

شیوه انتقال آب در نخ

Capillary Water Transport in Yarns

ناهید انصاری، محمد حقیقت‌کیش

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی

دریافت: ۷۴/۳/۱۱، پذیرش: ۷۴/۴/۱۵

چکیده

سرعت انتقال آب در نخهای پلی‌استر شامل الیاف یکسره، نخهای تهیه شده با ریسندگی حلقه‌ای و چرخانه‌ای از جنس پلی‌استر و مخلوط پنبه و پلی‌استر، که نسبت به سطح آب به طور عمودی قرار داشتند، اندازه‌گیری شده است. در ضمن، میزان تطبیق نتایج تجربی برای نخ از الیاف یکسره با نتایج حاصل از معادله نفوذ از راه موئینگی واش‌برن مقایسه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که اختلاف سرعت نفوذ آب، در اثر خاصیت موئینگی، در نخهای پلی‌استر تهیه شده به روش حلقه‌ای و چرخانه‌ای را می‌توان با توجه به نظریه‌های موجود توجه کرد. افزون بر این، سرعت انتقال آب در نخهای پلی‌استر بیشتر از پنبه است که دلیل آن تورم بیشتر پنبه در آب است. افزایش درصد پلی‌استر در نخ مخلوط، سرعت نفوذ آب را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ریسندگی حلقه‌ای، ریسندگی چرخانه‌ای، نخ از الیاف یکسره، انتقال آب، پلی‌استر

Key Words: ring spinning, rotor spinning, filament yarn, water transport, polyester

مقدمه

کالا‌های نساجی به صورت لیف، نخ و پارچه در حین تولید و هنگام مصرف تحت تاثیر عملیات مختلف در محیطهایی شامل آب و مواد کمکی دیگر قرار می‌گیرند. از مهمترین عواملی که جهت بهینه‌سازی اثر این عملیات باید در نظر گرفت، سرعت و میزان نفوذ آب به درون توده منظم یا غیر منظم الیاف است. مثلاً، در جراحی از توده الیاف به صورت لایه برای جذب و خارج کردن سریع خون استفاده می‌شود یا برخی از پارچه‌ها، مانند حوله، به هنگام مصرف باید بتوانند مقدار زیادی آب را به خود جذب کنند. به همین ترتیب، بعضی از الیاف یا پارچه‌ها طی عملیات رنگرزی باید قابلیت انتقال آب همراه با ماده رنگزا را داشته باشند. چرک‌تابی و سهولت چرک‌زدایی نیز به خاصیت موئینگی پارچه ارتباط پیدا می‌کند. [۱-۳] همچنین ویژگی موئینگی در الیاف پارچه لباسها موجب انتقال عرق بدن و ایجاد احساس راحتی در شخص می‌شود [۴]. از سوی دیگر، شستشوی مکرر لباس خاصیت موئینگی در آن را

بیشتر کرده و قابلیت نفوذ و انتقال بیشتری را ایجاد می‌کند. به علاوه، موارد یاد شده از نظر اقتصادی و حفظ محیط زیست نیز مورد توجه قرار گرفته و تجزیه و تحلیل آن اهمیت ویژه‌ای دارد.

شیوه انتقال آب در نخ و پارچه توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است [۵-۱۵]. در این مقاله، ابتدا بر اساس مراجع مختلف مفاهیم اساسی در انتقال آب در نخ و پارچه تجزیه و تحلیل می‌شود. سپس، نتایج آزمایشهای انجام شده با توجه به مقالات منتشر شده مورد بحث قرار می‌گیرد.

اساس نظری

واش‌برن [۵] در سال ۱۹۲۰ موضوع نفوذ سیالات در لوله‌های موئین را مورد توجه قرار داد. به نظر وی عاملی که باعث نفوذ سیال به درون فضاهای موئین می‌شود ناشی از نیروی محرک حاصل از کشش سطحی

خود را برای حالت‌های مختلف به دست آورد. در حالت عمودی لوله موین نسبت به سطح مایع و در صورت باز بودن سر دیگر لوله با صرف نظر کردن از گرانیروی هوا و ضریب لغزش، معادله ۶ از معادله‌های ۳ و ۵ حاصل می‌شود:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\gamma r \cos \theta}{4\eta L} - \frac{gDLr^2}{8\eta} \quad (6)$$

در این معادله D نشان دهنده جرم مخصوص مایع و g شتاب ثقل است. اشاره می‌شود که در عبارت $gDLr^2/8\eta$ اثر وزن آب بر افت ارتفاع منظور شده است.

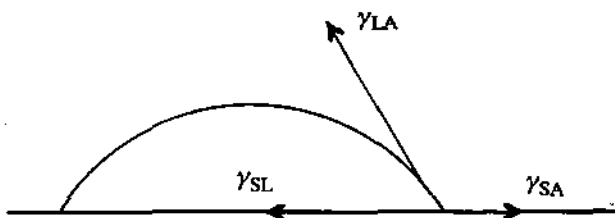
در حالتی که لوله موین به صورت افقی قرار دارد، نیروی جاذبه صفر است و با صرف نظر کردن از ضریب لغزش مایع در طول لوله موین می‌توان معادله ۷ را مستقیماً از معادله ۱ به دست آورد. این معادله به صورت‌های مختلف برای کالاهای نساجی مورد استفاده پژوهشگران [۴، ۶، ۹] قرار گرفته است:

$$L^2 = (\gamma r \cos \theta / 4\eta) t = Kt \quad (7)$$

چنانچه از معادله‌های ۶ و ۷ پیداست، اثر جاذبه به علت افزایش طول محسوس است و باعث انحراف منحنی حاصل از رسم L بر حسب زمان از حالت سهمی و رسیدن به یک حالت تعادل می‌شود.

برای محاسبه سرعت نفوذ آب در انواع مختلف نخ یا پارچه مقادیر θ و r مورد نیاز است. برای محاسبه r باید مدلی برای ساختار نخ در نظر گرفت که در بخش تجربی به آن اشاره خواهد شد.

زاویه تماس نشان دهنده قابلیت تر شدن جسم جامد به وسیله مایع است. عموماً مایعات با زاویه معینی روی فاز جامد قرار می‌گیرند و برهم‌کنش فیزیکی میان فاز جامد و مایع با زاویه تماس میان آنها بیان می‌شود. در شکل ۱ قطره‌ای از مایع در حالت تعادل با فاز جامد، زاویه تماس و بردارهای حاصل از کشش سطحی نشان داده شده‌اند. حالت تعادل قطره با سطح جامد از نظر فیزیکی با در نظر گرفتن تعادل نیروها از معادله ۸ به دست می‌آید.



شکل ۱ - قطره مایع در حالت تعادل با سطح جامد.

سیال و برهم‌کنش آن با دیواره است. وی با توجه به این اصل روابطی را برای حرکت سیال در شرایطی که لوله موین به طور عمودی یا افقی نسبت به سطح مایع قرار گرفته است، به دست آورد.

