طراحی و تولید یک نمونه آزمایشگاهی کاغذ فیلتر هوای خودرو

نوید دهقان*[۱]، محمد لایقی[۲]، قنبر ابراهیمی[۳]، منوچهر خراسانی[۴]، محمود فقیهی[۵]، یحیی همزه[۲] و سعید مهدوی[۶]

[۱] دانش آموخته کارشناس‌ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[۲] استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[۳] استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

[۴] استادیار پژوهشکده رنگ و رزین، دانشگاه امیرکبیر، ایران

[۵] کارشناس مهندسی صنایع، دانشگاه امیرکبیر، ایران

[۶] استادیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲۲، تاریخ تصویب: ۸۹/٤/۱۵)

چکیده

کاغذ فیلتر، ترکیبی از مواد سلولزی و رزین با نفوذپذیری معینی در مقابل هوا است. در این پژوهش، تولید نمونه آزمایشگاهی کاغذ فیلتر هوای خودرو انجام گرفته است. در آغاز مواد سازندهٔ کاغذ فیلتر شناسایی و پس از آن به صورت آزمایشگاهی کاغذ فیلترهای مختلفی تولید شد. نمونه‌های کاغذ فیلتر با الیاف کنف و درصدهای مختلف رزین در آزمایشگاه تهیه و در شرایط استاندارد، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آنها ارزیابی شد. از مقایسه نتایج به دست آمده با ویژگی‌های کاغذهای فیلتر وارداتی مشخص شد که الیاف کنف به همراه یک نوع رزین اکریلیک پایه آبی خود شبکه شونده با دمای تبدیل شیشه‌ای (Tg) حدود ۳۳ درجهٔ سلسیوس و در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درصد وزنی برای تولید انواع کاغذ فیلتر هوا با ویژگی‌های استاندارد مناسب است. ویژگی‌های به دست آمده برای نمونه کاغذ فیلتر هوای خودروی تولید شده در آزمایشگاه با جرم پایهٔ ۸۶ گرم بسیار نزدیک به نمونه‌های وارداتی بودند.

واژه‌های کلیدی: کاغذ فیلتر هوا، الیاف کنف، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، نفوذپذیری، رزین اکریلیک

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲-۶۸۰۴۷۶۴ فاکس: ۰۲۱-٤٤٨١٦٠٦٧ E-mail: dehghan.n82@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

امروزه توجه به مسایل زیست‌محیطی در بسیاری از علوم فراگیر شده است. در صنایع اتومبیل، کیفیت فیلترهای هوا به دلیل نقش مهم آن‌ها در جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست، دارای اهمیت زیادی هستند. زیرا فیلترهای هوا با حذف گردوغبار و ذرات روغن، هوای پاکیزهٔ مورد نیاز برای عمل احتراق در موتور را تامین می‌کنند. فیلترهای هوای خودرو در یک دامنهٔ معینی از نفوذپذیری، بهترین عملکرد را دارند و عواملی مانند نوع الیاف مورد استفاده، ماهیت و ویژگی‌های رزین، مشخصه‌های فرایندی در هنگام تولید (مانند دما، زمان و روش اعمال رزین) در تولید فیلترهایی با نفوذپذیری مناسب اهمیت دارند [Purchas Derek., and Sutherland-2001]. با این همه اهمیتی که فیلتر هوا برای خودرو دارد، اما از ارزان‌ترین قطعه‌های خودرو است. این ارزانی در نتیجهٔ ساختار ساده آن است.

امروزه بررسی‌های پرشماری در زمینهٔ انواع جدید فیلتر برای خودروهای مختلف در جریان است که به طور خلاصه در ادامه به بعضی از آنها اشاره می‌شود. کرجان (۱۹۶۰) کاغذ فیلتر هوا و روش ساخت آن را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی تاکید اصلی بر روی ساخت کاغذ مناسب برای تولید فیلتر هوای خودروهای درون‌سوز بود. عامل تشویق کننده برای انجام این بررسی، تمایل خودرو سازان برای ورود هوایی بدون غبار و ذرات بیرونی به درون موتور خودرو عنوان شد. در این اختراع استفاده از الیاف پوست سرخ چوب[1] در ساخت فیلتر هوا توصیه شده بود. طول الیاف این چوب به طور معمول در محدودهٔ ۶/۳۵ تا ۹/۵۳ میلیمتر هستند، ولی طول برخی از الیاف آن در حدود ۱۲/۵ میلیمتر است. قطر الیاف این چوب ۵۰ تا ۸۰ میکرون است. به‌علاوه، الیاف این چوب استوانه‌ای بوده و اغلب به علت میزان لیگنین بالا، سخت هستند. روش پیشنهادی برای ساخت کاغذ از الیاف این چوب، روش قلیایی بود. در این روش لیف‌ها (فیبرها) را برای دو ساعت با فشار بخار PSI ۷۵ در ۰/۵ تا ۱ درصد محلول هیدروکسید سدیم قرار می‌دهند. در پایان ساخت، کاغذ فیلتر به طور آزمایشی در خودروهای درون‌سوز مورد استفاده قرار گرفت و نتیجهٔ آن عبور بهتر هوا و ماندگاری بهتر ذرات غبار بر روی فیلتر بوده است[Kurjan-1960].

