

واژه‌های کلیدی:

ماده لیزکننده
ماده ضدچسبندگی
افزودنی‌های پلیمری
صنایع بسته‌بندی

مروری بر مواد ضدچسبندگی و کاهنده اصطکاک در پلیمرها

زهره طاهرخانی*، امید شجاعی

تهران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، جهاد دانشگاهی، گروه پژوهشی طراحی فرایندهای شیمیایی

چکیده ...

امروزه، فیلم‌های پلیمری و به ویژه پلی‌الفینی به‌طور گسترده‌ای در کاربردهای بسته‌بندی استفاده می‌شوند. اما معضل چسبندگی و ضریب اصطکاک بالای این فیلم‌ها، محدودیت‌هایی را در زمان تولید، بسته‌بندی و استفاده از مواد پلی‌الفینی ایجاد می‌کند. به‌منظور برطرف کردن این مشکلات، از مواد افزودنی ضدچسبندگی/لیزکننده در فیلم‌های پلی‌الفینی در طول فرایند استفاده می‌شود تا مشخصات سطح این فیلم‌ها اصلاح شود. در مقاله مروری حاضر، این مواد افزودنی و انواع مختلف آن‌ها معرفی شده و سازوکار عملکرد آن‌ها بیان می‌شود. همچنین، عوامل موثر بر عملکرد و انتخاب ماده لیزکننده یا ضدچسبندگی مناسب ارائه می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که نوع و مقدار پلیمر و ماده افزودنی، دمای فرایند و محیط، ضخامت فیلم و حضور سایر مواد افزودنی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد و انتخاب عامل افزودنی مناسب هستند.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:
ztaherkhani@gmail.com

۱ مقدمه

امروزه پلیمرهای پلی الفینی به دلیل ویژگی‌هایی مانند خواص مکانیکی، قابلیت فرایند شدن، غیرسمی بودن و حمل و نقل آسان کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف و به ویژه صنایع بسته بندی محصولات غذایی پیدا کرده‌اند. با این حال مسئله ضریب اصطکاک (CoF: Coefficient of Friction) بالا و چسبندگی سطحی این فیلم‌ها باعث ایجاد مشکلاتی حین کاربرد آن‌ها در صنایع شده است [۱]. چسبندگی سطحی یکی از مشکلات است که تولیدکنندگان فیلم‌ها، به ویژه در حین باز کردن یا بسته بندی با آن روبرو هستند. همچنین CoF بالا در هنگام تولید یا استفاده از این پلیمرها در کاربرد نهایی، باعث حرکت نامناسب فیلم تولیدی بر روی غلتک‌های هدایت کننده، جمع کننده و در نتیجه سایش قطعات، اختلاف ضخامت و چروک شدن غلتک‌های تولیدی می شود [۲-۴]. در این شرایط حضور مواد افزودنی ضدچسبندگی/لیزکننده به منظور تسهیل حرکت فیلم‌های پلی الفینی و جلوگیری از چسبیدن آن‌ها ضروری است. مواد افزودنی لیزکننده بر نحوه حرکت افقی فیلم بر روی خود و سطوح دیگر تأثیر می گذارد و کاهش ضریب اصطکاک (CoF) فیلم به فیلم را به دنبال دارد. در حالی که چسبندگی، تمایل لایه‌های مجاور فیلم به جذب شدن عمودی به یکدیگر است [۵].

مواد ضدچسبندگی/لیزکننده مختلفی برای کنترل چسبندگی و لیزشدگی فیلم استفاده می شوند و به طور کلی، مواد افزودنی معدنی با افزایش سختی سطح، تمایل به چسبندگی را کاهش می دهند و آمیدهای اسید چرب نیز برای اصلاح لیزشدگی فیلم‌ها افزوده می شوند. افزودن مقادیر صحیح از عوامل لیزکننده و ضدچسبندگی تعادلی بین خواص چسبندگی و اصطکاک مورد نیاز فراهم می آورد [۶].

هدف از این پژوهش معرفی و مروری بر مواد افزودنی لیزکننده و ضدچسبندگی، انواع آن‌ها و همچنین کاربرد آن‌ها در فیلم‌های پلیمری است. به این منظور، در ابتدا، مواد افزودنی لیزکننده و ضدچسبندگی معرفی شده و انواع متفاوت آن‌ها با ذکر مشخصات در کاربردهای مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه، عامل‌های موثر در انتخاب عامل لیزکننده یا عامل ضدچسبندگی مناسب و تأثیر آن بر بازده عملکرد ماده افزودنی بر اساس مطالعات پیشین جمع بندی می شود. در این مطالعه

همچنین سازوکار عملکرد مواد افزودنی در کاهش نیروی چسبندگی بررسی می شود.

۲ مواد افزودنی لیزکننده

ضریب اصطکاک بالا یکی از خصوصیات سطح فیلم‌های پلی الفینی است که منجر به چسبیدن فیلم‌ها به یکدیگر و سایر سطوح فلزی می شود. مواد لیزکننده در فیلم‌های پلی الفینی، به صورت مواد کاهنده اصطکاک تعریف می شوند که به فیلم اجازه می دهند بتوانند روی لایه دیگر فیلم یا سطوح ماشین در تجهیزات ساخت و بسته بندی حرکت کنند. برای دستیابی به لغزش رضایت بخش، پلیمرها نیاز به حضور مواد افزودنی لیزکننده دارند. به طور کلی، مواد افزودنی لیزکننده به دو گروه مواد لیزکننده مهاجر و غیرمهاجر تقسیم بندی می شوند [۳، ۷].

۲-۱ مواد افزودنی لیزکننده مهاجر

مواد افزودنی لیزکننده مهاجر، پرمصرف ترین گروه مواد لیزکننده مورد استفاده هستند. این مواد اغلب بر پایه آمید اسیدهای چرب هستند. مواد افزودنی در ماتریس پلیمری به صورت همگن پراکنده می شوند و در زمان خنک شدن محصول، به دلیل کاهش حلالیت و ناسازگاری با پلیمر به سطح آن مهاجرت کرده و CoF را کاهش می دهند. تأثیر عوامل لیزکننده مهاجر در کاهش CoF به سه دسته لیزکنندگی کم، متوسط و زیاد طبقه بندی شده است. فیلم‌های با لیزکنندگی کم دارای CoF در محدوده ۰/۵-۰/۸ هستند که متناظر با حضور ۴۰۰-۱۰۰ ppm ماده لیزکننده در فیلم است. فیلم‌های با لیزکنندگی متوسط، ضریب اصطکاک ۰/۲-۰/۴ (با عامل لیزکننده ۵۰۰-۶۰۰) و فیلم‌های با لیزکنندگی زیاد، ضریب اصطکاک ۰/۰۵-۰/۲ (با عامل لیزکننده ۷۰۰-۱۰۰۰) دارند. سرعت مهاجرت بالا، CoF کم و قیمت کم این مواد، منجر به تجاری شدن مواد لیزکننده مهاجر در صنایع فیلم شده است [۳، ۶].