واش‌برن از معادله پوازوی (poiseuille) که در آن دبی حجمی یک لوله V متناسب با فشارهای اعمال شده $\sum P$ است، یعنی $V = K \sum P$ ، استفاده کرد [۱۶]. این رابطه در مورد مایعات نیوتونی صدق می‌کند. این مایعات تراکم‌ناپذیرند و گرانیروی آنها مستقل از زمان و تنش وارد به آنها متناسب با مقدار نیروی برشی است. بدین ترتیب با این فرض که تمام نقاط مایع هم‌دما و سرعت جریان در دیواره لوله صفر است:

$$V = \pi r^4 P / 8\eta L \quad (1)$$

در این معادله P نیروی محرک مایعی با گرانیروی η در لوله‌ای به طول L و شعاع r است [۱۶].

واش‌برن ارتباط حجم مایع جریان یافته از سطح مقطع لوله موین را با نیروهای محرک مایع، گرانیروی مایع، شعاع و طول لوله موین و زمان t برطبق معادله ۲ به دست آورد:

$$dV = \frac{\pi \sum P}{8\eta L (r^4 + 4\epsilon r^3)} dt \quad (2)$$

در معادله بالا ϵ ضریب لغزش مایع در طول لوله موین بوده و از گرانیروی هوا صرف نظر شده است. با توجه به اینکه $dV = \pi r^2 dL$ است، معادله ۳ از معادله ۲ نتیجه می‌شود:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\sum P}{8\eta L r^2 (r^2 + 4\epsilon r)} \quad (3)$$

P شامل فشار هیدروستاتیک P_h ، فشار اتمسفر P_a و فشار موینگی P_s است. وقتی مایعی وارد لوله موین می‌شود، سطح مشترک آن با هوا به صورت نیمکره‌ای با شعاع تقعر $r/\cos\theta$ در می‌آید. با در نظر گرفتن تعادل نیروها در دو طرف سطح تقعر معادله‌های ۴ و ۵ به دست می‌آیند که در آنها θ زاویه تماس مایع با دیواره لوله موین و γ کشش سطحی مایع است:

$$\gamma(2\pi r)\cos\theta = P_s(\pi r^2) \quad (4)$$

$$P_s = 2\gamma \cos\theta / r \quad (5)$$

با فرض اینکه نیروی محرک تنها فشار موینگی است، واش‌برن رابطه

$$\gamma_{LA} \cos \theta + \gamma_{SL} = \gamma_{SA} \quad (8)$$

که در آن γ_{LA} کشش سطحی بین آب و هوا، γ_{SL} کشش سطحی بین لیف و آب γ_{SA} کشش سطحی بین لیف و هواست.

موضوع مهم در نفوذ از طریق موینگی انرژی جذب متقابل دو فاز مختلف است. این مقدار انرژی از جذب متقابل لایه‌های مولکولی در سطح دو فاز ناشی می‌شود. بر طبق معادله دوپری انرژی جذب از معادله ۹ به دست می‌آید [۱۷]:

$$W_{SL} = \gamma_{SA} + \gamma_{LA} - \gamma_{SL} \quad (9)$$

که در آن W_{SL} انرژی لازم برای جدا کردن واحد سطح فاز جامد از مایع است. از ترکیب معادله‌های ۸ و ۹ معادله پانگک حاصل می‌شود که در آن ارتباط انرژی جذب بین فاز جامد و مایع با زاویه تماس و کشش سطحی مایع نشان داده می‌شود:

$$W_{SL} = \gamma_{LA} (1 + \cos \theta) \quad (10)$$

این معادله رفتار بین فاز جامد و مایع را از نظر پخش مایع روی سطح جامد یا ترشدن آن به وسیله مایع بیان می‌کند. زمانی که آب روی سطح لیف پخش می‌شود، زاویه تماس صفر است و در نتیجه انرژی جذب متقابل آب و لیف بیشترین مقدار خود را دارد. ترشدن لیف نیز در محدوده زاویه تماس صفر تا ۹۰ درجه انجام می‌گیرد. هرچه زاویه تماس لیف و آب بیشتر شود، تمایل فیزیکی لیف به تر شدن کمتر می‌شود. سرانجام در زاویه تماس ۱۸۰ درجه انرژی جذب بین آب و لیف به صفر می‌رسد [۱۸].

اندازه‌گیری زاویه تماس با سطوح مختلف همواره مورد توجه

پژوهشگران بوده [۲۲-۱۹، ۱۶] و مقادیر مختلفی برای زاویه تماس آب با پلی‌استر و پنبه گزارش شده است. این مقادیر در جدول ۱ ارائه شده‌اند. عدم مطابقت نتایج در این جدول می‌تواند به دلیل روشهای مختلف اندازه‌گیری، دستگاه مورد استفاده یا حساسیت بسیار زیاد زاویه تماس نسبت به سطوح مختلف باشد.

معادله ۷ به صورتهای مختلف مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است [۷-۴]. هالیز و همکاران [۶] در سال ۱۹۵۶ برای تعیین اثر ساختار نخ و خواص سطحی الیاف بر میزان نفوذ آب، نخ و پارچه از جنس نایلون، پلی‌استر، پشم و پلی‌اتیلن را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که نتایج به دست آمده از معادله ۷ برای حالت‌های عمودی و افقی نخ و پارچه نسبت به سطح آب با نتایج تجربی حاصل مطابقت دارد. همچنین در سال ۱۹۷۵ با تعیین سرعت نفوذ آب در نمونه‌های مختلف نتیجه‌گیری شد که رفتار نفوذی مایع تابع ساختار هندسی نخ بوده و با شعاع موینگی حاصل از تجمع الیاف، زاویه تماس آب با الیاف و کشش سطحی آب در ارتباط است [۷].

مایر و همکاران [۸] برای تعیین سرعت انتقال مایعات در نخ‌های ویسکوز و نایلون از معادله واش‌برن استفاده کردند. در این آزمایشها، نخها نسبت به سطح مایع در دو حالت عمودی و افقی قرار داشتند و در هر دو حالت نتایج تجربی میزان انتقال مایعات مطابقت لازم را با نتایج نظری نشان دادند.

رادر و پژوهشگران دیگر [۱۰] نیز رفتار نفوذی مایعاتی که از دو فاز تشکیل شده‌اند را با استفاده از معادله‌های بالا در مورد نخ‌های پشمی و نایلونی بررسی کردند و به نتایج تجربی و نظری مشابهی دست یافتند. طی سالهای گذشته نیز با کمک فنون جدید در ساخت دستگاههای الکترونیکی، روشهای اندازه‌گیری دقیقتری برای تعیین عوامل موثر بر انتقال آب در منسوجات ابداع شده است. در این روشها وزن دقیق آب در کالا در زمانهای مختلف [۱۱] یا تغییر ظرفیت در

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری زاویه تماس آب با الیاف پنبه و پلی‌استر از چند مرجع مختلف.

