

پیش‌بینی ویسکوزیته چسب‌های مایع پایه پلی‌کلروپرن مورد استفاده در انواع صنایع بسته‌بندی با استفاده از مدل تئوری وگل

نغمه ستوده روش^۱، الهام کشمیری زاده^{۲*}

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش مقاله: اسفندماه ۱۳۹۷

چکیده

چسب‌های مایع پلی‌کلروپرنی در صنایع بسته‌بندی کاربرد وسیعی دارند. از این گونه چسب‌های مایع جهت اتصال انواع کارتن و کارتن پلاست، جعبه‌های چوبی و مقوایی استفاده‌های گسترده‌ای می‌شود و ضمن اینکه قیمت تمام شده این چسب‌ها نیز نسبتاً پایین است. از آنجایی که ویسکوزیته چسب مایع روی خواص چسبندگی و کاربری تأثیرگذار بوده و با تغییر دما، ویسکوزیته چسب تغییر می‌کند و در نتیجه خاصیت چسبندگی و اتصال نیز تغییر خواهد کرد، در این مطالعه با استفاده از ویسکومتر از نوع بروکفیلد در محدوده دمایی ۳۰ - ۱۵ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته این نوع چسب مایع به طور تجربی اندازه‌گیری شد و به منظور کاهش زمان انجام آزمون و جلوگیری از اتلاف هزینه آن، داده‌های آزمایشی ویسکوزیته با مدل تئوری وگل تطابق و برازش داده شده‌اند. در این صورت، جهت تعیین سریع ویسکوزیته می‌توان از طریق محاسبه ویسکوزیته با مدل تئوری وگل در دمای مورد نظر، به سهولت به مقدار ویسکوزیته دسترسی پیدا کرد. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان دادند که درصد خطای ویسکوزیته آزمایشی و ویسکوزیته محاسبه شده چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال در محدوده ۲/۶۳-۰/۰۳٪ می‌باشد که این میزان درصد خطا بسیار قابل قبول است و می‌توان از این پس به جای انجام مراحل طولانی تنظیم دما جهت تعیین ویسکوزیته، با استفاده از مدل تئوری وگل، به سهولت و سریع به مقدار ویسکوزیته چسب در دمای مورد نظر دسترسی پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی

۱- مقدمه

چسب مایع، پلی‌کلروپرن^۳، ویسکوزیته^۴، ویسکومتر بروکفیلد^۵،

مدل تئوری وگل

چسب‌های پلی‌کلروپرن پایه حلال در صنعت بسته‌بندی کاربرد وسیعی دارند و به خاطر مصارف چندجانبه و متنوع، آن‌ها را "چسب‌های با مصارف عمومی"^۶ نیز اطلاق می‌کنند. از این نوع چسب‌ها برای چسباندن انواع کارتن از جنس مقوا و کارتن پلاست^۷ استفاده می‌شود، همچنین در اتصال و تولید انواع جعبه‌های بسته‌بندی کالا و کادویی (از جنس چرم طبیعی و مصنوعی، چوب، مقوا و...)، انواع پاکت‌های کاغذی و

۱- گروه شیمی کاربردی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی (sotoudehravesh@gmail.com)

۲- گروه شیمی کاربردی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، دانشیار و عضو هیئت علمی.

* نویسنده مسئول: (keshmiri@kia.ac.ir)

3- Polychloroprene

4- Viscosity

5- Brookfield Viscometer(model:+ LV DV-II)

6- General Purpose Adhesives

7- Carton Plast

با استفاده از غلتک و اعمال چسب با استفاده از کاردک [۶-۵].

ویسکوزیته چسب روی خواص چسبندگی و کاربری تأثیر گذار بوده و با تغییر دما، ویسکوزیته تغییر می‌کند و در نتیجه خاصیت چسبندگی و اتصال نیز تغییر خواهد کرد. بنابراین برای تعیین ویسکوزیته چسب، دما نیز باید تنظیم شود و این امر نیاز به دقت دارد و زمان زیادی را دربرمی‌گیرد، در پژوهش‌های قبل در خصوص تخمین ویسکوزیته مواد مختلفی از جمله روان‌کننده‌ها، عسل، روغن‌های هیدرولیک^۴، محلول‌های پلی‌اورتان^۵ و ... از مدل‌های مختلف از جمله: مدل تئوری و گل^۶ استفاده شده است. در مطالعه‌ای که توسط محققان^۱ (۲۰۱۸) انجام شد، با توجه به کمبود مدل تئوری مناسب برای پیش‌بینی ویسکوزیته مایعاتی که با افزایش سرعت برشی ویسکوزیته آن‌ها تغییر می‌کند، از یک مدل تئوری ساده و مناسب استفاده کردند به طوری که با توجه به داده‌های آزمایشی، این مدل قادر به محاسبه ویسکوزیته این سیالات بود و رفتار آن‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کرد [۳].

