بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی- الیاف پلیمری

تاثیر تجعد بر جذب صوت و ایزولاسیون گرمایی لایه بی‌بافت پلی پروپیلن

محسن پناهی

استاد راهنما
دکتر حسین توانایی
دکتر محمد ذره بینی

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی- الیاف پلیمری آقای محسن پناهی

تحت عنوان

تاثیر تجعد بر جذب صوت و ایزولاسیون گرمایی لایه بی‌بافت پلی پروپیلن

در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر حسین توانایی
۸-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد ذره بینی
۹-استاد داور	دکتر داریوش سمنانی
۴-استاد داور	دکتر محمد قانع
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر صدیقه برهانی

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس فراوان، به عدد ستارگان آسمان و قطرهٔ باران و برگ درختان و ریگ بیابان و ذره های زمین و آسمان، مر آن خدای را که یگانگی صفت اوست، و جلال و کبریا و عظمت و علا و مجد و بها خاصیت او . از کمال و جلای وی، هیچ آفریده آگاه نیست و هیچ کس را به حقیقت معرفت وی راه نیست . هیچ کس مباد که در عظمت ذات وی اندیشه کند که چگونه است و چیست و هیچ دل مباد که یک لحظه از عجایب صنع وی غافل باشد تا هستی وی به چیست و به کیست؛ تا به ضرورت بشناسد که همه آثار قدرت اوست، و همه انوار عظمت اوست، و همه بدایع و غرایب حکمت اوست، و همه پرتو جمال حضرت اوست و همه بدو ست بلکه خود همه اوست؛ که جز وی هیچ چیز را هستی به حقیقت نیست.

اساتید بزرگوارم؛ دکتر حسین توانایی و دکتر محمد ذره بینی

شما که روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می بخشید؛ چگونه سپاس گویم مهربانی و لطفتان را که سرشار از عشق و یقین است .چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزیتان را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است .آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف . وظیفه خود می دانم تا در نهایت سادگی کلام، زحمات خالصانه و بی دریغ شما سروران را با واژه ی قصار اما زیبای تشکر، قدردان باشم چرا که بدون یاری خداوند و زحمات شما، حصول به این مهم دست نیافتنی بود.

در نهایت از محبت ها، همکاری و همیاری همه عزیزان، جناب آقایان مهندس الشریف و مهندس کربلایی کریم و نیزدیگران مسئولان، کمال تشکر را دارم.

با امید به اینکه مطالب این پایان نامه مفید و کارآمد باشد و بتواند قدمی هرچند کوچک اما کارساز و راه گشا، در پیشرفت وطنم به شمار آید.

محسن پناهی

۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به فرشتگان مهربان زندگی

پدر و مادرم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه

درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم .

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا

که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن

را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان. . . .

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم .

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده..... ۱

فصل اول: کلیات

۱-۱ منسوجات بی‌بافت ۲

۱-۲-روش‌های تولید منسوجات بی بافت ۴

۱-۲-۱- لایه گذاری به روش خشک ۵

لایه گذاری بااستفاده ازعمل کاردینگ وسیستم لایه گذارعرضی ۵

لایه گذاری بااستفاده ازکاردینگ آیرودینامیکی ۶

۱-۳-تجعد ۶

۱-۳-۱-ایجادتجعددرالیاف بشرساخته ۷

۱-۳-۲-تواترتجعد ۸

۱-۴-جذب صوت ۹

۱-۴-۱-ویژگی‌های صوت ۱۰

۱-۴-۲- مکانیزم جذب صوت درساختارهای لیفی ۱۲

۱-۴-۳-روش‌های اندازه گیری جذب صوت ۱۳

روش میدان پژواک ۱۴

روش لوله امپدانس..... ۱۴

روش حالت پایا ۱۵

۱-۴-۴- مواد جاذب صوت ۱۵

۱-۴-۵-عوامل مؤثربرجذب صوت مواد با ساختار بی بافت ۱۷

ابعادوسطح مخصوص الیاف ۱۷

شکل سطح مقطع الیاف ۱۷

مقاومت جریان هوا ۱۷
تخلخل ۱۸
ناهمواری (پیچ و خم) موجود در ساختار لایه ۱۹
ضخامت ۱۹
تراکم الیاف درلایه..... ۱۹
امپدانس سطحی..... ۲۰
۱-۴-۶-ویژگی‌های جذب کننده‌های صوت ۲۰
۱-۵ عایق‌بندی گرمایی ۲۱
۱-۵-۱-مشخصه‌های گرمایی اجسام ۲۲
۱-۵-۲-ارزش عایق‌بندی گرمایی (TIV)..... ۲۳
۱-۶- پیشینه تحقیقاتی ۲۴
۱-۶-۱-مقاومت جریان هوا ۲۴
۱-۶-۲-تخلخل ۲۵
۱-۶-۳-جرم واحدسطح وضخامت ۲۶
۱-۷-اهداف رساله ۲۷