مرجع	زاویه تماس آب و پنبه (درجه)	زاویه تماس آب و پلی‌استر (درجه)	روش اندازه‌گیری
۱۸	—	۷۵ ۸۰	نیروی ترشدن مشاهده نستقیم (بدون ذکر روش)
۶	—	۷۹	مشاهده مستقیم زاویه تماس وقتی لیف در جهت عمود بر سطح آب وارد شده است.
۲۳	۶۶±۱/۴۵	۸۱/۴±۰/۸۲	ذکر نشده است
۱۱	۵۲-۵۸	—	نیروی ترشدن

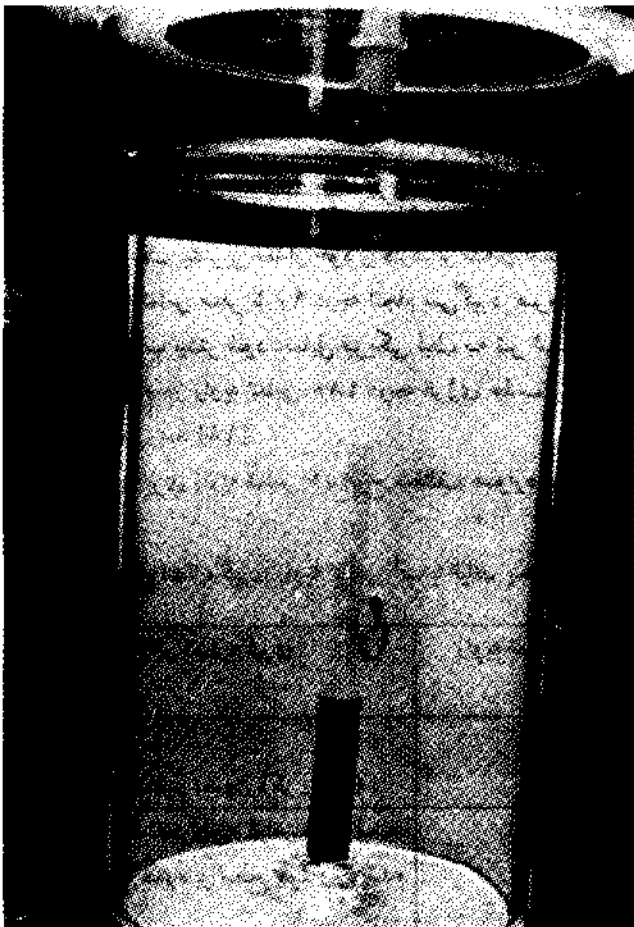
در این مجموعه آزمایشها، ابتدا الیاف پنبه و پلی‌استر در شرایط رطوبت نسبی و دمای ۲۰% C ۲۸-۲۵ در دسیکاتور نگهداری شده و بعد از ۲۴ ساعت قطر آنها با بزرگنمایی ۲۵۵X یک بار در محیط پارافین مایع و یک بار در آب مقطر تعیین شده است. نتایج بر اساس ۲۰۰ مشاهده در مورد الیاف پلی‌استر و ۵۰۰ مشاهده در الیاف پنبه به دست آمده است. علت تفاوت تعداد مشاهدات نایکخواختی بیشتر قطر الیاف پنبه است.

نتایج

در این بخش چگونگی انتقال آب در نخ از الیاف یکسره و نخهای پلی‌استر (حلقه‌ای و چرخانه‌ای) و مخلوط پنبه و پلی‌استر بررسی می‌شود.

چگونگی انتقال آب در نخ از الیاف یکسره

در شکل ۳ ارتباط بین ارتفاع طی شده به وسیله آب در نخ نسبت به



شکل ۲- ترتیب قرار گرفتن نخ در ظرف دارای آب برای اندازه‌گیری ارتفاع طی شده به وسیله آب در نخ [۲۶].

یک مدار الکتریکی مجهز به خازن در اثر تغییرات وزنی کالا در نتیجه نفوذ آب [۱۳] مورد مطالعه قرار گرفته است.

اخیرا جذب مایع در امتداد عمود بر سطح پارچه نیز مورد مطالعه قرار گرفته که بر مبنای حرکت اتفاقی مایع در فضاهای خالی موجود در پارچه بوده است و نتایج تجربی با نتایج حاصل از معادله واش‌برن مطابقت نداشته است [۱۴].

تجربی

در این بخش مواد مصرفی و روشهای اندازه‌گیری میزان نفوذ آب و روغن در الیاف پنبه و پلی‌استر مورد بحث قرار می‌گیرد.