۲-۱-۱ انواع مواد افزودنی لیزکننده مهاجر

مواد لیزکننده مهاجر اغلب در دو گروه آمیدهای اولیه و ثانویه تقسیم می شوند. سایر مواد شیمیایی مانند بیس آمیدها، سیلیکون‌ها، استئارات‌ها، واکس پلی اتیلن و پلی تترافلوئورواتیلن نیز کاربردهایی به عنوان لیزکننده

دارند [۸]. در ادامه دو گروه مهم مواد لیزکننده مهاجر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱-۱-۱-۱ آمیدهای اسید چرب اولیه

آمیدهای اسید چرب اغلب از روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی حاصل می‌شوند. هر منبع چربی دارای گروهی از ترکیبات چربی است که بخش‌های مطلوب آن تغلیظ شده و برای به‌دست آوردن آمیدهای خاص اسیدهای چرب تصفیه می‌شوند. انتخاب جزء چربی تحت تأثیر بازده کاهش اصطکاک سطح و همچنین سرعت و پایداری این اثر، ملاحظات بو و طعم، ثبات رنگ، منبع گیاهی یا حیوانی و قیمت است. مهم‌ترین مواد افزودنی لیزکننده تجاری شامل اروکامید (نقطه ذوب: $81-83^{\circ}\text{C}$)، اولئامید ($73-78^{\circ}\text{C}$) و استارامید ($101-102^{\circ}\text{C}$) و همچنین اتیلن بیس استارامید ($^{\circ}\text{C}$) (EBS) (۱۴۳) با پایداری حرارتی بالاتر هستند. اولئامید عموماً از منابع حیوانی تهیه می‌شود و اروکامید به‌طور سنتی از روغن دانه کلزا گرفته می‌شود. اروکامید غالباً به‌دلیل تهیه آن از مواد غیرحیوانی ترجیح داده می‌شود و پایداری حرارتی بهتری نسبت به اولئامید دارد. EBS نیز مشتق شده از منابع حیوانی است که علاوه بر بهبود خواص لیزکنندگی، افزودنی ضدچسبندگی مناسب برای فیلم‌هایی است که باید وضوح خوبی داشته باشند.

آمیدهای اولیه، مولکول‌های کوچکی هستند و پس از اکستروژن به سطح فیلم مهاجرت می‌کنند. پس از تشکیل فیلم، CoF با گذشت زمان کاهش می‌یابد و عامل لیزکننده از داخل فیلم به سطح آن مهاجرت می‌کند تا بین بالک و سطح فیلم تعادل ایجاد شود. همچنین، آمیدهای اولیه، پایداری حرارتی محدود دارند و در دمای بالاتر از 400°F تخریب می‌شوند [۳، ۶، ۹]. در چنین مواردی از آمیدهای ثانویه یا عامل لیزکننده غیر مهاجر استفاده می‌شود که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۱-۱-۲ آمیدهای اسید چرب ثانویه

آمیدهای ثانویه مانند استئریل اروکامید (نقطه ذوب: 74°C) و استئریل استتارامید (نقطه ذوب: 94°C) از پایداری بیشتری برخوردار بوده، به‌دلیل سرعت مهاجرت کم، امکان کنترل سطح لیزکنندگی متوسط را برای فیلم‌ها فراهم می‌آورند. دستیابی به سطح لیزکنندگی متوسط و کنترل آن با آمیدهای اولیه دشوار است، زیرا غلظت‌های

بسیار کم مورد نیاز باعث افزایش تنوع و عدم یکنواختی در فرایند و محصولات تولیدی می‌شود. این امر هزینه‌های جانبی و ضایعات را افزایش می‌دهد، به‌طوری که هزینه‌های آن بیشتر از هزینه حضور آمیدهای نوع دوم با غلظت بالا، (حدود $1000-1500\text{ ppm}$ آمیدهای نوع دوم در مقابل 1000 ppm آمید نوع اولیه) خواهد شد [۹].

۲-۱-۲ عوامل موثر بر عملکرد آمیدهای اسید چرب اولیه و ثانویه

دو معیار اصلی بیانگر عملکرد آمیدها عبارتند از: سرعت مهاجرت به سطح (زمان تأثیر خاصیت لیزکنندگی) و میزان لیزکنندگی (حداقل CoF). این دو معیار توسط موارد زیر اندازه‌گیری می‌شوند.

- نوع پلیمر: نوع پلیمر، تأثیر بسیار مهمی بر سرعت مهاجرت ماده لیزکننده دارد. عامل لیزکننده در پلیمرهای بلوری مانند (HDPE: High Density Polyethylene) و (PP (Poly Propylene) کندتر نفوذ می‌کند. اتیلن وینیل استات (EVA: Ethelene Vinyl Acetate) و سایر پلیمرهای قطبی تمایل به ایجاد برهم‌کنش شیمیایی با عامل لیزکننده دارند و سرعت مهاجرت را کاهش می‌دهند. پلیمرهای بسیار آمورف مثل (LLDPE: Linear Low Density Polyethylene) و پلیمرهای چسبنده مثل EVA، نیاز به عامل لیزکننده بیشتری برای دستیابی به CoF مشابه با پلیمرهای غیرچسبنده یا درجه آمورف کمتر دارند [۶، ۹].

تأثیر نوع پلیمر بر عملکرد و شناسایی چند عامل لیزکننده مناسب برای پلیمرها توسط گروه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. کوپر و همکاران [۱۰] مهاجرت پنج آمید اسید چرب از جمله اولئامید، اروکامید، استتارامید، استتاریل آمید و اتیل پالمیتامید را از پلیمرهای (LDPE، PP، PS (Poly styrene) و PVC (Poly vinyl Chloride)) در دمای 40°C در مدت ۱۰ روز بررسی کردند (جدول ۱). نتایج نشان داد که بالاترین مهاجرت مواد لیزکننده از پلاستیک‌های الفینی در روغن زیتون اتفاق می‌افتد. به‌طوری که، مهاجرت از LDPE برای اولئامید، اروکامید و استتارامید به ترتیب برابر با 88% ، 98% و 99% است. در حالی که در فیلم‌های PVC و PS میزان مهاجرت بسیار پایین در هر چهار حالت مدل غذایی حاصل شد که دلیل آن حلالیت بالا و سرعت نفوذ کم آمیدهای اسید چرب در این فیلم‌ها است [۱۰].

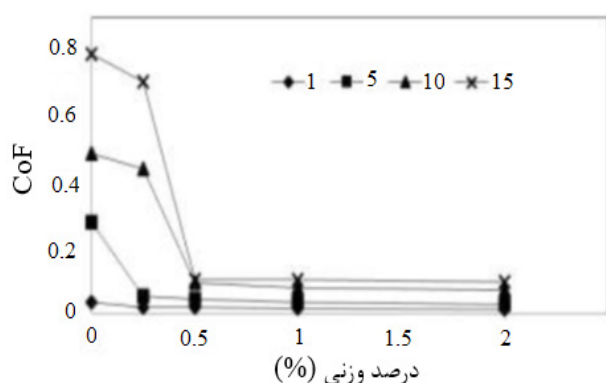
جدول ۱ سرعت مهاجرت مواد لیزکننده در پلیمرهای مختلف در دمای ۴۰°C [۱۰].

پلیمر	ماده لیزکننده	آب	محلول آبی اتانول (۱۵٪)	محلول آبی استیک اسید (۳٪)	روغن زیتون
PP	اروکامید	-	<۰/۰۴	<۰/۰۴	۱/۹±۰/۲
PS	استئارامید	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵
PVC	اولئامید	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۳±۰/۰۱
LDPE	اولئامید	<۰/۱۲	۰/۰۴±۰/۰۲	<۰/۱۲	۲/۸
LDPE	اروکامید	<۰/۱۲	<۰/۰۴	<۰/۱۲	۲/۹
LDPE	استئارامید	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۲/۹±۰/۱

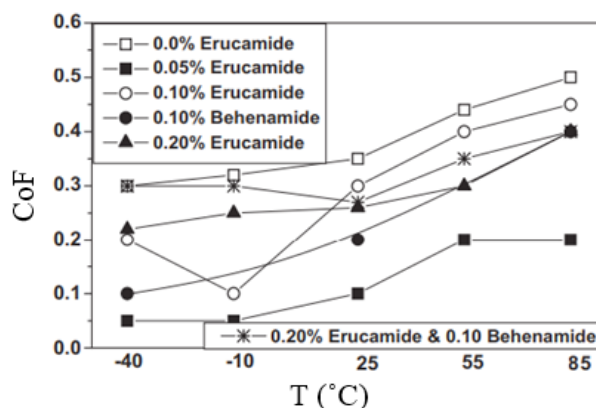
بهنامید و استئارامید ۰/۱ درصد وزنی است. همچنین مشاهده شده است که ترکیبی از ۰/۱ درصد بهنامید (که به تنهایی کاهش زیاد در CoF ایجاد می کند) و ۰/۲ (%wt) اروکامید هیچ تأثیری در ضریب اصطکاک ندارد.

