بررسی و بهینه‌سازی اثرات متقابل ضریب اصطکاک، چسبندگی و چاپ پذیری فیلم‌های پلی‌اتیلن سبک

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

علیرضا زاهدی [۱و۲*]، محسن نجفی [۱و۲]، مرتضی ابراهیمی [۱و۲]، علی رنجی [۲*]، سعید آسیابان [۲]

۱.تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، گروه پژوهش‌های مشتری محور، صندوق پستی ۱۴۱۸۵/۴۵۸ و ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲.تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

Arz_polymer@yahoo.com
ranji@nipc.net

چکیده

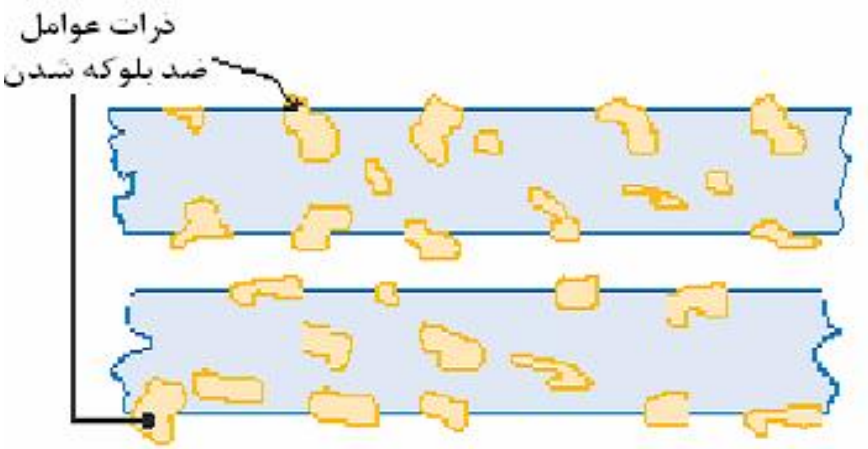
عدم استفاده از افزودنی‌های مناسب موجب چسبندگی و افزایش ضریب اصطکاک بین لایه‌های فیلم های دمشی می‌گردد و سبب به هم چسبیدن و عدم حرکت لایه‌های فیلم‌ها روی هم می‌شود. این امر خود موجب عدم کارائی و استفاده مناسب از آنها می‌گردد.

افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح (Slip Agent) در کاهش ضریب اصطکاک و عوامل ضد چسبندگی سطح (Antiblocking Agent) در کاهش چسبندگی لایه‌های فیلم به یکدیگر موثر است. طی این پژوهش با استفاده از انواع عوامل فوق‌الذکر ضمن بررسی امکان رفع مشکل چسبندگی و ضریب اصطکاک بالای لایه‌های فیلم به موضوع اثرات متقابل بین این عوامل و نیز به دلیل تاثیر افزودنی‌های مذکور برخواص چاپ‌پذیری فیلم‌ها، به اثرات این عوامل بر روی خواص چاپ‌پذیری پرداخته شده است. براین اساس مقدار بهینه عوامل مولد لغزندگی سطح و ضد چسبندگی سطح جهت رسیدن به ضریب اصطکاک، چسبندگی و چاپ‌پذیری مطلوب تعیین گردید.

کلمات کلیدی: عوامل لغزندگی سطح، عوامل ضد چسبندگی، ضریب اصطکاک، چاپ‌پذیری، نیروی‌چسبندگی

