ایزولاسیون گرمایی، فشردگی و نفوذپذیری منسوج بی‌بافت تولیدشده به روش سوزن‌زنی

تهیه و تنظیم : مهندس امیر فراتی*

چکیده

الیاف پلی استر با اشکال مختلف سطح مقطع عرضی نظیر دایره ای ،توخالی و سه پره ای جهت تولید نمدهای سوزن زنی شده با کاربرد فنی-صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مطالعه تاثیر وزن منسوج بی بافت پلی استر تولیدشده به روش سوزن زنی و همچنین تاثیرشکل سطح مقطع عرضی الیاف پلی‌استر تشکیل دهنده منسوج برروی میزان ایزولاسیون گرمایی، ضخامت، چگالی، درصد فشردگی، قابلیت نفوذ پذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی نمد مورد بررسی قرار می گیرد. در ضمن مقایسه بین روش مارش و روش صفحه ای که هردوجهت اندازه گیری میزان ایزولاسیون نمد سوزن زنی شده مورد استفاده قرار می گیرند، انجام می شود. روش صفحه ای به دلیل آماده سازی آسان نمونه جهت انجام آزمایش و به دلیل آنکه نمونه مورد آزمایش خصوصیات اولیه خود را حفظ می کند وهمچنین دقت بیشتر نتایج به روش مارش ترجیح داده می شود. دراین مطالعه همچنین روابط داخلی بین پارامترها با استفاده از ماتریس همبستگی و گروه بندی کردن پارامترها با استفاده از روش آنالیز گروهی بررسی می شود. براین اساس پارامترهای ایزولاسیون گرمایی، چگالی، قابلیت عبوردهی هوا وقابلیت نفوذپذیری بخشیِ نمد جزء زیرمجموعه های گروه قرار گرفته و تمامی این پارامترها وابسته به وزن نمد می باشند. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر آن است که نمونه منسوج بی بافت سوزن زنی شده تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع عرضی سه پره ای دارای بیشترین میزان ایزولاسیون گرمایی، چگالی و درصد فشردگی می باشد. بعد از آن به ترتیب نمونه متشکل از الیاف پلی استر با سطح مقطع دایره ای و سپس نمونه تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع توخالی قرار دارند. همچنین نتایج موید آن است که با افزایش وزن نمد میزان ایزولاسیون گرمایی، ضخامت و چگالی نمد افزایش می یابد ولی درصد فشردگی، قابلیت نفوذپذیری هوا و قابلیت نفوذپذیری بخشی آن کاهش می یابد. براین اساس وزن نمد با قابلیت نفوذپذیری و همچنین چگالی نمد با قابلیت نفوذپذیری بخشی رابطه عکس دارند و ضرایب همبستگی در آنها معنی دار می باشد.

مقدمه

الیاف پلی استر به دلیل قیمت پایین و در دسترس بودن آن و همچنین داشتن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب کاربردهای مختلف و زیادی در حوزه های صنعتی و همچنین منسوجات دارند. این الیاف با اشکال متنوع و مختلف در سطح مقطع عرضی تولید می شوند. بررسی تاثیر شکل سطح مقطع عرضی این الیاف برروی ایزولاسیون گرمایی نمد تولید شده از آن به روش سوزن زنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. ایزولاسیون گرمایی یا عایق حرارتی یکی از خصوصیات مهم در نمدهای صنعتی و فنی می باشد.در تحقیقات قبلی مقدارایزولاسیون گرمایی انواع مختلفی از نمدهای تولید شده از الیاف چتایی اندازه گیری شده است. نتایج بیانگر آن است که مقدار ایزولاسیون گرمایی نمد تولیدی مستقیما متناسب با ضخامت و همچنین تعداد لایه های تشکیل دهنده نمد می باشد. در حال حاضر برای اندازه گیری مقدار ایزولاسیون گرمایی در نمد چتایی و همچنین دیگر مواد غیر نساجی عموماً از یک دستگاه دیجیتالی استفاده می شود که در این آزمایش مساحت نمونه نیازمند کمتراز $700\ cm^2$ باشد و نمونه نیاز به هیچ گونه آماده سازی قبلی ندارد ضمن اینکه این آزمایش غیرمخرب بوده و خطای انسانی در آماده سازی نمونه تاثیری ندارد.

تحقیقات قبلی انجام گرفته بیانگر آن است که با افزایش وزن نمد مقاومت سایشی آن افزایش می یابد که به واسطه ثبات و گیرایی بهتر الیاف در ساختمان نمد می‌باشد. همچنین تحقیقات قبلی انجام شده در حوزه منسوجات بی بافت بیانگر آن است که جهت دستیابی به طول خمش یکسان در نمد پلی استر تولیدی از الیاف با سطح مقطع سه پره ای و سطح مقطع دایره ای به روش سوزن زنی نیاز است تا تراکم سوزن زنی ، عمق نفوذ و تراکم سطحی طی عملیات سوزن زنی در الیاف با سطح مقطع سه پره ای نسبت به الیاف با سطح مقطع دایره ای کمی بیشتر باشد تا در این شرایط طول خمش یکسان در نمد تولیدی حاصل شود. همچنین با متراکم‌تر شدن نمد ،طول خمش نمد نیز افزایش می یابد، اما در ارتباط با تاثیر وزن نمد و شکل سطح مقطع عرضی الیاف برروی خصوصیات مهم دیگر نمد سوزن زنی شده مثل قابلیت نفوذپذیری هوا ،فشردگی ،مقدار ایزولاسیون گرمایی ،ضخامت و چگالی کمتر بحث شده است. ایزولاسیون گرمایی بستگی به ساختمان نهایی منسوج تولید شده دارد.