محقق^۷ (۲۰۱۷) بیان کرد که ویسکوزیته روان‌کننده‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد و نشان داد ارتباط بین ویسکوزیته انواع روان‌کننده با دما با چندین معادله از جمله مدل تئوری و گل (معادله ۱) به صورت زیر قابل توصیف است [۲]:

$$\ln \eta = \ln C + D / (T - T_g) \quad (1)$$

در این رابطه η ویسکوزیته چسب، C و D ضرایب ثابت، T دمای اندازه‌گیری برحسب کلوین و T_g نقطه نرمی^۸ پلیمر برحسب کلوین می‌باشد.

در پژوهش انجام شده توسط نزویک^۹ و همکاران (۲۰۰۶)، مدل ریاضی استفاده شده در خصوص وابستگی

ساک‌های دستی (از جنس کاغذ، مقوا، برزنت و پارچه) از آن‌ها استفاده می‌شود. جهت اتصال انواع برچسب‌های^۱ کاغذی روی شیشه و جعبه‌های مختلف کاغذی، مقوایی، پلاستیکی و ظروف فلزی نیز می‌توان از این چسب‌ها استفاده کرد. ویژگی قابل توجه نوع چسب، آن است که سطوح را به سرعت و با استحکام بالا به یکدیگر اتصال می‌دهد [۱]. این چسب‌ها زرد رنگ می‌باشند و از لحاظ ظاهری شبیه عسل هستند و قیمت تمام شده نسبتاً پایینی دارند. یکی از خواص فیزیکی بسیار مهم در چسب‌ها از جمله چسب‌های پلی‌کلروپرنی پایه حلال که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند ویسکوزیته (گرانروی یا لزجت) می‌باشد، یعنی مقاومتی که چسب مایع در برابر تغییر شکل یا تنش از خود نشان می‌دهد. ایجاد یک اتصال قوی و مناسب به عوامل مختلفی از جمله جنس قطعات، اندازه قطعات، نوع و شکل اتصال، نوع چسب از نظر پایه پلیمری، سیستم حلالی، مواد چسبناک‌کننده، افزودنی‌های بهبوددهنده خواص، ویسکوزیته چسب، نحوه آماده‌سازی سطح (آماده‌سازی مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی و ...) بستگی دارد [۲-۱].

جهت ایجاد یک اتصال مناسب، سطح باید توسط چسب خیس شود و خیس شدن سطح توسط چسب علاوه بر زبری سطح به ویسکوزیته چسب نیز بستگی دارد. در هنگام خیس شدن یک قطره مایع در تعادل با سطح جامد می‌باشد و هر چه زاویه تماس کوچک‌تر باشد، خیس شدن بهتر اتفاق می‌افتد. زاویه تماس برای قطره مایع روی سطوح نرم، یکنواخت و صاف در تعادل باقی می‌ماند [۴-۳]. بسته به میزان ویسکوزیته و نوع کاربرد چسب، می‌توان چسب‌های مایع را به روش‌های مختلف روی سطح اعمال کرد. از جمله: اعمال چسب با استفاده از قلم‌مو، اسپری کردن و استفاده از اکستروژن^۲ که برای چسب‌های خمیری کاربرد دارند، استفاده از تفنگ برای اعمال درزگیرها^۳، اعمال چسب

- 4- Hydraulic Oil
- 5- Polyurethane Solution
- 6- Wei and et.al
- 7- Schirru
- 8- Glass Temperature: T_g
- 9- Knežević

- 1- Lables
- 2- Extrusion
- 3- Caulking Gun

ویسکوزیته به دما در روغن‌های هیدرولیک، جهت محاسبه مقادیر عددی ویسکوزیته نیز مدل تئوری و گل گزارش گردیده است [7].

