

تخمین کشش سطحی الیاف ممتد پلی پروپیلن و پلی استر بوسیله اندازه‌گیری سرعت نفوذ مویبندی مایعات ترکننده همخانواده به درون دسته الیاف

ناهید انصاری^۱ - کارینا گروندکه^۲

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^۲ مرکز تحقیقات پلیمر، مدیر بخش تقابل سطحی پلیمرها از گروه شیمی فیزیک و فیزیک پلیمرها، درسدن آلمان

چکیده:

قابلیت تر شدن الیاف بوسیله مایعات یکی عوامل مهم در فرآیندهای تولید و کاربرد کالای نساجی است. اکثر مایعات در فرآیندهای مختلف به صورت محلول هستند. پدیده‌های متقابل سطحی بین فازهای الیاف و مایع از نظر تئوری دارای پیچیدگی‌هایی و در ارزیابی در این سیستم‌ها اغلب از مقادیر تجربی کمک گرفته می‌شود. یکی از این خصوصیات، انرژی آزاد سطح جامد یا کشش سطحی بحرانی جامد است که تعیین آن از طریق تجربی تعیین زاویه تماس مایعات ترکننده همخانواده با سطح صاف جامد و ترسیم نمودار آن نسبت به کشش سطحی مایعات مورد استفاده امکان پذیر است.

در این تحقیق سرعت نفوذ مویبندی مایعات ترکننده همخانواده بدرون فضای مویبینه متخلخل حاصل از دسته فیلامنتهای پلی پروپیلن و پلی استر، اندازه‌گیری شد. سپس مقدار $K\gamma \cos \theta$ با استفاده از نتایج نفوذ مویبندی محاسبه و نمودار آن نسبت به مقدار کشش سطحی مایع γ بدست آمد که در آن K پارامتر مربوط به ساختار ثابت هندسی فاز جامد یا دسته الیاف و θ زاویه تماس بین فاز مایع-لیف است. از روی نمودار، انرژی آزاد سطح جامد یا کشش سطحی بحرانی الیاف PP و PET تخمین زده شد.

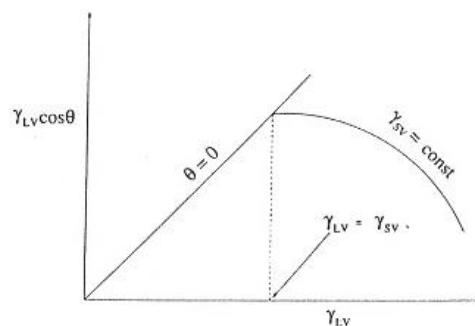
مقدمه:

تعیین میزان ترشدن الیاف از اهمیت تکنیکی بسیاری در اکثر فرآیندهای تولید و مصارف نهایی کالای نساجی برخوردار است. به طور کلی ترشدن نتیجه جابجایی سطح تماس جامد - هوا با سطح تماس جامد - مایع است. ترشدن یک پدیده دینامیکی ناشی از حرکت لایه‌ای از مایع در تماس با سطح جامد و رسیدن به تعادل ترمودینامیکی این دو فاز است. در مورد الیاف جابجایی سطح تماس لیف - هوا با سطح تقابل لیف - مایع صورت می‌گیرد.

اکثر مایعات در فرآیندهای مختلف به صورت محلول هستند. پدیده‌های متقابل سطحی بین فازهای جامد - مایع در این سیستم‌ها علی‌رغم اهمیت آن از نظر تئوری ناشناخته‌اند و در ارزیابی زاویه تماس در این سیستم‌های پیچیده جامد-مایع اغلب از مقادیر تجربی کمک گرفته می‌شود.

خصوصیات متقابل سطحی شامل عواملی مانند کسینوس زاویه تماس، کار چسبندگی و انرژی سطحی می‌باشد که همگی با هم در ارتباط هستند ولی رفتارهای مختلفی را نشان می‌دهند [۱ و ۲]. انرژی سطحی بیان‌کننده خصوصیات ذاتی ماده در ایجاد واکنش متقابل با فاز در تماس است. زاویه تماس نتیجه این واکنش بوده و نشان‌دهنده قابلیت ترشدن می‌باشد. کار چسبندگی هم بیان‌کننده خصوصیات چسبندگی بین دو ماده است که در مواردی مانند پوشش دادن سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱ و ۳].

پارامتر دیگری که اندازه‌گیری میشود انرژی آزاد سطح جامد است. Zisman [۴] اولین بار روش اندازه‌گیری این خاصیت را برای یک ماده جامد بیان نمود. در این روش زیسمان و همکاران اندازه‌گیری زاویه تماس مایع با سطح جامد را با استفاده از یک سری مایعات تر کننده همخانواده پیشنهاد نمودند [۱، ۶]. مطابق نمودار شکل ۱ [۶]، رابطه خطی بین کسینوس زاویه تماس ($\cos \theta$) و کشش سطحی مایعات γ_{lv} ، بدست می‌آید. حداکثر ترشوندگی ($\theta = 0$) زاویه تماس بین دو فاز جامد و مایع زمانی است که کشش سطحی مایع γ_{lv} و جامد γ_{sv} با هم برابر شوند. در ناحیه انتهایی تساوی دو مقدار کشش سطحی فازهای جامد و مایع در نمودار، انرژی آزاد سطح جامد بعنوان کشش سطحی بحرانی فاز جامد تخمین زده میشود [۶]. در محدوده ۴۵ خط راست، $\gamma_{sv} > \gamma_{lv}$ و $\theta = 0$ و در نتیجه $\gamma_{lv} = \gamma_{sv} \cos \theta$. تا قبل از رسیدن کسینوس زاویه تماس به مقدار نهایی خود $\gamma_{lv} = \gamma_{sv} \cos \theta$ است. با افزایش کشش سطحی مایع و رسیدن به کشش سطحی جامد $\gamma_{sv} = \gamma_{lv}$ و زاویه تماس بین سطح جامد - مایع به کمترین مقدار خود می‌رسد. بعد از آن با افزایش کشش سطحی مایع $\gamma_{lv} \cdot \cos \theta < \gamma_{sv}$ می‌گردد. (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار

شکل ۱- نمودار تغییر زاویه تماس با مایع برای یک سطح ایده آل [۶]

بعضی محققین نتایج تجربی حاصل را بدلیل مستقل نبودن کشش سطحی بحرانی فاز جامد از پلاریته فاز مایع [۱] برای تعیین این خصوصیت ترمودینامیکی قطعی نمی‌دانند. Neumann [۱ و ۶] نیز نشان داده است که رابطه $\cos \theta$ و γ_{lv} در ناحیه‌ای که θ به سمت صفر میل میکند از حالت خطی به انحناء نزدیک میشود. همچنین مطالعات زیسمان برای کشش سطحی بحرانی نشان میدهد که نمودار $\cos \theta$ نسبت به γ_{lv} فرضی و ارزیابی برای مایعاتی با محدوده پایین کشش سطحی بدست آمده است [۱]. با وجودی که هیچ تعبیر فیزیکی و یا ریاضی برای دستاورد این روش در محاسبه γ_{sv} پیشنهاد نشده ولی بوسیله محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است [۱، ۶، ۷ و ۸]. در این تحقیق نمونه‌هایی از رشته‌های الیاف به عنوان فاز جامد انتخاب شده است. بعنوان مایعات تر کننده هم از سری مایعات خالص همخانواده با کشش سطحی‌های مختلف استفاده شده است.

اساس نظری اندازه‌گیری:

با توجه به رابطه عمومی Washburn واش برن [۹] طول پیشروی مایع در یک لوله موئین به صورت رابطه ۱ است. که در آن r شعاع موئینگی لوله، t زمان، η ویسکوزیته مایع، h ارتفاع پیشروی مایع در لوله موئین، θ زاویه تماس و γ_{lv} کشش سطحی مایع - هوا است.

$$h^2 = [(r \cdot t) / 2\eta] \gamma_{lv} \cdot \cos \theta \quad \text{رابطه ۱}$$

اگر به جای h وزن مایع نفوذ کرده $M=(\rho.v)=(\rho.h.A)$ منظور شود، رابطه ۱ به صورت رابطه ۲ در می آید که در آن ρ چگالی مایع و A سطح مقطع فضاهای مویینه در دسترس برای نفوذ مایع می باشد.