در این مطالعه از الیاف پلی استر که دارای سطح مقطع های عرضی دایره ای، توخالی و سه پره ای می باشد جهت تولید نمد سوزن زنی شده استفاده می شود و اثر شکل سطح مقطع عرضی الیاف و وزن نمد تولیدی برروی میزان ایزولاسیون گرمایی، ضخامت ،چگالی، فشردگی و قابلیت نفوذپذیری نمد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این تحقیق جهت بررسی ارتباط بین متغیرها و مطالعه رفتار آنها از ماتریس همبستگی و روش آنالیز گروهی استفاده می شود.

مواد اولیه و روشهای تولید

مواد اولیه

برای نمونه گیری از الیاف پلی استر که دارای طول ۵۱ mm و ظرافت ۰/۳۳ tex می باشد استفاده می شود. همچنین از پارچه پنبه ای جهت تقویت و استحکام بخشی نمد حین عملیات سوزن زنی استفاده می شود. خصوصیات الیاف پلی استر مورد استفاده در این تحقیق و همچنین مشخصات پارچه پنبه ای به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱ : خصوصیات الیاف پلی استر

شکل سطح مقطع	طول الیاف (mm)	دانسیته خطی (tex)	تعداد فر/ سانتیمتر	استحکام (cN/tex)	ازدیاد طول تا حد پارگی (٪)
دایره ای	۵۱	۰/۳۳	۵/۰۴	۳۴/۸۳	۵۱
توخالی	۵۱	۰/۳۳	۴/۷۲	۳۸/۴۳	۲۱/۰۵
سه پره ای	۵۱	۰/۳۳	۵/۱۲	۳۷/۵۳	۵۰/۲۸

جدول ۲ : خصوصیات پارچه پنبه ای

خصوصیت	مقدار
دانسیته خطی نخ (tex)	
نخ تار	۱۴/۷۷ (Ne=۴۰)
نخ پود	۱۷/۹۶ (Ne=۳۲/۸۸)
تراکم نخ در پارچه	
تراکم نخ تار (cm)	۲۳/۶۲
تراکم نخ پود (cm)	۱۸/۹۰
وزن پارچه (gr/m۲)	۷۶/۲۵
ازدیاد طول تا حدپارگی (٪)	۱۷/۲۵
استحکام تا حد پارگی (cN/tex)	۶/۲۳

روش های تولید

آماده سازی نمونه های پلی استر

برای تولید نمدهای پلی استر ابتدا الیاف پلی استر را که از قبل بازشده از یک دستگاه کاردینگ آزمایشگاهی TAIRO عبور داده و سپس وب تولیدی جهت دسترسی به وزن مورد نظر بصورت موازی لایه گذاری می شود. در انتها عملیات سوزن زنی با یک دستگاه سوزن زنی Fiber Locker با تعداد ۱۷۰ ضربه در دقیقه انجام می گیرد. سرعت دستگاه سوزن زنی نیز به گونه ای تنظیم می شود که تراکم پانچ در سانتیمتر مربع در هر بار عملیات سوزن زنی برابر با ۵۰ باشد. نمد تولیدی از اولین مرحله سوزن زنی مجددا چندین بار دیگر از دستگاه سوزن زنی عبور داده می شود تا به تراکم پانچ نهایی مورد نظر دسترسی حاصل شود. مثلا چنانچه تراکم پانچ ۳۰۰ در سانتیمتر مربع مدنظر باشد بایستی نمد شش بار عملیات سوزن زنی با تراکم پانچ ۵۰ در سانتیمترمربع را یکی پس از دیگری طی کند که معمولا عملیات سوزن زنی بصورت یک در میان از زیر و روی نمد انجام می گیرد. جزئیات نمونه ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ : جزئیات نمونه های آزمایشی

کد نمد	شکل سطح مقطع عرضی	وزن نمد (g/m۲)	تراکم پانچ (cm۲)
R۱	دایره ای	۴۱۵	۳۰۰
R۲	دایره ای	۵۱۵	۳۰۰
R۳	دایره ای	۶۸۰	۳۰۰
R۴	دایره ای	۸۱۵	۳۰۰
H۱	توخالی	۴۱۵	۳۰۰
H۲	توخالی	۵۱۵	۳۰۰
H۳	توخالی	۶۸۰	۳۰۰
H۴	توخالی	۸۱۵	۳۰۰
T۱	سه پره ای	۴۱۵	۳۰۰
T۲	سه پره ای	۵۱۵	۳۰۰
T۳	سه پره ای	۶۸۰	۳۰۰
T۴	سه پره ای	۸۱۵	۳۰۰

کد سوزن نمدزنی مورداستفاده جهت نمونه گیری در ماشین سوزن زنی ۹ × $\frac{1}{4}$ × $\frac{1}{2}$ ۳ R/SP × ۳۶ × ۱۸ × ۱۵می باشد. این نوع سوزن عموماً جهت تولید نمد چتایی-پلی پروپیلن ، نمد چتایی و نمد پلی استر بکار می‌رود. عمق نفوذ سوزن در ماشین سوزن زنی در تمامی نمونه گیری ها برابر با ۱۱ میلیمتر تنظیم می شود. وزن نهایی واقعی نمونه ها با پنج بار نمونه‌گیری از نقاط مختلف نمد به دست می آید.