در مطالعه دیگری، تأثیر استئارامید بر CoF رزین اپوکسی و کامپوزیت های بر پایه ولاستونیت بررسی شده است (شکل ۲) [۱۲]. همان طور که مشاهده می شود، افزایش غلظت لیزکننده، ضریب اصطکاک رزین اپوکسی را کاهش می دهد. مقادیر ضریب اصطکاک کامپوزیت ها نیز در مقادیر کم استئارامید، بالا است، اما با افزایش مقدار لیزکننده، کاهش می یابد. در مورد رزین اپوکسی نیز مطابق با شکل ۲ با افزایش غلظت لیزکننده، CoF

تأثیر اروکامید بر کاهش ضریب اصطکاک پلی (متیل متاکریلات) نیز توسط مانشا [۱۱] و همکاران بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که اروکامید مؤثرترین آمید چرب در بین سه آمید آزمایش شده در کاهش ضریب اصطکاک PMMA است (شکل ۱). در همه موارد، آمیدهای اسید چرب فقط در صورت وجود مقادیر بهینه ماده لیزکننده مناسب هستند و ضریب اصطکاک را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند. اما حضور مقدار بیشتر آن ها در پلیمر تأثیر چشمگیری نخواهد داشت. این امر ممکن است ناشی از پدیده ضدنرم شدگی در پلیمرها (Anti-plasticization) باشد. مقدار بهینه در مورد اروکامید ۰/۰۵ بوده، در حالی که در مورد



شکل ۲ تأثیر ماده لیزکننده بر ضریب اصطکاک رزین اپوکسی و کامپوزیت های آن [۱۲].



شکل ۱ تأثیر لیزکننده بر ضریب اصطکاک PMMA [۱۱].

جدول ۲ تأثیر مواد لیزکننده مختلف بر ضریب اصطکاک ABS [۱۴].

ماده لیزکننده	--	سیلیکون	EBS	استر اسید چرب	پلی اتیلن وکس
CoF	۰/۴۲۵	۰/۲۱۶	۰/۲۷۵	۰/۲۱۷	۰/۲۲۹

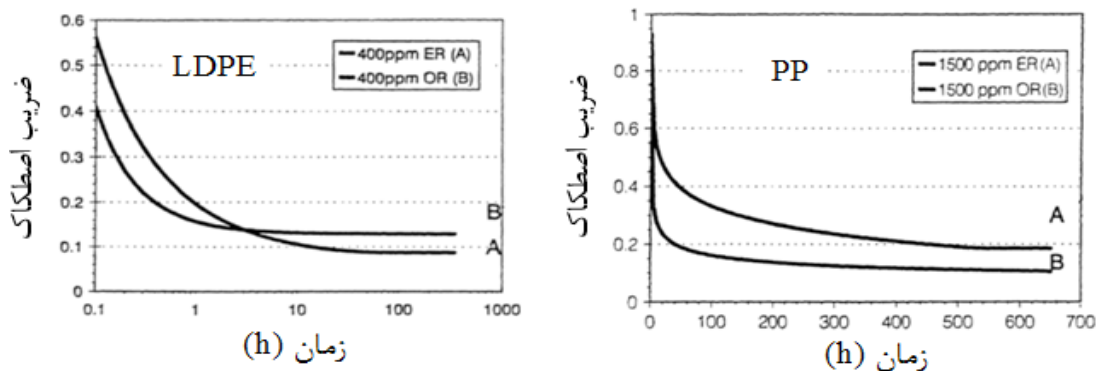
ضریب اصطکاک مطالعه کردند. شکل ۴ ضرایب اصطکاک ABS و ترکیبات آن را در دمای 23°C و زبری های سطح ۴۰۰، ۱۲۰ و ۸۰ نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، افزودن EBS به ویژه در زبری سطح ۴۰۰ باعث کاهش CoF نمونه های ABS شده است. به منظور کاهش بیشتر CoF، از لیزکننده پلی (اتیلن-کو-اکتان) (EN) نیز در ABS استفاده شده است. مطابق با شکل ۴، CoF در نمونه های حاوی EN مقادیر کمتری دارد، به طوری که به ترتیب ۲۶٪، ۴۲٪ و ۳۵٪ کمتر از نمونه های ABS در زبری سطح ۴۰۰، ۱۲۰ و ۸۰ است. در نتیجه EN نسبت به EBS در کاهش ضریب اصطکاک موثرتر است. دلیل این امر کاهش انرژی سطحی و چسبندگی بین سطوح در حال حرکت در حضور EN است.

ایزمتیل و همکاران [۱۶] از مواد لیزکننده سیلیکونی در فرمول بندی پلیمرهای اکریلیکی پایه آب استفاده کردند. این گروه تأثیر شش نوع ماده سیلیکونی با اندازه ذرات مختلف (سیلیکون خطی با اندازه ذرات میکرون (G1)، سیلیکون غیرخطی با اندازه ذرات میکرون (G2)،

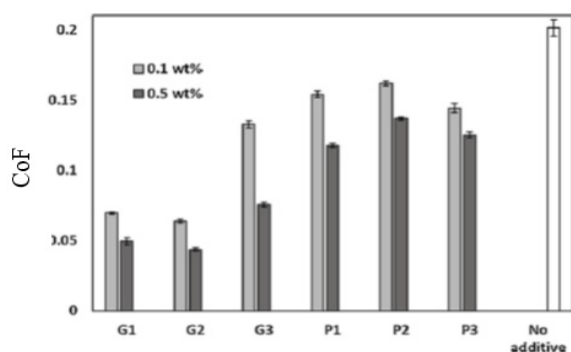
به مقدار ثابتی می رسد که نشانگر وجود غلظت بهینه (۰/۵ wt%) است.

نوع ماده لیزکننده: ملتبی و همکاران [۱۳] تأثیر نوع لیزکننده را بر کاهش ضریب اصطکاک LDPE و LLDPE و PP بررسی کردند. برای تمام پلیمرها، اولئامید پاسخی سریع تر از اروکامید در کاهش CoF ارائه کرد (شکل ۳). دلیل این امر اندازه کوچک تر مولکول اولئامید و سرعت مهاجرت بالاتر آن است. با این حال، پس از ۶۰۰ ساعت، اختلاف ناچیزی در CoF نهایی حاصل می شود. به طور کلی می توان گفت که کاربرد نهایی محصول، تعیین کننده نوع لیزکننده است که در بخش بعد بررسی خواهد شد.

