

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۸

ص ۲۸۳-۲۹۴

بررسی امکان استفاده از مواد لیگنوسلولزی در ساخت لنت

ترمز اتومبیل و اثر نانو آلومینا بر ویژگی‌های آن

- ❖ **آیدا معزی پور***؛ کارشناس ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **محمد لایقی**؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **قنبر ابراهیمی**؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **بابک اکبری**؛ کارشناس بخش تحقیقات شرکت ساپکو (طراحی مهندسی و تأمین قطعات ایران خودرو)، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش امکان استفاده از الیاف مواد لیگنوسلولزی در ساخت لنت ترمز و اثر اکسید آلومینیوم (آلومینا) بر ویژگی‌های آن بررسی شد. عوامل متغیر این بررسی شامل نوع ماده لیگنوسلولزی (کنف، باگاس، و پوسته شالی) و ابعاد آلومینا (نانو و میکرون) بود. پس از ساخت نمونه‌های لنت ترمز دیسکی و انجام آزمون‌ها مطابق استانداردهای مربوطه، نتایج حاصل تحلیل و بررسی شدند. نتایج نشان داد که بهترین مقاومت برشی در دمای محیط، مربوط به نمونه‌های ساخته شده از کنف و نانو آلومینا بود و بیشترین مقاومت برشی پس از حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، مربوط به لنت ترمز ساخته شده از پوسته شالی و میکرو آلومینا بود. کمترین انبساط حرارتی در نمونه‌های ساخته شده از پوسته شالی و نانو آلومینا مشاهده شد. همچنین بیشترین ضریب اصطکاک مربوط به لنت‌هایی بود که در ترکیب آن‌ها از الیاف باگاس و نانو آلومینا استفاده شده بود و کمترین نرخ سایش مربوط به لنت ترمزهای ساخته شده از پوسته شالی و میکرو آلومینا بود. مقایسه نتایج با استاندارد نشان داد که با استفاده از الیاف لیگنوسلولزی می‌توان به مقاومت برشی و انبساط حرارتی ویژگی‌های سایشی مطلوب در لنت ترمز دست یافت و بنابراین استفاده از این مواد در ساخت لنت ترمز ممکن است.

واژگان کلیدی: آلومینا، الیاف مواد لیگنوسلولزی، انبساط حرارتی، لنت ترمز، مقاومت برشی، ویژگی‌های سایشی.

مقدمه

لنت ترمز وسیله‌ای است که انرژی جنبشی را با ایجاد نیروی اصطکاک به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند و گرمای حاصل در محیط اطراف منتشر می‌شود. ترکیبات لنت ترمز باید به گونه‌ای باشد که خصوصیات ویژه‌ای مانند مقاومت به سایش، وزن کم، صدای کم، عمر طولانی، ضریب اصطکاک پایدار، و قیمت مقبول در قبال کارکرد مناسب آن را تأمین کند. برای ایجاد این ویژگی‌ها باید از مواد گوناگونی در ترکیب لنت ترمز استفاده کرد که عبارت اند از: ذرات ساینده، اصلاح کننده اصطکاک، پرکننده، تقویت کننده (رزین)، الاستومر، و روان ساز [۱]. در سال ۱۹۲۰ الیاف آزبست به عنوان ماده اصطکاکی برای ساخت لنت ترمز تمام انواع خودرو انتخاب شد. این ماده آثار زیانباری بر محیط زیست و سلامت بشر دارد. بنابراین، امروزه استفاده از مواد آلی بدون آزبست در ساخت لنت ترمز مرسوم شده است که ترکیبی از چند ماده مختلف پلیمری است. آنچه در تعیین فرمول لنت ترمز اهمیت دارد مناسب بودن ویژگی‌های تریبولوژیک (اصطکاک شناسی) است. به این معنا که ضریب اصطکاک لنت ترمز باید نسبتاً بالا باشد، اما آنچه اهمیت بیشتری دارد ثابت ماندن این ضریب در طی عمل ترمزگیری است. یک لنت ترمز استاندارد باید از تغییرات دما، رطوبت، درجه سایش و فرسایش، و آلودگی و پاشیدن روغن و آب در جاده تأثیر نپذیرد و در طول عمرش عملکرد مناسبی داشته باشد [۲]. نرخ سایش از دیگر ویژگی‌های تریبولوژیک است که هر چه کمتر باشد، مناسب‌تر است [۳]. محققان تاکنون مواد مختلفی را به عنوان جایگزین آزبست استفاده کرده و به نتایج مطلوبی دست یافته‌اند. برای مثال، فلوستر و اشلوزر از چندسازه کتان و پلاستیک برای ساخت لنت ترمز استفاده کردند [۴]. در سال ۲۰۰۰، اریکسون و

جاکوبسون در ساخت لنت ترمز از ترکیبی بدون آزبست و فلز استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از الیاف آرامید و کربن در ترکیب لنت ترمز نشان دادند که مقاومت حرارتی لنت‌ها افزایش می‌یابد و ضریب اصطکاک آن‌ها نیز ثابت می‌ماند [۵]. در سال ۲۰۰۴ بیجوه و ساتاپتی از آرامید، سلولز، و کربن در ترکیب لنت ترمز استفاده کردند و نتایج حاصل را مقبول دانستند [۶]. امکان استفاده از الیاف مختلف فلزی (آلومینیوم، مس، و استیل) نیز بررسی شده و نتایج مطلوبی به دست آمده است [۷]. همچنین می‌توان از برنز به عنوان ماده جایگزین آزبست استفاده کرد [۸] یا می‌توان الیاف شیشه، کولار، آرامید، و پشم سنگ را در ساخت لنت ترمز به کار برد [۹].