فصل دوم: تجربیات

۲-۱-پیشگفتار..... ۲۸
۲-۲-آزمایشات ۲۸
۲-۲-۱- تعیین ضریب جذب صوت لایه بی‌بافت... ..... ۲۸
۲-۲-۲- فرمول اندازه گیری ضریب جذب آکوستیکی..... ۳۱
۲-۲-۳- خطاهای آزمایشی..... ۳۲
۲-۲-۴- شیوه محاسبه ضریب جذب..... ۳۲
۲-۲-۵- آزمایش تعیین عایق‌بندی گرمایی لایه بی‌بافت ۳۳

۲-۲-۶- مزایای دستگاه صفحه داغ..... ۳۴
۲-۲-۷- دماسنج‌های غیرتماسی مادون قرمز..... ۳۵
۲-۲-۸- آزمایش تعیین جهندگی لایه بی‌بافت..... ۳۶
۲-۳- نرم افزارهای مورداستفاده..... ۳۷

فصل سوم : نتایج وبحث

۳-۱- پیشگفتار..... ۳۸
۳-۲- اندازه گیری تواتر تجعد الیاف لایه‌های بی‌بافت پلی پروپیلن..... ۳۸
۳-۳- اثر تجعد الیاف بر جذب صوت لایه‌های بی‌بافت..... ۴۱
۳-۴- تاثیرفشردگی لایه برجذب صوت..... ۴۵
۳-۵- تاثیرضخامت لایه برجذب صوت..... ۵۲
۳-۶- تاثیرجهندگی لایه برجذب صوت..... ۵۴
۳-۷-تاثیرتجعدوتخلخل برهدایت گرمایی لایه‌های بی‌بافت..... ۵۷

فصل چهارم: نتیجه گیری کلی وپیشنهادات

۴-۱- نتیجه گیری کلی..... ۶۱
۴-۲- پیشنهادات..... ۶۲
فهرست مراجع..... ۶۳

چکیده

اصطلاح تجعد که ازگذشته برای پشم مطرح بوده است ساختار موجی شکل این الیاف را نشان می دهد.با توجه به بعضی خصوصیات الیاف مصنوعی مثل جذب رطوبت ناچیز وعایق‌بندی گرمایی کم، شکل دادن تجعد درطول این الیاف می‌تواند با محبوس کردن هوا، آن‌ها را برای تولید پوشاک، منسوجات خانگی وکفپوش‌ها مناسب تر سازد. تواتر تجعد از ویژگی‌های عمده الیاف به شمار می‌آید که خصوصیات لایه متشکل از آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ایجاد تجعد در طول الیاف جزء عملیات تکسچرایزینگ به حساب می‌آید. به منظور مجعد ساختن اکثر فیلامنت‌های بشرساخته که نهایتاً به صورت الیاف کوتاه مورداستفاده قرار می‌گیرند ، از جعبه تراکمی استفاده می‌شود. تولید لایه توسط الیاف کوتاه، با استفاده ازعملیات کاردینگ انجام شده ولایه تولید شده جهت مورد مصرف نهایی آماده می‌گردد.

هدف ازانجام این پروژه، بررسی تاثیرتواترتجعدالیاف پلی پروپیلن برروی خواص جذب صوت و عایق‌بندی گرمایی لایه‌های بی‌بافت متشکل از الیاف پلی پروپیلن است. به این منظور، ۹نوارپلی پروپیلن با۳ ظرافت (۹،۱۴و۱۸ دنیر) و هریک با سه سطح تجعد (کم، متوسط و زیاد در محدوده ممکن) تولید شده و لایه بی بافت پس از بریدن نوارها توسط برنده، باعملیات کاردینگ تهیه گردید.

به منظور بررسی تاثیر تواتر تجعد بر جذب صوت لایه بی بافت، ضریب جذب صوت نمونه‌ها به‌روش لوله ی امپدانس مجهزبه یک میکروفون متحرک اندازه گیری شد . همچنین برای اندازه گیری عایق‌بندی گرمایی لایه های بی بافت از دستگاه صفحه ی داغ استفاده شد.

نتایج حاصل از اندازه گیری جذب صوت لایه‌ها نشان دادکه ضریب جذب صوت علاوه بر تواتر تجعد، به عوامل مختلفی از جمله ظرافت، ضخامت و فشردگی لایه‌های بی‌بافت پلی پروپیلن بستگی دارد. به طور کلی می توان نتیجه گیری کردکه قابلیت جذب صوت، با افزایش تواتر تجعد در لایه افزایش می‌یابد. به عبارت دیگراتلاف اصطکاکی امواج صوتی عبوری ازلایه افزایش می یابد. نتایج همچنین نشان داد که بیش‌ترین ضریب جذب صوت در فرکانس‌های مختلف، مربوط به نمونه با کمترین نمره (۹دنیر) و بیش‌ترین تجعد (۱/۹تجعد بر سانتی متر) به دست می‌آید.

نتایج حاصل از اندازه گیری میزان عایق‌بندی گرمایی لایه‌ها نشان داد که میزان عایق‌بندی هم علاوه بر میزان تجعد، به عوامل مختلفی از جمله ظرافت الیاف و تخلخل لایه بستگی دارد. مشخص شد که با افزایش میزان تجعد، قابلیت عایق‌بندی گرمایی افزایش می‌یابد. این امر به این دلیل است که تجعد الیاف باعث افزایش میزان تخلخل در لایه می‌گردد که در نهایت منجر به محبوس شدن بیش‌تر هوا در بین الیاف ، کاهش هدایت گرمایی وبهبودخاصیت عایق‌بندی گرمایی لایه ی بی بافت می شوند. بالاترین عایق‌بندی گرمایی برای کمترین نمره و بیش‌ترین تواتر تجعد الیاف حاصل گردید. در این حالت نمره الیاف ۹ دنیر و تواترتجعد آن ها ۱/۹ تجعد بر سانتی متر بود. مقدار هدایت گرمایی برای این لایه ۰/۰۳۵ W/m.k اندازه گیری شد.

