند، بنابراین اثر نوع PP مصرفی آن قدر زیاد می‌شود که تقریباً عوامل دیگر را بی‌اثر می‌کند. نکته دیگر آن است که مقدار PP-g-MA مؤثرتر از مقدار MDBS است، شایان ذکر است که اگر اثر عامل A آن قدر زیاد نبود اختلاف اثر این دو عامل فاحش‌تر بنظر می‌رسید. این نتیجه تأییدی بر ناسازگاری MDBS با دو نوع از پلی پروپیلن Top و HP بوده که در این مقاله به آن اشاره شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشهای انجام شده، شرایط بهینه برای افزایش دمای تبلور PP عبارتند از نوع HP از PP، مقادیر ۲ درصد از PP-g-MA و ۰.۲ درصد از MDBS. در ضمن، در میان عوامل انتخابی مقدار MDBS

جدول ۷ نتایج آزمون شفافیت برای آمیخته‌ها و انواع پلی پروپیلن اولیه بر اساس درصد نور عبوری در طول موجهای مختلف.

طول موج (nm)	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	نوع آمیخته
۰.۸۰	۸۰	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	
۱	۸۱	۸۴	۸۵	۸۷	۸۸	
۲	۸۳	۸۴	۸۶	۸۸	۸۸	
۳	۸۴	۸۵	۸۷	۸۸	۸۸	
Top	۵۵	۶۵	۷۱	۷۶	۷۹	
۴	۴۴	۵۸	۶۶	۷۱	۷۵	
۵	۴۳	۵۷	۶۳	۷۰	۷۴	
۶	۵۵	۶۵	۷۱	۷۵	۷۹	
HP	۵۰	۶۰	۶۷	۷۳	۷۷	
۷	۳۲	۴۳	۵۲	۶۱	۶۶	
۸	۴۲	۵۲	۶۱	۶۷	۷۲	
۹	۴۲	۵۴	۶۱	۶۸	۷۲	

می‌توان آن را بی‌اثر فرض کرد.

اثر عوامل هسته‌زا بر شفافیت

نتایج مربوط به آزمون شفافیت در جدول ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، پلی پروپیلن ۰.۸۰ و آمیخته‌های مربوط به آن، شفافتر از سایر آمیخته‌های مورد آزمایش است. با افزایش طول موج، شفافیت برای آمیخته‌ای مشخص افزایش می‌یابد که ناشی از کاهش تفرق نور در طول موجهای بیشتر (بیشتر از ۸۰۰ nm) است. در آمیخته‌های مربوط به پلی پروپیلن ۰.۸۰ با افزایش MDBS و PP-g-MA از آمیخته ۱ تا ۳ شفافیت نمونه‌ها افزایش می‌یابد، سازگاری این عوامل با ماتریس

جدول ۸ تحلیل ANOVA برای شفافیت (درصد تأثیر و واریانس تغییرات پاسخ برای هر یک از عوامل).

عامل	سطح بهینه	واریانس	درصد تأثیر
A	۱	۳۷۵/۹	۹۴/۴
B	۳	۱۲/۳	۳/۰
C	۱	۱۰/۵	۲/۶
D	۳	۰/۲	۰/۰

صفر درصد از MDBS است. مؤثرترین عامل بر افزایش شفافیت پلی پروپیلن در میان عوامل انتخابی، نوع PP مصرفی و پس از آن به ترتیب مهمترین عامل مقدار PP-g-MA و MDBS است. در این مورد هم دور تیغه های چرخنده عامل مؤثری محسوب نمی شود.

بیشترین اثر را بر افزایش دمای تبلور PP دارد. پس از آن مقدار PP-g-MA و نوع PP مصرفی بر افزایش دمای تبلور مؤثر بوده، دور تیغه های چرخنده در این زمینه عامل مؤثری محسوب نمی شود. شرایط بهینه پیش بینی شده به وسیله روش تاگوچی برای افزایش شفافیت نیز شامل نوع ۰۸۰ از PP، مقادیر ۶ درصد از PP-g-MA و

مراجع

1. Maier C. and Calafut T., *Polypropylene the Definitive User's Guide and Databook*, Plastics Design Library, Norwich, 34-35, 99-102, 1998.
2. Moore E.P., *Polypropylene Handbook*, Hanser/Gardner, Munich, 190-192, 1996.
3. Hoffmann K., Huber G. and Mader D., Nucleating and Clarifying Agents for Polyolefins, *Macromol. Symp.*, **176**, 83-91, 2001.
4. Yuksekkalayci C., Yilmazer U. and Orbey N., Effect of Nucleating Agent and Processing Conditions on the Mechanical, Thermal, and Optical Properties of Biaxially Oriented Polypropylene Films, *Polym. Eng. Sci.*, **39**, 1216-1222, 1999.
5. Marco C., Gomez M.A., Ellis G. and Arribas J.M., Highly Efficient Nucleating Additives for Isotactic Polypropylene Studied by Differential Scanning Calorimetry, *J. Appl. Polym. Sci.*, **84**, 1669-1679, 2002.
6. Marco C., Gomez M.A., Ellis G. and Arribas J.M., Analysis of the Isothermal Crystallization of Isotactic Polypropylene Nucleated with Sorbitol Derivatives, *J. Appl. Polym. Sci.*, **88**, 2261-2274, 2003.
7. Marco C., Gomez M.A., Ellis G. and Arribas J.M., Comparative Study of the Nucleation Activity of Third-Generation Sorbitol-Based Nucleating Agents for Isotactic Polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **84**, 2440-2450, 2002.
8. Sterzynski T., Lambla M., Crozier H. and Thomas M., Structure and Properties of Nucleated Random and Block Copolymers of Propylene, *Adv. Polym. Technol.*, **13**, 25-36, 1994.
9. Bogoeva G., Mangovska B. and Mader E., Crystallization Kinetics of Maleic Anhydride-Modified iPP Studied by POM, *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 3107-3118, 2000.
10. Roy R.K., *Design of Experiments Using the Taguchi Approach*, Wiley-Interscience, New York, 207-239, 2001.
11. Feng Y., Jin X. and Hay N., Effect of Nucleating Agent Addition on Crystallization of Isotactic Polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 2089-2095, 1998.
12. Cho K., Li F. and Choi J., Crystallization and Melting Behaviour of Polypropylene and Maleated Polypropylene Blends, *Polymer*, **40**, 1719-1729, 1999.
13. Wang K., Mai K. and Zeng H., Isothermal Crystallization Behaviour and Melting Characterization of Injection Sample of Nucleated Polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **78**, 2547-2553, 2000.
14. Seo Y., Kim J., Kim K. U. and Kim Y. Ch., Study of the Crystallization Behaviour of Polypropylene and Maleic Anhydride Grafted Polypropylene, *Polymer*, **41**, 2639-2646, 2000.