اندازه گیری مقدار ایزولاسیون گرمایی نمونه ها

مقدار ایزولاسیون گرمایی نمونه ها با استفاده از دو روش مختلف یکی روش سرد کردن مارش و دیگری روش صفحه ای اندازه گیری می‌شود. در روش سرد کردن ، اصول کلی کار بدین صورت است که نمد به دور یک وسیله داغ پیچیده شده و سپس نرخ کاهش دما در وسیله اندازه‌گیری می شود. در این آزمایش سطح خارجی تر نمد در معرض هوای آزاد قرار می گیرد. زمان طی شده که در آن دمای وسیله داغ به یک مقدار از پیش تعیین شده کاهش یابد ابتدا در حالتی که نمد به دور وسیله داغ پیچیده شده (tc) و در شرایط بدون نمد (tu) در نظر گرفته می شود. وسیله داغ مورد استفاده در این آزمایش یک سیلندر برنجی که طول آن ۴۵ سانتیمتر، قطر خارجی آن ۵ سانتیمتر و ضخامت بدنه آن ۲ میلیمتر می باشد انتخاب شده است. جهت داغ شدن سیلندر از آب مقطر با دمای ۵۰ °C در داخل آن استفاده می شود .دهانه یک طرف سیلندر با یک چوب پنبه بسته می شود. از داخل چوب پنبه یک ترمومتر عبور داده شده تا دمای آب داخل سیلندر اندازه گیری شود. برای انجام آزمایشات از نمدهای مربع شکل استفاده می شود که به دور سطح خارجی سیلندر پیچیده می شود. آزمایش هنگامیکه دمای آب داخل سیلندر به ۴۸ °C رسید آغاز می شود. از یک کرونومتر جهت ثبت زمان استفاده می شود. هنگامیکه دمای آب به ۳۸ °C رسید زمان متوقف می شود.مقدار ایزولاسیون گرمایی هر نمونه از روابط زیر قابل محاسبه می باشد :

$$TIV = t_c / t_u \qquad (۱)$$

$$TIV\,(٪) = [۱ - (\text{میزان از دست دادن گرمای سیلندر با نمونه} / \text{میزان از دست دادن گرمای سیلندر بدون نمونه})] \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

$$TIV\,(٪) = [۱ - (\text{کاهش دمای سیلندر با نمونه} / \text{کاهش دمای سیلندر بدون نمونه})] \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

در این آزمایشات محدوده ی کاهش دما برای تمامی نمونه ها ثابت و از ۴۸ °C به ۳۸ °C می باشد.مقدار ایزولاسیون گرمایی نمونه ها مختلف بوده و بر اساس رابطه زیر قابل دستیابی است :

$$TIV(٪) = [۱ - (tu(۴۸°C - ۳۸°C) / (tc(۴۸°C - ۳۸°C)] \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

در این رابطه tu(۴۸°C-۳۸°C) زمان طی شده جهت کاهش دما از ۴۸ °C به ۳۸°C در حالتی که به دور سیلندر نمونه پیچیده نشده و tc(۴۸°C-۳۸°C)زمان طی شده جهت کاهش دما در همان محدوده دمایی در حالتی که نمد به دور سیلندر پیچیده شده می باشد.آزمایشات بر روی پنج نمونه انجام می گیرد و میانگین نتایج جهت مقایسه ثبت می‌شود. در این آزمایش ضریب تغییرات نتایج حدود ۵ درصد می باشد.

در روش صفحه ای (روش استفاده از دو صفحه) وسیله اندازه گیری مقدار ایزولاسیون شامل یک میکروپروسسور می باشد که نتایج را بصورت اتوماتیک برحسب "tog" ارائه می دهد.مساحت نمونه ها در این روش ۷۰۶/۸۵ سانتیمتر مربع یعنی قطر نمونه ها برابر با ۳۰ سانتیمتر می باشد. این روش غیر مخرب بوده و خطای انسانی در پروسه آماده سازی نمونه نقشی ندارد. مقدار ایزولاسیون گرمایی بصورت رندوم از سه جای مختلف نمد اندازه گیری می شود. میانگین مربوط به پنج مقدار ثبت می شود. ضریب تغییرات نتایج در این آزمایش کمتر از ۲ درصد می باشد.

تمامی این آزمایشات در شرایط استاندارد با رطوبت نسبی ۲±۶۵ درصد و دمای ۲±۲۰ درجه سانتیگراد انجام می گیرد.نمونه ها قبل از انجام آزمایشات جهت آماده سازی به مدت ۲۴ ساعت در شرایط فوق قرار داده می شوند.

اندازه گیری ضخامت ،درصد فشردگی و چگالی نمونه ها

ضخامت اولیه و میزان فشردگی نمونه ها از منحنی فشردگی قابل محاسبه می باشد.برای اندازه گیری ضخامت نمونه ها از دستگاه آزمایشی ضخامت سنج استفاده می شود. دستگاه ضخامت سنج آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق دارای گیج نشانه دار عقربه ای می باشد. در این دستگاه مساحت ناحیه پایه ۵/۰۶۷ cm^2 (قطر ۲/۵۴ cm) می‌باشد. این دستگاه قابلیت اندازه گیری ضخامت نمد در محدوده حداقل ۰/۰۱ میلیمتر و حداکثری ۱۰/۵ میلیمتر را دارد .مقدار ضخامت و درصد فشردگی تحت محدوه فشار ۱/۵۵ kpa و ۵۱/۸۹ kpa اندازه گیری می شود.

ضخامت اولیه نمونه ها تحت فشار ۱/۵۵ kpa مشاهده می شود.گیج عقربه دار مقدار ضخامت نمونه های متناظر با این فشار را با توجه به اعمال نیروی ۱/۹۶۲ N نشان می دهد.جهت انجام آزمایشات بین بارگذاری قبلی و بعدی تاخیر ۳۰ ثانیه ای اعمال می شود.بطور مشابه یک تاخیر ۳۰ ثانیه ای نیز بعد از برداشتن نیرو از نمونه ها در نظر گرفته می شود و سپس اندازه گیری صورت می پذیرد. از مقادیرمربوط به ضخامت نمونه ها (هنگام فشردگی و متناظر با مقدار فشار وارده بر آن) برای تعیین منحنی فشردگی استفاده می شود.