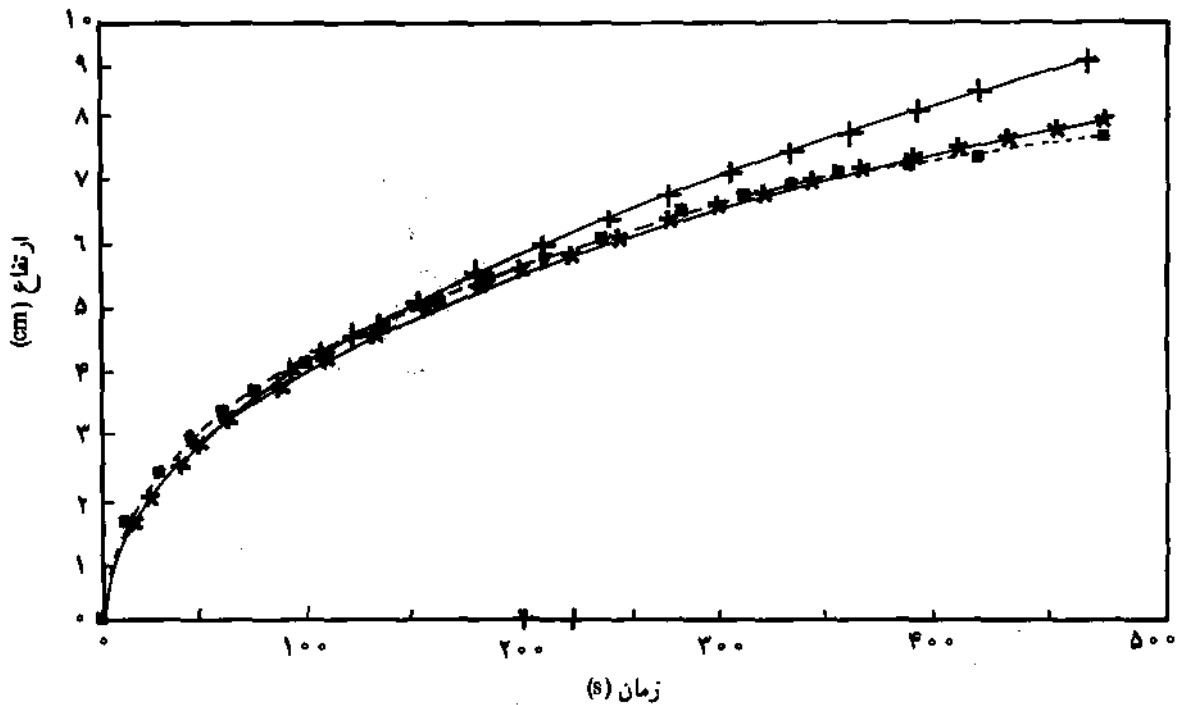
مواد

نخهای شسته شده پلی‌استر و پنبه یک لا با درصدهای مختلف با نمره ۲۹/۵±۱ انگلیسی و تاب ۶۵۰±۵۰ در متر. نخ از الیاف یکسره پلی‌استر معمولی ۳۰۰ دنیر (denier) با ۲۰ تاب در متر. نخ پلی‌استر تهیه شده به دو روش ریسندگی حلقه‌ای (ring spinning) با نمره ۱۹±۱ و تاب ۷۵۰±۵۰ در متر و ریسندگی چرخانه‌ای (rotor spinning) با نمره ۲۱±۱ و تاب ۵۰۰±۳۰۰ در متر. یکی از مواد رنگی زیر جهت مشاهده مقدار پیشروی آب در نخ به آب اضافه شده است: رنگ قرمز واکنش‌پذیر C.I.Reactive Red 238 با نام تجاری سیباکرون قرمز GR (Cibacron Red GR) و رنگ قرمز اسپیدی C.I.Acrid Red L با نام تجاری اریوفلوکسین GN (Erio Floxine GN).

روشها

در شکل ۲ وسیله اندازه‌گیری میزان انتقال آب در نخ و روش قرار گرفتن نخ در ظرف دارای آب نشان داده شده است. از هر بسته نخ پنج نمونه مورد آزمایش قرار گرفته و میانگین مسافت طی شده آب در نخ در فواصل مختلف زمانی محاسبه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، نخ در جهت عمود بر سطح آب قرار دارد و یک وزنه نیم گرمی به انتهای دیگر نخ به وسیله یک راهنما آویزان شده است. چون مقدار وزنه در اندازه فضاهای خالی بین الیاف مؤثر است، در آزمایشهای انجام شده وزنه یکسانی انتخاب شد تا از این تاثیر بتوان صرف‌نظر کرد. پس از وارد شدن نمونه در ظرف دارای آب، ارتفاعی که آب در نخ طی می‌کند اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایشها ارتفاع آب در ظرف و محل قرار گرفتن انتهای نخ همیشه یکسان بوده است.

برای بررسی عوامل مؤثر بر میزان نفوذ آب در نخها، قطر الیاف پنبه و پلی‌استر در محیط آب و روغن به وسیله میکروسکوپ نوری مدل VEB CARL ZEISS JENA ساخت آلمان شرقی اندازه‌گیری شده است.



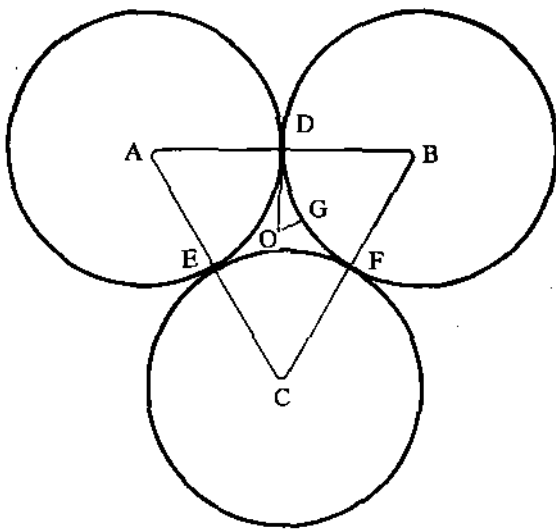
شکل ۳- مسافت طی شده به وسیله آب در نخ از الیاف یکپسره پلی استر: (■) نتایج تجربی، (+) نتایج حاصل از رگرسیون و (*) معادله دیفرانسیلی (حل عددی).

شکل ۳- مسافت طی شده به وسیله آب در نخ از الیاف یکپسره پلی استر: (■) نتایج تجربی، (+) نتایج حاصل از رگرسیون و (*) معادله دیفرانسیلی (حل عددی).

برابر است با:

$$S_{DEF} = (2\sqrt{3} - \pi)R^2 / 2 \quad (11)$$

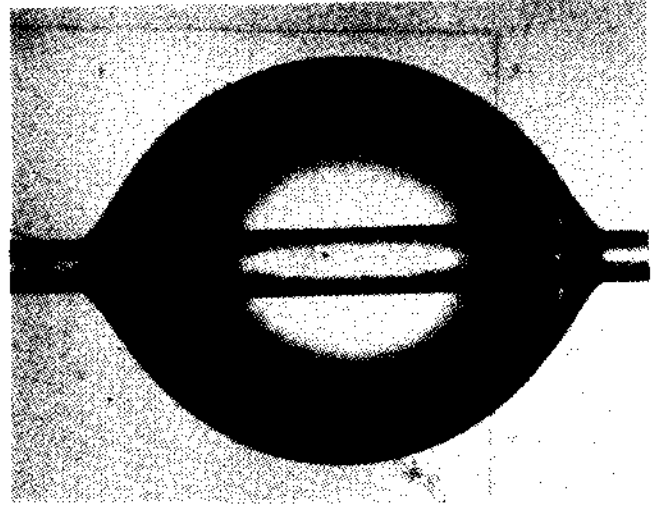
که در آن S_{DEF} مساحت روزنه حاصل از تماس سه لیف و R شعاع هر



شکل ۴- روزنه حاصل از قرار گرفتن الیاف در کنار یکدیگر.

زمان نشان داده شده است. نمونه مورد آزمایش نخ از الیاف یکپسره پلی استر ۶۸ رشته‌ای با دنیر ۳۰۰ بوده است. در این شکل نتایج تجربی و نتایج حاصل از معادله رگرسیون درجه دوم، که از معادله ۷ با $K = 0/171$ به دست آمده و معادله دیفرانسیلی ۶ با استفاده از برنامه پلی مت (Polymath) به روش حل عددی برای مقادیر $K' = 0/171/2$ و $gDr^2/8\eta = 0/0005$ نیز ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، میانگین مسافت طی شده به وسیله آب در قسمت ابتدایی از یک منحنی درجه دوم پیروی می‌کند. با استفاده از معادله دیفرانسیلی ۶ می‌توان اثر وزن آب را در مقادیر انتهایی به حساب آورد. مقدار $gDr^2/8\eta$ باعث انحراف منحنی از شکل درجه دوم بوده و اثر جاذبه در افزایش طول را تا زمان رسیدن به حالت تعادل نشان می‌دهد.

همان‌طور که در روش اندازه‌گیری ارتفاع طی شده به وسیله آب در بخش تجربی اشاره شد، برای نگهداری نخ به حالت مستقیم به آن نیروی کششی وارد شده است. تاب موجود در یک نخ از الیاف یکپسره زیر تنش کششی، عامل ایجاد تنشهای فشاری در الیاف و در نتیجه فشردگی بیشتر آنها می‌شود. بدین ترتیب به نظر می‌رسد که نحوه قرار گرفتن الیاف در نخ به صورت تنگچین (شکل ۴) است. در این حالت مساحت روزنه بین سه لیف



شکل ۵- تصویر قطره آب روی لیف پلی‌استر به صورت مستقیم.