محققان^۱ (۱۹۹۶) مقدار ویسکوزیته محلول‌های پلی‌اورتان در حلال‌های مختلف (که کاربرد زیادی در انواع بسته‌بندی دارند) و در دماهای متفاوت را با استفاده از ویسکومتر چرخشی^۲ تعیین کردند و وابستگی ویسکوزیته به دما را با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی^۳ ویلیام-لاندل-فری^۴ مورد بررسی قرار دادند [6]. آنها در نهایت نشان دادند که تعیین و پیش‌بینی ویسکوزیته این نوع محلول تطابق خوبی با مدل تئوری و گل (معادله ۱) نیز دارند.

در این تحقیق، هدف ارائه مدل تئوری مناسب جهت تعیین سریع ویسکوزیته چسب‌های پلی‌کلروپرن پایه حلال می‌باشد تا به این ترتیب از اتلاف زمان و هزینه در واحدهای تولیدی جهت تنظیم دما جلوگیری شود.

۲- مواد و روش‌ها

- ۱- ویسکومتر بروکفیلد
 - ۲- حمام آب
 - ۳- دماسنج تماسی
 - ۴- چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال با نام تجاری سینا اس-پی ۱-۲۰۰^۵
- با توجه به اینکه چسب‌ها سیالات غیرنیوتونی هستند برای انجام آزمون ابتدا باید دما در محدوده ۲۳ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده و بعد ویسکوزیته با ویسکومتر بروکفیلد اندازه‌گیری گردد.

به منظور ارائه مدل تئوری و معادله جهت تعیین ویسکوزیته چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال، ۱۶ کیلوگرم نمونه چسب پلی‌کلروپرن با نام تجاری سینا اس-پی ۱-۲۰۰

و با ویژگی‌های درج شده در (جدول ۱)، تهیه شد. این میزان چسب به ظرف هر نمونه که ۱ کیلویی بود منتقل شد سپس دمای هر یک از ظروف به ترتیب از ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید و آزمون اندازه‌گیری ویسکوزیته به روش تجربی (آزمایشی) با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد (شکل ۱)، و مطابق استاندارد D2556ASTM روی نمونه‌ها انجام شد [8].

جدول ۱- ویژگی چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال با نام

تجاری سینا اس-پی ۱-۲۰۰	
مقدار	شاخص‌های کیفی
۳۱۰۰	ویسکوزیته در ۲۳ °C (mPs)
۲۱/۷۴	درصد جامد (%)
۰/۸۴	دانسیته در ۲۰ °C (g/cm ³)



شکل ۱- تصویر ویسکومتر بروکفیلد مورد استفاده در

این تحقیق

سپس با استفاده از داده‌های ویسکوزیته که به طور آزمایشی به دست آورده شدند، ثابت‌های C و D در رابطه و گل (معادله ۱) با استفاده از گزینه سلور^۶ در نرم‌افزار اکسل^۷ از طریق عملیات برازش (تطابق) داده‌های تجربی

- 1- Hasebuddin and et.al
- 2- Rotation Viscometer (model: RV12Haake)
- 3- Non Linear Regression
- 4- Williams-Landel-Ferry:WLF
- 5- Sina-SP1-200

6- Solver
7- Excel

با مدل تئوری وگل و به صورت رگرسیون غیرخطی] به گونه‌ای تعیین شدند که درصد خطای داده‌های تجربی و تئوری ویسکوزیته (معادله ۲) به کمترین مقدار ممکن برسد و در نهایت مقدار ویسکوزیته از طریق محاسبه به دست آمد. پس از برازش^۱ داده‌های آزمایشی با داده‌های حاصل از مدل تئوری وگل، میزان برازش و یا تطابق^۲ داده‌های تجربی ویسکوزیته با داده‌های محاسباتی به دست آمده از مدل تئوری وگل، مطابق (جدول ۲) و (شکل ۲) بررسی گردید (ثابت‌های مدل وگل با استفاده از معادله ۱ همچنین روش حداقل خطا در معادله ۲ به دست می‌آیند).