درصد فشردگی با استفاده از معادله زیر قابل دستیابی می باشد :

$$\text{درصد فشردگی } (\%) = \frac{(T_0 - T_1)}{T_0} \times 100 \qquad (۵)$$

در این معادله T_0 ضخامت اولیه نمونه برحسب میلیمتر و T_1 ضخامت نمونه تحت فشارماکزیمم ۵۱/۸۹ kpa می باشد.

همچنین چگالی نمونه ها با استفاده از رابطه زیر قابل دستیابی می‌باشد:

$$\text{چگالی نمد } (gr/cm^3) = [W / T] \times 10^{-3} \qquad (۶)$$

که در این رابطه W وزن نمد برحسب gr/cm^2 و T ضخامت نمد برحسب میلیمتر تحت فشار ۱/۵۵ kpa می باشد.

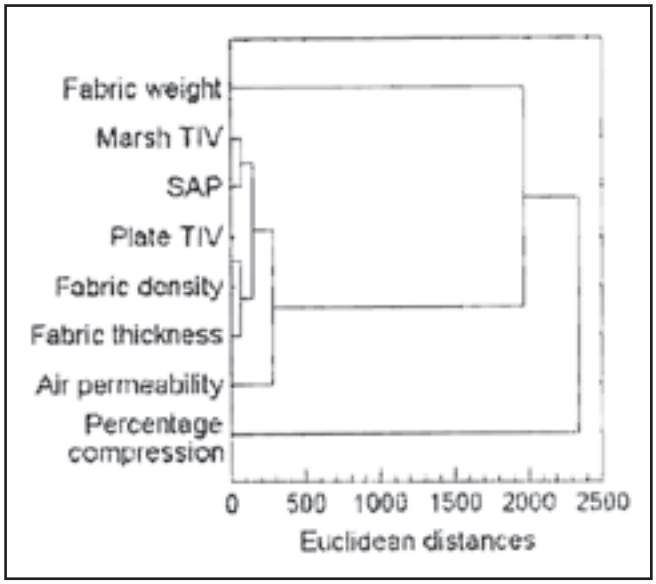
اندازه گیری قابلیت نفوذپذیری هوا در نمونه ها

ارزیابی قابلیت نفوذپذیری نمونه ها با استفاده از دستگاه آزمایشگاهی قابلیت نفوذپذیری شرلی (SDL-۲۱) انجام می گیرد. نتایج برحسب مقدار حجم هوای عبوری برحسب واحد حجم (سانتیمترمکعب) از نمونه به ابعاد یک سانتیمترمربع درمدت یک ثانیه بیان می شود. مقدار قابلیت نفوذپذیری بوسیله مقدار نرخ جریان برحسب cc/s تقسیم بر مساحت نمونه مورد استفاده در این آزمایش که در اینجا ۵/۰۷ cm^2 (۱ in^2) می باشد به دست می آید. همچنین برای بررسی تفاوت در نفوذپذیری نمونه ها از مقادیر مربوط به قابلیت نفوذپذیری بخشی (SAP) استفاده می شود و مقدار آن از رابطه $SAP = A \times T$ بدست می آید. در این رابطه A مقدار نفوذپذیری برحسب $cm^3/cm^2/s$ و T میانگین ضخامت نمونه برحسب cm در فشار ۱/۵۵ kpa می باشد. برای هر نمونه ۱۰ آزمایش انجام می گیرد .ضریب تغییرات حدود ۵ درصد می باشد.

نتایج و بحث

جدول ۴ نشان دهنده تاثیر وزن نمد وشکل سطح مقطع عرضی الیاف برروی مقدار ایزولاسیون گرمایی (اندازه گیری شده با روش های مارش و صفحه ای) ،ضخامت ،درصد فشردگی ،چگالی ،قابلیت نفوذپذیری و همچنین قابلیت نفوذپذیری بخشی نمونه ها می باشد.جدول ۵ نیز ماتریس همبستگی متغیرها را نشان می دهد. با استفاده از تکنیک آنالیز گروهی نیز ارتباط بین متغیرها مورد مطالعه قرار می گیرد که در شکل ۱ مشخص شده است. در اینجا تاثیر وزن نمد و شکل سطح مقطع عرضی الیاف برروی خصوصیات مختلف نمد بررسی می شود.

شکل ۱ : نمودار درختی متغیرهای مختلف با استفاده از آنالیز گروهی جدول



جدول۴-خواص نمونه ی پلی استری بی بافت سوزن زنی شده

کد نمد	ایزولاسیون گرمایی مارش (٪)	ایزولاسیون گرمایی (tog)	ضخامت نمد (mm)	چگالی نمد (g/cm^3)	فشردگی (٪)	نفوذپذیری ($cm^3/cm^2/s$)	نفوذپذیری بخشی ($cm^3/s/cm$)
R۱	۱	۰/۶۶۰	۳/۵۴	۰/۱۱۷۲	۴۲/۹۳	۹۱/۸۳	۳۲/۵۱
R۲	۲۰/۱۳	۰/۶۶۷	۴/۱۴	۰/۱۲۴۴	۳۷/۰۰	۶۹/۱۷	۲۸/۶۴
R۳	۲۱/۵۰	۰/۸۰۳	۵/۱۳	۰/۱۳۲۶	۲۸/۳۵	۷۵/۸۳	۲۹/۶۷
R۴	۲۴/۴۱	۰/۹۳۷	۵/۶۲	۰/۱۴۵۰	۲۳/۷۸	۴۵/۰۰	۲۵/۲۹
H۱	۹۰/۶۰	۰/۶۴۷	۳/۱۷	۰/۱۳۰۹	۳۱/۶۶	۸۶/۱۷	۲۷/۳۲
H۲	۱۳/۴۲	۰/۶۵۳	۳/۶۰	۰/۱۴۳۱	۲۴/۳۶	۶۸/۰۰	۲۴/۴۸
H۳	۲۲/۰۲	۰/۶۹۷	۴/۶۹	۰/۱۴۵۰	۱۸/۰۹	۵۲/۶۷	۲۴/۷۰
H۴	۲۷/۱۶	۰/۸۱۰	۵/۵۳	۰/۱۴۷۴	۱۶/۱۳	۳۸/۵۰	۲۱/۲۹
T۱	۲۶/۷۵	۰/۶۹۳	۳/۵۷	۰/۱۱۶۲	۴۲/۲۷	۷۵/۳۳	۲۶/۸۹
T۲	۲۹/۰۱	۰/۷۴۳	۴/۳۷	۰/۱۱۷۸	۳۷/۹۳	۷۳/۰۰	۳۱/۹۰
T۳	۳۱/۷۷	۰/۸۱۷	۵/۵۸	۰/۱۲۱۹	۲۵/۴۳	۵۰/۵۰	۱۸/۲۸
T۴	۳۱/۸۶	۰/۹۵۳	۶/۵۸	۰/۱۲۳۹	۲۳/۱۹	۴۴/۶۷	۲۹/۳۹