یک از لیاف است. در نخ از لیاف یکسره پلی‌استر مورد آزمایش با توجه به دنیبر، تعداد لیاف و همچنین جرم مخصوص $1/28 \text{ g/cm}^3$ شعاع لیف برابر با $10/6$ میکرون است.

شعاعهای متفاوتی را می‌توان برای روزنه حاصل از تماس سه لیف با یکدیگر در نظر گرفت. با فرض معادل بودن مساحت سطح حاصل از تماس سه دایره، یعنی S_{DEF} ، با مساحت لوله موین با مقطع دایره‌ای، شعاع موینگی برابر با $2/4$ میکرون خواهد بود و با فرض مساوی بودن محیط شکل حاصل از تماس سه دایره با محیط مقطع دایره‌ای لوله موین، شعاع موینگی برابر با $5/3$ میکرون خواهد شد. از طرفی، شعاع حداقل (OG) و حداکثر (OD) حاصل از کنار هم قرار گرفتن سه لیف در محدوده $1/6 - 6/1$ میکرون تغییر می‌کند. همچنین می‌توان شعاع موینگی را با استفاده از مقدار ثابت $K' = \gamma r \cos \theta / \lambda \eta$ یا $gDr^2 / \lambda \eta = 0/0005$ که در رابطه ۶ مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طور جداگانه محاسبه کرد. از مقدار $K' = \gamma r \cos \theta / \lambda \eta = 0/171/2$ و انتخاب زاویه تماس بین 75 تا 80 درجه، شعاع موینگی در محدوده $2/5 - 1/7$ میکرون به دست می‌آید که با احتساب $gDr^2 / \lambda \eta = 0/0005$ مقدار $1/9$ میکرون را اختیار می‌کند. زاویه تماس نیز با توجه به خواص سطحی لیاف مقادیر متفاوتی خواهد داشت (جدول ۱).

در شکل ۵ چگونگی قرار گرفتن یک قطره آب روی لیف پلی‌استر نشان داده شده است. بدیهی است که به علت نامشخص بودن شکل قطره در دو قسمت انتهایی نمی‌توان زاویه تماس را مستقیماً از تصویر به دست آورد.

کارول [۲۱]، یاماکی و کاتایاما [۲۲] شکل قطره تشکیل شده روی لیف را مورد تجزیه و تحلیل ریاضی قرار داده‌اند. در این تحقیقات

زاویه تماس به فاصله دو انتهای قطره، قطر لیف و قطر مربوط شده است. با توجه به قدرت تشخیص میکروسکوپیهای نوری می‌توان به سادگی شیوه قرار گرفتن قطره آب را روی لیف مشاهده کرد. با استفاده از روشهای یادشده در مراجع ۲۱ و ۲۲ و عکسهای به دست آمده از شیوه قرار گرفتن قطره آب روی لیف پلی‌استر، زاویه تماس معین شد. نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت چندانی با مقادیر موجود در مراجع مختلف (جدول ۱) ندارد. از طرفی شکل و ابعاد لیف نایک‌واختی سطح و ناهمسانگردی اغلب لیاف، تکرارپذیری و یکسان بودن نتایج را از راه مشاهده مستقیم محدود می‌کند. به نظر می‌رسد پژوهشگران دیگر [۱۸] به دلیل نامشخص بودن زاویه تماس θ و حساسیت زیاد $\cos \theta$ به θ محاسبه کمی آن امکان‌پذیر نیست. در هر حال چنانچه زاویه تماس θ براساس نتایج گزارش شده در مراجع [۶، ۱۸، ۲۳] مقادیری بین 75 تا 80 درجه را اختیار کند، $\cos \theta$ از $0/26$ به $0/17$ کاهش می‌یابد و بر طبق رابطه $L^2 = Kt$ مقدار K کمتر می‌شود. از سوی دیگر، مقدار K محاسبه شده از معادله رگرسیون درجه دوم بستگی به تعداد نقاط انتخاب شده از نتایج تجربی دارد و در فواصل مختلف زمانی، K مقادیر متفاوتی را اختیار می‌کند. مقادیر محاسبه شده K در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از این آزمایشها با نتایج تحقیقاتی که در بخش اساس نظری به آنها اشاره شد [۶-۸، ۱۰] مطابقت خوبی دارد. در واقع می‌توان از اثر وزن آب با توجه به دقت اندازه‌گیری صرف‌نظر کرد.

چگونگی انتقال آب در نخهای پلی‌استر (حلقه‌ای و چرخانه‌ای)

ساختار نخهایی که از لیاف کوتاه ساخته شده‌اند، به علت قطع شدن لیاف و موج‌وفر (crimp) با ساختار نسبتاً منظم نخهای متشکل از لیاف یکسره متفاوت است، ولی با وجود این تفاوت و بی‌قاعدگی ملاحظه می‌شود که سرعت نفوذ آب در نخ از معادله دیفرانسیلی ۶ پیروی می‌کند.

شیوه قرار گرفتن لیاف در نخهای تهیه شده به روش حلقه‌ای و چرخانه‌ای متفاوت است. بررسی میکروسکوپی نخها نشان می‌دهد که لیاف در مرکز نخ حاصل از ریسندگی چرخانه‌ای بیشتر از نخ تهیه شده به روش حلقه‌ای تأیید شده‌اند [۲۴]. شکل ۶ ارتفاع طی شده به وسیله آب را در نخهای پلی‌استر 100% که به دو روش ریسندگی حلقه‌ای و چرخانه‌ای تهیه شده‌اند نشان می‌دهد. از شکل ۶ چنین برداشت می‌شود که سرعت نفوذ آب در نخهای تولید شده به روش حلقه‌ای به مراتب بیشتر از روش چرخانه‌ای است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییر جهت قرار گرفتن فضاهای موین در نخ یا کم شدن شعاع موینگی در اثر مهاجرت لیاف به سمت مرکز نخ تهیه شده به روش چرخانه‌ای باشد.

جدول ۲ - مقادیر K محاسبه شده از معادله رگرسیون درجه دوم.