کلمات کلیدی: تجعد، جذب صوت، عایق بندی گرمایی، لایه پلی پروپیلن، بی‌بافت.

فصل اول
کلیات

۱-۱ منسوجات بی بافت

منسوجات بی بافت[1] به منسوجاتی اطلاق می شود که عموما بدون بکارگیری نخ، مستقیماً از الیاف تولید شده باشند. دستمال کاغذی و موکت های نمدی نمونه هایی از منسوجات بی بافت می باشند. کالای بی بافت می تواند در برگیرنده ی اقلامی همچون نخ و پارچه نیز باشد؛ اما باید به این نکته توجه نمود که این اقلام، ساختار و هدف اولیه ی منسوج را تشکیل نمی دهند. به دلیل عدم استفاده از نخ در ساختار این نوع از منسوجات و عدم درگیری مابین اجزای تشکیل دهنده ی منسوج، در حقیقت بافتی وجود ندارد. بر همین اساس، اصطلاح بی بافت در مورد این دسته ازمنسوجات بکار رفته است. در فرآیند تولید منسوجات بی بافت ، عموما مرحله ریسندگی الیاف حذف شده و به جای آن، عمل پیوندزنی [2] وب به منظور ایجاد استحکام و افزایش ثبات ابعادی وب تولیدی انجام می شود .پیوندزنی با استفاده از روش های مختلف اعم از مکانیکی، شیمیایی و یا حرارتی صورت میگیرد [۱] .

با توجه به ویژگی ها و قیمت مناسب، منسوجات بی بافت امروزه به طور گسترده در زمینه های کاربردی مختلف مثل مصارف خانگی، صنعتی، پزشکی، بهداشتی و آرایشی مورد استفاده قرار گرفته اند. سابقه ی استفاده از منسوجات بی بافت در اروپا به دهه ی ۱۹۳۰ میلادی برمیگردد اما رشد جدی صنعت بی بافت به دهه ۱۹۶۰ میلادی و بعد از آن مربوط می شود .این صنعت، در ابتدا به عنوان صنعتی مطرح بود که تنها هدف آن استفاده از ضایعات تولیدی سایر صنایع نساجی به شمار می رفت اما رشد روزافزون فن آوری و مزیت های اقتصادی منسوجات بی بافت نسبت به سایر منسوجات، سبب گسترش چشمگیر صنعت بی بافت گردیده است. در روشهای تولید منسوجات بی بافت، به دلیل حذف مرحله ی ریسندگی نخ، هزینه های سرمایه گذاری درمقایسه با سایر سیستم های تولید منسوج کاهش یافته است. امکان استفاده از ضایعات سیستم های تولید منسوجات بافته شده در سیستم بی بافت موجب می شود تا طیف

[1] Non-woven
[2] bonding

مواد مصرفی بکار رفته در تولید پارچه های بی بافت وسیع تر ازدیگر منسوجات باشد. سرعت تولید منسوجات بی بافت، به دلیل عدم استفاده از نخ بسیار بالا است. همچنین در صنعت بی بافت، می توان منسوجی را در ارتباط با مورد مصرف نهایی آن و با خصوصیات دلخواه تولید نمود. تمامی این عوامل سبب کاهش هزینه های تولید در صنعت بی بافت گردیده است. خلاصه ای از کاربرد منسوجات بی بافت در جدول ۱- ۱ ذکر شده است [۲].

جدول۱-۱ کاربرد منسوجات بی بافت[۲]

مهندسی عمران و ژئوسنتتیک	ساختمان سازی	کف پوش	روکش مبلمان و تختخواب	پوشاک و لایه های پوششی	تصفیه(گاز و مایعات)	منسوجات حفاظتی	پزشکی و جراحی	بهداشتی
غشای محافظ برای محل دفع زباله ها	پوشش ساختمان	فرش های قراردادی و کاشی -فرش	علامت گذاری	اجزای تشکیل دهنده کفش	چای کیسه ای	پوشاک تنظیف یکبار مصرف	پنبه جراحی	پد لوازم آرایشی
سیستم زه کشی	عایق حرارتی و عایق صوت		لایی تشک		جذب روغن	لباس آزمایشگاهی	زخم بند	گردگیر
سیستم های پوشش دهنده محافظ	پوشش سقف	زیر لایه ها و پارچه های پوشش دهنده پشت فرش		آستری دستکش	تصفیه گاز صنعتی	آستری های محافظ آتش	روپوش، کلاه و ماسک جراحی	زمین شوی
کنترل فرسایش و تثبیت خاک	پوشش لوله		ملافه و پتو	پل(پد) روی شانه	ماسک تنفسی	آستری های عایق حرارتی	قالب گچ در ارتوپدی	
	ایزوگام	کف اتومبیل و تزئینات داخلی	محافظ لحاف		کیسه تصفیه در جارو برقی	پوشاک با قابلیت شب نما بودن	پارچه، پتو و ملافه جراحی	پوشک بچه
	لایه گچی		پر کننده ها	چمدان و کیف	کنترل بو	روپوش های محافظ در برابر عوامل شیمیایی		نوار بهداشتی