جدول۵- ضریب همبستگی متغیرها

A	۱/۰۰	۰/۵۵	۰/۸۶*	۰/۹۴*	۰/۵۵	۰/۴۰	-۰/۹۶	-۰/۴۲
B	۰/۵۵	۱/۰۰	۰/۶۸*	۰/۷۴*	-۰/۲۶	۰/۰۶	-۰/۶۰*	۰/۰۹
C	۰/۸۶*	۰/۶۸*	۱/۰۰	۰/۹۳*	۰/۱۸	۰/۵۲	-۰/۷۸*	-۰/۰۸
D	۰/۹۴	۰/۷۴*	۰/۹۳*	۱/۰۰	۰/۲۳	۰/۲۹	-۰/۸۹*	-۰/۱۵
E	۰/۵۵	-۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۱/۰۰	۰/۳۷	-۰/۵۶	-۰/۸۲*
F	۰/۴۰	۰/۰۶	۰/۵۲	۰/۲۹	۰/۳۷	۱/۰۰	-۰/۳۲	-۰/۲۱
G	-۰/۹۶*	-۰/۶۰*	-۰/۷۸*	-۰/۸۹*	-۰/۵۶	-۰/۳۲	۱/۰۰	-۰/۵۵
H	-۰/۴۲	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۱۵	-۰/۸۲	-۰/۲۱	۰/۵۵	۱/۰۰

A- وزن نمد (g/m^2) ، B- ایزولاسیون مارش (٪) ، C- ایزولاسیون گرمایی (tog) ، D- ضخامت نمد (mm) ، E- چگالی نمد (g/cm^3) ، F- فشردگی (٪) ، G- نفوذپذیری هوا ($cm^3/cm^2/s$) ، H- نفوذپذیری بخشی هوا($cm^3/s/cm$)

*** در سطح آماری $p < ۰/۰۵۰۰۰$ معنی دار می باشند.**

گروه بندی کردن و ارتباط بین متغیرها

در اینجا وزن نمد بعنوان متغیر مستقل ومقدار ایزولاسیون گرمایی یا TIV (اندازه‌گیری شده به وسیله هر دو روش) ضخامت ،چگالی ،درصد فشردگی ،قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی نمد متغیرهای وابسته می باشند. از جدول ۵ مشاهده می شود که در سطح آماری ($p < ۰،۰۵۰۰۰$)ضریب همبستگی بین وزن نمد و مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش صفحه ای برابر با ۰/۸۶ و ضریب همبستگی بین وزن نمد و ضخامت نمد برابر با ۰/۹۴ و همچنین ضریب همبستگی بین وزن نمد و قابلیت نفوذپذیری نمد برابر با ۰/۹۶- می‌باشد.

از بین متغیرهای وابسته نیزضریب همبستگی بین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه‌گیری شده به روش صفحه ای و مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش مارش برابر با ۰/۶۸ و ضریب همبستگی بین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش صفحه ای و ضخامت نمد برابر با ۰/۹۳ و ضریب همبستگی بین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش صفحه ای و قابلیت نفوذپذیری نمد برابر با ۰/۷۸- می باشد.

دیگر ضرایب همبستگی بین متغیرهای مستقل عبارتند از ضریب همبستگی بین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش مارش وضخامت نمد که برابر با ۰/۷۴و ضریب همبستگی بین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش مارش و قابلیت نفوذپذیری هوا برابر با ۰/۶۰- و ضریب همبستگی بین ضخامت نمد و قابلیت نفوذپذیری نمد برابر با ۰/۸۹- و ضریب همبستگی بین چگالی نمد و قابلیت نفوذپذیری بخشی نمد برابر با ۰/۸۲- می باشد.

همچنین از دیاگرام درختی مربوط به آنالیز گروهی مشاهده می شود که وزن نمد و درصد فشردگی موجودیت متفاوتی دارند همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در بین دیگر متغیرها نیز چگالی، ضخامت و مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش صفحه ای در یک گروه قرار می گیرند.

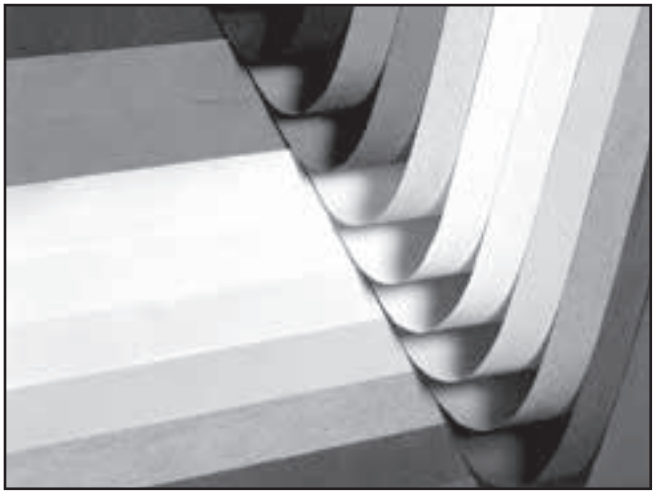
همچنین مقدار ایزولاسیون گرمایی اندازه گیری شده به روش مارش و قابلیت نفوذپذیری بخشی هوا در گروه های مجزای کوچک قرار می‌گیرند. قابلیت نفوذپذیری دارای موجودیت مجزا بوده و با دو زیر گروه دیگر مرتبط می باشد.