ضایعات محصولات کشاورزی به عنوان مواد جدید، ارزان قیمت، در دسترس، و مقبول از نظر زیست محیطی پتانسیل لازم برای استفاده در ترکیب لنت ترمز را دارند. پوسته شالی با داشتن درصد بالایی از سیلیس که موجب بهبود ویژگی‌های سایشی در لنت ترمز می‌شود قابلیت استفاده در لنت ترمز را دارد [۱۰]. باگاس نیز به علت داشتن سیلیس زیاد، ماده جایگزین مناسبی برای الیاف آزبست است [۱۱]. همچنین، کنف به دلیل چسبندگی داخلی زیاد تقویت کننده مناسبی برای چندسازه‌های تریبولیمری است و سایش و ضریب اصطکاک آن‌ها را بهبود می‌بخشد [۱۲]. مواد فلزی مختلفی به عنوان ساینده در ترکیب لنت ترمز استفاده می‌شوند. از فلزاتی که قابلیت استفاده در لنت ترمز به عنوان ساینده را دارد اکسید آلومینیوم است که در این مطالعه در ابعاد میکرون و نانو به کار گرفته شده است. مواد اصطکاکی در ابعاد نانو در طی فرایند سایش در لنت ترمز پراکنده می‌شوند و نتایج مطلوبی را ایجاد می‌کنند [۱۳]. نانو ذرات آلومینیوم می‌توانند مقاومت به سایش را افزایش و ضریب اصطکاک را کاهش بدهند [۱۴].

آلومینیوم)، نمونه‌هایی از ۶ ترکیب مختلف ساخته شدند. از هر فرمول ۱۰ عدد لنت ترمز چرخ‌های جلوی خودروی پژو ۴۰۵ و در مجموع ۶۰ نمونه ساخته شد. علایم مربوط به تیمارها در جدول ۱ نشان داده شده است.

مواد

درصد وزنی مواد به کار رفته در نمونه‌های لنت ترمز ساخته شده، در جدول ۲ آمده است.

در این تحقیق، امکان استفاده از الیاف باگاس، پوسته شالی، و کنف از طریق اندازه‌گیری مقاومت برشی، انبساط حرارتی، و ویژگی‌های سایشی (ضریب اصطکاک و نرخ سایش) بررسی شد. همچنین تأثیر ابعاد اکسید آلومینیوم (در حد میکرومتری و نانومتری) بر این ویژگی‌ها ارزیابی شد.

روش‌شناسی

برای انجام آزمایش‌ها، با در نظر گرفتن دو عامل متغیر (نوع ماده لیگنوسلولزی و اندازه ذرات اکسید

جدول ۱. تیمارهای مورد استفاده در ساخت لنت ترمز و علایم مربوطه

شماره تیمار	علامت تیمار	نوع ماده لیگنوسلولزی	اندازه ذرات اکسید آلومینیوم
۱	P-N	پوسته شالی	۸۰ نانومتر
۲	P-M	پوسته شالی	۸۰ میکرومتر
۳	K-N	کنف	۸۰ نانومتر
۴	K-M	کنف	۸۰ میکرومتر
۵	B-N	باگاس	۸۰ نانومتر
۶	B-M	باگاس	۸۰ میکرومتر

جدول ۲. درصد وزنی ترکیب لنت ترمز

نام ماده	درصد وزنی
رزین	۲۰
پودر مس	۱۰
فلز شماره یک	۳
گرافیت	۷
فلز شماره دو	۲/۵
الیاف استیل	۵
پودر لاستیک	۵
ماده معدنی	۲۷/۵
پرکننده	۲۰

ساخت نمونه‌های لنت ترمز

مواد با درصد وزنی مشخص شده در جدول ۲ در یک دستگاه مخلوط‌کن، مخلوط شدند. پس از آن، مواد برای فرم‌دهی اولیه داخل قالب ریخته شد و به کمک پیش‌پرس فشرده شدند. سپس برای اتصال قسمت

فلزی کفشک به لقمه لنت و فرم‌دهی نهایی از پرس گرم استفاده شد. پس از انجام بازیخت، نمونه‌ها از کوره خارج شدند و مدت کوتاهی در دمای محیط قرار داده شدند تا دمای آن‌ها کاهش بیابد. پس از آن، عملیات ساب‌زنی برای صاف‌شدن سطح نمونه‌ها انجام شد.