۱-۲ روش های تولید منسوجات بی بافت

منسوجات بی بافت عمدتا به دو روش اصلی تولید می شوند که عبارتند از:

۱ -روش خشک[1]

۲- روش تر[2]

به طور معمول، در صنایع نساجی منسوجات بی بافت با استفاده از روش خشک تهیه می شوند. در صنعت کاغذسازی، از روش لایه گذاری تر استفاده می شود. جدول ۱-۲، سهم مصرف انواعی از منسوجات بی بافت تولید شده در اروپا در سال ۲۰۰۶ را با توجه به کاربرد نشان می دهد [۲].

جدول۱-۲ سهم مصرف تولیدات بی بافت در اروپا(۲۰۰۶) [۲]

طبقه بندی	٪ کل
بهداشتی	۳۳/۱
جراحی/ پزشکی	۲/۶
پاک کننده ها	۸/۱
تمیز کننده ها	۶/۷
پوشاک	۰/۸
آسترهای داخلی	۲/۱
اجزای چرمی کفش	۱/۹
لایه های پوشش دهنده رومبلی/ میز	۲/۴
لباس زیر/ مصارف خانگی	۶/۸
کف پوش	۲/۳
تصفیه مایعات	۳/۷
تصفیه هوا یا گاز	۲/۴
ساختمان سازی/ سقف سازی	۱۲/۵
زیرساخت	۵/۴
خودرو سازی	۳/۹
سایر	۵/۳

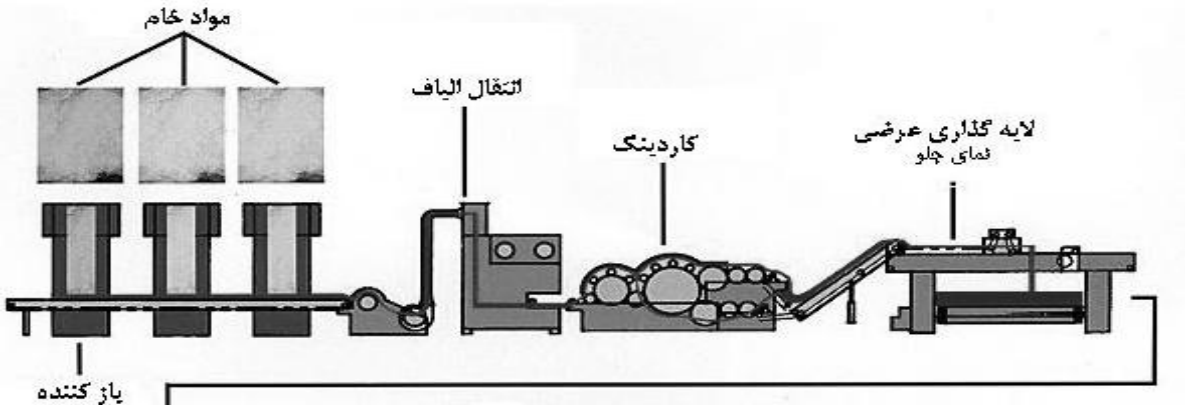
[1] Dry-laid
[2] Wet-laid

۱-۲-۱ لایه‌گذاری به روش خشک

تولید بی بافت به روش خشک، مربوط به فرآیند تولید نمد است که قدمت آن به قرن ها پیش بازمی‌گرد. لایه گذاری به روش خشک، به دو روش صورت میگیرد .در روش اول، الیاف پس از کارد شدن توسط عملیات کاردینگ با سیستم لایه گذار عرضی[1] ، به لایه ای[2] با عرض دلخواه درآورده میشوند .در روش دوم الیاف به واسطه ی نیروی آیرودینامیکی[3] به شکل لایه‌ای در می‌آیند .لایه حاصل سپس توسط روش‌های مکانیکی، حرارتی و یا شیمیایی استحکام بخشیده می شوند .برخی از روش های مکانیکی استحکام بخشی عبارتند از :سوزن زنی[4] ، ایجاد درگیری به کمک نیروی آب[5] و استحکام بخشی از طریق عملیات دوخت[6] [۲].