مقدمه

چسبندگی لایه‌ها در فیلم‌های تولید شده به روش دمشی یکی از مشکلات رایج در صنعت فیلم محسوب می‌شود. به نظر می‌رسد دلیل این امر، وجود نیروهای وان‌دروالسی بین نواحی آمورف پلیمرها بوده که با کاهش فاصله بین لایه‌ها افزایش می‌یابد. چسبندگی بین لایه‌ها در فیلم‌های پلی اتیلنی متاثر از پارامترهای مختلفی می‌باشد. این پارامترها می‌تواند به فرمولاسیون حضور افزودنی‌های گوناگون، شرایط فرآیندی، نوع کاربرد، ابعاد و سطح ظاهری فیلم و نوع و مشخصات پلیمر مصرفی، شرایط انبارداری و ... وابسته باشد[۱و۲]. به منظور رفع مشکل چسبندگی لایه‌های فیلم از عوامل مولد لغزندگی سطح و نیز افزودنی‌های ضد چسبندگی سطح استفاده می‌شود. عوامل ضد چسبندگی سطح را به طور کلی به دو دسته آلی و معدنی تقسیم می‌کنند. نوع آلی به دلیل مهاجرت به سطح موجب افزایش فاصله بین لایه‌ها شده که این امر در کاهش نیروی چسبندگی لایه‌ها موثر است و این عوامل به دلیل ایجاد انواع مشکلات از جمله مشکل چاپ‌پذیری و خواص نوری کاربرد چندانی ندارد. عوامل معدنی نیز با ایجاد فاصله بین لایه‌های فیلم موجب کاهش نیروی چسبندگی بین آنها می‌شود. نوع، اندازه ذرات، شکل ذرات و نیز پراکندگی آنها نقش بسزایی در کارائی این مواد دارد. این نوع افزودنی‌ها هر چقدر شکل نامنظم‌تری داشته باشند، کارائی بیشتری دارد[۳و۴].



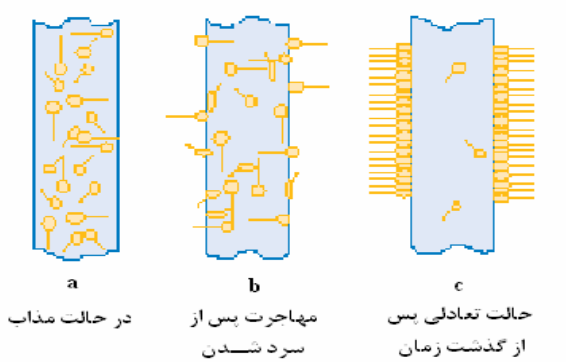
شکل۱- تصویر شماتیک مکانیزم عملکرد عوامل ضد چسبندگی سطح

در جدول ۱ انواع عوامل ضد چسبندگی معدنی به همراه اندازه، شکل و رنگ ذرات آورده شده است. از میان این عوامل سیلیکای طبیعی و معدنی بیشترین کارائی را دارد. علاوه بر کارائی، قیمت، رنگ و اندازه ذرات، وجود ناخالصی نیز از فاکتورهای مهم در انتخاب نوع عامل ضد چسبندگی محسوب می‌شود. به عنوان مثال حضور مقادیر اندک آهن موجب تسریع در تخریب اغلب افزودنی‌ها من‌جمله عوامل مولد لغزندگی سطح و عوامل آنتی استاتیک شده، باعث تغییر رنگ محصول نهایی می‌گردد. افزودنی‌های ضد چسبندگی سطح غالباً بین ppm ۳۰۰۰-۱۰۰۰ مصرف می‌شود.

جدول ۱- اندازه و شکل ذرات ضد چسبندگی سطح از نوع معدنی

رنگ	شکل ذرات	متوسط اندازه ذرات	نوع
سفید مایل به زرد تاخاکستری	نامنظم	۴-۵	سیلیکای طبیعی
سفید تا زرد	صفحه‌ای	۲-۵	تالک
سفید	کره نامنظم	۴-۵	سیلیکای مصنوعی
سفید تا سفید مایل به زرد	کروی	۲-۳	کربنات کلسیم

از سوی دیگر افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح با مهاجرت به سطح و قرار گرفتن بین لایه‌های فیم‌ها سبب کاهش ضریب اصطکاک شده و در نهایت باعث سهولت در جدا شدن لایه‌های فیلم ها از یکدیگر می‌گردد[۵و۶].