شکل ۱. مراحل ساخت نمونه‌های لنت ترمز

دارای ال‌متی است که دما را تا ۴۰۰ درجه سلسیوس بالا می‌برد. با استفاده از این دستگاه، بادکردگی، بو، ترک، و تاول بررسی می‌شود. نمونه پشت کفشک قرار می‌گیرد و افزایش ضخامت بر حسب تغییرات دما ثبت می‌شود. تصویر دستگاه آزمون انبساط حرارتی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. دستگاه آزمون انبساط حرارتی

آزمون سایش و فرسایش

نمونه‌ها پس از ساخت از نظر ظاهری بررسی شدند و سپس لنت‌ها از کفشک‌ها جدا و به ابعاد ۵×۲۴×۲۴ میلی‌متر بریده شدند. آنگاه به وسیله دستگاه آماده‌سازی نمونه‌های آزمون، قوسی بر روی نمونه‌ها ایجاد شد تا تماس بهینه بین نمونه و دیسک ایجاد

انجام آزمون‌ها

آزمون مقاومت برشی

آزمون مقاومت برشی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۹۵ معادل ISO-6312 انجام شد. تصویر دستگاه آزمون مقاومت برشی در شکل ۲ نشان داده شده است. این دستگاه وزنی معادل ۵ تن دارد و با ایجاد فشار ۱۰۰ kgf/cm² موجب جداشدن لقمه لنت از کفشک آن یا گسیختگی داخلی لقمه لنت ترمز می‌شود. نیروی برشی ایجادشده به کمک یک نیروسنج اندازه‌گیری می‌شود.

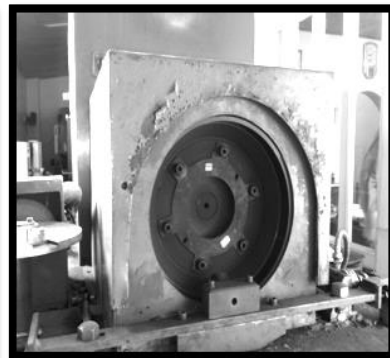


شکل ۲. دستگاه آزمون مقاومت برشی

آزمون انبساط حرارتی

آزمون انبساط حرارتی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۰۱ معادل ISO-3101 انجام شد. دستگاه

جنس چدن خاکستری با زمینه پرلیتی و با سختی سطحی HB ۱۷۹-۲۹۹ است. دستگاه دارای وزنه‌ای به وزن ۴۳/۵۵ کیلوگرم است که فشاری معادل 7 kgf/cm^2 را با سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه برای شبیه‌سازی عملیات ترمزگیری بر روی نمونه اعمال می‌کند.



شود. آزمون سایش و فرسایش مطابق با استاندارد شماره ۵۸۶ مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران انجام شد. دستگاه ویژه این آزمون از نوع دور ثابت است و ضریب اصطکاک و میزان سایش را در درجه حرارت‌های مختلف و تحت بار یا گشتاور ثابتی که بر روی لنت ترمز اعمال می‌شود اندازه‌گیری می‌کند (شکل ۴). دیسک مورد استفاده در این دستگاه از

شکل ۴. دستگاه آزمون سایش و فرسایش و سیستم ثبت اطلاعات آن

مرحله از آزمون به این بستگی دارد که چه موقع دمای دیسک به 350°C درجه سلسیوس برسد. طی اجرای این مرحله نیز تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به تغییرات دما توسط سیستم ثبت شد. پس از آن عمل ترمزگیری متوقف شد.

مرحله سوم: آزمون مکمل

پس از اتمام آزمون حرارتی، دستگاه حرارتی کمکی خاموش شد و دستگاه خنک‌کننده کمکی تا رسیدن دمای دیسک به $150 \pm 10^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس روشن شد و آزمون مشابه مرحله اول تکرار و تغییرات ضریب اصطکاک ثبت شد.

مرحله چهارم: آزمون مرطوب

در این مرحله، نمونه‌ها مرطوب و آزمون مرحله اول مجدداً تکرار شد.

پس از انجام این آزمون بر روی هر نمونه، مجدداً آن‌ها با دقت $0/01$ گرم وزن شد و نرخ سایش ویژه

مراحل انجام آزمایش با دستگاه آزمون سایش و فرسایش به شرح زیر است:

مرحله اول: آزمون معمولی

پس از آنکه بین سطح نمونه مورد آزمون و سطح دیسک تماس مناسب حاصل شد، نمونه از کاسه دستگاه آزمون خارج و با دقت $0/01$ گرم توزین شد و مجدداً در جایگاه خود قرار گرفت. در این مرحله عمل ترمزگیری ۲۰ مرتبه و در هر بار به مدت ۱۰ ثانیه انجام شد و تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به تغییرات دما در سیستم اندازه‌گیری دستگاه ثبت شد.

مرحله دوم: آزمون حرارتی

در این مرحله از آزمون، دستگاه خنک‌کننده خاموش و دستگاه حرارتی کمکی روشن شد. عمل ترمزگیری یک مرتبه به صورت پیوسته و حداکثر به مدت ۱۰ دقیقه ادامه یافت تا دمای سطح دیسک از 150°C درجه به 350°C درجه سلسیوس برسد. مدت زمان انجام این

(S_w) از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{m_1 - m_2}{2\pi r \times N \times F_m}$$

که در رابطه (۱):

S_w نرخ سایش ویژه ($g/N.m$)، m_1 وزن اولیه نمونه (g)، m_2 وزن ثانویه نمونه (g)، r شعاع دیسک (m)، N دور بر دقیقه دیسک در طول یک آزمون کامل (rpm)، و F_m میانگین نیروی سایشی (N) است.

بررسی سطوح لنت ترمز ساییده شده توسط

میکروسکوپ الکترونی

برای مطالعه بهتر سطح ساییده شده در لنت ترمز از میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. بدین سبب، ابتدا سطح نمونه‌ها با روکش طلا پوشانده و در دستگاه خلأ قرار داده شد و پس از اعمال خلأ، تصاویر میکروسکوپی از آن تهیه شد.