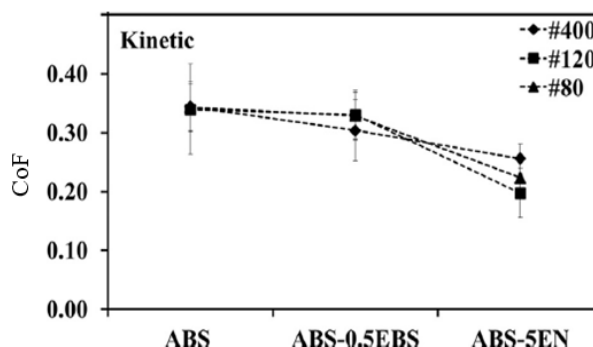
وانگ و همکاران [۱۴] تأثیر مواد لیزکننده مختلف را بر CoF اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) بررسی کردند (جدول ۲). بررسی ها نشان می دهد که مواد لیزکننده سیلیکونی بیشترین تأثیر را بر کاهش CoF و اتیلن بیس استئارامید کمترین تأثیر را دارد. روجساتین و همکاران [۱۵] نیز تأثیر EBS را بر کاهش



شکل ۳ تأثیر لیزکننده های مختلف بر ضریب اصطکاک فیلم LDPE و PP [۱۳].



شکل ۵ تأثیر مواد لیزکننده سیلیکونی بر ضریب اصطکاک اکریلیک [۱۶].



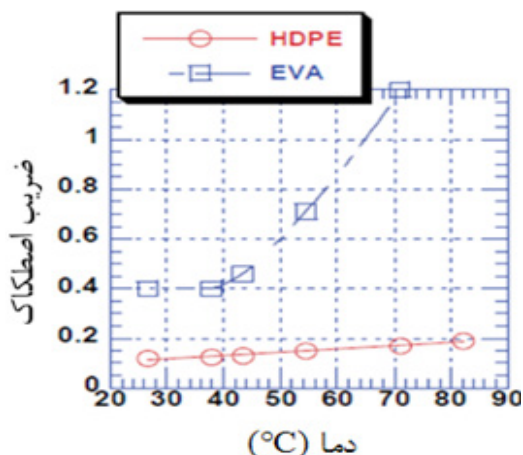
شکل ۴ تأثیر ماده لیزکننده بر ضریب اصطکاک ABS در دمای ۲۳ °C [۱۵].

فیلم، رقابتی بین این مواد و عامل لیزکننده برای قرارگرفتن در مکان‌های سطحی ایجاد می‌شود. با توجه به مواد شیمیایی موجود، مواد افزودنی ممکن است مانع مهاجرت عامل لیزکننده شده و یا این‌که عامل لیزکننده مانع مهاجرت آن‌ها به سطح فیلم شود. - تنش پیچشی: عامل لیزکننده در فیلم‌های با تنش بالاتر با سرعت کمتر مهاجرت می‌کند. همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، CoF با افزایش تنش پیچشی در فیلم PE افزایش می‌یابد [۶]. تنش پیچشی، با کاهش فاصله بین فیلم‌ها و افزایش حجم آزاد در فیلم، از مهاجرت عامل لیزکننده به سطح می‌کاهد.

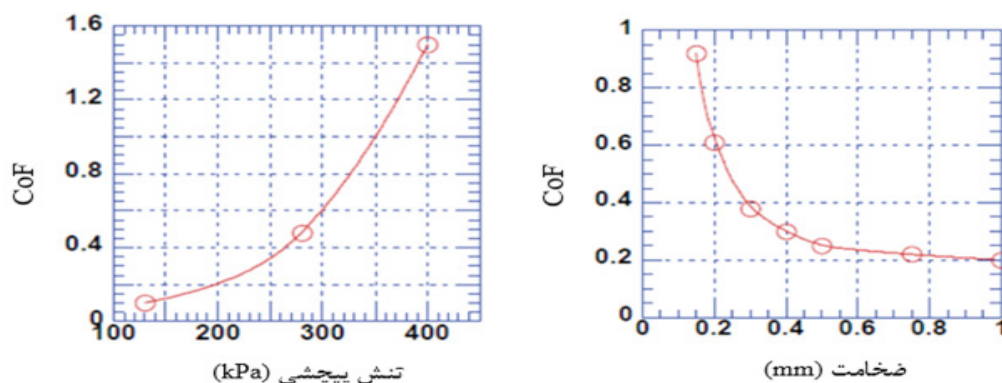
سیلیکون خطی با اندازه ذرات زیر میکرون (G3)) و ساختارهای اتری و غیراتری (پلی‌اترسیلیکونی خطی (G4)، پلی‌اترسیلیکونی خطی (G5)، پلی‌اترسیلیکونی غیرخطی (G6)) بررسی کردند (شکل ۵). نتایج آن‌ها نشان داد که افزودنی سیلیکونی با اندازه میکرو کمترین CoF را ایجاد می‌کند، اگرچه حضور این مواد به افزایش ضخامت سطح و کاهش شفافیت منجر شد. در مقایسه سیلیکون‌های پلی‌اتری منجر به کاهش کمتر در CoF شده و خواص زیری و نوری سطح را تغییر ندادند. در واقع، کاهش اندازه ذرات مخلوط سیلیکونی تعیین‌کننده میزان کاهش CoF بود.

- دما: دمای یکی از عوامل تأثیرگذار در مهاجرت آمیدها به دلیل تأثیر بر حرکت براونی مولکول‌ها است [۱۸]. در دماهای بالاتر از ۳۰ °C، سرعت مهاجرت به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و ممکن است مشکلاتی در کیفیت محصول ایجاد کند. در واقع، مقدار زیاد آمیدها در سطح، گروه‌های قطبی ایجاد شده توسط اصلاح سطح را تحت تأثیر قرار داده، باعث کاهش اثر چسبندگی آن‌ها در کاربردهای بعدی می‌شود [۱۹]. شکل ۶ تأثیر دما بر CoF را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود واکنش در برابر دما بین مواد متفاوت است. اتیلن وینیل استات، تغییر CoF را در دمای نسبتاً کم تجربه می‌کند اما پلی‌اتیلن با چگالی بالا، HDPE، تا زمان ذوب شدن تقریباً ثابت است [۱۸].

- سایر مواد افزودنی: از آن‌جا که آنتی‌استات‌ها، ضدانفجارها و سایر مواد افزودنی نیز به سطح فیلم مهاجرت می‌کنند، هنگام نفوذ مواد افزودنی به سطح



شکل ۶ تأثیر دما بر ضریب اصطکاک HDPE و EVA [۱۸].



شکل ۷ تأثیر تنش پیچشی و ضخامت بر ضریب اصطکاک فیلم پلی اتیلن حاوی لیزکننده اروکامید [۶].

روز یا چند هفته از بین می‌رود). اولتامید در مقایسه با اروکامید به دلیل وزن مولکولی کم‌تر، سریع‌تر به سطح فیلم منتقل شود. در حالی که بعد از زمان مشخص، اروکامید، فیلمی با CoF پایین‌تر نسبت به اولتامید تشکیل می‌دهد. اروکامید فرارایت کمتر و پایداری حرارتی، پایداری رنگ و خاصیت لیزکنندگی بهتر دارد و بیشتر در سطح باقی می‌ماند. در بعضی کاربردها برای دستیابی به بازده بالاتر اروکامید و اولتامید با هم مخلوط می‌شوند [۹].

- برای فیلمی که برای فرایندهای بعدی بعد از جمع شدن و ذخیره‌سازی نیاز به سطح ضداصطکاک دارد، می‌توان از یک مولکول لیزکننده بزرگ‌تر و با سرعت مهاجرت کندتر استفاده کرد.

- عامل لیزکننده اغلب بر اساس نوع مهاجرت آن داخل پلیمرهای مختلف در فیلم چند لایه انتخاب می‌شود. به عنوان مثال، آمید نوع دوم مانند استیریل اروکامید در لایه کوپلیمر PP مهاجرت می‌کند اما در لایه هموپلیمر PP منتقل نمی‌شود [۹].