ضریب همبستگی R^2	$K = \gamma r \cos \theta / 4 \eta$	فاصله زمانی (ثانیه)
۰/۹۸۳	۰/۱۳۳	۴۸۰ تا ۰
۰/۹۹۶	۰/۱۵۲	۳۰۰ تا ۰
۰/۹۹۷	۰/۱۷۱	۱۵۰ تا ۰

چگونگی انتقال آب در نخهای مخلوط پنبه و پلی استر

در شکل‌های ۷ و ۸ اثر درصد الیاف بر میزان نفوذ آب در نخهای مخلوط پنبه و پلی استر نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود با وجود اینکه زاویه تماس آب با نخ پنبه کمتر از نخ پلی استر است، سرعت نفوذ آب به طریق مویستگی در نخ پلی استر بیشتر از پنبه است. یکی از مهمترین دلایل کم بودن سرعت نفوذ در نخهای پنبه نسبت به پلی استر، می‌تواند تورم ناشی از جذب آب به وسیله الیاف پنبه و در نتیجه کاهش شعاع مویستگی باشد. توزیع قطر الیاف پنبه در محیط آب و روغن در شکل ۹ نشان داده شده و نتایج آماری نیز در جدول ۳ ارائه شده‌اند که با توجه به آنها معلوم می‌شود که الیاف پنبه در اثر جذب آب متورم و قطر آنها حدود ۵/۷ درصد افزایش می‌یابد که با مقادیر گزارش شده [۲۵] مطابقت لازم را دارد. همان‌گونه که از شکل ۱۰ پیداست، قطر الیاف پلی استر در روغن مقادیر بیشتری را نسبت به قطر الیاف پلی استر در آب، به میزان ۱/۸ درصد، اختیار می‌کند که ممکن

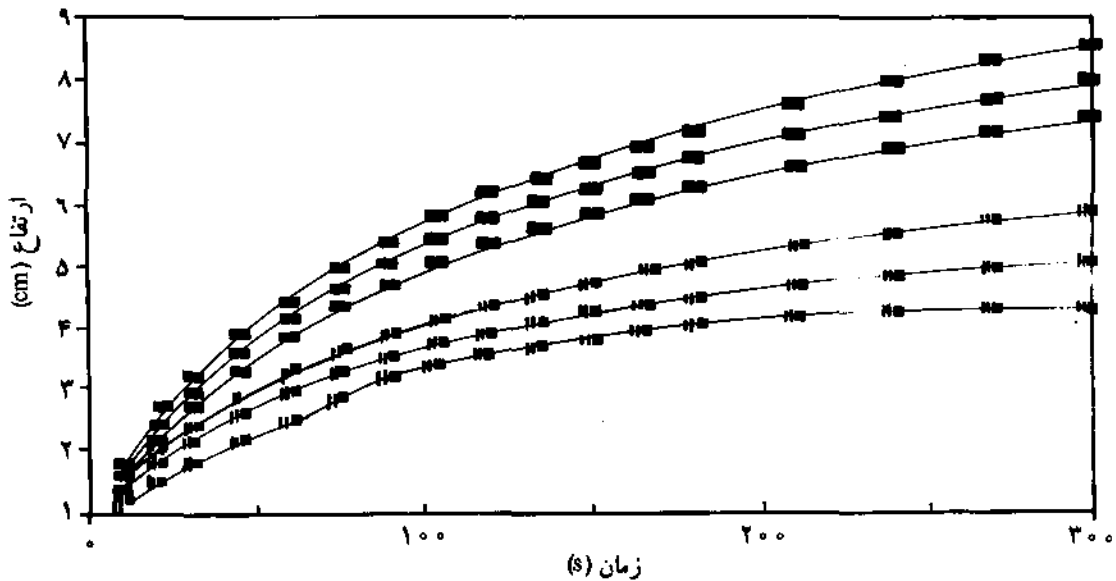
جدول ۳ - نتایج آماری از قطر الیاف پلی استر و پنبه در محیط آب و روغن.

مشاهده	پلی استر		پنبه	
	آب	روغن	آب	روغن
میانگین قطر (μ)	۲۷/۱	۲۷/۶	۱۶/۷	۱۵/۸
انحراف معیار (μ)	۱/۶	۱/۳	۴/۵	۳/۷
حداکثر قطر (μ)	۳۰/۹	۳۰/۸	۳۳/۶	۲۷/۹
حداقل قطر (μ)	۲۲/۵	۲۲/۴	۱۵/۷	۱۵/۶

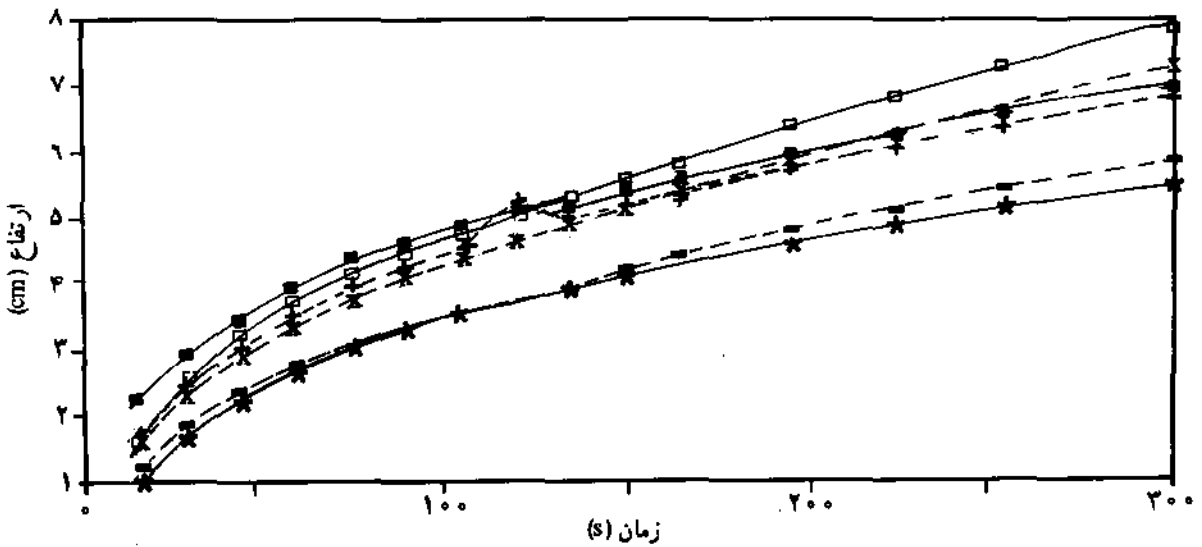
است به دلیل خطای ذاتی اندازه‌گیری با میکروسکوپ یا تورم پلی استر در روغن به علت روغن دوستی (oleophilicity) آن باشد.

یکی دیگر از علل کم بودن سرعت نفوذ، ناهمواریهای سطحی الیاف پنبه است که باعث تغییر زاویه تماس و کاهش سرعت نفوذ می‌گردد. این نتیجه برای پارچه‌های بافته شده از مخلوط نخهای پشم، پلی استر و نایلون نیز گزارش شده است [۷ و ۶].

شکل ۱۱ اثر درصد الیاف پنبه را بر سرعت نفوذ آب در نخ نشان می‌دهد. با اینکه افزایش پلی استر باعث افزایش سرعت نفوذ می‌شود، ولی در آزمایشهای انجام شده روند خاصی ملاحظه نشد که شاید به دلیل عدم پیروی سرعت نفوذ از جمع‌پذیری خواص نفوذپذیری پنبه و پلی استر باشد.



شکل ۶ - میزان نفوذ آب در نخهای پلی استر ۱۰۰٪ که به دو روش مختلف ریسندگی حلقه‌ای و چرخانه‌ای تهیه شده‌اند: (■) ماکسیمم، متوسط و مینیمم حلقه‌ای؛ (□) ماکسیمم، متوسط و مینیمم چرخانه‌ای.

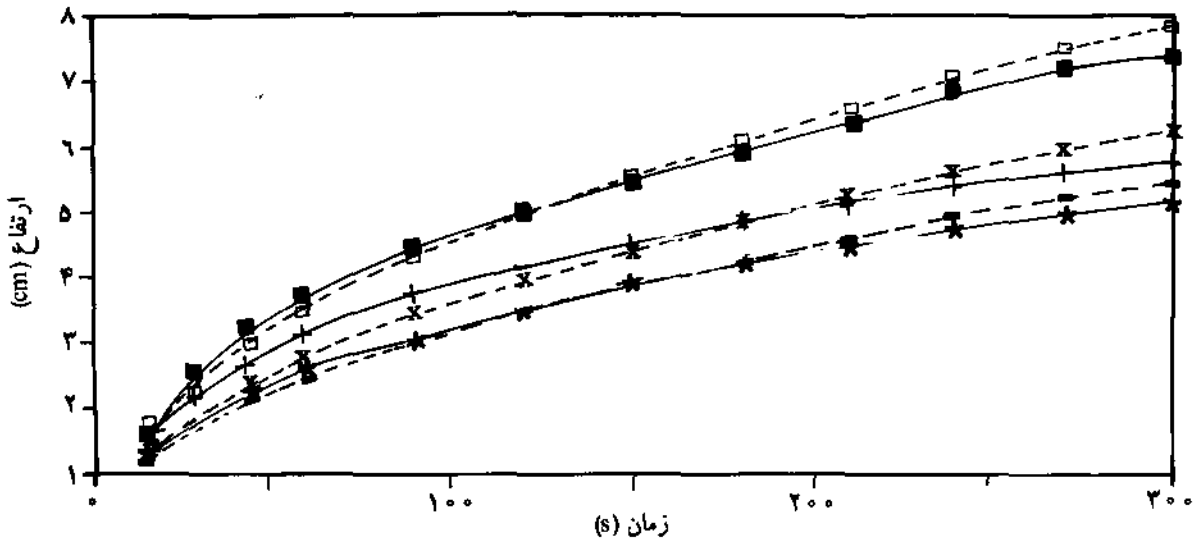


شکل ۷- نتایج تجربی و رگرسیون درجه دوم حاصل از نفوذ آب رنگ شده با قرمز سیباکرون در نخ مخلوط پنبه و پلی‌استر. تجربی: (■) ۱۰۰٪ پلی‌استر، (●) ۷۰٪ پلی‌استر و (▲) ۱۰۰٪ پنبه و رگرسیون: (◆) ۱۰۰٪ پلی‌استر، (★) ۷۰٪ پلی‌استر و (●) ۱۰۰٪ پنبه.

نتیجه‌گیری

ارتفاع طی شده به وسیله آب در نمونه‌هایی از نخ شامل الیاف یکسره پلی‌استر، نخهای ۱۰۰٪ پلی‌استر تهیه شده از الیاف کوتاه به روش ریستندگی حلقه‌ای و چرخانه‌ای، نخهای پنبه‌ای و مخلوط پنبه و پلی‌استر اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که معادله ارتفاع طی شده به وسیله آب بر حسب زمان در ابتدا به صورت $L^2 = Kt$ است و

سپس تحت تاثیر وزن مایع انتقال یافته، که بعد از گذشت زمانی طولانی قابل توجه می‌شود، به وسیله شکل منحنی معادلات واش‌برن قابل توجیه است. ولی، به علت نامشخص بودن زاویه تماس و شعاع موینگی نمی‌توان ثابتهای مربوطه را با تقریب خوبی محاسبه کرد. شکل منحنی مربوط به ارتفاع طی شده به وسیله آب بر حسب زمان برای نخهای مخلوط پلی‌استر و پنبه بستگی به مقدار پلی‌استر



شکل ۸- نتایج تجربی و رگرسیون درجه دوم حاصل از نفوذ آب رنگ شده با قرمز اریوفلوکسین در نخ مخلوط پنبه و پلی‌استر. تجربی: (■) ۷۵٪ پلی‌استر و (●) ۵۰٪ پلی‌استر و رگرسیون: (◆) ۷۵٪ پلی‌استر و (★) ۵۰٪ پلی‌استر، (▲) ۲۵٪ پلی‌استر و (●) ۷۵٪ پلی‌استر و (●) ۵۰٪ پلی‌استر.

موجود در نخ دارد. سرعت نفوذ با افزایش الیاف پلی استر در نخ افزایش می یابد. دلیل کم بودن سرعت نفوذ در نخهای پنبه ای، تورم الیاف در اثر جذب آب و ناهمواریهای سطحی است.

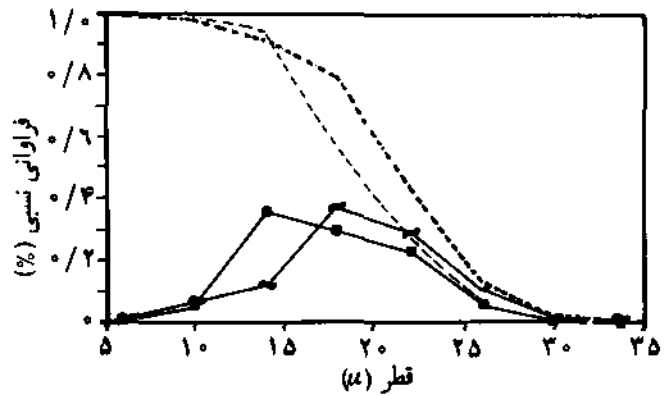
سرعت نفوذ آب در نخ تهیه شده به روش چرخانه ای از نخ حاصل از روش حلقه ای کمتر است. این موضوع می تواند ناشی از تغییر جهت قرار گرفتن فضاهای موین نسبت به سطح آب یا کاهش شعاع موینگی نخ در اثر طرز قرار گرفتن الیاف در نخ حاصل از روش چرخانه ای باشد. بنابراین، برای افزایش سرعت نفوذ آب در نخهای حاصل از ریسندگی چرخانه ای لازم است عوامل موثر بر ساختار نخ را تغییر داد.

همان گونه که اشاره شد، رفتار نفوذی آب در نخهای مختلف تابع عوامل متعددی است که عبارت اند از: کشش سطحی و گرانیروی آب، زاویه تماس آب با الیاف، شعاع موینگی حاصل از کنار هم قرار گرفتن الیاف در نخ، ناهمواریهای سطحی الیاف و شرایط محیط از نظر رطوبت و دما. از میان این عوامل تعیین و کنترل زاویه تماس، شعاع موینگی و ناهمواریهای سطحی الیاف دارای پیچیدگیهایی بوده اند. از این رو، ابداع روشی که بتواند زاویه تماس آب و لیف را به طور دقیق و تکرارپذیر معین کند از اهداف آینده ادامه کار است. همچنین محاسبه دقیق شعاع موینگی از راه انطباق نتایج علمی و نظری پیشنهاد می شود. برای روشن شدن ارتباط ناهمواریهای سطحی الیاف با میزان نفوذ آب نیز مطالعه انتقال آب در نخهای تهیه شده از الیاف پنبه یا پشم و سپس مقایسه نتایج با نخهایی که سطوح آنها به روشهای شیمیایی صاف و صیقلی شده اند، توصیه می شود. موضوع دیگری که نیاز به مطالعات عمومی بیشتری دارد، اثر عمق فرو بردن نخ در آب بر میزان انتقال آن است که به ظاهر قابل توجه نیست.