پارکر و سندون (۱۹۷۸) مراحل ساخت مواد سازنده فیلتر هوا را ابداع کردند. آنان روش ساخت فیلترهای هوا از چسب‌های پلیمری ترکیبی و شبکهٔ الیاف را ارایه کردند. این روش شامل ایجاد یک شبکهٔ نبافته یا نمدی[2] از الیاف، پوشاندن الیاف با یک لایه مادهٔ تثبیت‌کننده است در اثر فشردن شبکهٔ الیاف، فیلم چسباننده از هم گسیخته شده و الیاف در لحظهٔ گسیختگی فیلم در هم می‌روند. میزان ماندگاری، قابلیت کنترل نفوذپذیری، مقاومت و مقاومت زیاد، ثبات ابعادی، مقاومت به فرسودگی و ماندگاری در اندازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [Parker and Saindon-1978].

بکمن و هاکانسون (۱۹۸۷) یک نوع کاغذ فیلتر حلقوی تخت را ابداع کردند. در این کاغذ فیلتر، الیاف به صورت نامنظم در کنار یکدیگر قرار گرفته بودند و کاغذ تولیدی آغشته به رزین فنولیک شده بود تا مقاومت دربرابر فشار هوا افزایش و واکشیدگی آن کاهش یابد [Backman and Hakanson-1987].

جونز (۱۹۹۰) در مورد فیلترهای لایه‌ای شده بررسی کرد. ساختارهای چندسازه‌ای لایه‌ای برای استفاده در ساخت فیلترهای سیال[3] مورد بررسی قرار گرفتند. این ساختارها، لایه‌ای از پودر با چگالی بالا دارند که در اثر گرمادهی به صورت لایه‌ای شده و به عضوی در فیلتر چسبانده می‌شوند که سفتی را در فیلتر تأمین می‌کند. وی همچنین روش‌هایی برای ساخت این گونه فیلترها را ارایه کرد.

۱- Red wood

۲- Non woven

۳- Fluid Filter

Archive of SID

www.SID.ir

فیلترهای لایه‌ای برای ورود هوا به موتورهای درون‌سوز استفاده می‌شوند[Jones-1990].

آتسومی و همکاران (۲۰۰۲) فیلتر هوایی را طراحی و تولید کردند که توسط آتسوشی سوزوکی و همکاران (۲۰۰۵) تکمیل شد. در این ابداع فیلتر هوا دارای سه لایه بود. لایه اول که با مواد چرب اشباع شده و لایه دوم که ویژگی مانع شوندگی چربی را داشته و به نام لایه ضدچربی معروف است و در نهایت سومین لایه که با مواد چرب اشباع نشده است. عبور چربی به لایه سوم با لایه ضد چربی کنترل می‌شود. این فیلتر نیز باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش موثر در جذب ذرات کربن می‌شود. لازم به یادآوری است که لایه ضد چربی به صورت لایه بسیار نازکی در بین دو لایه دیگر قرار گرفته است [Atsumi and et al-2002].

سوزوکی و همکاران (۲۰۰۵) فیلتر هوایی را طراحی و ابداع کردند که به طرز قابل ملاحظه‌ای ذرات کربن را در خود نگاه می‌داشت. این فیلتر دارای دو لایه بوده که لایهٔ رویی موسوم به فیلتر اولیه با مواد چرب اشباع شده است و لایهٔ دوم که بر روی سطح زیرین لایهٔ اول قرار گرفته، به عنوان لایهٔ ضد چربی است. لایهٔ اول در مقایسه با لایهٔ دوم به دلیل اشباع با مواد چرب، از چگالی بالاتری برخوردار است. فیلتر تولید شده دارای عمر کارکردی مفید بالا بوده و به نسبت قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش هزینه‌ها می‌شد [Suzuki and et al-2005].

هام (۲۰۰۶) در ابداع خود امکان ساخت فیلتر هوای قابل بازیابی را مورد بررسی قرار داد. این نوع فیلتر از یک چهار چوب ارتجاعی و یک کاغذ فیلتر که در درون آن جاسازی شده است، تشکیل شده بود. کاغذ فیلتر به صورت کنگره ای و انعطاف پذیر درون چهار چوب نصب شده بود و کناره‌های آن به لبه‌های چهار چوب چسبانده شده بود [Ham-2006].

ساندت و پیتزن (۲۰۰۷) روشی را برای ساخت کاغذ خود نگهدار فیلتر چین‌خورده (خود پشتیبان) ابداع کردند. در این روش، سامانه‌ای از چین‌ها در فضای فیلتر استفاده می‌شود و دست کم یک نوار تقویت کننده بر لبه‌های صفحهٔ چین‌خورده چسبانده می‌شود [Sundet and Pitzen-2007].

با توجه به اینکه هیچ نوع کاغذ فیلتری در ایران ساخته نمی‌شود، لذا در این بررسی سعی بر آن بود که امکان تولید این نوع ویژه از کاغذ به منظور استفاده به عنوان فیلتر هوای خودرو در درون کشور مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