به طور کلی، عوامل لیزکننده آمیدی در پلیمرهای با بلورینگی بالا مانند HDPE و به خصوص PP آهسته‌تر مهاجرت می‌کنند. مولکول‌های عامل لیزکننده اشباع و بزرگ‌تر، پایداری حرارتی بالاتری دارند. اگرچه این مولکول‌ها CoF را کم‌تر از آمیدهای اشباع نشده کاهش می‌دهند، اما تمایل کمتری به اکسایش، تغییر رنگ، ایجاد بو، چسبندگی و فرارایت در دمای بالای فرایند دارند [۴].

- ضخامت فیلم: ضخامت مواد، نقش مهمی را در افزودنی‌های مهاجر ایفا می‌کند. تأثیر ضخامت فیلم بر روی CoF در شکل ۷ نشان داده شده است [۶].

هر چه فیلم ضخیم‌تر باشد، مدت بیشتری طول می‌کشد تا عامل لیزکننده به تعادل برسد. فیلم‌های نازک‌تر برای دستیابی به میزان مشخصی از CoF به افزودن لیزکننده بالاتری نسبت به فیلم‌های ضخیم‌تر نیاز دارند [۳، ۹]. زیرا مواد افزودنی بسته به تراکم سطح آن‌ها عمل می‌کنند و مساحت سطح بیشتر به مقدار افزودنی بیشتر نیاز دارد.

۳-۱-۲ عوامل موثر در انتخاب ماده افزودنی لیزکننده مناسب کاربرد خاص

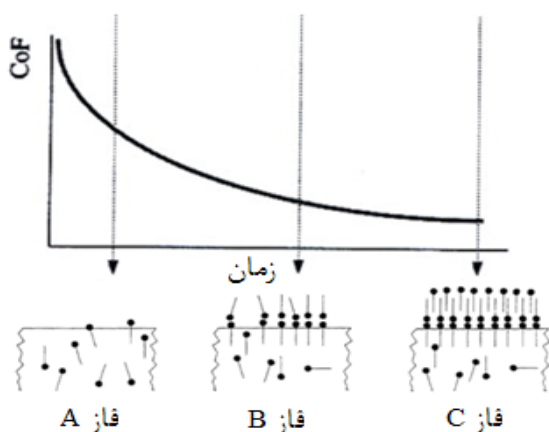
سرعت مهاجرت یا بازه زمانی که در آن به اثربخشی عامل لیزکننده نیاز است عامل اصلی موثر در انتخاب لیزکننده است. سرعت مهاجرت مواد لیزکننده مختلف به سطح فیلم پلیمری متفاوت است و شرایط کاربرد فیلم پلیمری، نوع ماده لیزکننده را تعیین می‌کند. برخی از این شرایط به صورت زیر است:

- اگر فیلم به سطح با CoF کم و فوری نیاز داشته باشد، مانند تولید کیسه‌هایی که در تولید، دچار چروک‌شدگی می‌شوند یا بلافاصله پس از فرایند تولید، دوخت و برش می‌شوند، عوامل لیزکننده بر پایه مولکول‌های اشباع نشده مانند اولتامید مفید هستند. در غلظت‌های بالا، این مواد طی چند دقیقه به سطح پلیمر مهاجرت می‌کنند (جایی که تأثیر آن‌ها طی چند

ساختاری هستند: گروه آمید و زنجیره هیدروکربن. زنجیره هیدروکربن به دلیل خواص مشابه با پلی اتیلن به آن تمایل دارد و به همین دلیل زنجیره های هیدروکربن موجود در لایه اول در پلیمر قرار گرفته، گروه های آمید آن ها در سمت بالا و رو به هوا قرار می گیرند. هنگامی که مولکول های لیزکننده بیشتری به سطح می رسند، لایه دوم را روی سطح تشکیل می دهند. مولکول های لایه دوم طوری بر روی لایه اول قرار می گیرند که گروه های آمید روبروی یکدیگر باشند. سطح فیلم هایی که دارای چنین لایه های روانی هستند با سهولت بر روی یکدیگر می لغزند و این به خواص لیزکنندگی مورد انتظار از این مواد کمک می کند [۶].

۳ مواد افزودنی ضدچسبندگی

تمایل به چسبندگی به عنوان دیگر ویژگی سطح فیلم های پلی الفینی شناخته می شود که در آن دو لایه فیلم تمایل به چسبیدن به هم دارند و جداسازی آن ها دشوار است. مواد ضدچسبندگی با غلبه بر نیروهای جاذبه بین لایه های فیلم از چسبندگی فیلم ها به یکدیگر به ویژه در شرایط انبارداری یا جمع شدن جلوگیری کرده، در اصطلاح بازشوندگی را بهبود می بخشد. مواد ضدچسبندگی به منظور کاهش چسبندگی بین لایه ها به پلیمرها اضافه می شود. این مواد پس از تولید فیلم به



شکل ۸ طرحواره نحوه قرار گرفتن مواد لیزکننده در فیلم پلیمری و تأثیر آن بر کاهش ضریب اصطکاک [۶].

۲-۲ مواد افزودنی لیزکننده غیر مهاجر

لیزکننده های غیر مهاجر، مواد آلی با وزن مولکولی بالا یا مولکول های بر پایه ترکیبات سیلوکسان یا کوپلیمرهای حلقوی-الفینی (COCs) هستند که نیازی به زمان شکوفا شدن در سطح ندارند، اما سطح لیزکنندگی با CoF (متوسط) $0.04-0.07$ را ایجاد می کنند. عوامل لیزکننده غیر مهاجر در ماتریس پلیمر پخش نمی شوند و در نتیجه، CoF بعد از اکستروژن فیلم دچار تغییرات بسیار جزئی می شود. این نوع عامل لیزکننده برای کاهش و کنترل هزینه، فقط به پوسته (لایه بالایی) فیلم چندلایه اعمال می شود. این مسئله با عامل های لیزکننده مهاجر که به همه لایه های فیلم اضافه می شوند، متفاوت است [۳،۹].

۲-۳ سازوکار عملکرد مواد لیزکننده

مواد افزودنی لیزکننده دارای بخش سازگار (محللول) و بخش غیرسازگار (غیرمحللول) در بستر آلی هستند. در حین فرایند (در فاز مذاب)، مواد لیزکننده در بستر آلی به صورت محللول هستند و کاملاً یکنواخت پخش شده اند. پس از پایان فرایند و در زمان سرد شدن و مرحله تبلور، محدودیت حلالیت فراتر رفته، مواد افزودنی لیزکننده از ماتریس به سمت سطح مهاجرت می کنند. در واقع، در ابتدا، مواد افزودنی لیزکننده به طور همگن در فیلم پراکنده می شود و در نتیجه، غلظت آن ها در سطح کم است (شکل ۸، فاز A) و مقدار CoF زیاد است. به دلیل سازگاری محدود مواد لیزکننده با بستر آلی پلیمر پایه، مواد افزودنی لیزکننده به سطح مهاجرت می کنند و غلظت آن ها در سطح فیلم افزایش می یابد (فاز B) و لایه ای جزئی روی سطح تشکیل می دهند و CoF کاهش پیدا می کند. مهاجرت مواد لیزکننده به سطح پلیمر ادامه می یابد تا جایی که این مهاجرت به تعادل رسیده، در زمان تعادل (فاز C)، حداقل یک لایه پوشش پیوسته از مولکول های افزودنی لیزکننده روی سطح فیلم تشکیل می شود. در این حالت CoF به کم ترین مقدار خود می رسد و فیلم های تولیدی بیشترین لیزخوردگی را بر روی یکدیگر خواهند داشت [۶].