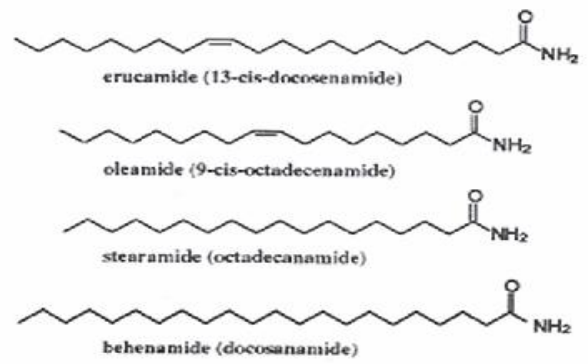
شکل۲- تصویر شماتیک مکانیزم مهاجرت عوامل مولد لغزندگی سطح

در جدول ۲ انواع افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح آورده شده است. از آنجایی که این مواد از اسیدهای چرب گیاهی و حیوانی به وجود می‌آید، هیچ گونه اثر سمی بر روی محصول ایجاد نمی‌کند. در حین فرآیند، این عوامل در بخش آمورف قرار گرفته که در ادامه با تشکیل کریستال ها به سطح مهاجرت می‌کند.

جدول ۲- اندازه و شکل ذرات مولد لغزندگی سطح

شکل ذرات	منابع سنتز	نوع
کروی	گیاهی	اولئامید
کروی	حیوانی	اریوکامید

از میان افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح Erucamide به دلیل فشار بخار پایین، فراریت کمتری داشته ومدت زمان بیشتری بر روی سطح فیلم باقی می‌ماند، علاوه بر این مقاومت حرارتی آن نیز بالاتر از سایر عوامل این دسته از افزودنی‌هاست. Oleamide یکی دیگر از عوامل مولد لغزندگی سطح است که بیشتر برای خطوط تولیدی مصرف می‌شود که تولید و مصرف فیلم در یک خط به صورت متوالی صورت می‌پذیرد که این مساله به دلیل مهاجرت سریع آن به سطح می‌باشد. به این مفهوم که در یک مدت زمان کوتاه به ضریب اصطکاک پایین می‌رسیم. ضریب اصطکاک فیلم‌های LDPE و LLDPE غالباً در محدوده ۰/۶-۰/۷۵ واقع است. در صورتی که جهت مصرف در صنایع بسته‌بندی به ضریب اصطکاک حدود ۰/۲ نیاز است [۳]. این ضریب اصطکاک با انتخاب مناسب از عوامل مولد لغزندگی سطح در مقادیر ppm ۱۵۰۰-۵۰۰ حاصل می‌گردد.ساختار عمومی افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح در شکل ۳ آمده است [۴].



شکل ۳- آمیدهای نوع اول معمولی

به دلیل مهاجرت افزودنی‌های مولد لغزندگی به سطح فیلم و نیز اثرات سطحی عوامل ضدچسبندگی،چاپ‌پذیری و خواص نوری فیلم، تحت تاثیر نوع و مقادیر مصرف عوامل یاد شده می‌باشد. به ویژه چاپ پذیری از اهمیت ویژه‌ای در صنایع بسته‌بندی برخوردار بوده و تاثیر آن در انتخاب نوع و مقادیر بهینه از افزودنی‌های مناسب می‌بایست در نظر گرفته شود.