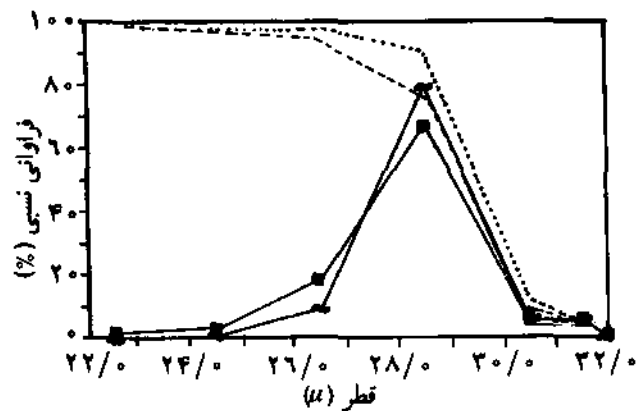
از آنجا که منسوجات سهم بسزایی در خشک کردن سطوح دارند و این عمل از تلفیق مکانیسمهای مختلف مانند نفوذ عمودی، افقی و حرکت اتفاقی آب در فضاهای خالی موجود انجام می گیرد، مطالعه و تحقیق بیشتر در زمینه مکانیسمهای عمل ضروری به نظر می رسد.

مراجع

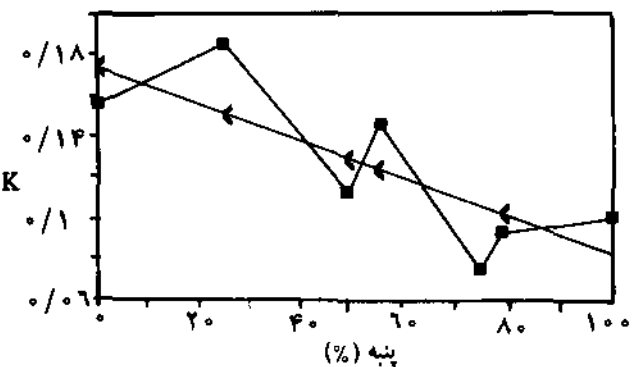
- 1 Lischien B. M.; *Surface Characteristics of Fibers and Textiles*; Schick M. J. (Ed.), Marcel Dekker Inc., New York, 495, 1977.
- 2 Smith S. and Sherman P. O.; *Textile Chemist and Colorist*; 1, 105-109, 1969.
- 3 Anonym, Research Subcommittee, AATCC, 1, 1969.
- 4 Fourt L. and Hollies N. R. S.; *Clothing, Comfort and Functions*; Marcel Dekker Inc., New York, 1970.



شکل ۹- فراوانی نسبی و تجمعی قطر الیاف پنبه در آب و روغن. فراوانی نسبی: (●) در روغن و (■) در آب و تجمعی: (---) در روغن و (---) در آب.



شکل ۱۰- فراوانی نسبی و تجمعی قطر الیاف پلی استر در آب و روغن. فراوانی نسبی: (●) در آب و (■) در روغن و تجمعی: (---) در آب و (---) در روغن.



شکل ۱۱- اثر درصد الیاف پنبه بر سرعت نفوذ آب در نخ مخلوط پلی استر و پنبه: (■) نتایج تجربی و (○) رگرسیون درجه دوم.

- New York, **2**, 1969.
- 18 Miller B. and Young R. A.; *Tex. Res. J.*; **45**, 359, 1975.
- 19 Minor F. W., Schwartz A. M., Wulkow E. A. and Buckles L. C.; *Tex. Res. J.*; **29**, 940, 1959.
- 20 Bartell F. E., Culbertson J. L. and Miller M. A.; *J. Phys. Chem.*; **40**, 881, 1936.
- 21 Caroll B.J.; *Tex. Res. J.*; **37**, 561, 1977.
- 22 Yamaki J.I. and Katayama Y., Ibaraki Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, Tokai-mura Naka-gun Ibaraki-ken, Japan, 1975.
- 23 Sanders E. M. and Zeronian S. H.; *J. Appl. Polym. Sci.*; **27**, 1982.
- ۲۴ - بهزادان ، طاهری عراقی ، ریسندگی چرخانه‌ای ، مرکز نشر دانشگاهی ، چاپ اول ، ۱۳۶۵ .
- 25 Morton W. E. and Hearle W. S.; *Physical Properties of Textile Fibers*; Second ed., Textile Institue, London, 1976.
- ۲۶ - فرحبخش ، اینانلو ، پروژه کارشناسی ، بررسی نفوذ آب در نخ و پارچه در اثر خاصیت موینگی ، دانشکده نساجی ، دانشگاه امریکبر ، ۱۳۷۲ .
- 5 Washburn E. W.; *Phys. Rev.*; **17**, 273, 1921.
- 6 Hollies N. R. S., Kaessinger M. M. and Bogaty H.; *Tex. Res. J.*; **26**, 829, 1956.
- 7 Hollies N. R. S., Kaessinger M. M., Watson B. S. and Bogaty H.; *Tex. Res. J.*; **29**, 8, 1959.
- 8 Minor F. W., Schwartz A. M., Wulkow E. A. and Buckles L. B.; *Tex. Res. J.*; **29**, 931, 1959.
- 9 Minor F. W., Schwartz A. M., Buckles L. C., Wulkow E. A. and Marks M. P.; *Tex. Res. J.*; **31**, 525, 1961.
- 10 Rader C. A. and Schwartz A. M.; *Tex. Res. J.*; **32**, 140, 1962.
- 11 Hosieh Y. L. and Yu B.; *Tex. Res. J.*; **62**, 677, 1992.
- 12 Yoshinaga N., Okayama T. and Oye R.; *The Society of Fiber Science & Technology*; Japan, 287, 1993.
- 13 Ito H. and Muraoka Y.; *Tex. Res. J.*; **63**, 414, 1993.
- 14 Yoneda M. and Niwa M.; *J. Fiber*; **49**, 5, 1993.
- 15 Kamath Y. K., Horby S. B., Weigmam H. D. and Wilde M. F.; *Tex. Res. J.*; **63**, 33, 1993.
- 16 Brydson J. A.; *Flow Properties of Polymer Melt*; Van Nostrand, Rinhold Co., USA., 1970.
- 17 Egon M.; *Surface and Colloid Science*; Wiley Interscience,