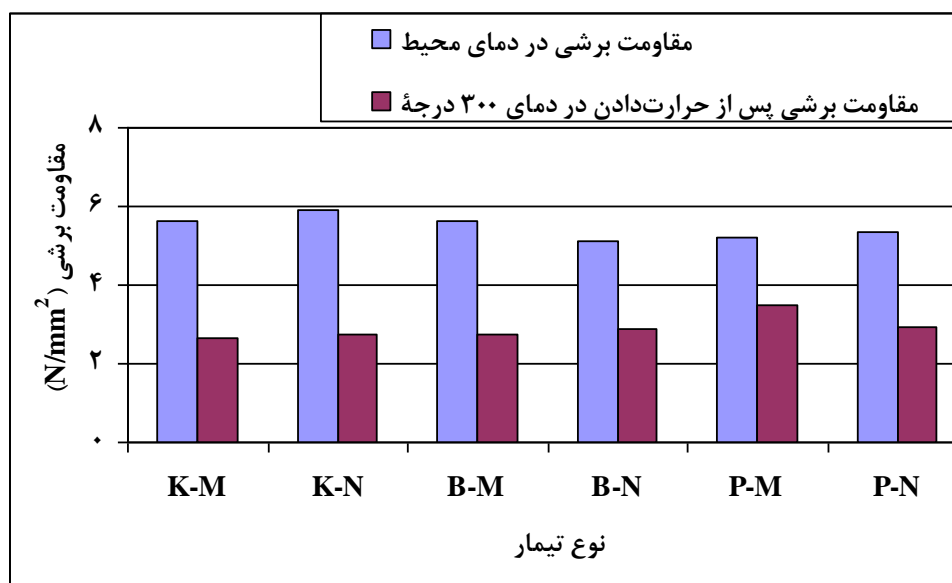
نتایج

نتایج آزمون مقاومت برشی

مقاومت برشی در دو حالت دمای محیط و پس از

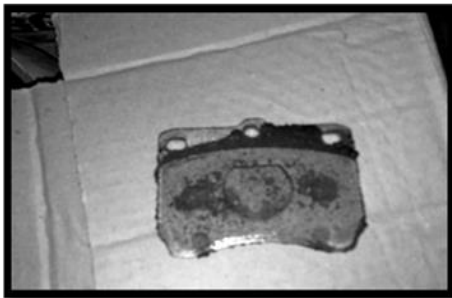
حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. بررسی اثر نوع ماده لیگنوسولوزی نشان داد که بیشترین مقاومت برشی در دمای محیط و دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب در صورت استفاده از کف و پوسته شالی به دست می‌آید (شکل ۵).

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۹۵، مقاومت برشی برای لنت ترمز دیسکی، باید حداقل ۲/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع باشد و همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از آزمون مقاومت برشی برای کلیه نمونه‌های ساخته شده از الیاف لیگنوسولوزی با این استاندارد مطابقت دارد. چنانکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، دما بر مقاومت برشی لنت ترمز تأثیر منفی می‌گذارد و موجب کاهش آن می‌شود. بیشترین مقاومت برشی در دمای محیط، مربوط به تیمار K-N و کمترین مقاومت برشی مربوط به تیمار B-N است. در حالتی که لنت‌ها در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شوند، بیشترین مقاومت برشی مربوط به تیمار P-M و کمترین آن مربوط به تیمار K-M است.



شکل ۵. مقایسه مقاومت برشی نمونه‌ها

مقاومت برشی پس از حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، برای نمونه‌های ساخته شده از کنف کمترین مقدار و برای لنت‌های ساخته شده از پوسته شالی بیشترین مقدار را نشان می‌دهد، زیرا ویژگی‌های مکانیکی پوسته شالی در دمای بالا با ایجاد یک لایه سرامیکی بهبود می‌یابد [۱۸]. نانوذرات اکسید آلومینیوم موجب افزایش چسبندگی داخلی چندسازه می‌شود [۱۹]. در نتیجه، بر اثر اعمال نیروی برشی مقاومت داخلی لنت ترمز بیشتر از مقاومت چسبندگی بین لنت ترمز و کفشک آن است و این امر موجب می‌شود که کفشک از لقمه لنت جدا شود. به این معنا که به علت مقاومت داخلی بالا، برش در قسمت ضعیف‌تر که بخش اتصال لقمه به کفشک است اتفاق افتاده است (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۷. جدا شدن لنت ترمز از محل اتصال کفشک و لقمه لنت بر اثر آزمون مقاومت برشی

مقاومت برشی لنت‌های ساخته شده از کنف در دمای محیط از سایر تیمارها بیشتر است. دلایل این پدیده عبارت‌اند از:

۱. استحکام زیاد و انعطاف پذیری بالای الیاف کنف [۱۵].

۲. بالابودن درصد سلولز کنف (۶۰-۶۵ درصد)

در مقایسه با درصد سلولز پوسته شالی (۴۹-۵۴ درصد) و باگاس (۴۰-۵۲ درصد) [۱۶].

۳. بالاتر بودن دانسیته کنف از باگاس [۱۶].

۴. بالاتر بودن طول الیاف کنف (۲/۶ میلی‌متر) در مقایسه با باگاس (۱/۴ میلی‌متر) و پوسته شالی (۱/۷ میلی‌متر) [۱۴، ۱۵].