- شناسایی مواد تشکیل دهندهٔ کاغذ فیلترهای وارداتی

بر پایه روش مهندسی معکوس نخستین گام، شناسایی ترکیب‌های موجود در کاغذ فیلترهای وارداتی بود. در آغاز الیاف مصرفی در کاغذ فیلتر هوای وارداتی برابر شیوه نامه شماره SP-98 T259 آیین‌نامه TAPPI مورد ارزیابی و شناسایی قرار گرفتند. برپایه این شیوه نامه قطعه‌ای از نمونهٔ کاغذ فیلتر هوا را در محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم قرار داده و سپس به مدت کوتاهی بر روی گرمکن آزمایشگاهی گرما داده شد. سپس کاغذ را با آب مقطر شستشو داده شد و با همزن مغناطیسی اقدام به جداسازی الیاف شد. پس از جداسازی کامل الیاف، دو تا سه قطره از محلول رنگین متیلن بلو به آن افزوده شد و به مدت چند دقیقه‌ای صبر کرده تا دیواره‌های الیاف به خوبی رنگ را به خود گیرند. سپس با قطره‌چکان الیاف را به روی لام منتقل کرده و بر روی آن لامل قرار داده شد. در مرحلهٔ آخر پس از خشک شدن کامل الیاف بر روی لام، آن را به میکروسکوپ برای شناسایی الیاف و همچنین اندازه‌گیری طول و قطر، انتقال داده شد. درباره شناسایی رزین مورد استفاده در این کاغذ باید گفت که یک نوع رزین اکریلیک مناسب گزینش و به کار گرفته شد. این رزین در فرایند تولید به پلیمری با اتصال‌های قوی تبدیل شده که امکان شکست این اتصال‌ها پس از تولید کاغذ امکان پذیر نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

- شرایط و مراحل تولید خمیر کاغذ

از کنف برای تولید کاغذ فیلتر هوا استفاده شد. کنف مورد استفاده در این تحقیق محصول کشور بنگلادش بود. نمونه الیاف کنف (پوست) به اندازهٔ قطعه‌های ۲ تا ۳ سانتی‌متر با قیچی بریده شد و برای رسیدن به رطوبت تعادل محیط، در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل، برای جلوگیری از تبادل رطوبتی در درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند.

برای تولید خمیرکاغذ از پوست کنف از روش پخت سودا استفاده شد. میزان ۱۰۰ گرم پوست کنف (بر پایه وزن خشک) در درون هر سیلندر دیگ پخت ریخته و حجم لازم مایع پخت متناسب با نسبت مایع به وزن پوست کنف (۷ به ۱) به درون سیلندر اضافه شد. پیش از انتقال سیلندر به درون دستگاه، پوست کنف در محیط آزمایشگاه (دما و فشار استاندارد) به مدت ۱۵ دقیقه تحت آغشتگی با مایع پخت قرار گرفته است. پس از آن، درپوش سیلندرها بسته شده و سیلندرها در درون دیگ پخت نصب شدند. دمای پخت $160^{o}C$ و مدت زمان پخت یک ساعت و میزان ۱۶٪ NaOH در نظر گرفته شد.

در پایان هر پخت، سیلندرها را از درون دیگ پخت در آورده و پس از خنک شدن سیلندرها، محتویات درون آنها بر روی غربال با اندازه سوراخ ۲۰۰ مش منتقل شده تا مایع پخت از پوست کنف پخته شده به طور کامل جدا شود. سپس خمیر کاغذ تولیدی را با آب تحت فشار شستشو داده شد تا مایع پخت در بین الیاف باقی نماند. در مرحلهٔ پس با پالایشگر صفحه‌ای الیاف جداسازی شدند. خمیر کاغذ قابل قبول با غربال با اندازه مش ۱۸ و ۲۰۰ جداسازی شد. آنچه که بر روی غربال ۲۰۰ مش باقی می‌ماند به عنوان خمیر کاغذ قابل قبول، الیاف باقی مانده بر روی غربال ۱۸ مش تحت عنوان خمیر کاغذ وازده و ذراتی که همراه با آب از الک ۲۰۰ مش عبور کند، دورریز و نرمه الیاف به شمار می‌آید. در پایان کار خمیر کاغذ را در محیط آزمایشگاه قرار داده شد تا به رطوبت تعادل با محیط برسد و درصد رطوبت آن را برای انجام مراحل بعدی، تعیین شد.

- ساخت کاغذهای دست‌ساز

در مرحلهٔ ساخت کاغذهای دست‌ساز، سه نوع کاغذ با جرم پایهٔ مختلف برپایه آیین‌نامه SCAN شیوه نامه شمارهٔ C26 :79 ساخته شد که جرم پایهٔ آنها به ترتیب ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ بود. کاغذهای ساخته شده سپس وارد مرحله پرس شده و عملیات پرس کاغذهای دست‌ساز برپایه آیین‌نامه SCAN شیوه نامه شمارهٔ C۲۶ :۷۹ انجام شد. در این استاندارد فشار لازم برای پرس کاغذ ۰/۲ ± ۴kgf در نظر گرفته شده است اما از آنجا که حجیم بودن برای هوادهی بهتر کاغذ مدنظر بوده است، در نتیجه فشار kgf ۳/۵ در نظر گرفته شد. سپس کاغذها به خشک‌کن استوانه‌ای انتقال یافته و در دمای $60\pm5^{\circ}C$ و به مدت ۲ ساعت خشک شدند. مرحلهٔ پایانی ساخت کاغذ، مرحلهٔ پاشش رزین است. از آنجایی که رزین‌های مختلفی در این صنعت به کار می‌رود و هدف تولید کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی مناسب و ارزان بود، در این بررسی از یک نوع رزین اکریلیک پایه آبی خود شبکه شونده با دمای تبدیل شیشه‌ای حدود ۳۳ درجهٔ سلسیوس (Simacryl NA68 تولید شرکت سیماب رزین) استفاده شد (جدول ۱). میزان پاشش بر روی هر کاغذ ۲۰٪ جرم پایه هر کاغذ بود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی اکریلیک Simacryl NA68