همان طور که شکل ۸ نشان می دهد، آرایش و نحوه قرار گرفتن مولکول ها روی سطح بی نظم نیست، اما دارای ساختاری است که از تمایل دو بخش موجود در عامل لیزکننده و پلیمر حاصل می شود. آمیدهای چرب که توسط این سازوکار توصیف شده اند دارای دو بخش

سطح آن مهاجرت می کنند و به دلیل شکل و اندازه های مختلف، الگوی زبری در مقیاس میکرومتر تشکیل می دهند و از این رو خاصیت چسبندگی را از طریق کاهش تماس فیلم به فیلم کاهش می دهد [۲۰].

۳-۱ انواع مواد افزودنی ضدچسبندگی

به طور کلی، مواد افزودنی ضدچسبندگی از لحاظ ساختار شیمیایی در دو گروه افزودنی های آلی و معدنی قرار می گیرند که در ادامه بررسی می شوند.

۳-۱-۱ مواد ضدچسبندگی معدنی

امروزه مواد ضدچسبندگی معدنی بیشترین کاربرد را در بین سایر گروه ها دارند. این افزودنی ها نسبتاً ارزان هستند و اغلب در محصولات با حجم زیاد مورد استفاده قرار می گیرند.

تالک: تالک با ۴۰٪ از حجم بازار جهانی پرکاربردترین ماده ضدچسبندگی معدنی است. تالک خالص و بدون پوشش اصلاحی ممکن است مواد افزودنی را جذب کند. از این رو، شکل های اصلاح شده آن برای اصلاح پراکندگی و بهبود چسبندگی پلیمر/تالک استفاده می شوند. به ویژه تالک های با نام تجاری Polybloc®، همزمان با کاهش جذب سایر مواد افزودنی، باعث افزایش پراکندگی در زمان اختلاط می شوند. تالک معمولاً کمترین نسبت هزینه/عملکرد و بالاترین مصرف را در میان سایر مواد ضدچسبندگی دارد و در فیلم های PE و PP دارای کمترین کدری و برهم کنش با سایر افزودنی ها است [۹].

دیاتومیت: دیاتومیت ماده ای معدنی از جنس سیلیس است و یک چهارم از بازار جهانی مصرف مواد ضدچسبندگی را بعد از تالک به خود اختصاص داده است. مقایسه بین دیاتومیت و تالک در فیلم های PE نشان داده است که در غلظت های زیر ۰/۵ درصد، خاصیت ضدچسبندگی تالک بالاتر از دیاتومیت است. اما در غلظت های بالاتر، اثر ضدچسبندگی آن ها رفتار نسبتاً مشابهی نشان می دهد. از آن جا که ضریب شکست خاک دیاتومیت شبیه به پلی اتیلن است، نسبت به سایر مواد ضدچسبندگی غیرآلی در فیلم های نازک، کدری کمتری ایجاد می کند. این ماده غالباً بهترین روش برای به حداقل رساندن کل مقدار مواد معدنی در فیلم است که کمترین تأثیر را بر روی خواص نوری فیلم خواهد داشت [۹].

سیلیکای سنتزی: سیلیکای سنتزی با ۲۵٪ از حجم بازار مصرف مواد ضدچسبندگی، ماده پر مصرف دیگر به ویژه در چین و آسیا است. این ماده نوع بی شکل دی اکسیدسیلیکون با سطح دارای عامل هیدروکسیل و تخلخل بالا است. ضریب انعکاس سیلیکای مهندسی نزدیک به پلی اتیلن و پلی پروپیلن که منجر به تشکیل فیلم های شفاف از این مواد می شود [۹].

کربنات سدیم: کربنات کلسیم اثربخشی پایینی دارد و باید حدود ۲-۳ برابر سایر مواد ضدچسبندگی برای دستیابی به بازده مشخص استفاده شود. این موضوع منجر به کاهش شفافیت فیلم شده و کاربرد آن را محدود به فیلم هایی می کند که شفافیت در آن ها حائز اهمیت نیست [۹، ۲۱].

ژئولیت: ژئولیت ها، مواد آلومینوسیلیکات های بلوری آب دار با ساختار یکنواخت سه بعدی هستند و ضریب انعکاس آن ها به PE و PP نزدیک است. کاربرد ژئولیت ها به عنوان عامل ضدچسبندگی نسبت به سایر مواد کمتر است [۹].

۳-۱-۲ مواد ضدچسبندگی آلی

تعدادی از مواد طبیعی مانند واکس ها و آمیدهای چرب غیراشباع خواص ضدچسبندگی دارند. مواد دیگر مانند استئارات ها، سیلیکون ها و پلی تترافلوئورواتیلن نیز به این منظور استفاده شده اند. عوامل ضدچسبندگی آلی معمولاً قیمت بالاتری در مقایسه با نمونه های غیرآلی دارند، به همین دلیل در فیلم هایی با ارزش که نیاز به وضوح بالایی دارند، استفاده می شوند.

۳-۲ عوامل موثر در انتخاب ماده ضدچسبندگی

مناسب کاربرد خاص

نیروی چسبندگی پلیمرهای حاوی مواد ضدچسبندگی معدنی به عوامل مختلفی بستگی دارد. اولین عامل موثر، مقدار ماده معدنی است که با افزایش آن، تمایل به چسبندگی کاهش می یابد. اندازه ذرات، شکل، دما، سرعت نفوذ به سطح، ساختار شیمیایی و ریزساختار سطح، زبری، ضخامت فیلم و کیفیت پراکندگی مواد معدنی از عوامل دیگری هستند که در دستیابی به خواص ضدچسبندگی بهینه موثر هستند. اندازه ذرات بر خواص نوری فیلم، مانند کدری، اثرگذار است. این مواد می توانند از شفافیت فیلم بکاهند. خواص ضد

می شود با استفاده از مواد ضدچسبندگی معدنی دارای ذرات کروی یکنواخت و توزیع باریک بهبود می دهند. ذرات ضدچسبندگی معدنی معمول از نظر شکل و اندازه نامنظم هستند که منجر به خواص نوری ضعیف فیلم می شود. اثر هم افزایی مواد ضدچسبندگی معدنی / آلی باعث کاهش مقدار ماده ضدچسبندگی مورد نیاز می شود. با این حال، غلظت دقیق عامل ضدچسبندگی/لیزکننده آلی / معدنی برای هر کاربرد، نیاز به بررسی چندین عامل رقابتی اندازه ذرات، مقدار افزودنی معدنی، مقدار افزودنی آلی و ضخامت فیلم دارد [۹].

تأثیر حضور همزمان لیزکننده اروکامید (ER) و ضدچسبندگی سیلیکای سنتزی و تالک بر خواص فیلم های LDPE توسط متبلی [۱۳] بررسی شده است (شکل ۹). نتایج نشان می دهد که سیلیس یا تالک به تنهایی CoF را حدود ۳۵٪ تا ۵۰٪ کاهش می دهند. رادوستا [۲۲] نیز کاهش ۳۵٪ ضریب اصطکاک را چند هفته پس از اکستروژن فیلم LDPE حاوی ۱۰۰۰ ppm تالک گزارش کردند. حضور همزمان تالک و اروکامید در فیلم پلیمری، باعث ایجاد اثر هم افزایی شده، منجر به کاهش بیشتر CoF می شود. در واقع عامل ضدچسبندگی تأثیر چشمگیری بر روی مواد لیزکننده ایجاد می کنند. در بعضی موارد اثرات هم افزایی ایجاد شده باعث نتایج بهتر و در بعضی موارد منجر به افزایش CoF می شود. بنابراین دستیابی به شرایط بهینه بسیار اهمیت دارد. بهینه سازی اثر این دو نوع افزودنی یکی از اهداف پژوهش ها است. معادله تجربی زیر برای این منظور