$$M^2/(\rho^2 A^2) = [(r.t)/\gamma_{lv} \cdot \cos \theta] \quad \text{رابطه ۲}$$

رابطه ۲ پس از مرتب شدن به صورت رابطه ۳ در می آید.

$$\gamma_{lv} \cdot \cos \theta = [2/(A^2 r)] \cdot [\eta/\rho^2] \cdot [M^2/t] \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن $[2/(A^2 r)]$ عامل ساختمانی محیط متخلخل، $[\eta/\rho^2]$ مشخصه مایع مورد استفاده و $[M^2/t]$ از تجربیات بدست می آید. عامل ساختمانی دسته الیاف به عنوان محیط متخلخل به طور دقیق مشخص نیست لذا اگر بجای مقدار $[2/(A^2 r)]$ در رابطه ۳، مقدار ثابت $1/K$ جایگزین شود، رابطه ۴ حاصل میگردد.

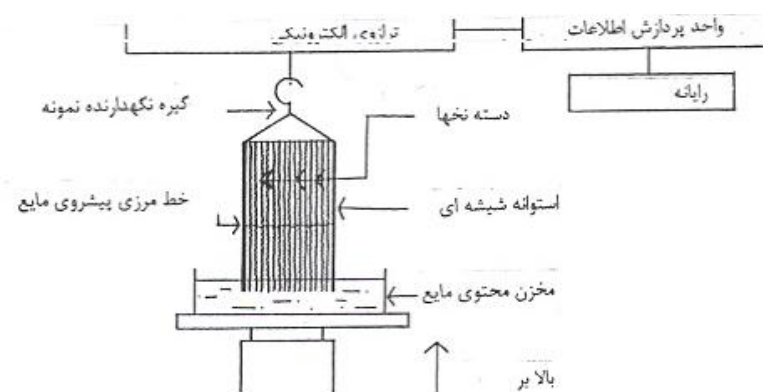
$$K \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos \theta = [\eta/\rho^2] \cdot [M^2/t] \quad \text{رابطه ۴}$$

رابطه ۴ را می توان رابطه اصلاح شده واش برن با فرضیات: الف) جریان خطی مایع در فضاهای مویین محیط متخلخل، ب) صرف نظر کردن از نیروی جاذبه یا سنگینی مایع نفوذ کرده، ج) ثابت بودن ساختمان محیط متخلخل در نظر گرفت [۶].

تجربیات:

روش اندازه گیری:

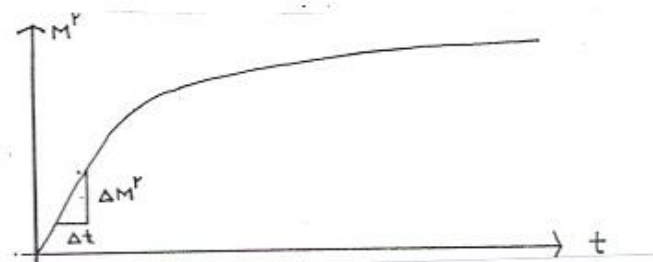
وزن حاصل از نفوذ مویینگی عمودی مایعات مختلف به درون محیط متخلخل حاصل از کنار هم قرار گیری دسته نخهای فیلامنتی از جنس پلی پروپیلن و پلی استر تعیین شد [۱۱ و ۱۰]. برای اندازه گیری از دستگاه نیروسنج Kruss Tensiometer K12 ساخت آلمان استفاده گردید (شکل ۲).