علت کاهش مقاومت برشی لنت‌های ساخته شده از کنف پس از حرارت دهی، تجزیه همی سلولز و α -سلولز در دمای ۲۹۵/۲۸ درجه سلسیوس است [۱۷].



شکل ۶. گسیختگی داخلی لنت ترمز بر اثر آزمون مقاومت برشی

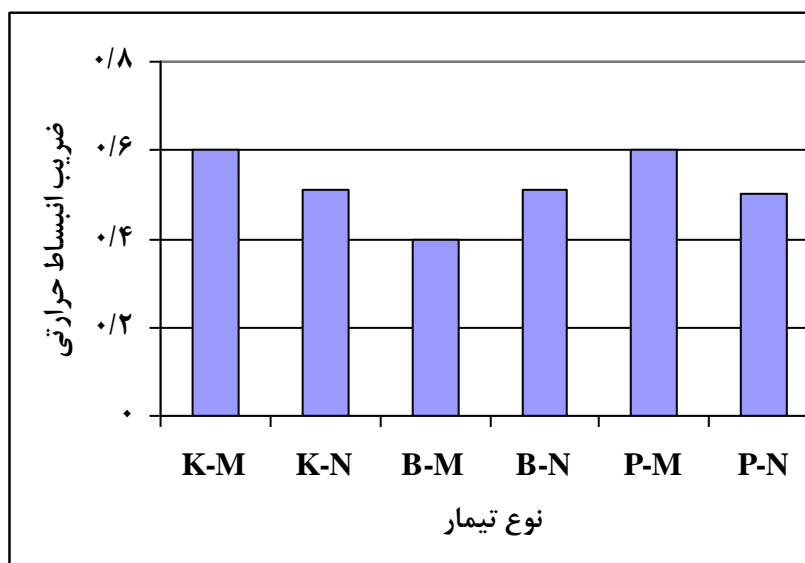
دلایل مناسب بودن رفتار لنت‌های ساخته شده از الیاف لیگنوسلولزی در دماهای بالا عبارت‌اند از:

- ایجاد لایه سرامیکی در سطح الیاف پوسته شالی در دماهای بالا [۱۸].
- تبدیل شدن لیگنین موجود در کنف به زغال در دماهای بالا [۱۵].
- اکسیداسیون و تبدیل شدن لیگنین باگاس به زغال در دماهای بالا [۲۰].

نتایج آزمون انبساط حرارتی

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار انبساط حرارتی مربوط به نمونه‌های ساخته شده از الیاف باگاس و میکرو آلومینا و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های ساخته شده از پوسته شالی و میکرو آلومینا است.

شکل ظاهری لنت‌های ساخته شده از کلیه تیمارها پس از آزمون حرارتی با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۰۱ مطابقت دارد.



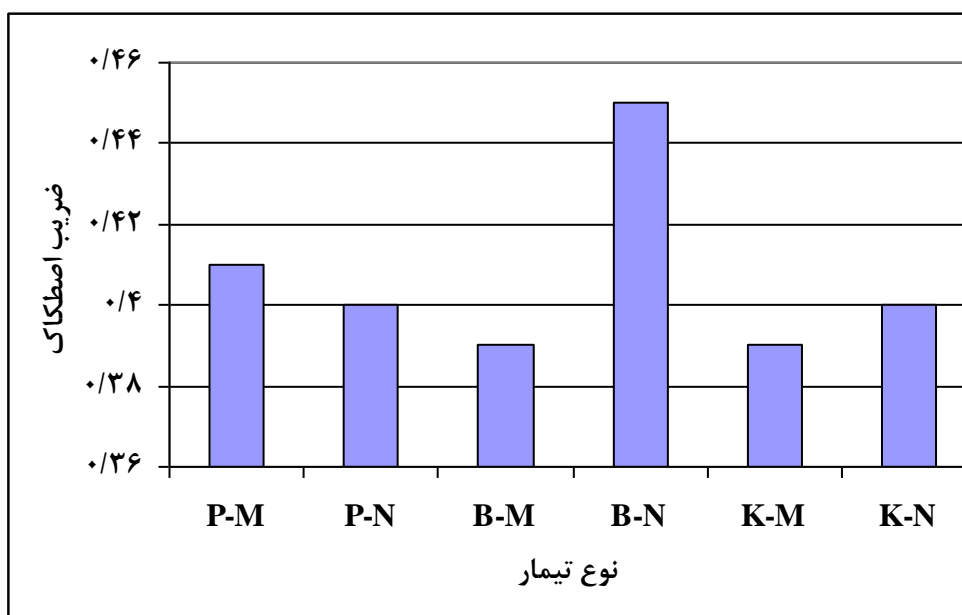
شکل ۸. مقایسه ضریب انبساط حرارتی نمونه‌ها

ساخته‌شده از الیاف لیگنوسلولزی با این استاندارد مطابقت دارد. مطابق شکل ۹ بیشترین ضریب اصطکاک در نمونه‌های ساخته‌شده از الیاف باگاس - نانو آلومینا (B-N) و کمترین ضریب اصطکاک در لنت‌های ساخته‌شده از الیاف باگاس - میکرو آلومینا (B-M) مشاهده می‌شود.