چسبندگی ایجاد شده باید با خواص جانبی مضر که پیش می آید در توازن باشد. ذرات بزرگ، خاصیت ضدچسبندگی را بهبود داده اما شفافیت فیلم را کاهش می دهد. علاوه بر این، بعضی از افزودنی ها ممکن است، سایر افزودنی های موجود مانند آنتی اکسیدانت ها و کمک فرایندها را جذب کنند که باید کنترل شود. کیفیت اختلاط نیز در مورد مواد افزودنی معدنی از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا کارایی آن ها را تحت تأثیر قرار می دهد. عدم اختلاط مناسب و حضور کلوخه های بیشتر پس از اختلاط، کارایی افزودنی را کاهش می دهد. جدول ۳ تأثیر مواد معدنی مختلف بر خواص ضدچسبندگی و خواص نوری فیلم های PE را مقایسه می کند [۹]. سیلیکای سنتزی کم ترین میزان وضوح (۵/۵٪) در مقابل ۹-۹/۵٪ سایر افزودنی ها، بیشترین شفافیت (۷۲٪) در مقابل ۶۱-۶۰٪ و بالاترین براقیت (۶۸٪) در مقابل ۶۲-۵۳) را دارد. همچنین، سیلیکای سنتزی و دیاتومیت بالاترین نیروی چسبندگی (۲۳-۲۷ g در مقابل ۱۲-۱۷) و بالاترین CoF (۰/۳۳-۰/۴۶) در مقابل ۰/۱۵-۰/۱۸) را از خود نشان دادند. به طور کلی، انواع مختلف تالک به منظور استفاده به عنوان ماده ضدچسبندگی به دلیل تعادل بین این خواص، فرایندپذیری و هزینه کم گزینه های مناسبی هستند [۹].

۴ مواد ضدچسبندگی لیزکننده شفافیت بالا

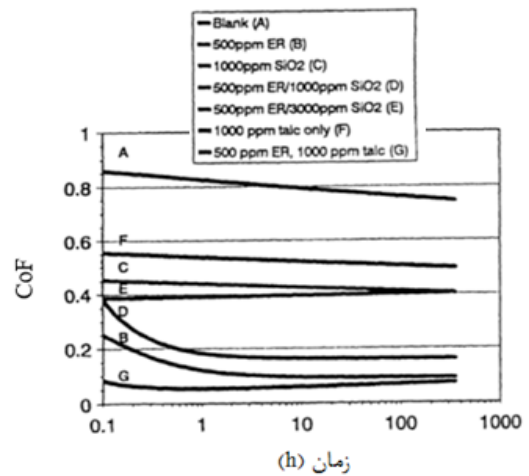
مواد ضد چسبندگی لیزکننده با شفافیت بالا از ترکیب مواد ضد چسبندگی معدنی پیشرفته با لیزکننده حاصل می شوند. این مواد، پراکندگی نوری را که باعث کدوری

جدول ۳ خواص ضدچسبندگی و خواص نوری چند ماده معدنی [۹].

ماده ضد چسبندگی و غلظت	نیروی چسبندگی (g)	ضریب اصطکاک (استاتیک-دینامیک)	وضوح (%)	شفافیت (%)	براقیت (%)
رزین خالص	۳۷	۱/۴۴ - ۱/۳۵	۱۳/۵	۴۶	۶۲
تالک، شفافیت بالا، ۲۵۰۰ ppm	۱۲	۰/۱۶ - ۰/۱۵	۹/۵	۶۰	۶۲
خاک رس، ۲۵۰۰ ppm	۱۷	۰/۱۸ - ۰/۱۸	۹	۶۱	۵۳
سیلیکا طبیعی، ۲۵۰۰ ppm	۲۷	۰/۳۳ - ۰/۳۳	۹/۵	۶۱	۶۰
سیلیکا طبیعی، ۱۵۰۰ ppm	۲۳	۰/۴۶ - ۰/۴۲	۵/۵	۷۲	۶۸

CoF بین دو لایه فیلم را کاهش دهند [۲۳]. در برخی فرمول‌ها، بخشی از این عامل لیزکننده بر روی سطح ماده ضدچسبندگی جذب می‌شود و در نتیجه باعث افزایش CoF به بالاتر از حد مورد نظر می‌شود [۲۴]. به منظور رفع این مشکل، اسبچه و همکاران [۲۵] ساختار متخلخل سیلیکا را به گونه‌ای اصلاح کردند که ماده افزودنی لیزکننده را جذب نکرده، در نتیجه خواص لیزکنندگی فیلم را کاهش نمی‌دهد. نتایج نشان داد که در فیلم LDPE حاوی ۵۰۰ ppm اروکامید، CoF کمتر از سیلیکای اصلاح نشده و مستقل از غلظت است (شکل ۱۰). همچنین همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، سیلیکای اصلاح شده حدود ۴۰٪ نسبت به سیلیکای سنتزی و طبیعی بازده بالاتری در کاهش نیروی چسبندگی دارد. به عبارت دیگر، برای دستیابی به میزان چسبندگی مشخص با استفاده از سیلیکای جدید سنتز شده، مقدار مواد کمتری (۶۰٪ در مقایسه با سیلیکای طبیعی و ۸۰٪ در مقایسه با تالک) نیاز است. این موضوع تأثیر مثبتی بر روی خواص نوری فیلم دارد.

در مطالعه دیگری نیز هوانگ و همکاران [۲۶]، اروکامید بلوری دوبعدی را با ضخامت ۴ nm سنتز کردند. ایجاد ساختار بلوری در اروکامید منجر به کاهش زیادی در ضریب اصطکاک شده، هدایت حرارتی را بهبود داد. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، ضریب اصطکاک حدود ۷۰٪ کاهش یافته است. این مسئله، این ماده را به گزینه‌ای مناسب در کاربردهای با اصطکاک کم و مدیریت حرارتی تبدیل می‌کند.

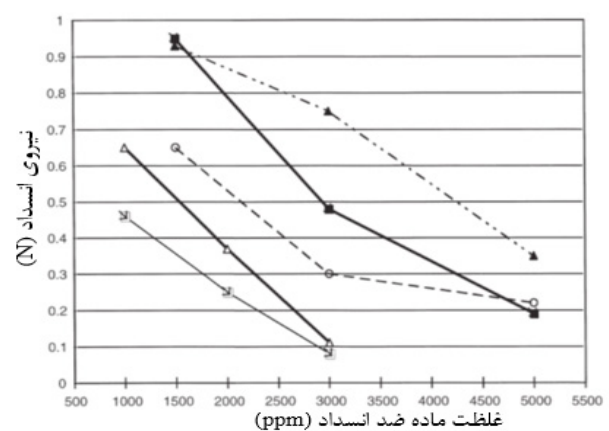
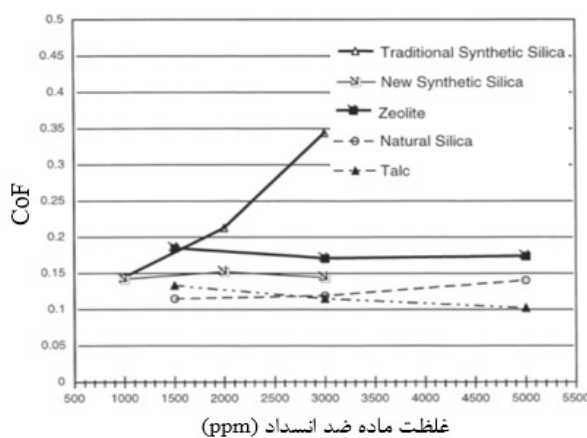


شکل ۹ تأثیر حضور هم‌زمان مواد ضدچسبندگی لیزکننده بر ضریب اصطکاک فیلم LDPE [۱۳].