از این مطالعه می توان دریافت که زیرگروه های کوچک تحت تاثیر یک متغیر مستقل بنام وزن نمد می باشند که فاصله اقلیدسی زیادی از خود نشان می دهد(شکل ۱). در عمل نیز مشاهده می شود که با تغییر وزن نمد پارامترهای ایزولاسیون گرمایی ،ضخامت ،چگالی و قابلیت نفوذپذیری نمد نیز تغییر می کند. گرچه درصد فشردگی بیشترین فاصله اقلیدسی را دارد اما اثرگذاری آن برروی دیگر متغیرها ضعیف می باشد.

این موضوع همچنین از مشاهده میزان ضریب همبستگی خیلی پایین و غیرمعنی‌دار بین درصد فشردگی و دیگر متغیرها ($r < ۰/۵۲$) نیز دریافت می شود که در جدول ۵ آمده است.گرچه قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی نمایش یکسانی دارند اما ارتباط بین قابلیت نفوذپذیری بخشی نسبت به ضخامت نمد قابل بررسی می باشد. دراینجا در آنالیز گروهی ،فاصله اقلیدسی قابلیت نفوذپذیری بخشی تا ضخامت و چگالی نسبت به فاصله اقلیدسی قابلیت نفوذپذیری کمتر می باشد.

تاثیر برروی ایزولاسیون گرمایی نمد

همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می شود نتایج مربوط به هر دو روش اندازه گیری ایزولاسیون گرمایی روند مشابهی از خود نشان می دهند. ضریب همبستگی بین این دو روش ($r = ۰/۶۸$) نشان از تطابق خوب و تائید همبستگی معنی دار بین این دو روش می باشد.اما در مقایسه عملیِ این دو روش که هر



دو جهت اندازه گیری میزان ایزولاسیون گرمایی نمد بکار می رود می توان گفت که روش انجام آزمایش مارش کسل کننده می باشد ، ضمن اینکه در این روش ، نمونه قبل از انجام آزمایش نیاز به آماده سازی مقدماتی دارد .

همچنین آب مورداســـتفاده در این آزمایش بایســـتی از قبل گرم شـــده باشد. در صورتیکه روش صفحه ای غیرمخرب بوده و در پروســـه آماده سازی نمونه بدلیل سیســـتم ثبت ارقام بصورت دیجیتالی ،خطای انسانی تاثیرگذار نمی باشد. مقادیر CV٪ مربوط به اندازه گیری ایزولاســـیون گرمایی به روش مارش بیشتر از روش صفحه ای می باشد. این مقدار در آزمایش صفحه ای کمتر از ۲ درصد و در آزمایش مارش کمتر از ۵ درصد می باشـــد.در اینجا روش صفحه ای به روش مارش ترجیح داده می شود.

همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می شود با افزایش وزن نمد مقدار ایزولاسیون گرمایی نیز افزایش می یابد. این روند برای تمامی نمدهای تولیدی از الیاف پلی استر با اشکال مختلف ســـطح مقطع و در هر دوروش اندازه گیری ایزولاسیون گرمایی مشـــاهده می شود. با افزایش وزن نمد تعداد الیاف در واحد سطح نمد افزایش می یابد در نتیجه ضخامت نمد زیاد می شود.

با افزایش ضخامت ،مقاومت گرمایی نمد افزایش می یابد.در جدول ۵ نیز مشاهده می شـــود که ضریب همبستگی بین ضخامت نمد و ایزولاسیون گرمایی در هر دو روش مثبت و معنی دار می باشد. نتایج نشان از روند افزایشی ایزولاسیون گرمایی با افزایش وزن نمد دارد.

نمدهای تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع عرضی سه پره ای دارای بیشترین مقدار ایزولاسیون گرمایی می باشد. سپس نمد با الیاف سطح مقطع دایره ای و در آخر نمد متشکل از الیاف با سطح مقطع توخالی قرار می گیرد که به دلیل ضخامت بیشتر نمد تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع سه پره ای می باشد. با افزایش ضخامت نمد هدایت گرمایی آن کاهش می یابد در نتیجه ایزولاسیون گرمایی آن زیاد می شود.

تناســـب بین ضخامت نمد و ایزولاســـیون گرمایی قبلا در مورد الیاف چتایی نیز ملاحظه شده بود.از بین سه نوع الیاف موجود با اشکال مختلف سطح مقطع ،نمونه نمد تولید شـــده از الیاف با ســـطح مقطع ســـه پره ای با وزن ۸۱۵ gr/m^2 دارای بیشترین مقدار ایزولاسیون گرمایی می باشد.در نمونه های تولیدی از الیاف پلی‌استر با سطح مقطع سه پره ای احتمالا در تراکم ۳۰۰پانچ/cm^2 درگیری بین حلقه‌های الیاف ضعیف می باشد که به دلیل حضور پره ها در سطح الیاف است.در اینجا نمد پلی استر تولیدی از الیاف سه پره ای دارای ساختمان پفکی و با تراکم کمتر می باشد که باعث ضخیم تر شدن نمد و همچنین افزایش ایزولاسیون گرمایی آن در مقایسه با نمدهای تولید شده از الیاف دایره‌ای و توخالی می گردد. در نمد متشکل از الیاف پلی استر با سطح مقطع توخالی ،در طی عملیات سوزن زنی با توجه به استفاده از الیاف با دانسیته خطی ظریف، متراکم شدن الیاف در نمد بیشتر می باشد در نتیجه ایزولاسیون گرمایی نمد کم می باشد.