۳- نتایج و بحث

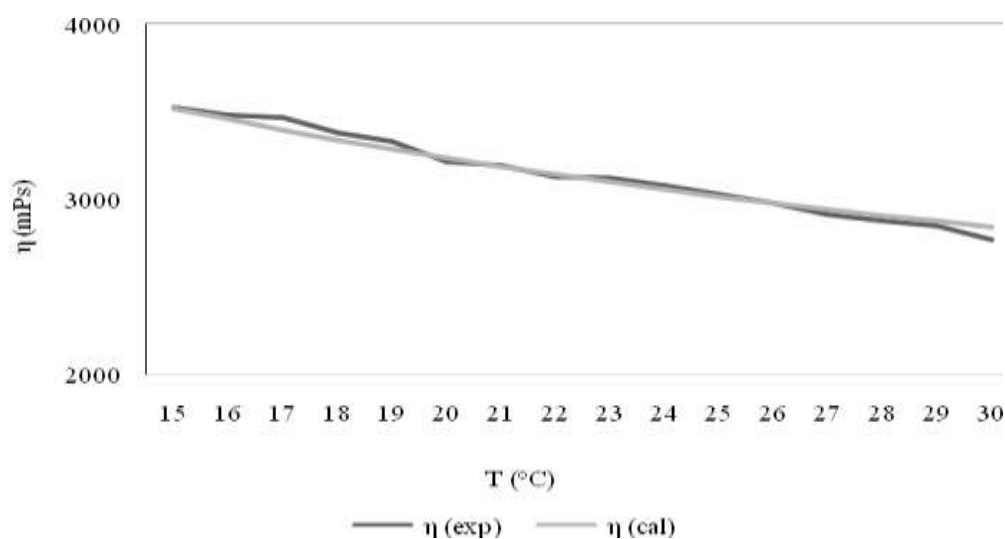
در این تحقیق در بخش آزمایشی در ابتدا مقدار ویسکوزیته چسب مایع پلی‌کلروپرن به روش آزمایشی توسط ویسکومتر بروکفیلد در محدوده دمای پرکاربرد (به طور تجربی) ۱۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید. سپس توسط مدل تئوری وگل (معادله ۱) در همین محدوده دمایی، مقادیر ثابت‌های $C=1420$ و $D=44/5$ با استفاده از معادله ۱ استخراج و در نهایت مقدار ویسکوزیته چسب مایع محاسبه گردید.

جدول ۲- مقدار ویسکوزیته آزمایشی و ویسکوزیته محاسبه شده با استفاده از مدل تئوری وگل و خطای آن‌ها نسبت به یکدیگر برای چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال با نام تجاری سینا اس-پی ۱-۲۰۰

T(°C)	T(K)	$\eta_{(exp)}^*$ (mPs)	$\eta_{(cal)}^{**}$ (mPs) (معادله ۱)	درصد خطای داده آزمایشی و تئوری ویسکوزیته (%) (معادله ۲)
۱۵	۲۸۸	۳۵۲۹	۳۵۲۱	۰/۲۲
۱۶	۲۸۹	۳۴۸۰	۳۴۵۷	۰/۱۶۶
۱۷	۲۹۰	۳۴۶۷	۳۳۹۸	۱/۹۹
۱۸	۲۹۱	۳۳۸۰	۳۳۴۱	۱/۱۵
۱۹	۲۹۲	۳۳۳۵	۳۲۸۸	۱/۴
۲۰	۲۹۳	۳۲۱۴	۳۲۳۷	۰/۷
۲۱	۲۹۴	۳۱۹۴	۳۱۸۹	۰/۱۵
۲۲	۲۹۵	۳۱۲۹	۳۱۴۳	۰/۴۴
۲۳	۲۹۶	۳۱۲۲	۳۰۹۹	۰/۷۳
۲۴	۲۹۷	۳۰۷۸	۳۰۵۸	۰/۱۶۴
۲۵	۲۹۸	۳۰۳۴	۳۰۱۸	۰/۵۲
۲۶	۲۹۹	۲۹۸۲	۲۹۸۱	۰/۰۳
۲۷	۳۰۰	۲۹۱۷	۲۹۴۵	۰/۹۵
۲۸	۳۰۱	۲۸۸۳	۲۹۱۰	۰/۹۳
۲۹	۳۰۲	۲۸۵۲	۲۸۷۷	۰/۸۷
۳۰	۳۰۳	۲۷۷۳	۲۸۴۶	۲/۶۳

*: ویسکوزیته آزمایشی، **: ویسکوزیته محاسبه شده با مدل تئوری وگل.

- 1- Regression
- 2- Curve Fitting



شکل ۲- مقایسه ویسکوزیته تجربی و ویسکوزیته محاسبه شده با مدل تئوری و گل برای نمونه چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال با نام تجاری سینا اس-۱-۲۰۰.

جعبه‌های چوبی جهت بسته‌بندی استفاده می‌شوند. از آنجا که ویسکوزیته چسب‌های مایع، تابع دمای محیط می‌باشد و تأثیر فراوانی بر اتصال سطوح دارند، بنابراین باید ویسکوزیته این گونه چسب‌ها در محدوده دمای عملیاتی استاندارد یعنی حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد تعیین و مشخص گردد تا بتوان به راحتی از آن‌ها استفاده نمود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، داده‌های تجربی ویسکوزیته با مدل تئوری و گل برای چسب‌های پلی‌کلروپرن بر پایه حلال به خوبی برازش و تطابق داده شدند و نتایج نشان داد که میانگین درصد خطا در محدوده ۰/۶۳-۰/۰۳٪ می‌باشد که این میزان درصد خطا بسیار قابل قبول است و می‌توان ویسکوزیته چسب پلی‌کلروپرن پایه حلال را بدون تنظیم دما در ۲۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری کرد و سپس با استفاده از مدل و گل، ویسکوزیته چسب در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد را به راحتی با استفاده از فرمول تئوری و گل محاسبه و گزارش کرد.

لازم به ذکر است T_g : نقطه نرمی چسب پلی‌کلروپرن K ۲۳۹ می‌باشد درصد خطای داده تجربی ویسکوزیته و داده محاسباتی ویسکوزیته بر اساس معادله ۲ به صورت زیر محاسبه شد:

$$(2) \quad [\eta_{(exp)} - \eta_{(cal)}] / \eta_{(exp)} = 100 * \text{درصد خطا} (\%)$$

که در آن $\eta_{(exp)}$ ویسکوزیته آزمایشی (تجربی) و $\eta_{(cal)}$ ویسکوزیته محاسبه شده با مدل تئوری و گل می‌باشد. همانگونه که در (شکل ۲) مشاهده می‌شود داده‌های تجربی و تئوری ویسکوزیته چسب مایع پلی‌کلروپرن تطابق مطلوبی را نشان می‌دهند و جزئیات داده‌های اندازه‌گیری شده و مقدار خطا نیز در (جدول ۲) ارائه شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه چسب مایع پلی‌کلروپرنی که به خاطر مصارف چند جانبه و متنوع، آن را "چسب‌های با مصارف عمومی" نیز می‌نامند، مورد مطالعه قرار گرفت زیرا این نوع چسب‌ها برای چسباندن انواع کارتن‌های مقوایی، کارتن پلاست، انواع پاکت‌های کاغذی، ساک‌های دستی و نیز

۵- پیشنهادات

hydraulic systems, Mechanical engineering, 4: 27-34.

8. Standard test method for apparent viscosity of adhesive having shear-rate-dependent flow properties using rotational viscometry, annual book of ASTM standard, 15.06, D2556, 2014.

پیشنهاد می‌گردد، جهت تخمین ویسکوزیته سایر چسب‌های حلالی مورد مصرف در صنایع بسته‌بندی، کیف و کفش، مبلمان و... مانند چسب‌های پایه پلی‌اورتان و لاستیک استایرن بوتادی ان^۱ و ... نیز تطابق با مدل وگل بررسی گردد تا به این ترتیب از اتلاف وقت و هزینه در واحدهای تولیدی این نوع چسب‌ها، جلوگیری به عمل آید.

آدرس نویسنده

استان البرز- کرج- دانشگاه آزاد اسلامی

واحد کرج- گروه شیمی

۶- منابع

1. Shield, J., Adhesives Handbook, Newnes Butterworths, London, 2nd Edition, 1976.
2. Schirru, M., 2017. Development of an Ultrasonic Sensing Technique to Measure Lubricant Viscosity, Engine Journal Bearing In-Situ, Springer Theses, 7 p.
3. Wei, M., Sun, L., Qi, P., Chang, CH., Zhu, CH., 2018. Continuous phenomenological modeling for the viscosity of shear thickening fluids, Nanomaterials and Nanotechnology, 8: 1-7.
4. Butt, M., Chughtai, A., Ahmad, J., Ahmad, R., Majeed, U., Khan, I., 2007-2008. Theory of adhesion and its practical implication, Journal of faculty of engineering & technology, 21-45.
5. Ebnasajjad, S., 2008. Adhesives technology handbook, 2nd ed., William Andrew Inc., USA, 55 p.
6. Haseebuddin, S., Raju, k., Krishna, D., Reddy, P., Yaseen, M., 1996. Temperature dependence of viscosity of polyurethane polyol solutions: Application of rheological models, John Wiley & Sons, Inc., 59: 29-36.
7. Knezevic, D., Savic, V., 2006. Mathematical modeling of changing of dynamic viscosity, As a function of temperature and pressure, Of mineral oils for

1- Styrene Butadiene Rubber