معرفی شده است:
(۱)

$$COF = a + bt^2 + c\alpha^2 + d\beta^2 - et^{-1}s^{-1}ft^{-1}\beta^{-1} - g\alpha^{-1}\beta^{-1} - ht^{-1}\alpha^{-1}\beta^{-1}$$

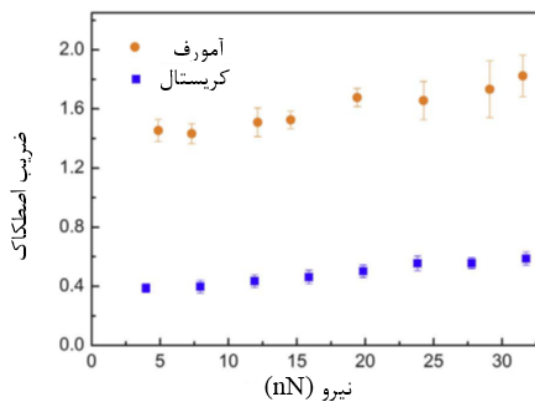
که t ، β ، α غلظت ماده افزودنی معدنی، غلظت ماده افزودنی آلی و $a-h$ ثوابت تجربی هستند و باید برای هر سامانه به صورت تجربی اندازه‌گیری شوند. همان‌طور که بیان شد برای بالا بردن بازده خاصیت ضدچسبندگی / لیزکننده، اغلب ترکیبی از این مواد به فیلم‌ها اضافه می‌شود تا سطح صافی داشته باشند و



شکل ۱۰ تأثیر مواد ضدچسبندگی مختلف بر ضریب اصطکاک و نیروی چسبندگی فیلم LDPE [۲۵].

۵ نتیجه گیری

فیلم‌های مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی باید دارای خواص نوری خوب و ضریب اصطکاک کم باشند تا فیلم بتواند به راحتی بر روی لایه‌های خود و یا سایر اجزای تجهیزات فرایند حرکت کند. برای برآورده کردن این نیاز، باید مواد افزودنی لیزکننده و ضدچسبندگی در طول پلیمری شدن یا فرایند به فیلم‌ها اضافه شود. در این مقاله، مروری بر این مواد افزودنی و مهم‌ترین انواع آن‌ها انجام شد. علاوه بر این، سازوکار عملکرد مواد افزودنی لیزکننده و ضدچسبندگی مورد بررسی قرار گرفت و عوامل موثر بر عملکرد و انتخاب عامل مناسب با بررسی و جمع‌بندی مطالعات قبلی ارائه شد. نتایج نشان داد که نوع و مقدار پلیمر و ماده افزودنی، دمای فرایند و محیط، ضخامت فیلم و حضور سایر مواد افزودنی از عوامل اصلی در انتخاب افزودنی مناسب هستند.



شکل ۱۱ تأثیر ساختار اروکامید بر ضریب اصطکاک [۲۶].

مراجع

- Cáceres C.A., Mazzola N., França M., Canevarolo S.V., Controlling in-Line the Energy Level Applied During the Corona Treatment, *Polymer Testing*, 31, 505-511, **2012**.
- Llop C., Manrique A., Navarro R., Mijangos C., Control of the Migration Behavior of Slip Agents in Polyolefin-Based Films, *Polymer Engineering and Science*, 51, 1763-1769, **2011**.
- Patel P., Savargaonkar N., A Review of Additives for Plastics: Slips and Antiblocks, *Plastics Engineering*, 63, 48-51, **2007**.
- Markarian J., Slip and Antiblock Additives: Surface Medication for Film and Sheet, *Plastics Additives and Compounding*, 9, 32-35, **2007**.
- Nayak K., Tollefson N.M., An Experimental Design Approach: Effect of Slip and Antiblocking Agents on the Performance of Polymer, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 16, 84-94, **2000**.
- Wypych G., Handbook of Antiblocking, Release, and Slip Additives, ChemTec Publishing, Canada, **2005**.
- Hadi N.H.N., Abidin M.F.Z., Shuib R.K., Roles of Slip Agent in Blown Film Extrusion of Linear Low Density Polyethylene, *Journal of Engineering Science*, 14, 61-70, **2018**.
- Drobny J.G., Handbook of Thermoplastic Elastomers, William Andrew, New York, **2007**.
- Tolinski M., Additives for Polyolefins: Getting the Most out of Polypropylene, Polyethylene and TPO, William Andrew, USA, **2015**.
- Cooper I., Tice P.A., Migration Studies on Fatty Acid Amide Slip Compounds From Plastics Into Food Simulants, *Food Additives and Contaminants*, 12, 235-244, **1995**.
- Mansha M., Gauthier C., Gerard P., Schirrer R., The Effect of Plasticization by Fatty Acid Amides on the Scratch Resistance of PMMA, *Wear*, 271, 671-679, **2011**.
- Hamzah A.F., Al-kawaz A., Study of Mechanical Properties of Wollastonite Filled Epoxy Functionally Graded Composite Noor Bayan Muslim, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9, 669-677, **2018**.
- Maltby A., Marquis R.E., Slip Additives for Film Extrusion, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 14, 111-120, **1998**.
- Wang L., He H., Lin R., Wu Z., Wang Q., Study on Ameliorating Friction Noise of ABS Materials by Lubrication, *Polymer Testing*, 82, 106307, **2020**.
- Rajsatean J., Larpsuriyakul P., Prakymoramas N., Thanomjit D., Friction Characteristics of Self-lubricating ABS Under Different Surface Roughnesses and Temperatures, *Tribology International*, 109, 229-237, **2017**.
- Izmitli A., Ngunjiri J., Lan T., Pacholski M.L., Smith R., Impact of Silicone Additives on Slip/Mar Performance and Surface Characteristics of Waterborne Acrylic Coatings, *Progress in Organic Coatings*, 131, 145-151, **2019**.
- Bryant K.A.A., Understanding Coefficient of Friction in Coextruded Films, *Polymer Laminations Coating Conference*, 18-4, 969-77, **1998**.
- Soutar A., The Fugitive: Slip, Polymer Laminations Coating Conference, 10-2, 319-28, **1996**.
- Coelho F., Vieira L., Benavides R., Paula M., Bernardin A.M., Magnago R.F., Synthesis and Evaluation of Amides as Slip Additives in Polypropylene, *International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society*, 30, 574-584, **2015**.
- Antoine K.K., Multilayer Flexible Packaging: Additives to Design and Improve the Performance of Multilayer Flexible Packaging, William Andrew, USA, **2016**.
- Esche G.V., Kromminga T., Schmidt A., New Highly Efficient Silica Antiblocking Aids for PE and PP Films, *Social Plastic Engineering conference*, 3, 2837-2842, **1998**.
- Radosta J.A., Riley W.D., Treated Talc as an Effective Anti-Block for LDPE Blown Film, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 7, 247-258, **1991**.
- Wooster J.J., Simmons B.E., Optimizing CoF, Seal Performance, and Optical Properties of Polyolefin Plastomers, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 12, 50-67, **1996**.
- Coupland K., Maltb, A., Modification of the Surface Properties of Polyethylene Plastomer Films by the use of Additives, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 13, 142-149, **1997**.
- Esche G.V., Kromminga T., Schmidt A., New Highly Efficient Silica Anti-Blockingaids for PE and PP Films, *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 16, 155-168, **2000**.
- Huang Y., Xiong Y., Liu C., Lia L., Single-crystalline 2D Erucamide with Low Friction and Enhanced Thermal Conductivity, *Colloids and Surfaces A*, 540, 29-35, **2018**.