- **لایه گذاری با استفاده از عمل کاردینگ و سیستم لایه گذار عرضی**

الیاف پس از باز شدن، به سیستم کاردینگ تغذیه میشوند .مراحل بازکردن و کاردینگ الیاف درشکل۱-۱ نشان داده شده است . خروجی ماشین کاردینگ، لایه ای از الیاف است که وب یا تارعنکبوتی نامیده می شود . در خط تولید منسوجات بی بافت، به منظور افزایش وزن واحد سطح لایه ی تولیدشده، تعداد لایه های روی هم قرار گرفته توسط لایه گذار عرضی افزایش داده می شود. از طرف دیگر، عرض لایه ها در این سیستم محدود به عرض ماشین می باشد. سیستم های لایه گذار موازی[7] که لایه های تولیدی از چند کارد را فقط روی هم قرار می دهند، از نقطه نظر وزن و عرض نهایی منسوج تولیدی دارای محدودیت می باشند .جهت برطرف نمودن محدودیت سیستم موازی، سیستم لایه گذاری عرضی مورد استفاده قرار گرفته است . سیستم عرضی متشکل از یک محور گردشی و یک نوسان کننده است که وب را با سرعت خارج شده از دافر تحویل گرفته و آن را به صورت یک لایه با عرض، وزن و آرایش دلخواه تبدیل میکند .بسته به تعداد لایه های قرار گرفته بر روی هم و نیز دامنه ی حرکت نوسان کننده، وزن و عرض لایه ها به صورت دلخواه تنظیم می شوند. شکل۱-۱، سیستم لایه گذار عرضی را نشان میدهد. [۲] .

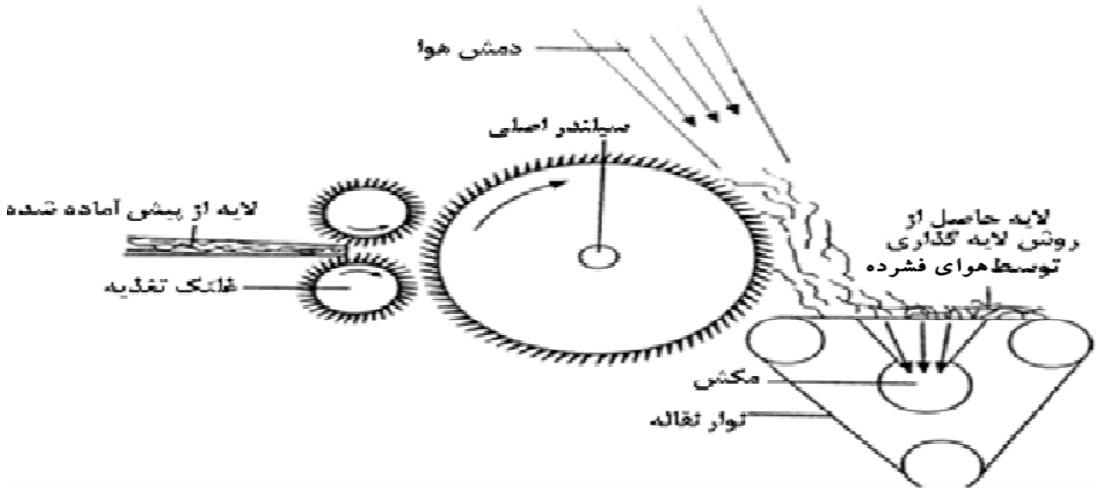


شکل۱-۱ سیستم لایه گذار عرضی [۲]

[1] Cross-lapper
[2] Batt
[3] Aerodynamically
[4] Needlepunching
[5] Hydroentanglement
[6] Stitchbonding
[7] Parallel-laid

- **لایه گذاری با استفاده از کاردینگ آیرودینامیکی**

در سیستم لایه گذار توسط نیروی آیرودینامیکی[1] ، الیاف پس از طی مراحل کاردینگ توسط هوای فشرده بر روی صفحه ی تولید قرار می گیرند .مهمترین مشخصه ی این سیستم در مقایسه با سیستم لایه گذار عرضی، تولید لایه ی نسبتاً ایزوتروپ[2] است. در این سیستم میتوان از هر نوع الیاف استفاده کرد. در شکل۱-۲ نمایی از سیستم لایه گذار توسط فشار هوا مشاهده می شود [۲].



شکل۱-۲ سیستم لایه گذار هوای فشرده [۲]

۱-۳ تجعد

اصطلاح تجعد[3] درگذشته بیشتر برای پشم مطرح بوده است که ساختار موجی شکل آن را نشان می دهد. تجعد، افزایش حجم، جهندگی وانتقال رطوبت در سازه های متشکل از الیاف پشم را موجب می گردد. با توجه به بعضی خصوصیات الیاف مصنوعی مثل عدم جذب رطوبت وعایق بندی گرمایی کم، شکل دادن تجعد درطول این الیاف می تواند آن ها را برای تولید پوشاک، منسوجات خانگی وکفپوش ها مناسب تر سازد. تواتر[4] و دامنه[5] تجعد از ویژگی های عمده آن ها به شمار می آید که خصوصیات لایه متشکل از الیاف را تحت تاثیر قرار می دهد. این خصوصیات عبارتند از: [۳و۴]

- زیردست و راحتی پوشش[6] ؛
- حجم و قابلیت پوشش دهندگی[7] ؛
- جهندگی[8] ؛

---

[1] Air-laid
[2] Isotropic
[3] Crimp
[4] Crimp frequency
[5] Crimp amplitude
[6] Handle
[7] Covering
[8] Resiliency

- عایق بندی گرمایی[1] ؛
- نفوذپذیری هوا ؛
- جذب صوت[2] .

نمونه هایی از فرم های تجعد در الیاف مختلف در شکل ۱-۳ نشان داده شده است [۴].