ویژگی	میزان یا نوع
نوع چسب	خود شبکه شونده
ظاهر	مایع شیری رنگ
وضعیت شارژ	غیریونی
درصد مواد جامد	۴۵±۱
pH	۲-۳
T300 (°C)[1]	۴۰
گرانروی (cP)[2]	≤400
MFFT (°C)	+22
پایداری مکانیکی	خوب
نحوه انبارداری	از یخ زدن چسب باید جلوگیری شود

- تعیین ویژگی‌های ذاتی و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز

اندازه‌گیری جرم پایهٔ کاغذ و همچنین ضخامت کاغذها برابر آیین‌نامهٔ BS 6410:1991 استاندارد انگلیس برای محیط‌های متخلخل[3] انجام شد.

برای اندازه‌گیری هوادهی کاغذها که یکی از مهمترین ویژگی‌های کاغذ فیلتر به شمار می‌آید از آیین‌نامهٔ ISO 9237:1995 استفاده شد. هوادهی کاغذ با تعیین حجم هوای عبوری از سطح معینی کاغذ، در جهت عمود بر سطح و در افت فشار ۲۰۰ پاسکال تعیین می‌شود و واحد آن $lit/sec.m^2$ است.

اندازه‌گیری مقاومت ترکیدن برپایه آیین‌نامهٔ BS 1972:3137 انجام شد و نتیجه برپایه واحد بار اعلام و سپس به $kpa.m^2/g$ تبدیل شد.

اندازه‌گیری مقاومت کششی کاغذها بر پایه آیین‌نامه ISO 1924-2:1985 انجام گرفت و نتایج با واحد KN/m بیان شد.

سختی[4] کاغذها برپایه آیین‌نامهٔ ISO 5628 اندازه‌گیری و بر حسب گرم بیان شد. در واقع سختی عبارت است از اندازه‌گیری نیروی بدست آمده از خمش ۵ میلیمتری در نمونه‌ای به طول یک اینچ.

آزمون سقوط وزنه برپایه استاندارد داخلی[5] شرکت بهران فیلتر انجام گرفت و نتیجه بر حسب ثانیه بیان شد. دستگاه سقوط وزنه دارای ستونی بوده که هوا در آن ذخیره شد و پس از بالا رفتن اهرم دستگاه و پایین آمدن آن، هوا از سطح کاغذ خارج می‌شود و مدت زمان پایین آمدن اهرم بر روی ثانیه‌شمار ثبت می‌شود. در این آزمون کاغذ را بین دو فک دستگاه گذاشته و اهرم را بالا برده و رها می‌کنیم تا با وزنی که دارد سقوط کند و هوا را از کاغذ عبور دهد. عدد ثبت شده بر روی ثانیه شمار را ثبت می‌کنیم. در واقع این آزمونی تکمیلی در برای هوادهی کاغذ است.

اندازه‌گیری قطر روزنه‌ها برپایه ظاهر شدن نخستین حباب و یکنواخت شدن حباب در سطح کاغذ با آیین‌نامه BS 6410:1991 محاسبه شد. برای بیان اندازه قطر روزنه‌ها سه نوع اندازه بیان شد که عبارت اند از:

۱- حداکثر قطر روزنه[6]

۲- میانگین قطر روزنه‌ها[7]

۳- قطر بیشتر روزنه‌ها[8]

دستگاه اندازه‌گیری قطر روزنه‌ها دارای دو فک ثابت و متحرک است که در یکدیگر پیچ شده و نمونه بین این دو فک قرار می‌گیرد. در این آزمایش برپایه شیوه نامه نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در گازوئیل غوطه‌ور شده تا روزنه‌ها اشباع شوند. پس از گذشت این مدت زمان نمونه را بر روی

۱- معیاری از سفتی فیلم چسب است و عبارت است از دمایی که در آن مدول پیچشی چسب هوا خشک ۳۰۰ kg/cm^2 است.

۲- گرانروی با استفاده از دستگاه Brookfield LVF در سرعت ۳۰ دور بر دقیقه و دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه گیری می شود.

۳- British Standards for Filter Media

٤- Stiffness

٥- Internal Test Method

٦- Max Pore Size

٧- Mean Pore Size

٨- Many Pore Size

Archive of SID

www.SID.ir

دو فک دستگاه قرار داده و فک متحرک را به فک ثابت پیچ کرده و بر روی نمونه را پر از گازوییل می‌شود. با اهرمی فشار هوا را به طور مداوم افزایش داده تا نخستین حباب بر روی سطح کاغذ ظاهر شود که این همان فشار نخستین حباب است که ثبت می‌شود. فشار تا آنجا بالا برده می‌شود که تمامی سطح پر از حباب شود. در این حالت، فشاری را که دستگاه نشان می‌دهد فشار حباب یکنواخت است که باید ثبت شود. هدف از اندازه‌گیری فشار نخستین حباب و فشار حباب یکنواخت برای محاسبه‌های بعدی در تعیین قطر روزنه‌ها است. سپس از فرمول‌های زیر قطر روزنه‌ها در سه سطح گفته شده، محاسبه می‌شود:

حداکثر قطر روزنه $D= \frac{4\sigma}{p_1}$

میانگین قطر روزنه‌ها $D=\frac{5642}{p_1}$

قطر بیشتر روزنه‌ها $D=\frac{4\sigma}{p_2}$

σ: کشش سطحی (که برای گازوییل معادل ۲۹۶۲ است)
P_1: فشار نخستین حباب
P_2: فشار حباب یکنواخت
D: قطر بیشتر روزنه‌ها

نتایج

- شناسایی الیاف کاغذ فیلتر

به طور تصادفی ۵۰ رشته فیبر سالم از هر کدام از کاغذ (دو نمونهٔ کاغذ وارداتی) گزینش و طول و قطر آن‌ها اندازه‌گیری شد. در این آزمایش همچنین طول و قطر ۵۰ فیبر سالم از کنف نیز به طور تصادفی اندازه‌گیری شد. در نهایت با میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰X مجهز به ارسال تصویر به کامپیوتر، از هر دو نمونه کاغذ بیرونی و الیاف کنف عکس‌برداری شد. نتایج این بررسی نشان دادکه الیاف استفاده شده در این صنعت طبیعی هستند (شکل ۱).

جدول ۲- نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری طول و قطر الیاف

نمونه الیاف	طول (mm)	قطر (میکرون)
	میانگین	میانگین
نمونه وارداتی A	۳/۷۲۷±۰/۹۶۵	۱۴/۳±۰/۶۵۲
نمونه وارداتی B	۱/۸۲۷±۰/۳۹۳	۲۰±۴/۳۷۵
کنف	۲/۸۱±۰/۴۴۲	۱۹/۲±۰/۸۸۹

Archive of SID

www.SID.ir

کنف نمونهٔ وارداتی A نمونه وارداتی B

شکل ١- شکل هایی از الیاف با بزرگنمایی 40X

- تعیین ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای دست‌ساز

- جرم پایهٔ کاغذهای فیلتر و ضخامت آنها

جرم پایه کاغذها پس از اعمال ٢٠٪ رزین و میانگین ضخامت کاغذها در جدول ٣ نشان داده شده است.

- هوادهی، افت فشار و سقوط وزنه

برپایه اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی کاغذها، نتیجه هوادهی کاغذها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ٣ - نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری جرم پایه و ضخامت کاغذها

ردیف	جرم پایه کاغذ	پاشش رزین	جرم پایه نهایی کاغذ	میانگین ضخامت (mm)
١	٨۶	٪٢٠	١٠۶/١٢	٠/٢٩±٠/٠١٢
٢	٩۵	٪٢٠	١١۵/١٩	٠/٣٢±٠/٠١۵
٣	١٠۶	٪٢٠	١٢۶/٢	٠/٣٣±٠/٠١۵

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری هوادهی

ردیف	جرم پایه کاغذ	میانگین هوادهی ($lit/m^2.sec$)	میانگین افت فشار ($mm.H_2o$)	سقوط وزنه (ثانیه)
۱	۸۶	۳۶۳±۳۹/۰۱	۲۲/۳۳±۲/۵۱۶	۰/۸۸±۰/۰۶۱
۲	۹۵	۲۷۱±۱۸/۸۸	۲۸/۳۳±۱/۵۲۷	۰/۹۶±۰/۰۹
۳	۱۰۶	۲۳۸	۳۴	۱/۲۱±۰/۱۵

- مقاومت به ترکیدن در حالت خشک و تر، مقاومت کششی و سختی

برپایه اندازه‌گیری‌های انجام شده، نتایج بدست آمده از مقاومت به ترکیدن در حالت خشک و تر، مقاومت کششی و سختی کاغذها در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن در حالت خشک و تر، مقاومت کششی و سختی

ردیف	جرم پایه کاغذ	میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن خشک ($kPa.m^2/g$)	میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت تر($kPa.m^2/g$)	میانگین مقاومت کششی (KN/m)	میانگین سختی (gr)
۱	۸۶	۳/۱۴	۱/۸۸	۴/۰۲	۳/۵۴
۲	۹۵	۳/۳۵	۱/۰۴	۴/۹۱	۳/۳۷
۳	۱۰۶	۳/۱۷	۱/۵	۵/۸	۵/۴

- اندازه‌گیری فشار حباب و قطر روزنه‌ها

از آنجا که در این آزمایش در آغاز فشار نخستین حباب و سپس فشار حباب یکنواخت ثبت شد، در نتیجه نتایج بدست آمده از این دو فشار به ترتیب در جدول ۶ برای سه وزن پایه متفاوت ارایه شده است. با توجه به اعداد بدست آمده از فشار نخستین حباب و فشار حباب یکنواخت و انجام محاسبه‌های مربوطه با فرمول‌هایی که در بخش مواد و روش‌ها ارایه شده‌اند، نتایج بدست آمده از محاسبه‌های مربوط به قطر حداکثر روزنه، قطر میانگین روزنه‌ها و قطر بیشتر روزنه‌ها در جدول ۶ ارایه شده است.