تاثیربرروی ضخامت، درصدفشردگی و چگالی نمد

همانگونه که در جدول ۴ مشـــاهده می شود با افزایش وزن نمد ،ضخامت و چگالی آن افزایش می یابد. با افزایش وزن ،تعداد الیاف در واحد سطحِ نمد بیشتر می شود در نتیجه ضخامت نمد افزایش می یابد.این روند برای کلیه الیاف با اشکال مختلف سطح مقطع مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش تعداد الیاف ،نمد تولید شده دارای ساختمان متراکم‌تری می باشد.ضمن اینکه با افزایش تعداد الیاف درهم روی الیاف به داخل یکدیگر در طی عملیات سوزن زنی بیشتر می شود در نتیجه نمد تولیدی دارای وزن و چگالـــی بالا خواهد بود. در تمامی نمونه ها با افزایش وزن نمد درصد فشردگی آن کاهش می یابد. تحقیقات قبلی نیز که برروی نمدهای پلی پروپیلن که بصورت موازی و عرضی لایه گذاری شـــده بودند انجام گرفت همین روند را نشان می‌داد. با افزایش وزن نمد تعداد الیاف در واحد سطح نمد افزایش می یابد در نتیجه هنگام اعمال فشـــار تعداد الیاف بیشتری درتحمل نیرو مشارکت دارند.در اینجا با افزایش وزن نمد درصد فشردگی آن کاهش پیدا می کند.

بیشترین ضخامت نزدیک به بیشترین درصد فشردگی و کمترین چگالی مربوط به نمدهای تولیدی از الیاف پلی اســـتر با سطح مقطع سه پره‌ای، سپس نمد با الیاف دایره‌ای و در آخر نمد تولیدی از الیاف توخالی می‌باشد. الیاف سه پره ای دارای ناحیه سطحی بیشتری نسبت به الیاف دیگر می باشند .پره های موجود برروی سطح این الیاف مانع از ایجاد یک ساختمان متراکم در نمد حین عملیات سوزن زنی می شود و این باعث ضخیم تر شدن نمد و همچنین کاهش چگالی نمد می گردد.نمدهای تولید شـــده از الیاف توخالی دارای ساختمان متراکم تری نسبت به نمدهای تولید شده از الیاف دایره ای می باشند هرچند که ناحیه سطحی الیاف توخالی بیشتر از الیاف دایره ای می باشد.

ساختمان متراکم تر نمد تولید شده از الیاف توخالی احتمالا به این دلیل است که در این جا از الیاف توخالی با ظرافت کم اســـتفاده شده است. نمد تولیدی از الیاف توخالی نسبت به نمد تولیدشده از الیاف دیگر دارای ساختمان متراکم تر با چگالی بالاتر و همچنین درصد فشـــردگی کمتر می باشد که به دلیل سفتی بیشتر الیاف توخالی نســـبت به دیگر الیاف موجود در این تحقیق می باشد. تحقیقات قبلی نیز موید آن است که الیاف توخالی با دنیر ظریف تر به تولید نمد با ساختمان متراکم تر کمک می کنند.همچنین تحقیقات دیگر بیانگرآن است که نمدهای تولیدی از الیاف ضخیم تر از قابلیت فشردگی بیشتری نسبت به نمدهای تولیدی از الیاف ظریف تر برخوردارند.

این موضوع به این دلیل اســـت که الیاف ظریف‌تر با توجه به ناحیه سطحی بیشتر و خم شـــدن راحت تر درهم روی بهتری به درون یکدیگر داشته که در نتیجه نمد تولیدی نیز از ساختمان فشرده تری برخوردار خواهد بود. درالیاف توخالی نیز رفتار

مشابهی دیده می شود یعنی ناحیه سطحی بیشتر و سفتی خمشی در الیاف توخالی باعث می شـــود تا الیاف در ساختمان نمد به آســـانی متراکم شوند.در نتیجه نمد تولیدی در این شرایط درصد فشردگی وضخامت کمتر و همچنین چگالی بیشتری خواهد داشت.

تاثیر بر روی قابلیت نفوذپذیری هوا

با افزایش وزن نمد هم قابلیت نفوذپذیری و هم قابلیت نفوذپذیری بخشیِ نمد کاهش می یابد. هنگامی که وزن نمد افزایش می یابد نمد هم ضخیم تر و هم متراکم‌تر می شود.اگر چه با افزایش تعداد الیاف ،تعداد سوراخهای موجود در نمد بیشتر می‌شود ولی ابعاد سوراخ کوچکتر می‌شـــود. این باعث کاهش قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشـــی نمد می گردد.تحقیقات قبلی نیز بیانگر آن است که با افزایش وزن نمد ،قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی هوا در نمد پلی استر و نمد چتایی کاهش می یابد. در نمد تولیدی از الیاف مخلوط چتایی-پلی پروپیلن نیز این روند مشاهده شده است.

نمد تولیدی از الیاف توخالی کمترین میزان عبوردهی هوا را دارد .سپس نمد تولید شده از الیاف دایره ای و در آخر نمد تولید شده از الیاف سه پره ای می باشد. از بین این سه این الیاف، نمد تولید شده از الیاف توخالی متراکم تر از بقیه می باشد.

در نمد تولیدی از الیاف سه پره ای ،پره های موجود در سطح الیاف مانع دستیابی نمد به یک ساختمان متراکم می گردد که درنتیجه چگالی نمد تولیدی کم می‌باشد. در اینجا نمد تولیدی از الیاف سه پره ای دارای قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی بالاتری نسبت به بقیه نمونه ها می باشد.

در جدول ۵ نیز مشاهده می شود که قابلیت نفوذپذیری و ضخامت نمد با هم رابطه عکس دارند و ضریب همبســـتگی بین آنها معنی دار می باشد.قابلیت نفوذپذیری بخشی نیز همین روند را از خود نشان می دهد.

نتیجه گیری

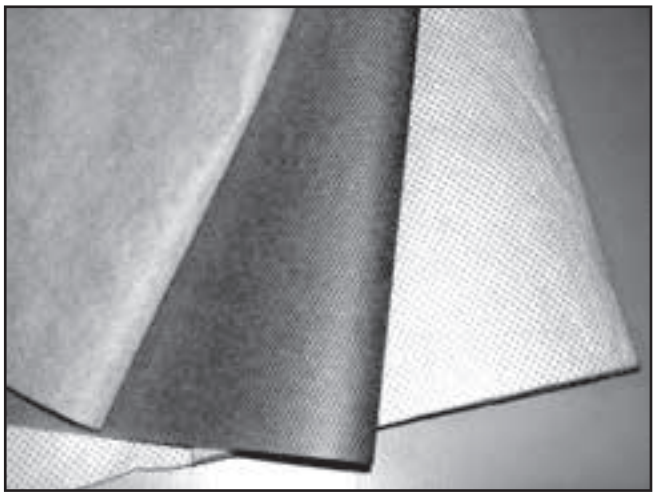
• بیـــن روش های اندازه گیری مقدار ایزولاســـیون گرمایی نمد که در این تحقیق روش مارش و روش صفحه ای است، همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. روش صفحه‌ای به دلایل تسهیل در آماده سازی نمونه ،غیرمخرب بودن آزمایش ،تغییرات کم در نتایج نمونه ها و همچنین عدم تاثیرگذاری خطای انسانی درنتایج آزمایش به روش مارش ترجیح داده می شود.

• در هر سه نوع الیاف پلی استر با اشکال مختلف سطح مقطع عرضی، با افزایش وزن نمد مقدار ایزولاسیون گرمایی نمد افزایش می یابد. این روند افزایشی در هر دو روش اندازه گیری مقدار ایزولاسیون گرمایی نمد مشاهده می شود.

• نمد تولیدی از الیاف پلی اســـتر با سطح مقطع ســـه پره ای دارای بیشترین مقدار ایزولاســـیون گرمایی می باشد. سپس نمد تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع دایره‌ای و درآخر نمد تولید شده از الیاف پلی استر با سطح مقطع توخالی قرار دارد.

• در هر سه نوع الیاف پلی استر با اشکال مختلف سطح مقطع عرضی، با افزایش وزن نمد ،ضخامت و چگالی نمد افزایش و درصد فشـــردگی آن کاهش می یابد. درصد فشـــردگی در یک گروه مجزا قرار گرفته و ضریب همبستگی آن با متغیرهای دیگر معنی دار نمی باشد.

• بیشترین ضخامت ،نزدیک به بیشترین درصد فشردگی و کمترین چگالی مربوط



به نمد تولیدی از الیاف پلی اســـتر با ســـطح مقطع سه پره‌ای می باشد.سپس نمد تولیدی از الیاف پلی اســـتر با سطح مقطع دایره ای و در آخر نمد تولیدی از الیاف باسطح مقطع توخالی قرار دارند.

• با افزایش وزن نمد قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشـــی نمد کاهش می یابد. وزن نمد و قابلیت نفوذپذیری نمد با یکدیگر رابطه عکس دارند. همچنین چگالی نمد و قابلیت نفوذپذیری نمد نیز نسبت به یکدیگر رابطه عکس دارند. ضرایب همبستگی در تمامی این شرایط معنی دار می باشد. در آنالیز گروهی فاصله اقلیدسی قابلیت نفوذپذیری بخشی تا ضخامت و چگالی نمد نسبت به فاصله اقلیدسی قابلیت نفوذپذیری کمتر می باشد.

• نمد تولیدی از الیاف پلی استر با سطح مقطع توخالی دارای کمترین مقدار قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری بخشی می باشد. بعد از آن نمد تولیدی از الیاف پلی اســـتر با سطح مقطع دایره ای و در آخر نمد تولید شده از الیاف پلی استر با سطح مقطع سه پره ای قرار دارند. قابلیت نفوذپذیری و ضخامت نمد با یکدیگر رابطه عکس دارند. همچنین چگالی نمد و قابلیت نفوذپذیری بخشی نمد نسبت به یکدیگر رابطه عکس دارند. ضرایب همبستگی در تمامی این شرایط معنی دار می باشد.

• در مواقعی که در محصولات صنعتی ،ایزولاسیون گرمایی زیاد ضروری و مدنظر می باشد ، نمد پلی استر با سطح مقطع سه پره ای مناسب است. نمد پلی استر با سطح مقطع توخالی در مواقعی که حداقل میزان عبوردهی هوا و مقدار ایزولاسیون گرمایی متوسط مد نظر است مورد استفاده دارند.

• این تحقیق به طراحی و تولید نمد بی بافت به روش ســـوزن زنی کمک می کند. در این تحقیق از الیاف پلی استر با اشکال مختلف سطح مقطع عرضی استفاده شده اســـت که می توانند در حوزه های مختلف صنعتی کاربرد داشته باشند. همچنین نتایج این تحقیق در تولید مقرون به صرفه نمدهای صنعتی و فنی قابل اســـتفاده می باشد.

پی نوشت

کارشناس ارشد مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مرجع

"Indian Journal of Fibre & Textile Research" Vol.35 ,