شکل ۲- اصول کار دستگاه اندازه گیری وزن مایع نفوذ کرده به دسته نخهای فیلامنتی [۱۱ و ۱۰]

فیلامنت ها ی مورد آزمایش به صورت دسته ای با تراکم و فشردگی یکسان در استوانه شیشه ای تو خالی با قطر ۲ و طول ۴۰ میلیمتر قرار گرفتند. انتهای نخها به فاصله تقریبی ۲ میلیمتر از استوانه شیشه ای به طور کاملاً صاف بریده شد. سپس استوانه شیشه ای حامل دسته فیلامنتها به گیره مخصوص نگهداری نمونه به ترازوی حساس الکترونیکی آویخته شد. وزن مایع نفوذ کرده از یک طرف سر نخها به درون

مجموعه نخها در استوانه در زمانهای مختلف اندازه گیری شد. کلیه مراحل تنظیم دستگاه ، محدوده دقت اندازه گیری و ثبت اطلاعات حاصل از نتایج به کمک نرم افزار مناسب بدست آمد.. سپس نتایج تجربی $[M^2/t]$ در قسمت خطی نمودار برای مایعات تر کننده مورد استفاده برای نمونه نخهای فیلامنت تعیین گردید (شکل ۳).



شکل ۳- راهنمای تعیین شیب نمودار در قسمت خطی [۱۱و۸،۱۰]

در ادامه، طبق رابطه ۴، مقدار $\theta \cdot \gamma_v \cdot K$ با استفاده از مقدار تجربی $[M^2/t]$ و مقدار مشخصه مایع $[\eta/\rho^2]$ محاسبه گردید. آزمایش ها در شرایط استاندارد محیط به مقدار ۶۵٪ رطوبت نسبی و ۲۰ درجه سانتیگراد دما انجام شد. برای هر حالت میانگین تعداد ۸ آزمایش تعیین گردید.

مواد مورد استفاده

برای انجام آزمایشها، نمونه های فیلامنت صاف پلی پروپیلن (poy) و پلی استر (foy) بدون پوشش روغن تکمیلی مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول ۱ مشخصات فیزیکی آنها نشان داده شده است. نمونه ها به صورت دسته های کاملاً موازی از فیلامنت ها به صورت کلاف با فشردگی مورد نظر (۸۰ و ۱۱۰ رشته) تهیه و در استوانه شیشه ای قرار گرفته و به ترتیبی که ذکر شد مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- مشخصات نمونه نخهای فیلامنتی

نمونه	نمره نخ (تکس)	قطر لیف (میکرون)	تعداد لیف در هر رشته
پلی پروپیلن	۱۶	۲۶،۰۸	۳۶
پلی استر	۱۵،۵	۱۷،۵۷	۴۸

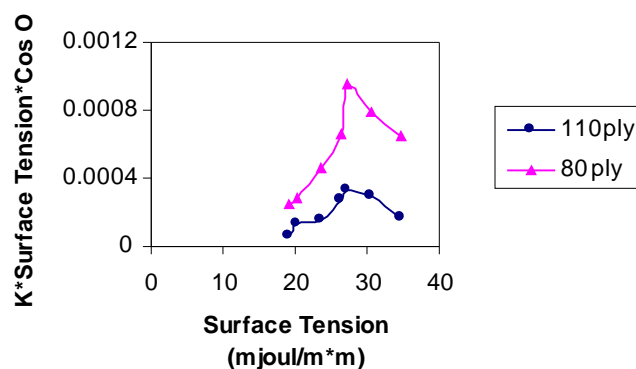
مایعات تر کننده مورد استفاده برای نفوذ مویبندی در محدوده مختلفی از کشش سطحی از تولیدات کارخانه Merck مرک آلمان انتخاب شدند. مشخصات مایعات تر کننده در جدول ۲ نشان داده شده است [ع ۸].