نتایج آزمون سایش و فرسایش

ضریب اصطکاک

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۶، ضریب اصطکاک لنت ترمز دیسکی در آزمون سایش و فرسایش باید در حدود ۰/۲ تا ۰/۴ باشد که نتایج حاصل از آزمون سایش و فرسایش کلیه نمونه‌های



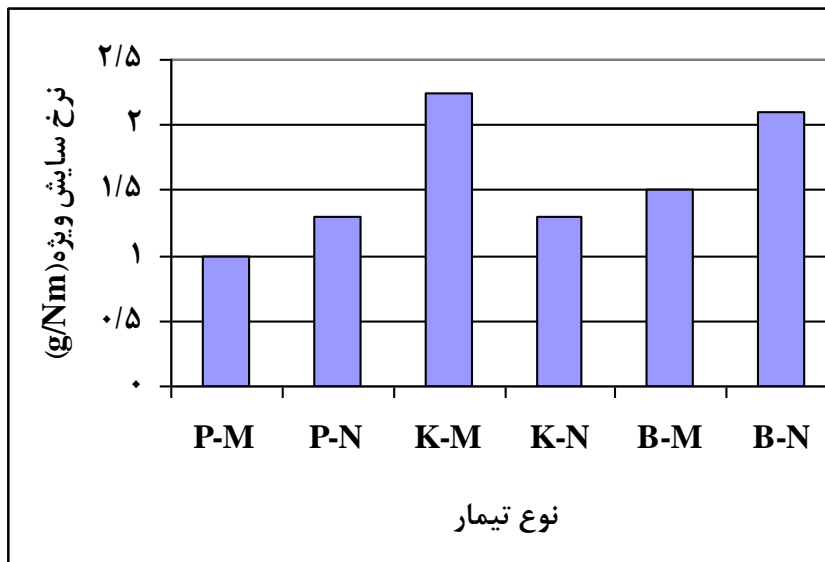
شکل ۹. مقایسه ضریب اصطکاک نمونه‌ها

مقایسه تغییرات ضریب اصطکاک لنت‌های ساخته‌شده از مواد لیگنوسلولزی و لنت‌های تجاری موجود در بازار

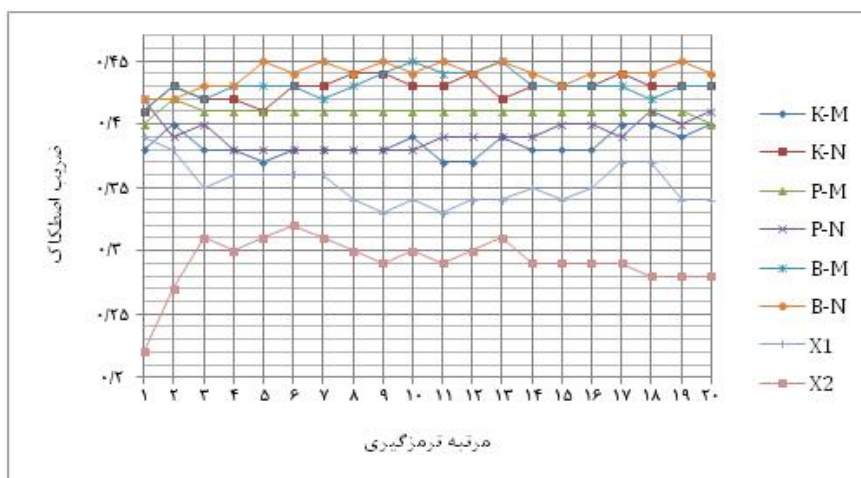
برای درک بهتر تفاوت میان ضریب اصطکاک لنت ترمزهای ساخته‌شده با لنت‌های تجاری موجود در بازار، نمودارهای تغییرات ضرایب اصطکاک دو نمونه لنت تجاری (X1 و X2) با نمونه‌های ساخته‌شده از مواد لیگنوسلولزی مقایسه شدند.

نرخ سایش ویژه (S_w)

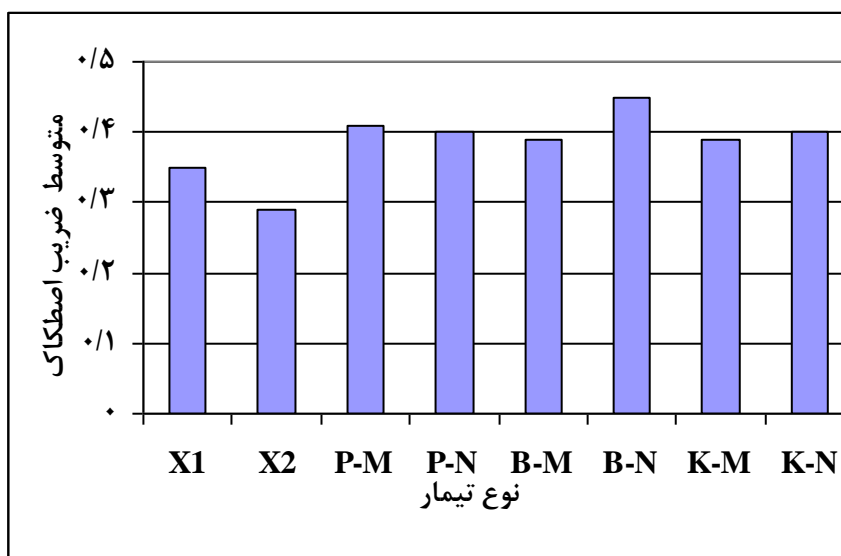
طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۶، حداکثر نرخ سایش لنت ترمز دیسکی در آزمون سایش و فرسایش باید ۲/۲ گرم بر نیوتن - متر باشد که نتایج حاصل از آزمون سایش و فرسایش کلیه نمونه‌های ساخته‌شده از الیاف لیگنوسلولزی با این استاندارد مطابقت دارد. مطابق شکل ۱۰ کمترین نرخ سایش ویژه در نمونه‌های ساخته‌شده با پوسته شالی - میکرو آلومینا (P-) و بیشترین نرخ سایش در لنت‌های ساخته‌شده با الیاف کنف - میکرو آلومینا (K-M) مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰. مقایسه نرخ سایش ویژه نمونه‌ها



شکل ۱۱. تغییرات ضریب اصطکاک نمونه‌های ساخته‌شده از مواد لیگنوسلولزی و لنت‌های تجاری



شکل ۱۲. مقایسه متوسط ضریب اصطکاک لنت ترمزهای ساخته شده با لنت ترمزهای تجاری

جدول ۳. درصد سیلیس و لیگنین در ترکیب مواد لیگنوسلولزی [۱۰، ۱۶]

نوع ماده	درصد سیلیس (SiO ₂)	درصد لیگنین
پوسته شالی	۳ تا ۷ درصد	۱۶ تا ۲۱ درصد
باگاس	۰/۷ تا ۳ درصد	۲۷ تا ۳۲ درصد
کنف	۱/۵ تا ۲/۵ درصد	۱۵ تا ۱۹ درصد

الف) وجود سیلیس (SiO₂) و لیگنین در ترکیب شیمیایی این مواد که موجب بهبود ویژگی‌های سایشی می‌شود. درصد سیلیس و لیگنین در ترکیب شیمیایی پوسته شالی، الیاف کنف، و باگاس در جدول ۳ آمده است [۱۰، ۱۶].

ب) ایجاد لایه سایشی در طی سایش و فرسایش. این لایه بر اثر ذوب فلزات و ترکیب شدن آنها با سایر مواد بر اثر اصطکاک و دمای بالا ایجاد می‌شود. هرچه الیاف سبک‌تر باشند احتمال تشکیل نوار سایشی بیشتر می‌شود و ضریب اصطکاک بالاتر می‌رود [۲۱]. تصویر SEM^۱ لایه سایشی ایجاد شده در لنت‌های ساخته شده با مواد لیگنوسلولزی را می‌توان در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ دید.

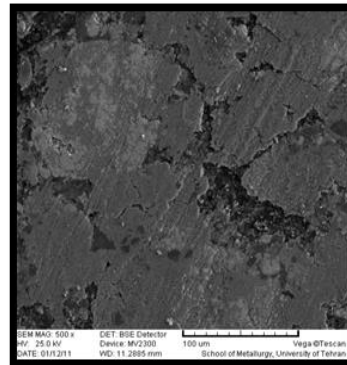
همان‌طور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشهود است، تغییرات متوسط ضریب اصطکاک در لنت‌های تجاری موجود در بازار بین ۰/۲۲ تا ۰/۳۵ است، اما در لنت‌های ساخته شده از الیاف لیگنوسلولزی ضمن اینکه نوسانات کمتری در مقدار ضریب اصطکاک این لنت‌ها مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک در حدود ۰/۳۷-۰/۴۵ است. با این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که لنت‌های ساخته شده از مواد لیگنوسلولزی ویژگی‌های مناسب‌تری در قیاس با لنت‌های تجاری موجود در بازار دارند.

برای پایداری و کم‌بودن نوسانات ضریب اصطکاک و همچنین نرخ سایش مناسب در نمونه‌های ساخته شده با مواد لیگنوسلولزی، دو علت اصلی می‌توان برشمرد:

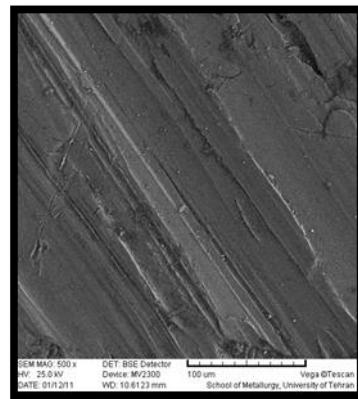
1. Scanning Electron Microscope (SEM)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد که کلیه ویژگی‌های بررسی شده برای تمام لنت‌های ساخته‌شده از مواد لیگنوسلولزی در حدود مجاز از لحاظ استاندارد است. بهترین مقاومت برشی در دمای محیط، مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده از کنف و نانو آلومینا و بیشترین مقاومت برشی پس از حرارت‌دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، مربوط به لنت‌های ترمز ساخته‌شده از پوسته شالی و میکرو آلومینا بود. کمترین انبساط حرارتی در نمونه‌های ساخته‌شده از پوسته شالی و نانو آلومینا و بیشترین ضریب اصطکاک در لنت‌های ساخته‌شده از باگاس و نانو آلومینا مشاهده شد و کمترین نرخ سایش مربوط به لنت ترمزهای ساخته‌شده از پوسته شالی و نانو آلومینا بود. بنابراین، با توجه به ضعف آشکاری که نمونه‌های صنعتی در مقایسه با نمونه‌های مورد مطالعه داشتند و همچنین به دلیل اینکه تمام لنت‌های ساخته‌شده از مواد لیگنوسلولزی ویژگی‌های مقبول استاندارد را داشتند و با در نظر گرفتن دسترس‌پذیری آسان و قیمت مناسب مواد لیگنوسلولزی می‌توان نتیجه گرفت که لنت ترمز ساخته‌شده با مواد لیگنوسلولزی دارای ویژگی‌های مطلوبی است و افزودن نانو آلومینا به آن موجب بهبود برخی از ویژگی‌های لنت ترمز می‌شود.