تجعد در الیاف پنبه تجعد در الیاف مصنوعی تجعد در الیاف پشم

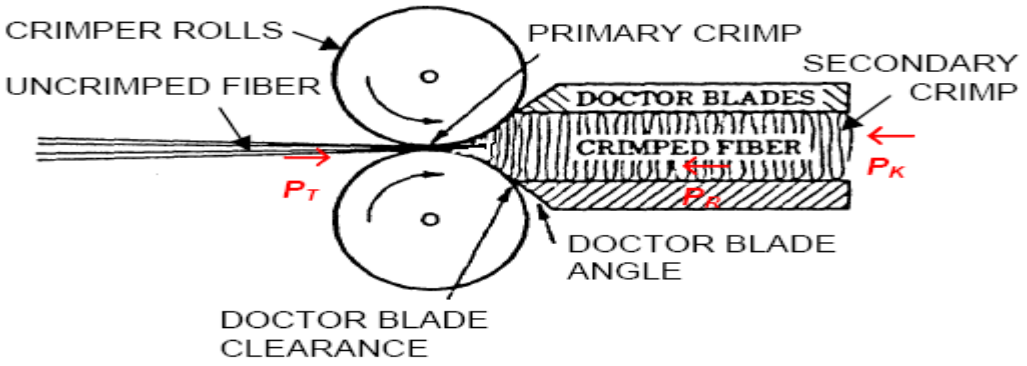
شکل۱-۳ تجعد در الیاف مختلف

۱-۳-۱ ایجاد تجعد در الیاف بشرساخته

ایجاد تجعد درطول الیاف جزء عملیات تکسچرایزینگ به حساب می آید. به منظور مجعد ساختن اکثر فیلامنت های بشرساخته که نهایتا به صورت الیاف کوتاه مورداستفاده قرار می گیرند ، از جعبه تراکمی استفاده می شود. اساس کار این روش به این ترتیب است که نوار فیلامنتی توسط یک جفت غلتک به داخل محفظه جعبه تراکمی تغذیه می شود. با توجه به اینکه انتهای جعبه تراکمی فشار قابل تنظیمی را در محفظه جعبه پرشده با فیلامنت ها به وجود می آورد، فیلامنت ها، فرم زیگزاگ به خود می گیرند. شکل۱-۴ ، بخش های جعبه تراکمی را نشان می دهد. پایداری تجعد شکل گرفته به شرایط گرمایش و سرمایش وابسته است. از سوی دیگر، فشارداخل جعبه، موثرترین عامل درمیزان تواتر و دامنه تجعد ایجاد شده درالیاف می باشد[۵].

در طی تکسچرایزینگ، لیف توسط فشرده شدن جعبه تکسچره می شود. نمونه ای از جعبه تراکمی دارای ابعادی با ارتفاع ۲۰۰میلی متر ، عرض۲۸۰ میلی متر و طول۱۰۰-۵۰۰ میلی متر می باشد. تغذیه نوار فیلامنتی به داخل جعبه تراکمی توسط دو غلتک انجام می شود. درانتهای جعبه تراکمی، فشار داخل جعبه تنظیم می گردد. این باعث می شود فیلامنت های نواری در بدو ورود به داخل جعبه تراکمی ابتدا تجعد اولیه و سپس تجعد ثانویه به خود بگیرند. این تجعد به شکل زیگزاگی می باشد. تواتر و دامنه تجعد اولیه وثانویه عمدتا توسط فشار حاکم در داخل جعبه تعیین می شود[۶] .

[1] Thermal isolation
[2] Sound absorption



شکل۱-۴ شمای کلی جعبه تراکمی [۶]

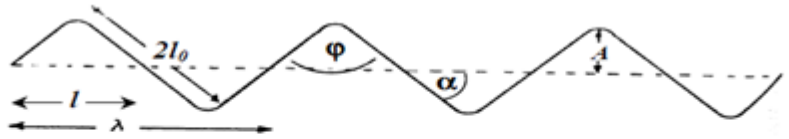
شکل گیری تجعد یکنواخت در نوار به عوامل زیر وابسته است :

- کشش نوار؛
- موازی بودن فیلامنت ها در نوار؛
- یکنواختی دانسیته نوار؛
- یکنواختی لعاب روی نوار؛
- رفتار لعاب روی فیلامنت ها ؛
- تغذیه یکنواخت نوار [۶].

۱-۳-۲ تواتر تجعد

تواتر تجعد، تعداد تجعد ها در واحد طول لیف کشیده شده را نشان می دهد. [۶]. استاندارد D 3937 – 01 نحوه اندازه گیری تواتر تجعد را شرح می دهد. شکل ۱-۵، نمایی از یک لیف با تجعد را نشان می دهد. پارامترهای مهم در رابطه با تجعد عبارتند از:

- n : تعداد تجعد در طول لیف
- L_0: طول جانبی تجعد
- L: عرض تجعد
- λ: طول موج تجعد
- α: زاویه بین پایه تجعد و محور لیف
- φ: زاویه تجعد
- L_0: طول لیف کشیده شده
- L: طول لیف مجعد شده
- A: دامنه تجعد



with n = number of crimp waves per fiber
l_0 = side length of one crimp bow
l = width of one crimp bow
$\lambda = 2l$ = wave length of crimped fiber
α = angle between crimp leg, fiber axis

φ = crimp angle
$L_0 = 2n\, l_0$ = extended length of fiber
$L = n\, l$ = crimped length of fiber
A = crimp amplitude

شکل۱-۵ پارامترهای تجعد[۶]

۱-٤ جذب صوت

خاصیت جذب صوت توسط سطوح، نه تنها برای کاهش آلودگی صوتی بلکه برای کنترل زمان بازگشت صوت برای گفتگوی قابل فهم و بالا بردن کیفیت فهم صدا در سالن های سمینار و مواردی از این قبیل مهم است. آلودگی صوتی می تواند سلامت انسان چه در محل کار و چه در منزل را به خطر بیندازد. به طور کل، جذب کننده های آکوستیکی صدا را در گستره ی شنوایی انسان (۲۰تا ۲۰۰۰۰ هرتز) جذب میکنند. خاصیت جذب صدا در منسوجات جاذب صوت، به عواملی از قبیل ضخامت ، تراکم الیاف در لایه و سایر ویژگی های منسوج وابسته است [۷].

مهمترین اثرات منفی آلودگی صوتی را می توان به چند گروه زیر دسته بندی کرد:

۱. فیزیولوژیکی

زمانی که فرد برای مدت زمان طولانی در معرض آلودگی صوتی قرار می گیرد، قدرت شنوایی او آسیب می بیند.این سر و صدا فعالیت های قلبی و حرکات ارادی وی را تحت تأثیر قرار می دهد که اثر کلی آن انقباض عروق است که سبب کاهش دبی خروجی قلب و نتیجتا بیماری های قلبی می شود . همچنین سبب تراوش بیش از حد غدد کلیوی و کاهش غیر معمول تعداد نوعی از سلول های خونی و نتیجتاً بزرگ شدن بیش از حد برخی از اعضای بدن می شود.[۸] .

۲. حسی و ذهنی

مهمترین آسیب آلودگی صوتی صدمات ذهنی و عاطفی است که با توجه به حساسیت شنوایی فرد ممکن است در مراحل پیشرفته به اختلالات ذهنی منجر شود[۷] .

۳. حریم شخصی

آلودگی های صوتی، منجر به سلب آسایش افراد در موقع استراحت و همچنین موجب تداخل و مزاحمت در موقع انجام فعالیت های روزمره می شود [۸] .

یادآوری می گردد که آستانه شنوایی ، یعنی حداقل شدت صوتی که یک گوش سالم می تواند تشخیص دهد $۱۰^{-۶} W/cm2$ می باشد. به عبارت دیگر حداقل فشاری است که انسان می تواند آن را حس کند. در مقابل، حداکثر شدت صوتی که گوش بدون صدمه می پذیرد تقریبا $۱۰^{۳}\ W/cm^2$ است. فشار صوتی که از یک مرجع تولید می شود در مقابل زمان تقریباً به صورت خطی کاهش می یابد.

زمان بازآوایی[1] را با T نشان می دهیم و برابراست با مدت زمان لازم برای آن که تراز صوتی در اتاق به اندازه ۶۰ دسی بل گردد. زمان $T_{۶۰}$.پارامتری مهم در تشخیص خاصیت آکوستیکی اتاق ها به شمار می رود. به این دلیل که شدت های صوتی بیش از ۶۰ دسی بل، بالاتر از آستانه ی شنوایی امن برای انسان است . جنبه ی مهم زمان بازگشت را می توان در اتاق های شنود[2] از قبیل کنسرت ها، سینماها و سالن های سمینار مشاهده کرد که کنترل این زمان با افزایش ضریب جذب، کاهش نویز[3] (صدای نامطلوب) و در نهایت افزایش قابلیت فهم صدا همراه است. اگر مدت زمان بازگشت صدا خیلی زیاد باشد درک صدا توسط مستمعین کاهش می یابد .برای یک سالن کوچک این زمان ممکن است به ۰/۷ ثانیه برسد. در حالی که برای سالن های بزرگ این زمان به ۱/۷ ثانیه نیز می رسد. کاهش نویز و بالا بردن کیفیت شنیدن صدا درسالن های بزرگ، سالن های سخنرانی،تئاترو دفاتر بزرگ به سطوحی نیازمند است که بیشترین مقدار جذب صدا را داشته باشد. جذب صدای یک اتاق بستگی به مساحت دیوار ها، سقف، کف، ساختار و طبیعت آن ها بستگی دارد. مواد متخلخل از قبیل منسوجات، فرش ، الیاف شیشه و همچنین سرامیک ها یا آجرهای آکوستیک، انرژی صوتی (آکوستیک) رابه گرما تبدیل می کنند در جاذب های متخلخل، هوا به وسیله ی موج صوتی در حفره های بین الیاف و ذره ها حرکت میکند .عبور ازمجراهای باریک درون ساختار جسم سبب می شود تا امواج صوتی به واسطه ی اصطکاک تغییر جهت دهند .نیروی اصطکاک انرژی صوت را به گرما تبدیل میکند .در فرکانسهای بالا، این اتلاف انرژی بیشتر رخ میدهد[۸].

فوم های پلاستیک که دارای تخلخل های بسته اند صوت را کمتر جذب می کنند.اگر صدا بتواند به راحتی بین فضاهای خالی آن ها نفوذ کند جذب بیشتر می شود. وجود هوا در فضای داخل مواد به طور کلی، فضای مؤثر برای افزایش جذب فرکانس های پایین را افزایش می دهد .گفته می شود بیشترین میزان جذب زمانی است که فاصله بین جداره عایق و دیواره $\frac{1}{4}$ طول موج و یا ضرایب فرد طول موج باشد و کمترین میزان جذب برای فاصله بین جداره عایق و دیواره $\frac{1}{2}$ طول موج و یا ضرایب زوج آن اتفاق می افتد .برای انتشار امواج صوت در مسافت های طولانی در فضای آزاد افت قدرت و انرژی صوت(میرایی صوت) در فرکانس های بالا توسط جذب اتمسفر خیلی زیاد است. اما در سالن ها، جذب صوت منعکس شده از دیوارها ، سقف ها، مبلمان و حضار مهمتر از جذب اتمسفر است .در کنار مدت زمان بازگشت صوت در سالن ها ، جذب صداهای خانگی مثل سیستم های گرمایشی وسرمایش ، فن و کامپیوتر باید توسط مواد سبک و پارچه های نازک و بافته شده صورت گیرد [۸].

۱-٤-۱ ویژگی های صوت

حل معادلات موج نیازمند توصیف دقیق شرایط مرزی است که خود نیز مستلزم توضیح خواص مواد جاذب صوت بر حسب امپدانس مخصوص آن هاست. امپدانس، در واقع مقدار مقاومتی است که یک موج در برابر هوا از خود نشان می دهد .این شاخص، بیانگر نسبت فشار امواج صوت به سرعت حرکت ذرات است . در شرایط عملی مثل آکوستیک های معماری بهتر است که فاکتور دیگری مثل ضریب جذب تعریف گردد. ضریب جذب صوت،

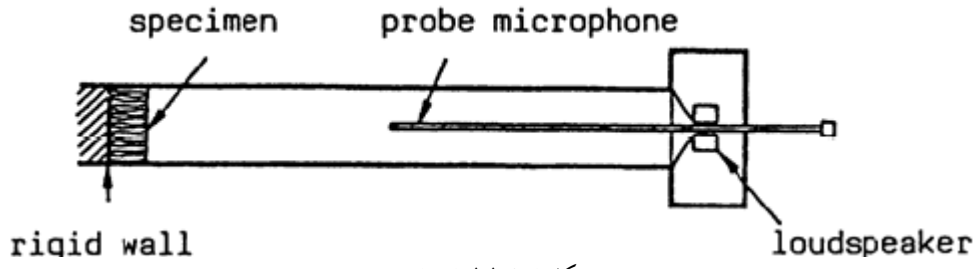
[1] Reverberant time
[2] Listening room
[3] noise

بخش جذب شده از قدرت صوت تابیده شده و در تعریف دیگر، بخش انرژی صوت منعکس شده به انرژی صوت تابیده شده به جسم تعریف شده است . این مقدار می تواند بین ۰ تا ۱ باشد به عنوان مثال ضریب جذب برای یک پنجره باز صفر است .حاصلضرب ضریب جذب یک جسم در مساحت آن را مساحت جذب هم ارز[1] گویند که برای یک اتاق از رابطه ۱- ۱ محاسبه می شود:

$$A = \sum_i S_i\alpha_i \quad {}_1 + \alpha = \quad S_{1\ m}\alpha_2 + \ldots\ldots = S\alpha\ S_2$$

رابطه ۱- ۱

واحد A بر حسب متر مربع است. مساحت جذب هم ارز می تواند شامل افراد داخل اتاق و یا هوای اتاق نیز باشد.به طور کلی ضریب جذب یک ماده به ساختار میدان صدا (ساده بودن موج و رندم بودن موج) بستگی دارد در این تحقیق ما تنها ضریب جذب و اندازه گیری آن را برای موج های ساده را بررسی می کنیم . شکل۱-۶ یک لوله ی امپدانس[2] را نشان می دهد که در یک سمت آن بلندگو قرار گرفته و در طرف دیگر آن نمونه قرار می گیرد .با برخورد موج به نمونه مقداری از آن منعکس می گردد که سبب می شود یک دامنه ی بیشینه و یک دامنه ی کمینه داشته باشد که به ترتیب با Pi وPr معرفی شده اند مقادیر Prو Pi به شرایط مرزی بستگی دارد که آن نیز به سرعت ارتعاش بلندگو و خصوصیات نمونه بستگی دارد [۹] .



شکل۱-۶ لوله امپدانس

شدت صوت بازتابی I_x از رابطه ۱-۲ بدست می آید.

رابطه ۱-۲

$$I_x = \frac{1}{2\rho c}\mathrm{Re}\left\{\left(p_i e^{-jkx} + p_r e^{jkx}\right)\left(p_i^* e^{jkx} - p_r^* e^{-jkx}\right)\right\} = \frac{|p_i|^2 - |p_r|^2}{2\rho c} = \frac{p_{\max} p_{\min}}{2\rho c}$$

شدت صوت برخوردی I_{inc} نیز از رابطه ۱-۳ بدست می آید.

$$I_{inc} = \frac{|p_i|^2}{2\rho c}$$

رابطه ۱-۳

ضریب جذب نسبت I_x به I_{inc} است :

[1] Equivalent absorption area
[2] Impedance tube