جدول ۲- مشخصات مایعات تر کننده

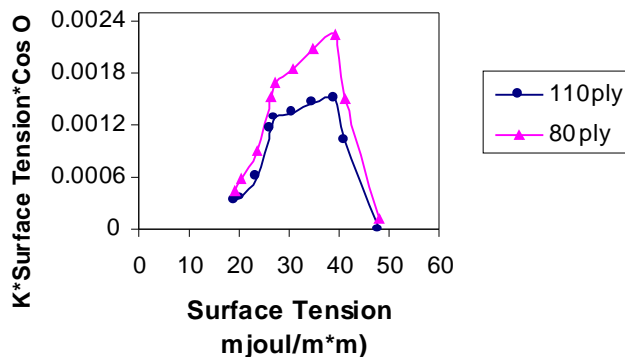
مایع	گرانروی میلی پاسکال ثانیه	وزن مخصوص گرم بر سانتیمتر مکعب	کشش سطحی میلی ژول بر متر مربع
هگزان	۰،۲۹۸	۰،۶۵۴۸	۱۹،۱۸
هپتان	۰،۳۸۷	۰،۶۷۹۵	۲۰،۲۸
دکان	۰،۸۳۸	۰،۷۲۶۲	۲۳،۶۸
تترا دکان	۲،۱۲۸	۰،۷۶۲۸	۲۶،۳۵
هگزا دکان	۳،۰۳۲	۰،۷۷۳۴	۲۷،۳۳
دکالین	۲،۴۱۵	۰،۸۷۸۹	۶۶،۳۰
تترالین	۲،۰۰۳	۰،۹۶۶۲	۳۴،۸۴
بنزیل الکل	۵،۴۷	۱،۰۴۱۳	۳۹،۰۳
آلفا برموفتالین	۴،۵۲	۱،۴۷۸۵	۴۱،۱۲
متیلن یواید	۲۶۰	۳،۳۰۷۸	۴۷،۸

نتایج و بحث :

در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نمودار مقدار $K \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos \theta$ نسبت به کشش سطحی برای نمونه فیلامنت پلی پروپیلن و پلی استر رسم شده است. از نتایج شکل ۴، محدوده کشش سطحی بحرانی برای لیف پلی پروپیلن در حدود $26.3-30.7$ میلی ژول بر متر مربع بدست آمده است. برای سطوح صاف و متخلخل پلی پروپیلن که به روش‌های دیگر اندازه‌گیری شده [۸]، مقدار کشش سطحی $31-33$ میلی ژول بر متر مربع گزارش شده که نسبتاً با نتایج تجربیات در این تحقیق نزدیک است.



شکل ۴- نمودار $K \cdot \gamma_{lv} \cdot \cos \theta$ نسبت به γ_{lv} برای فیلامنت پلی پروپیلن با تراکم ۸۰ و ۱۱۰ رشته نخ در استوانه شیشه‌ای



شکل ۵- نمودار $K \cdot \gamma_{IV} \cdot \cos \theta$ نسبت به γ_{IV} برای فیلامنت پلی استر با تراکم ۸۰ و ۱۱۰ رشته نخ در استوانه شیشه ای

اختلاف موجود می‌تواند به دلیل نایکنواختی سطح الیاف و انحناء هندسی نمونه مورد آزمایش در مقایسه با سطح صاف و متخلخل نمونه در مرجع مورد مقایسه باشد [۱۱]. همچنین احتمال دارد دیواره شیشه ای استوانه ای که دسته الیاف در آن قرار می‌گیرد تمایلی متفاوت با الیاف در جذب مویبندی مایع داشته باشد. این موضوع در مقدار وزن مایع و در نتیجه در روابط منتهی به محاسبه کشش سطحی بحرانی تاثیر می‌گذارد. از طرف دیگر اختلاف ممکن است در اثر انتخاب روش اندازه گیری باشد.

محدوده کشش سطحی بحرانی برای لیف پلی استر ۴۵-۴۰ بدست آمده است. تجربیات محققین دیگر از سطح صاف با پلی استر در حدود ۴۶-۴۷ [۶] و همچنین ۳۵۶ میلی ژول بر متر مربع [۱۲۶] گزارش شده است. اختلاف بین نتایج شاید ناشی از دلایل ذکر شده فوق و از طرفی وابستگی بیشتر ماهیت شیمیایی ساختمان پلی استر نسبت به پلی پروپیلن به قطبی بودن فاز مایع است [۱].

افزایش فشردگی الیاف در استوانه شیشه ای، مقدار فضاهای خالی در دسترس را برای نفوذ مویبندی مایع کاهش می‌دهد. در نتیجه روند نمودار $K \cdot \gamma_{IV} \cdot \cos \theta$ نسبت به γ_{IV} برای هر دو نمونه با تراکم ۱۱۰ رشته در شیشه استوانه ای در سطح پایین تری نسبت به ۸۰ رشته قرار

می‌گیرد. چنانچه در شکل های ۵ و ۴ ملاحظه می‌شود محدوده کشش سطحی بحرانی الیاف در هر حالت فشردگی هم برای پلی استر و هم برای پلی پروپیلن ثابت باقی مانده است.

نتیجه گیری:

در این مقاله پژوهش های انجام شده برای تعیین کشش سطحی بحرانی سطوح جامد بر مبنای مطالعات زیسمان مورد توجه قرار گرفت. سرعت نفوذ مویبندی مایعات تر کننده همخانواده در ساختار مویبندی دسته الیاف پلی پروپیلن و پلی استر، اندازه‌گیری شد. و مقدار $K \cdot \gamma_{IV} \cdot \cos \theta$ با فرض ثابت ماندن ساختار هندسی فضاهای مویبندی بین الیاف و کشش سطحی، گرانروی و وزن مخصوص مایع نفوذ کننده محاسبه گردید. با تعیین نمودار $K \cdot \gamma_{IV} \cdot \cos \theta$ نسبت به γ_{IV} مقدار کشش سطحی بحرانی الیاف تخمین زده شد. نتایج حاصل از این روش برای الیاف پلی پروپیلن و پلی استر دارای اختلاف کمی نسبت به نتایج سایر مراجع است. به نظر می‌رسد اختلافات ناشی از هندسه ساختار نمونه و نوع روش انتخابی باشد. با افزایش فشردگی الیاف، مقدار فضاهای خالی در دسترس برای نفوذ مویبندی مایع کاهش می‌یابد ولی تاثیری در کشش سطحی بحرانی الیاف بجای نمی‌گذارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از قطب علمی دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه امیرکبیر که در انجام این تحقیق همکاری لازم را معمول داشته است تشکر و قدردانی میگردد.

References:

- 1- Schick M.J. , *Surface Characteristics of Fibers and Textile Materials*, (part II), Marcel Dekker, New York,1977.
 - 2- Miller B., "Experimental Aspects of Fiber Wetting and Liquid Movement Between Fibers", *Absorbency*; Chatterjee P.K. ,(Ed) , Elsevier Science B.V.,1985.
 - 3- Whang H. S. and Gupta B.S.'Surface Wetting Characteristics of cellulosic Fibers',*Tex. Res. J.*,70,(4),351,2000.
- ۴ به نقل از مرجع ۱:
- a-Zisman W.A.,Fox H.W. ,*J. Colloid Sci.* 5,514,1950.
 - b- Zisman W.A.,Elisson A.H. and Fox H.W.,*J. Phy. Chem.*,58,503,1954.
 - 5- Kissa E., 'Wetting and Wicking' ,*Tex. Res. J.*,66,660,1996.
 - 6- Grundke K.,Bogumil T.,Gietzelt T., Jacobasch H.-J. and Neumann A.W.; 'Wetting Measurements on Smooth,Rough and Porous Solid Surfaces' , *Progr. Colloid Polym. Sci.* 101, 58 , 1996.
 - 7- Jacobasch H.-J., Grundke K.,Augsburg A., Gietzelt T. and Schneider S., 'Wetting of Solids by Liquids with Low and High Viscosity' , *Progr. Colloid Polym. Sci.* ,105, 44 , 1997.
 - 8- Troger J., Lunchwitz K., Grundke K. and Burger W.,'Determination of the Surface Tension of Microporous membranes Using Wetting Kinetics Measurements', *Colloids and Surfaces.A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 134,299 ,1998.
 - 9- Washburn E.A.,'The Dynamic of Capillary Flow', *phys.Rev.*, 17,273,1921.
- ۱۰- انصاری ن. پایان نامه دوره دکتری،تاثیر ساختار مجمو عه لیفی در برداشت آب به وسیله موینگی، دانشکده مهندسی نساجی،دانشگاه امیر کبیر،۸۰-۱۳۷۹.
- ۱۱- انصاری ن. و حقیقت کیش م. ، روشهای اندازه گیری قابلیت تر شدن الیاف نساجی و مشکلات آن،مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره اول، سال پانزدهم، فروردین-اردیبهشت ۱۳۸۱.
- 12- Li D.,Neumann A.W., *J. Colloid Interface Sci.* 148.190.1992.