شکل ۱۳. تصویر SEM با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر لایه سایشی ایجادشده در سطح لنت ساخته‌شده با مواد لیگنوسلولزی



شکل ۱۴. جهت سایش در سطح لنت ترمز

دلیل اینکه نمونه‌های ساخته‌شده با باگاس ضریب اصطکاک بالاتری از پوسته شالی و کنف دارند بالاتر بودن درصد لیگنین باگاس در مقایسه با کنف و پوسته شالی است که موجب بهبود ویژگی‌های تریبولوژیک می‌شود [۱۰]. در ضمن، ساختار ویژه لیگنین باگاس به علت وجود گروه‌های آزاد، پیوندهای دوگانه کربن - کربن محکمی تشکیل می‌دهد و به لیگنین کندانسه تبدیل می‌شود که ساختار محکم و پایداری دارد [۲۰].

References

- [1]. Blau, P. (2001). Composition, functions and testing of friction brake materials and their additives. *Journal of Oak Ridge National Laboratory*, 64: 1-23.
- [2]. Filip, P., Weiss, Z., and Rafaja, D. (2002). On friction layer formation in polymer matrix composite materials for brake applications. *Journal of Wear*, 252: 189-198.
- [3]. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. Number of 586, 3101, 2795.
- [4]. Schollosser, T., and Folster, T. (1995). Automobile construction and ecology. *Journal of Kunststoffe plast Europe*, 85 (3): 1-10.
- [5]. Eriksson, M., and Jacobson, S. (2000). Tribological surfaces of organic brake pads. *Journal of Tribology international*, 33: 817-827.
- [6]. Satapaty, B. K., and Bijwe, J. (2004). Performance of friction material of organic fibers. *Journal of WEAR*, 257: 573-584.
- [7]. Juang, K. K., Kim, S. J., Basch, R. H., and Fash, J. W. (2004). The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials. *Journal of Wear*, 256 (4):406-414.
- [8]. Boz, M., Kurt, A., and Maruo, K. (2007). The effect of AL_2O_3 on the friction performance of automotive brake friction materials. *Journal of Tribology International*, 40(7): 1161-1169.
- [9]. Alma, M. H., and Basturk, M. A. (2005). Preparation and characterization of brake lining from modified tannin – phenol formaldehyde resin and asbestos free fillers. *Journal of Material Science*, 40(11): 3003-3005.
- [10]. Mutlu, I. (2009). Investigation of tribological properties of brake pad by using rice straw and rice husk dust. *Journal of Applied Science*, 9 (2): 377-381.
- [11]. Aigbodion, V. S., Hassan, S. B., Nyior, G. B., and Ause, T. (2010). Effect of bagasse ash reinforcement on wear behaviour of Al-Cu-Mg/bagasse ash particulate composites. *Journal of Acta Metallurgica Sinica*, 23 (1):12-18.
- [12]. Chin, C. W., and Yousif. B. F. (2008). Adhesive and friction behaviour of polymeric composites based on kenaf fiber. *Journal of International Conference on Advanced Tribology*. Singapore.
- [13]. Roubichek, V., Raclavska, H., Juchelkova, D., and Filip, P. (2008). Wear and environmental aspects of composite materials for automotive braking industry. *Journal of Wear*, 265 (2):167-175.
- [14]. Bhimaraj, P., Briss, D. L., Action, J., Sawyer, W. J., Tony, C. G., Siegel, R. W., and Schadler, L. S. (2005). Effect of matrix morphology on the wear and friction behavior of alumina nanoparticle/poly (ethylene) terephthalate composites. *Journal of Wear*, 258 (9):1437-1443.
- [15]. Rowell, R. M., and Stout, H. P. (1998). Jute and kenaf .In: *Hand book of Fiber chemistry*: 466-504.
- [16]. Hamsi, A. H., and Pirooz, M. M. (2006). Investigation of chemical and anatomical properties of Kolza. *Journal of Agricultural Science*, 3: 647-657.
- [17]. Saw, S. K., and Datta, C. (2009). Thermomechanical properties of Jute/Bagasse hybrid fibre reinforced epoxy thermoset composites. *Journal of Bioresources*, 4(4): 1455-1476.
- [18]. Bharadwaj, A., Wang, Y., Sridhar, S., and Arunachalam, V. S. (2004). Pyrolysis of rice husk. *Journal of Current Science*, 87: 981-985.
- [19]. Shi. G., Zhang, M. Q., and Rong, M. Z. (2004). Sliding behaviour of epoxy containing pretreatments. *Wear*, 256: 1072-1081.
- [20]. Jing, X. S., Xaio, F. S., Sun, R. S., Fowler, P and Barid, M. S. (2003). Inhomogeneities in chemical structure of sugar cane bagasse lignin .*Agricultural and Food Chemistry*, 51: 6719-6725.
- [21]. Bagheri. S. (2003). Investigation of behavior of five various fibers in the composition of brake lining. M. S. thesis. University of Science and Industry. 85 pp.