جدول ۶- نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میانگین فشار نخستین حباب، میانگین فشار حباب یکنواخت و قطر روزنه‌ها

ردیف	جرم پایه کاغذ	میانگین فشار نخستین حباب (bar)	میانگین فشار حباب یکنواخت (bar)	میانگین قطر حداکثر روزنه (µm)	میانگین قطر میانگین روزنه‌ها (µm)	میانگین قطر بیشتر روزنه‌ها (µm)
۱	۸۶	۲۱۱	۲۶۱/۵	۵۶/۱۷۵	۲۶/۷۵	۴۵/۳۱۵
۲	۹۵	۲۴۷/۵	۳۰۵	۴۸/۱۰۵	۲۲/۹۱	۳۸/۸۵۵
۳	۱۰۶	۲۶۴/۵	۲۹۷/۵	۴۴/۷۹۵	۲۱/۳۳	۳۹/۸۲۵

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری طول الیاف دو نمونهٔ وارداتی کاغذ فیلتر و الیاف پوست کنف به ترتیب ۳/۷۲۷، ۱/۸۲۷ و ۲/۸۱ میلیمتر بود که الیاف کنف در مقایسه با یک نمونه از کاغذها بلندتر ولی در مقایسه با کاغذ دیگر کوتاه‌تر بود. همین وضعیت در مورد قطر الیاف نیز دیده شد به طوری که نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری قطر الیاف در مورد دو نمونهٔ وارداتی و کنف به ترتیب ۱۴/۳، ۲۰ و ۱۹/۲ میکرون بود که وضعیتی مشابه با طول الیاف را داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الیاف متنوعی در ساخت این محصول به کار گرفته شده است.

در این بررسی وزن پایهٔ کاغذهای ساخته شده با احتساب میزان پاشش رزین حداکثر در حدود ۱۳۰ گرم بر متر مربع نگهداشته شد و از هر کاغذ شمار ۵ نمونه برابر استاندارد ساخته شد و آزمون‌های لازم بر روی آنها انجام گرفت. شایان یادآوری است که نتایج این کاغذها با ویژگی‌های کاغذهای ساخته شده با شرکت Ahlstrom ایتالیا و H&V انگلیس که مورد مصرف کارخانهٔ بهران فیلتر در ساخت فیلتر هوای سنگین است، مقایسه و مورد بحث قرار گرفته است.

هوادهی

در این آزمون عامل مهم میزان عبور هوا از میان خلل و فرج کاغذ است. بنابراین الیاف باید بلند بوده و تا آنجا که ممکن است بدون وجود نرمه‌های الیاف باشد تا از تخلخل کاسته نشود. همچنین الیاف نباید پرزدار باشند چون که باعث کاهش فضاهای خالی در کاغذ می‌شوند. به همین علت در این بررسی الیاف پالایش نشدند. نتایج هوادهی در مورد سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب شامل میانگین ۳۶۳، ۲۷۱ و ۲۳۸ $lit/m^2.sec$ بود. با توجه به داده‌ها، نتایج بیانگر آن است که هوادهی کاغذ۸۰ گرمی بیشتر از دو نمونهٔ کاغذ بوده به گونه‌ای که کاغذ ساخت Ahlstrom دارای هوادهی ۳۴۰ $lit/m^2.sec$ و کاغذ ساخت H&V دارای هوادهی به میزان ۳۰۰ $lit/m^2.sec$ است.

افت فشار

افت فشار نیز یکی از عامل های تعیین کنندهٔ نوع کاربرد کاغذ فیلتر به منظور استفاده در هوای خودروها است. در مورد سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب شامل میانگین ۲۲/۳۳، ۲۸/۳۳ و ۳۴ $mm.H_2O$ بود. این آزمون، آزمونی تکمیلی در راستای هوادهی بود و در واقع بدین منظور انجام می‌گیرد تا رفتار الیاف در فشارهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. داده‌های بدست آمده از نتایج دو نمونه کاغذ مصرفی بهران فیلتر به ترتیب برای کارخانهٔ Ahlstrom و H&V برابر ۲۳ و ۲۷ $mm.H_2O$ بود که نتایج این پژوهش مقادیر همانندی را با داده‌های دو کارخانه نشان می‌دادند.

مقاومت به ترکیدن

مقاومت به ترکیدن به عامل هایی مانند طول الیاف، میزان درهم رفتگی الیاف و شدت و مقاومت ذاتی الیاف بستگی دارد. میزان درهم رفتگی الیاف به میزان پرزدار بودن الیاف بستگی دارد و از آنجایی که پرزدار بودن الیاف موجب کاهش هوادهی کاغذ می‌شد، این کمبود از راه پاشش رزین تا حدودی جبران شد. دو شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت خشک و تر مورد بحث این صنعت است. البته مقاومت به ترکیدن خشک با پاشش رزین به خوبی تأمین می‌شود اما در مورد مقاومت به ترکیدن تر باید رزینی مورد استفاده قرار گیرد که در برابر رطوبت از خود مقاومت نشان دهد. در حقیقت چون فیلتر هوا در مصرف، در معرض رطوبت هوا قرار می‌گیرد این عامل اهمیت پیدا می‌کند.

بنابراین با اندازه‌گیری‌های انجام شده مقاومت به ترکیدن خشک سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب میانگینی از ۳/۳۳، ۳/۸۶ و ۴ بار بود که میزان مقاومت به ترکیدن خشک برای دو کارخانهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

Ahlstrom و H&V به ترتیب ۲/۵ و ۳/۷۵ بار گزارش داده شد و همین نتیجه در مورد مقاومت به ترکیدن تر شامل میانگینی از ۲، ۱/۲ و ۱/۹ بار بود که در مورد اطلاعات دو کارخانهٔ Ahlstrom و H&V به ترتیب ۳/۲ و ۳/۱ بار گزارش شد. لازم به توضیح است که مقاومت به ترکیدن خشک نباید از ۲ بار کمتر باشد. همچنین در مورد مقاومت به ترکیدن تر نیز نباید نتیجه از ۲ بار کمتر باشد اما ۱ مقادیر بیشتر از ۱ نیز قابل قبول است.