آزمایشات انجام شده

مواد

از پلی اتیلن سبک گرید LF 0200 تولیدی مجتمع پتروشیمی بندر امام با شاخص جریان مذاب g/10min ۲و دانسیته g/cm3 ۰/۹۲ استفاده شده است. افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح مصرف شده از نوع ATMER SA 1753 و ATMER AS 1758 بوده و مقدار آن در نمونه‌ها در بازه ppm ۵۰۰-۱۵۰۰ می‌باشد. افزودنی‌های ضد چسبندگی سطح مصرف شده نیز از نوع GASIL 114 ، GASIL 905 ، Sylobloc 47 ، تالک با مش ۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ و کربنات کلسیم با مش ۱۵۰۰ بوده است. ضمناً به منظور بررسی اثر آمینواسیدهای چرب اشباع (نوع آلی افزودنی‌های ضد چسبندگی سطح) در کاهش چسبندگی بین لایه‌های فیلم از ATMER SA 1750 نیز استفاده شده است. خواص فیزیکی گریدهای تجاری افزودنی‌های مولد لغزندگی سطح و ضدچسبندگی سطح به ترتیب در جدول ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۳- معرفی گریدهای نمونه‌های مولد لغزندگی سطح

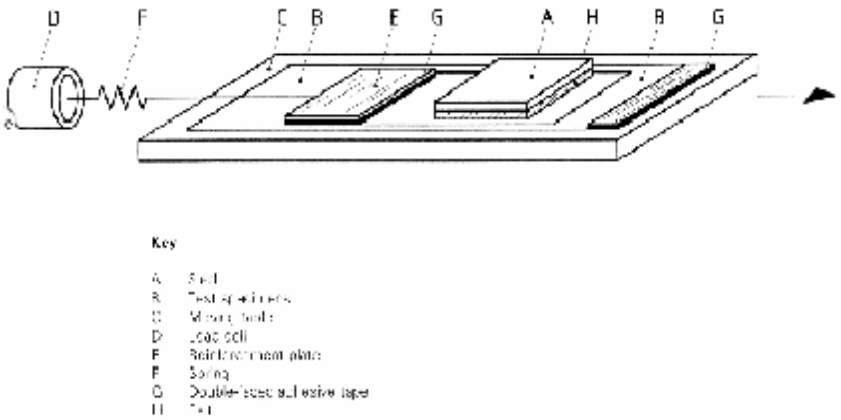
نام تجاری	شرکت تولیدی	نام علمی	Amide Content (%)
Atmer SA 1753	Ciba, Switzerland	Erucamide	۹۸ min
Atmer SA 1758	Ciba, Switzerland	Oleamide	۹۸ min

جدول ۴- معرفی گریدهای نمونه‌های ضدچسبندگی سطح

نام تجاری	شرکت تولیدی	نام علمی	pH	SiO2 غلظت (%)
Gasil AB 114	INEOS, UK	سیلیکای مصنوعی	۳-۱۰	۹۹/۵
Gasil AB 905	INEOS, UK	سیلیکای مصنوعی	۳-۱۰	>۹۳
Sylobloc 47	Grace, UK	سیلیکای آمورف	۶-۸	۹۹