مقاومت کششی

مقاومت کششی به عامل هایی مانند طول الیاف، شمار الیافی که در معرض نیروی پاره‌شدن قرار دارند و نیز شدت و مقاومت ذاتی الیاف وابسته است. افزایش اتصالات بین الیاف و مقاومت بیشتر آنها به افزایش مقاومت کششی کاغذ صافی می‌انجامد. با زیاد شدن طول نسبت به قطر الیاف، میزان درهم رفتگی الیاف بیشتر شده و مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد. به دلیل وابستگی زیاد مقاومت کششی نسبت به طول الیاف، این مقاومت نسبت به میزان و شدت پالایش حساس است. در بیشتر موارد، با میزان پالایش کمی، مقاومت کششی به بیشترین میزان خود می‌رسد و پس از آن با ادامه پالایش در اثر بریده شدن و کوتاه شدن و کم شدن مقاومت ذاتی الیاف، مقاومت کششی افت می‌کند. در اینجا چون طول الیاف و میزان هوای عبوری کاغذ مهم بود، هیچ‌گونه پالایشی بر روی الیاف صورت نگرفت. بنابراین با اندازه‌گیری‌های انجام شده مقاومت کششی سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب میانگینی از ۴/۰۲، ۴/۹۱ و ۵/۸ KN/m بود. نتایج همین آزمون برای دو کارخانهٔ Ahlstrom و H&V به ترتیب ۵/۵۳ و ۶/۱۶ KN/m در جهت MD و ۳/۳۶ و ۳/۸ KN/m در جهت CD گزارش داده شد. در این بررسی از آنجایی که ساخت کاغذ با هندشیت انجام شد، در نتیجه شکل‌گیری الیاف به طور کامل تصادفی بوده و برای‌گیری کاغذ وجود ندارد. نتایج بدست آمده نشانگر همانندی با دو نمونهٔ وارداتی مورد مصرف در کارخانهٔ بهران فیلتر هستند.

سختی (چقرمگی)

از دیگر عامل‌های مهم در این صنعت است. بنابراین با اندازه‌گیری‌های انجام شده سختی سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب ۳/۵۴، ۳/۳۷ و ۵/۴ گرم بود. نتایج سختی برای دو کارخانهٔ Ahlstrom و H & V به ترتیب ۵/۸۲ و ۵/۸۷ گرم در برای MD و ۱/۱۹ و ۱/۲ گرم در برای CD بود. در این آزمون نیز کاغذ ساخته شده فارغ از دو جهت MD و CD بود.

سقوط وزنه

این آزمون همانند آزمون هوادهی است و بسته به شرایط انجام می‌گیرد و در واقع از آزمون‌های قدیمی بهران فیلتر است. بنابراین با اندازه‌گیری‌های انجام شده میزان سقوط وزنه در سه نوع کاغذ ساخته شده با جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۶و ۱/۲۱ ثانیه بود. این عامل متأثر از میزان خلل و فرخ کاغذ است. به طوری که هر چقدر میزان این تخلخل بالا باشد، عدد سقوط وزنه نیز بیشتر می‌شود. این آزمون مختص کارخانه بهران فیلتر است و در منابع عددی برای مقایسه با آن وجود ندارد. حال در آزمون دو کارخانهٔ Ahlstrom و H & V نتایج به ترتیب عبارت بودند از ۰/۷۸ و ۰/۹۱ ثانیه.

اندازه‌گیری قطر روزنه‌ها

قطر روزنه‌ها عاملی از میزان ذرات معلق در هوا است. این آزمون نشانگر این است که کاغذ مصرفی ذرات با چه اندازهٔ قطری از خود عبور می‌دهد. قطر روزنه‌ها در سه سطح بیشترین قطر روزنه، میانگین قطر روزنه‌ها و قطر بیشتر روزنه‌ها مطرح می‌شود. با اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تعیین حداکثر قطر روزنه در سه نوع کاغذ ساخته شده با

Archive of SID

www.SID.ir

جرم پایه‌های متفاوت ۸۶، ۹۵و ۱۰۶ به ترتیب ۵۶/۱۷۵، ۴۸/۱۰۵ و ۴۴/۷۹۵ میکرومتر تعیین شد که همین آزمون برای دو کارخانهٔ Ahlstrom و H&V نتایج ۷۷/۵ و ۶۷/۷ میکرومتر را نشان داد. در مورد تعیین میانگین قطر روزنه‌ها شامل میانگینی از ۲۶/۷۵، ۲۲/۹۱ و ۲۱/۳۳ میکرومتر به دست آمد که همین آزمون برای دو کارخانهٔ Ahlstrom و H&V نتایج ۳۹/۶ و ۳۲/۲ میکرون را رقم زد. قطر بیشتر روزنه‌ها در این آزمون میانگینی از ۴۵/۳۱۵، ۳۸/۸۵۵ و ۳۹/۸۲۵ میکرومتر بود که نتایج همین آزمون برای دو کارخانهٔ Ahlstrom و H&V به ترتیب ۶۰/۸ و ۵۶/۴ میکرومتر را نشان داد. با آن که حداکثر قطر روزنه کاغذ فیلتر دست‌ساز کمتر از نمونهٔ وارداتی است اما در محدودهٔ قابل قبول برای مصرف بوده و این نشانگر این نکته است که کاغذ ساخته شده توانایی جلوگیری از ورود ذرات ریزتر را داشته که این یک حسن به شمار می‌آید. البته باید توجه داشت که کاهش بیش از اندازهٔ حداکثر قطر روزنه باعث افزایش نیروی مکش و فشار به موتور خودرو می‌شود. البته کاغذهای دارای روزنه‌ها ریز در فیلتر هوای ماشین‌های راه‌سازی مرد استفاده قرار می‌گیرد تا نیاز این گونه خودروها را برآورده سازد.