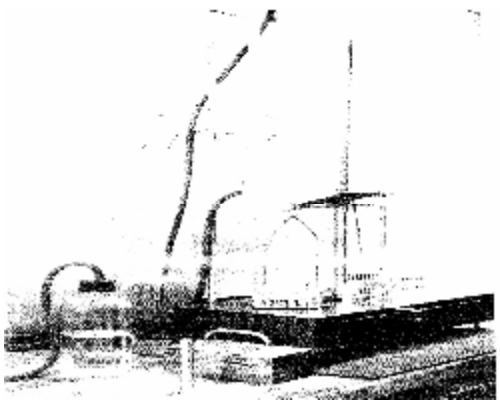
تجهیزات

به منظور اختلاط گرانول های پلی اتیلن با مواد پودری مولد لغزندگی سطح و ضد چسبندگی سطح از یک دستگاه اکسترودر دوپیچه Dr. Collin با L/D معادل ۱۸ حاوی ۶ منطقه حرارتی استفاده شد. دور چرخش پیچ اکسترودر ۶۰ دور در دقیقه و مناطق حرارتی از آغاز ورود خوراک تا انتها به ترتیب در دماهای ۲۲۰ و ۲۱۰ و ۲۰۰ و ۱۹۵ و ۱۸۵ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. ضمناً دور گرانول ساز ۷۴۰ rpm و دور منطقه خوراک ۱۵۰ rpm در نظر گرفته شد. پس از تهیه گرانول‌های حاوی ترکیب درصد نهایی از عوامل مورد نظر از یک دستگاه تولید فیلم دمشی Dr.Collin در مقیاس آزمایشگاهی استفاده گردید. به منظور تعیین ضریب اصطاک بین لایه‌های فیلم از دستگاه CoF طراحی شده مطابق با استاندارد ISO 8295 استفاده شد. با این تفاوت که سرعت حرکت لایه‌های فیلم به جای ۱۰ mm/min معادل ۶۰ mm/min لحاظ گردید [۸].



شکل ۴- شکل دستگاه اندازه گیری CoF در استاندارد Iso

جهت اندازه‌گیری نیروی چسبندگی بین لایه‌های فیلم از دستگاه طراحی شده مطابق با استاندارد ASTM D3354-95 استفاده گردید[۹]. شکل ۵ شماتیک این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل۵- ترازوی مجهز به بورت برای اندازه گیری نیروی‌چسبندگی

در نهایت با استفاده از استاندارد مربوط به تست تعیین چسبندگی پوشش و جوهر چاپ روی سطوح فیلم بر اساس استاندارد ASTM F1842 میزان چاپ پذیری معین گردید [۱۰].

آماده سازی نمونه

تحت شرایط ذکر شده فرمولاسیون‌های مختلف ازانواع افزودنی‌های مولدلغزندگی‌سطح و نیز عوامل ضدچسبندگی سطح به کمک دستگاه اکسترودر دوپیچه ابتدا به صورت مستربچ تهیه و در نهایت به کامپاندهای مورد نظر مطابق با جدول ۵ تبدیل گردید.

جدول۵- فرمولاسیون اول کامپاندهای مورد آزمایش

Sample	Ab. Type	Ab. Value	Slip Type	Slip Value
1	Gasil 114	1000	Er.	410
2	Gasil 114	2000	Ol.	820
3	Gasil 114	3000	St.	2610
4	Gasil 905	1000	Er.	820
5	Gasil 905	2000	Ol.	1230
6	Gasil 905	3000	St.	870
7	Sylobloc47	2000	Er.	410
8	Sylobloc47	3000	Ol.	820
9	Sylobloc47	1000	St.	2610
10	Talc 1500	1000	Ol.	410
11	Talc 1500	2000	St.	1740
12	Talc 3500	2000	Er.	1230
13	Talc 3500	3000	Ol.	410
14	Talc 3500	1000	St.	1740
15	Caco3	3000	Er.	820
16	Caco3	1000	Ol.	1230
17	Caco3	2000	St.	870

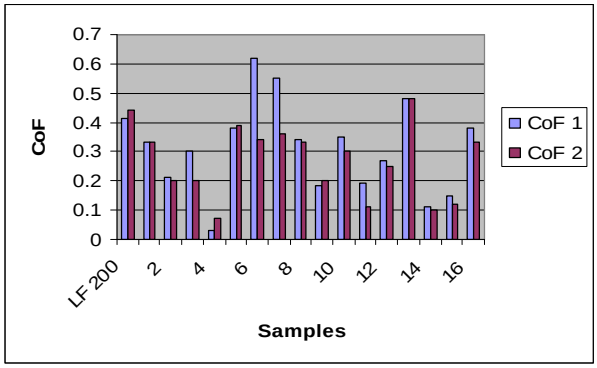
Er.: Erucamide
Ol.: Oleamide
St.: Stearamide

پس از تهیه کامپاند نهایی به کمک دستگاه تولید فیلم کلیه نمونه‌ها به دو صورت فیلم حاوی آماده‌سازی سطحی (Corona Treatment) و بدون آماده سازی سطحی مهیا گردید. قابل ذکر است آمایش سطح (Corona Treatment) به منظور ایجاد قطبیت روی سطح فیلم برای انجام آزمایش چسبندگی جوهر چاپ (تست چاپ‌پذیری) صورت گرفت.

آزمون‌ها

۱) ضریب اصطکاک (CoF)

با توجه به اینکه مهاجرت عوامل مولد لغزندگی به سطح در طول زمان انجام می‌گیرد، لذا ضریب اصطکاک در زمان های مختلف اندازه گیری شده از فرمولاسیون یک تا هفده ، ضریب اصطکاک پس از یک و دو روز از تولید فیلم اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۶ آمده است.

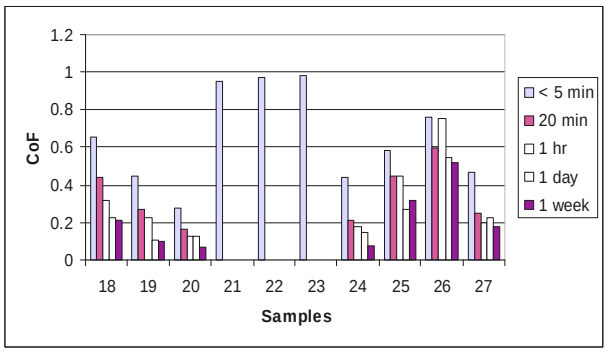


شکل ۶- ضریب اصطکاک پس از یک و دو روز از تولید فیلم

همان گونه که ملاحظه می‌گردد، به نظر می‌رسد مهاجرت در مدت زمان کمتر از یک روز انجام شده و پس از آن مهاجرت چندانی به سطح صورت نمی‌گیرد و ضریب اصطکاک تقریباً ثابت بوده یا تغییرات آن اندک است. لذا در ادامه تغییرات ضریب اصطکاک در زمان های کمتر شامل ۵ دقیقه، ۲۰ دقیقه، یک ساعت، یک روز و یک هفته پس از تولید فیلم برای نمونه‌های بهینه ۱۸ تا ۲۷ اندازه‌گیری شد. در جدول ۶ فرمولاسیون این کامپاندها آمده است. براین اساس در شکل ۷ نتایج مربوط به ضریب اصطکاک فیلم‌ها آورده شده است.

جدول ۶- فرمولاسیون دوم بهینه

Sample	Ab. Type	Ab. Value	Slip Type	Slip Value
18	None	None	Ol.	500
19	None	None	Ol.	750
20	None	None	Ol.	1000
21	Talc 1500	1000	None	None
22	Talc 1500	1000	None	None
23	Talc 1500	1000	None	None
24	Talc 1500	1000	Ol.	500
25	Sr.	1500	Ol.	500
26	Sylobloc47	1500	Ol.	500
27	Gasil 114	1500	Er.	500

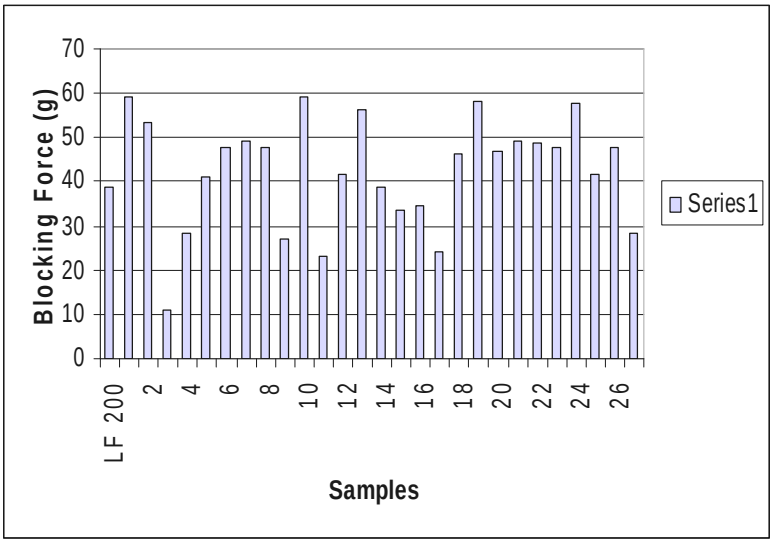


شکل ۷- تغییرات ضریب اصطکاک در زمان های کمتر شامل ۵ دقیقه، ۲۰ دقیقه، یک ساعت، یک روز و یک هفته پس از تولید فیلم

در مورد نمونه‌های ۲۱ تا ۲۴ به دلیل عدم استفاده از عوامل مولد لغزندگی سطح ضریب اصطکاک فقط در زمان کمتر از ۵ دقیقه اندازه‌گیری شده است.

۲) نیروی‌چسبندگی (Blocking Force)

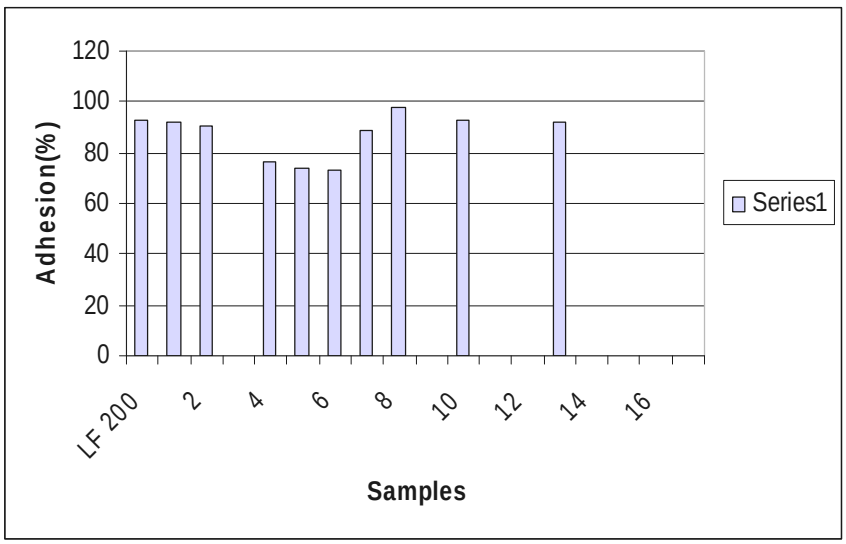
با توجه به تاثیر استفاده از عوامل ضد چسبندگی و نیز عوامل مولد لغزندگی و اثرات متقابل آنها نیروی چسبندگی تمام نمونه‌های تهیه شده اندازه‌گیری شد که نتایج آنها در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸- تاثیر استفاده از عوامل ضد چسبندگی در کاهش نیروی‌چسبندگی

۳) چاپپذیری (Printability)

همان گونه که توضیح داده شد، به کارگیری عوامل مولدلغزندگی وضدچسبندگی برروی چاپ پذیری اثر گذار است. نتایج حاصل از تست چاپ‌پذیری فیلم‌های تولیدی ازفرمولاسیون‌های فوق الذکر در شکل ۹ در زمان های ۱، ۲ ، ۷ و ۱۴ روز و یک ماه پس از تولید آورده شده است.



شکل ۹- اثر استفاده از عوامل مولدلغزندگی وضدچسبندگی بر روی چاپ‌پذیری

بحث و نتیجه‌گیری

همان گونه که از شکل۸ بر می‌آید، GASIL AB 905 به میزان ppm ۱۰۰۰ ، Sylobloc 47 به میزان ppm ۱۰۰۰ و GASIL AB 114 به مقدار ppm ۱۵۰۰ به لحاظ خاصیت ضدچسبندگی نتیجه مطلوبی را می‌دهد. قابل ذکر است سه ترکیب درک شده از نوع ،سیلیکای آمورف می‌باشد.

در مورد ضریب اصطکاک نیز همان طور که ازشکل ۶ و ۷ برمی آید، Oleamide در مقادیر ppm ۶۰۰-۴۰۰ ضریب اصطکاک را به میزان مورد نظر کاهش می دهد. Erucamide نیز کارائی Oleamilde در بازه فوق الذکر را دارا است و مقاومت حرارتی بالاتری نیز دارد؛ ولی به دلایل اقتصادی استفاده از Oleamide می‌تواند ارجحیت داشته باشد.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های چاپ پذیری استفاده از مقادیر بالاتر از ppm ۱۵۰۰ از Oleamide و یا Erucamide سبب کاهش چسبندگی جوهر چاپ به سطح فیلم و کاهش راندمان چاپ‌پذیری می‌گردد. لذا مقدار بهینه عامل مولد لغزندگی سطح ppm ۵۰۰ برای استفاده در پلی اتیلن سبک گرید LF 0200 تولیدی مجتمع پتروشیمی بندر امام می‌باشد. در مورد تاثیر عامل ضد چسبندگی در خاصیت چاپ پذیری همان گونه که از شکل ۹ برمی‌آید، نمونه شماره ۸ حاوی Sylobloc 47 به دلیل افزایش قطبیت سطح، خاصیت چسبندگی جوهر چاپ به سطح فیلم مناسبی دارد. از آنجایی که Oleamide به میزان ppm ۸۲۰ در فیلم وجود دارد و این مقدار از حد قابل قبول جهت چاپ پذیری بیشتر می باشد، لذا به نظر می رسد ذرات عوامل ضد چسبندگی اثرات منفی Oleamide را خنثی کرده است[۱۱]، ولی به دلیل بالا بودن ضریب اصطکاک ناشی از برهمکنش عوامل مولد لغزندگی و ضدچسبندگی فرمولاسیون بهینه نمی باشد. Gasil AB 114 نیز دارای خواص چاپ‌پذیری مناسبی در حضور Oleamide و Erucamide می باشد. اما میزان چسبندگی جوهر چاپ به سطح فیلم در مقایسه با Sylobloc 47 که گرید رقیب آن به شمار می رود، کمی پایین تر است ولی مقدار آن کاملا قابل قبول می باشد.

به طور کلی باتوجه به نتایج حاصله فرمولاسین شماره ۲۷ حاوی ppm۱۵۰۰ از Gasil AB 114 و ppm۵۰۰ از Erucamide به منظور تامین خواص چسبندگی، ضریب اصطکاک و چاپ پذیری کاملا بهینه و مناسب می باشد. در صورت مطرح بودن مسائل اقتصادی استفاده از ppm ۵۰۰، Oleamide به تنهایی بدون عوامل ضدچسبندگی نیز می تواند تا حدودی مناسب باشد.

منابع و مراجع

1. Ampacet Innovator of Additive Masterbatch, Slip Additives.
2. Journal of Plastic Film & Sheeting, Vol. 12- January (1996).
3. Exxon Mobil Chem., Slip & Antiblock Additives in Polyethylene Film.
4. Journal of Plastic Film & Sheeting, Vol. 16- April (2000).
5. Uniqema, Slip Agent for Easier Processing and Handling.
6. Polymers & Polymer Composites, Vol. 7, No. 8, (1999).
7. Journal of Plastic Film & Sheeting, Vol. 14- April (1998).
8. Plastics – Film and Sheeting Determination of the coefficients of friction (ISO 8295).
9. Standard Test Method for Blocking Load of Plastic Film by the Parallel Plate Method (D 3354-96).
10. Standard Test Method for Determining Ink or Coating Adhesion on Plastic Substrates for Membrane Switch Applications (F 1842).
11. Polymer Degradation and Stability, 285-290, 62 (1998).