در این بررسی به طراحی و تولید سه نوع کاغذ فیلتر هوا مناسب برای خودروهای سنگین (که در اصطلاح هوای سنگین نامیده می‌شود) و مقایسهٔ آن با دو نمونهٔ شاهد موجود در شرکت بهران فیلتر پرداخته شد که از بین نمونه‌های طراحی شده کاغذ با جرم پایه ۸۶ گرم به طور کامل همانند دو نمونه‌ای است که کارخانه بهران فیلتر در ساخت فیلتر هوای سنگین خود به کار می‌رود. بنابراین دو کاغذ تولید شده دیگر گرچه مناسب برای فیلتر تولیدی بهران فیلتر نیست اما این به معنای غیرکاربردی بودن این کاغذها نیست، زیرا هر کارخانهٔ سازندهٔ کاغذ فیلتر دارای محدوده‌ای از ویژگی‌های کاغذ است در نتیجه با این که دو نمونهٔ دیگر با دو محصول وارداتی بهران فیلتر مطابق نیست اما می‌تواند با تولیدات کارخانه‌های دیگر برابری داشته باشد. از جمله داده‌های مهم برای کارخانهٔ تولید کاغذ فیلتر می‌توان به مواردی چون هوادهی، حداکثر قطر روزنه، قطر میانگین روزنه‌ها، مقاومت به ترکیدن خشک، مقاومت به ترکیدن تر و سختی اشاره کرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نمونه آزمایشگاهی با جرم پایه ۸۶ در این پژوهش دارای ویژگی‌های مناسب برای تولید در مقیاس صنعتی است. از جمله مزایای این نمونه بدست آمده می‌توان به هوادهی بالا، قطر مناسب روزنه‌ها، مقاومت به ترکیدگی مطلوب، چرخه ساخت آسان و مصرف مواد اولیه کم اشاره کرد.

سپاس و قدردانی

از مدیریت و کارکنان شرکت‌های بهران فیلتر، سیماب رزین و تاک رزین که در سرانجام رسیدن این تحقیق مرا صمیمانه یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

- Atsumi, U., and J., Suzuki; T., Jo; K., Osaka, 2002. *Air Filter*. US Patent Number: 6,336,947 B1.
- Backman S., and H., Hakanson, 1987. *Method of Making Filter Paper*. US Patent Number: 4,710,402.
- Ham S., 2006. *Recyclable Filter*. US Patent Number: 6,986,799 B2.
- Jones R.L., 1990. *Laminated Filters.* US Patent Number: 4,961,974.
- Kurjan H.L., 1960. *Air Filter Paper and Method of Making Same*. US Patent Number: 2,928,765.
- Parker R.B., and R.R., Saindon, 1978. *Process of Making Air Filter Fabric*. US Patent Number: 4,112,037.
- Purchas Derek, B., and K. Sutherland, 2001. *Handbook of Filter Media*. Elsevier Science & Technology Books. 553p.
- Sundet D.C., and J.F. Pitzen, 2007. *Method of Making Self-Supporting Pleated Filter*. US Patent Number: 7,217,333 B2.
- Suzuki, A., and T., Oba; N., Matsushita; K., Suzuki; T., Jo, 2005. *Air Filter*. US Patent Number: 6,843,819 B2.

Archive of SID

www.SID.ir

Design and Laboratory Manufacture of Air Filter Paper for Automobile

N. Dehghan*[1], M. Layeghi[2], Gh. Ebrahimi[3], M. Khorasani[4], M. Faghihi[5], Y. Hamzeh[2] And S. Mahdavi[6]

[1] MSc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[2] Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[3] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[4] Assistant Prof., Amirkabir University of Technology, Tehran, I.R. Iran
[5] BSc. Graduate, Amirkabir University of Technology, Tehran, I.R. Iran
[6] Assistant Prof., Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, I.R. Iran
(Received: 12 May 2009, Accepted: 05 July 2010)

Abstract

Air filter paper is made by combination of cellulosic and resin with specific permeability confronting with passing air flow. In this research, manufacturing of a sample car air filter paper has been done. At the first step, the constituents of the commercial filter paper were identified and after that different filter papers have been manufactured in the laboratory. Sample filter papers were manufactured using kenaf fibers and different acrylic resin contents at the laboratory and tested under standard conditions in order to evaluate their physical and mechanical properties. Comparison of the properties with those of imported standard air filter papers showed that kenaf fibers with 20-30% (based on dry weight) acrylic resin (solvable in water) and Tg=33ºC are appropriate for the manufacture of various types of standard air filters. The obtained properties of sample car air filter papers made in the laboratory with 86gr/m^2 were found very close to the imported filter papers.

Keywords: Air filter paper, Kenaf fibers, Physical and mechanical properties, Permeability, Acrylic resin

*Corresponding author: Tel: +98 912 6804764 Fax: +98 2144816067 E-mail: dehghan.n82@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir