

## خواص دی الکتریک خمیر کاغذهای سودا و کرافت آغشته به روغن

کزال مرادیان گیلان<sup>۱</sup>، محمد آزادفلاح<sup>۲\*</sup>، امیر عباس شایگانی اکمل<sup>۳</sup> و علی عبدالخانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: adfallah@ut.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۰

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های دی الکتریک خمیر کاغذهای رنگبری نشده سودای باگاس و کرافت الیاف بلند و مخلوطی از این دو خمیر کاغذ انجام شد. برای این منظور بعد از تنظیم درجه روانی خمیر کاغذها در دو سطح  $40.0 \pm 20.0 \text{ ml}$  و  $20.0 \pm 25.0 \text{ ml}$ ، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه  $60 \text{ g/m}^2$  ساخته و تا رسیدن به رطوبت حدود صفر خشک شدند. فرایند آغشته‌سازی با روغن معدنی تحت خلأ و در دمای معین انجام شد. سپس خواص دی الکتریک کاغذهای آغشته به روغن شامل ظرفیت، مقاومت عایق، ثابت دی الکتریک و تانژانت تلفات اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که پالایش اثر افزایشی بر خواص دی الکتریک به خصوص ظرفیت دارد. از طرفی آغشته‌سازی با روغن معدنی هم سبب افزایش خواص دی الکتریک کاغذها گردید. طبق نتایج اولیه به دست آمده خمیر کاغذهای باگاس و همین‌طور مخلوط آن با خمیر کاغذ کرافت (کرافت ۲۰٪ و سودای باگاس ۸۰٪) را مشروط بر گذراندن موفقیت‌آمیز آزمون‌های پیری می‌توان به‌عنوان جایگزین مناسبی برای خمیر کاغذ کرافت جهت ساخت کاغذ دی الکتریک به کار برد.

واژه‌های کلیدی: خواص دی الکتریک، باگاس، کرافت، روغن معدنی، درجه روانی.

### مقدمه

در حال حاضر دامنه وسیعی از کاربردها برای کاغذهای با ویژگی‌های الکتریکی خاص، مثل عایق اولیه در ترانسفورماتورها، کلیدهای اتصال، بوش‌ها، کابل‌های برق، سیم‌های رادیو و مدارات مجتمع درون وسایل الکترونیکی وجود دارد (Simula, 2001). کاربرد این کاغذها به خصوص در ترانسفورماتورها بسیار زیاد است و عایق اصلی به کار رفته در آنها بشمار می‌روند. در این کاربردها، ثابت دی-

الکتریک زیاد، تلفات دی الکتریک کم و مقاومت شکست زیاد، از جمله نیازمندیهای اصلی مواد عایق هستند. این نیازمندی‌ها می‌تواند با استفاده از خمیر کاغذهایی با میزان پالایش شدید و از طریق آغشته‌سازی مناسب با روغن برآورد گردد. با اینکه سلولز به طور استثنایی دارای ثبات دی الکتریک<sup>۱</sup> زیادی است، کاغذ و مقوا خود به تنهایی دی الکتریک‌های خوبی نیستند (Heathcote, 2007).

1-Dielectric constant

الکتریکی کاغذ مرکب‌زدایی نشده به خواص الکتریکی خمیر کاغذهای بکر گران‌تر، نزدیک هستند. در این تحقیق خواص دی‌الکتریک خمیر کاغذ سودای باگاس به دلیل دارا بودن قابلیت زیاد برای استفاده در صنایع کاغذسازی و همچنین کم هزینه بودن و در دسترس بودن آن در کشور بررسی شده و با خواص خمیر کاغذ کرافت الیاف بلند و همین طور اختلاط این دو نوع خمیر کاغذ مورد مقایسه قرار گرفته است.

### مواد و روشها

در این بررسی خمیر کاغذ کرافت الیاف بلند وارداتی از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه گردید. خمیر کاغذ رنگبری نشده سودای باگاس نیز از کارخانه پارس تهیه و به آزمایشگاه انتقال یافت. روغن معدنی مورد نیاز برای آغشته‌سازی نیز از کارخانه ایران ترانسفو ری تهیه گردید. این خمیر کاغذها طبق دستورالعمل T248 sp-08 استاندارد TAPPI به وسیله دستگاه پالایشگر PFI تا دو سطح درجه روانی  $200 \pm 25$  ml و  $400 \pm 25$  ml پالایش شدند. سپس کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه  $60 \text{ g/m}^2$  مطابق ۹۵- sp T205 استاندارد TAPPI از خمیر کاغذهای رنگبری نشده سودای باگاس (BS)، خمیر کاغذ کرافت الیاف بلند (LK) و ترکیبی از این دو خمیر کاغذ با نسبت اختلاط ۸۰٪ الیاف باگاس و ۲۰٪ الیاف بلند (20%LK+80%BS) ساخته شدند. پس از خشک کردن کاغذهای دست‌ساز تا رطوبت حدود صفر و همین طور خشک کردن و گاززدایی از روغن معدنی، با اعمال خلأ و گرم کردن هم‌زمان، روغن معدنی به سیستم حاوی کاغذهای خشک شده تزریق گردید. پس از آغشته‌سازی، نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای  $90^\circ\text{C}$  تحت خلأ قرار داده شدند تا روغن کاملاً به درون حفرات کاغذ

دی‌الکتریک کاغذ خیلی کم است و این به علت درصد بالای حفرات هوا و منافذ درون کاغذ است. هوا ثابت دی‌الکتریک نسبتاً کمی دارد، بنابراین به منظور بهبود خواص عایقی، سلولز و کاغذ، به وسیله ترکیبات مایع مناسب آغشته می‌شوند که این مواد منافذ و حفرات را پر کرده و ماده‌ای دی‌الکتریک با خواص مورد نظر را به وجود می‌آورند (Torgovnikov, 1385). این مواد آغشته‌سازی دارای ثابت دی‌الکتریک بزرگتری نسبت به هوا (ظرفیت القایی ویژه بزرگتر از هوا) هستند. از طرفی کاربرد عایق‌های کاغذی در ترانسفورماتورها مستلزم مقاومت مکانیکی زیاد است، به همین منظور از خمیر کاغذهای کرافت الیاف بلند برای ساخت آنها استفاده می‌شود. چوب سوزنی‌برگان به دلیل دارا بودن طول الیاف بلندتر می‌تواند مقاومت مکانیکی زیادی را ایجاد کند و برای عایق الکتریکی مناسب‌ترین ماده‌ی اولیه است (Heathcote, 2007).

با این حال اخیراً به دلیل کمبود مواد اولیه سعی در جایگزینی منابع لیفی دیگری برای ساخت این نوع کاغذها شده است. Mobarak و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی ویژگی‌های الکتریکی کاغذهای حاصل از پسماندهای کشاورزی (ساقه‌پنبه) پرداختند. آنها نمونه‌های کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای سودای ساقه‌پنبه را با کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ کرافت سوزنی‌برگ مقایسه کردند و دریافتند که ویژگی‌های الکتریکی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ ساقه‌پنبه به ویژگی‌های الکتریکی کاغذ کرافت سوزنی‌برگ نزدیک است. Fahmy و همکاران (۲۰۰۸) نیز کاغذ روزنامه کهنه بازیابی شده ولی مرکب‌زدایی نشده را به عنوان یک منبع جدید کاغذ با اهداف الکتریکی معرفی کردند. آنها بیان کردند با آغشته‌سازی این نوع کاغذها با روغن بزرک خواص الکتریکی بهبود می‌یابد و خواص

ظرفیت یک خازن، نسبت بین باری که بر روی یکی از هادی‌ها (جوشن‌ها) قرار گرفته است  $Q$  به اختلاف پتانسیل آن دو هادی  $U$  تعریف می‌شود:

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{فرمول ۱}$$

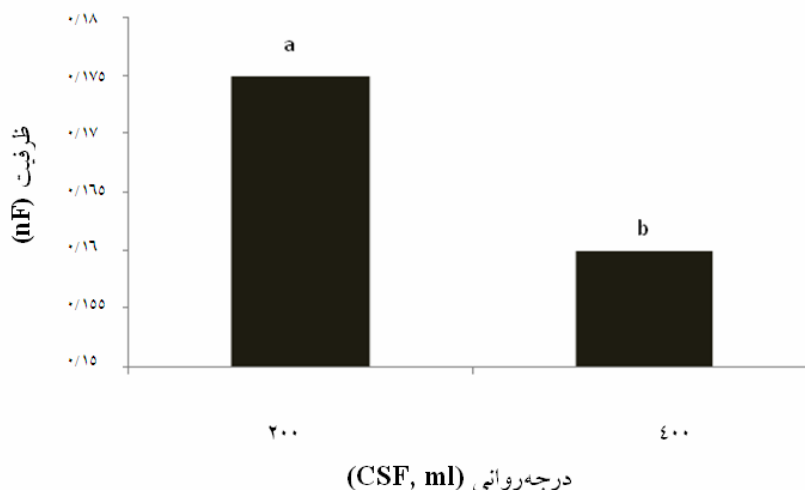
بُعد واحد ظرفیت، کولن بر ولت ( $C/V$ ) است. از طرف دیگر، بُعد واحد اختلاف پتانسیل یا ولتاژ، نیوتن متر بر کولن ( $Nm/C$ ) می‌باشد، بنابراین بُعد واحد ظرفیت  $C^2/Nm$  خواهد بود. در صورتی که بار الکتریکی را به کولن ( $C$ ) و اختلاف سطح را به ولت ( $V$ ) بسنجیم، واحد ظرفیت را فاراد گفته و با  $F$  نشان می‌دهند. یک نارسانای الکتریکی یا عایق معمولاً از طریق تأثیر بر میزان اختلاف پتانسیل  $U$ ، بر ظرفیت خازن اثر می‌گذارد و به همین دلیل ظرفیت خازن به عنوان معیاری از عملکرد عایق‌های سلولزی ساخته شده اندازه‌گیری شده است.

نفوذ کند. در پایان نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در درون آن در دمای  $70^\circ C$  قرار داده شدند تا فرایند آغشته‌سازی به خوبی تکمیل شود.

پس از تکمیل فرایند آغشته‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمون‌های دی‌الکتریک درون ظرفهایی پر از روغن قرار داده شدند و درب آنها محکم بسته شد. ظرفیت و تانژانت تلفات نمونه‌ها با کمک دستگاه SOKEN در دمای  $20^\circ C$  و ولتاژ  $370$  ولت اندازه‌گیری شدند. آزمون مقاومت عایقی هم در همان دما با کمک دستگاه مِگِر در ولتاژ  $2500$  ولت انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج خصوصیات دی‌الکتریک و مقاومتی توسط آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون آماری دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

## نتایج

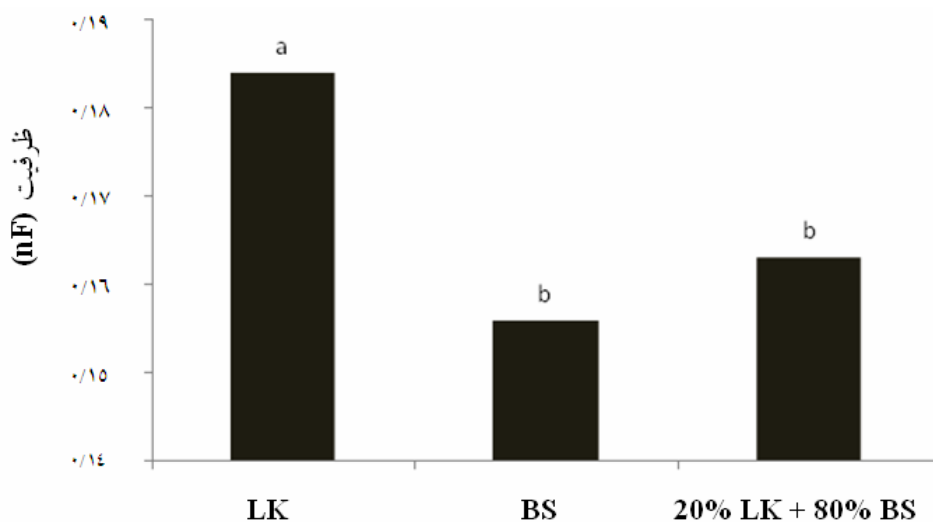
**ظرفیت:** خازن یک عنصر الکتریکی شامل دو هادی است که به وسیله یک عایق از یکدیگر جدا شده باشد.



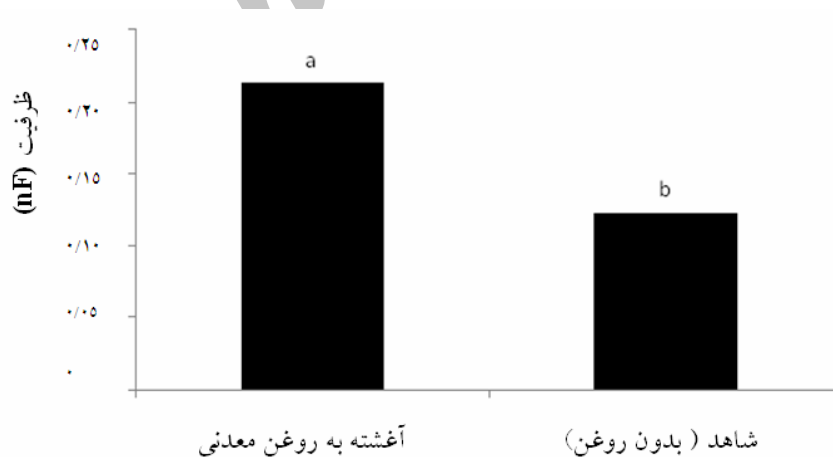
شکل ۱- اثر مستقل سطح پالایش بر ظرفیت

شکل ۲ نمودار مقایسه میانگین اثر نوع خمیر کاغذها را بر ظرفیت نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیشترین میزان ظرفیت مربوط به خمیر کاغذ کرافت الیاف بلند است. از طرفی خمیر کاغذ باگاس و ترکیب ۲۰٪ کرافت الیاف بلند با ۸۰٪ خمیر کاغذ سودای باگاس در یک گروه قرار می‌گیرند.

در شکل ۱ مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر پالایش بر ظرفیت، ارائه شده است. همان طور که در شکل مشخص است با افزایش سطح پالایش و کاهش درجه روانی ظرفیت به میزان ۹/۳۸ درصد افزایش یافته است.



شکل ۲- اثر مستقل نوع ترکیب خمیر کاغذ بر ظرفیت

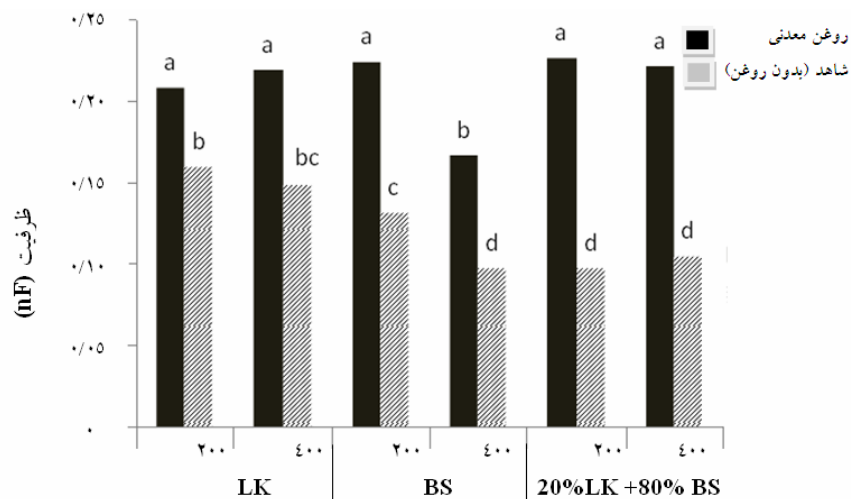


شکل ۳- اثر مستقل آغشتگی با روغن بر ظرفیت

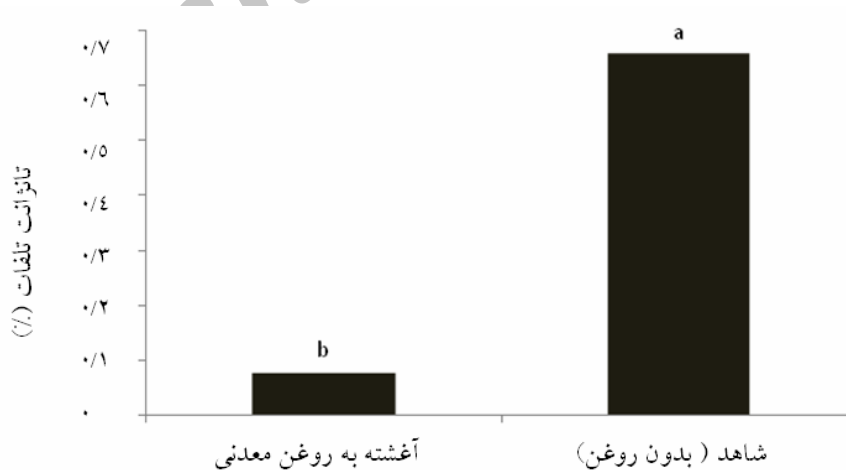
میانگین‌ها در ۴ گروه قرار دارند که بیشترین مقدار مربوط به کاغذهای آغشته به روغن معدنی است. در واقع نمودار نشان می‌دهد با آغشته‌سازی کاغذها با روغن، میزان ظرفیت افزایش می‌یابد.

شکل ۳ مقایسه میانگین‌ها را برای اثر روغن بر ظرفیت نشان می‌دهد. با آغشته‌سازی کاغذها میزان ظرفیت به میزان ۷۲/۳۵ درصد افزایش می‌یابد.

در شکل ۴ هم اثرات متقابل سطح پالایش نوع خمیر کاغذ و روغن بر ظرفیت آمده است. طبق گروه‌بندی،



شکل ۴- اثرات متقابل سطح پالایش، نوع خمیر کاغذ و روغن بر ظرفیت

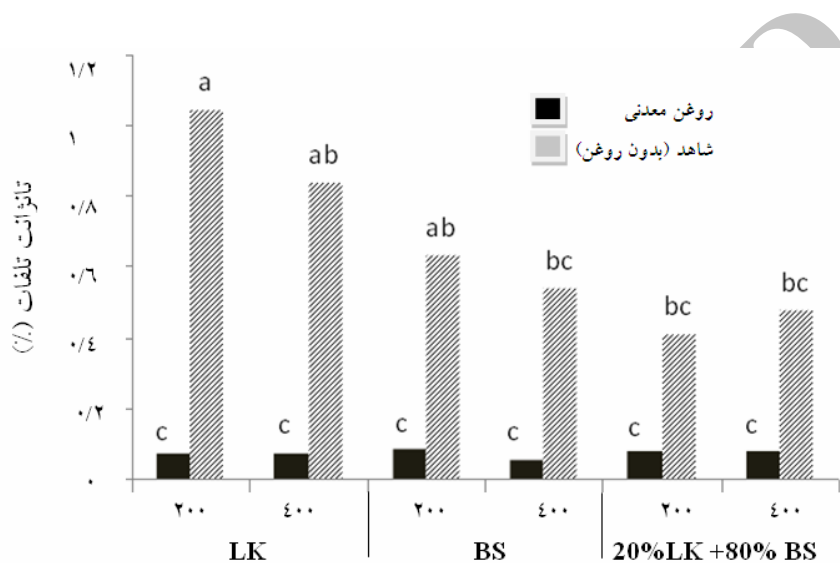


شکل ۵- اثر مستقل آغشته‌گی با روغن بر تانژانت تلفات

## تانژانت تلفات

نسبت جریان اهمی (IR) به جریان خازنی (IC) در یک خازن را برای ولتاژ متناوب، ضریب تلفات دی‌الکتریک گویند و با  $\tan \delta$  نمایش می‌دهند. شکل ۵ مقایسه میانگین‌ها را برای اثر روغن بر تانژانت تلفات نشان می‌دهد. با آغشته‌سازی کاغذها میزان تانژانت تلفات به میزان ۸۸/۴۶ درصد کاهش می‌یابد.

نمودار مقایسه میانگین‌ها مربوط به اثر متقابل سطح پالایش، نوع خمیر کاغذ و روغن هم در شکل ۶ نشان داده شده است. طبق گروه‌بندی میانگین‌ها، میانگین‌ها در سه گروه قرار دارند که بیشترین مقدار مربوط به کرافت ۲۰۰ ml و کمترین مقدار مربوط به کاغذهای شاهد (آغشته نشده) است. در واقع با آغشته‌سازی کاغذها با روغن معدنی میزان تانژانت تلفات به میزان زیادی کاهش می‌یابد.



شکل ۶- اثرات متقابل سطح پالایش، نوع خمیر کاغذ و روغن بر تانژانت تلفات

عایقی (R) با مقاومت ویژه (p) رابطه مستقیم دارد و با افزایش آن مقاومت ویژه افزایش می‌یابد.

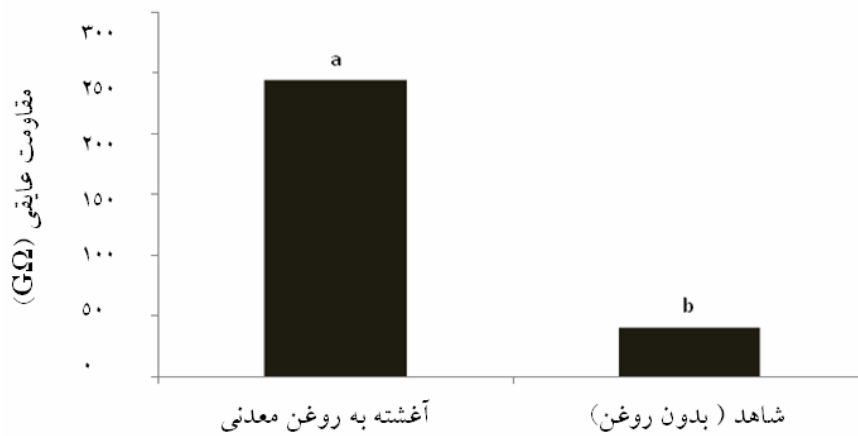
$$\rho = \frac{RA}{t} \quad (2)$$

در این معادله  $\rho$  مقاومت ویژه، R مقاومت عایقی، A مساحت سطح و t ضخامت است.

**مقاومت عایقی:** آزمون مقاومت عایقی به‌منظور اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی عایق انجام می‌شود. عایق خوب معمولاً مقاومتی در حد مگا اهم و یا محدوده‌های بالاتر دارد.

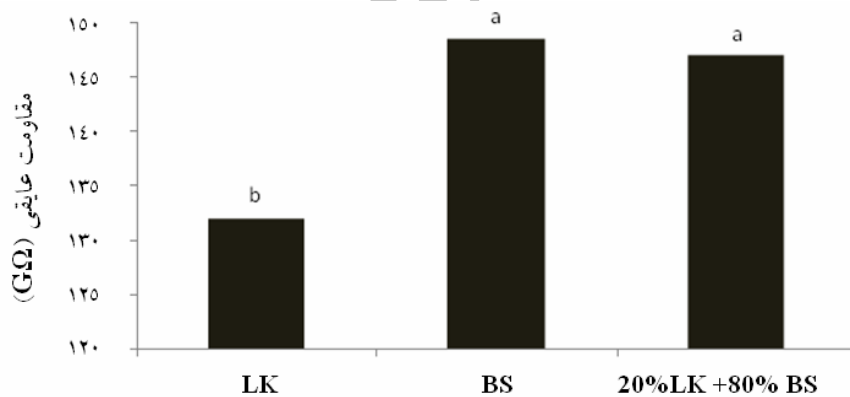
در واقع مبنای اندازه‌گیری این عامل بر اساس اندازه‌گیری جریان/ولتاژ در یک مسیر متناوب است. در واقع مقاومت عایقی نسبت بین ولتاژ و جریان در پایان یک دقیقه از آزمایش است. این عامل حاوی اطلاعات مستقیمی از سیستم دی‌الکتریک است اما به شدت تحت تأثیر دماست. مقاومت

شکل ۷ اثر آغشته‌سازی با روغن معدنی را بر مقاومت عایقی نشان می‌دهد. با توجه به شکل آغشته‌سازی با روغن میزان مقاومت عایقی را افزایش داده است.



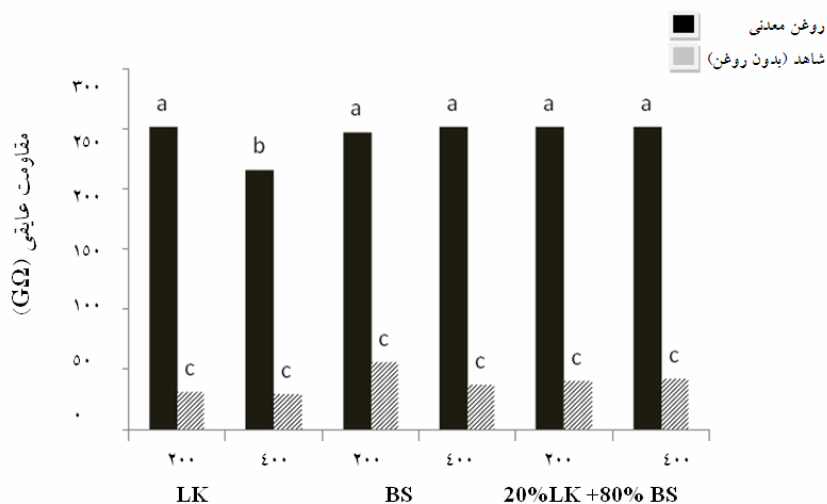
شکل ۷- اثر مستقل آغشته‌گی با روغن بر مقاومت عایقی

مقایسه میانگین‌ها برای اثر نوع خمیر کاغذ بر مقاومت عایقی هم در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل نمونه‌های کرافت و اختلاطی دارای بیشترین میزان مقاومت عایقی هستند.



شکل ۸- اثر مستقل ترکیب خمیر کاغذ بر مقاومت عایقی

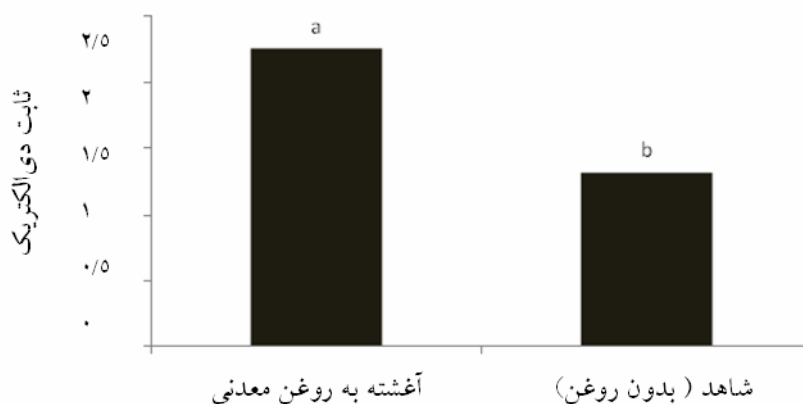
در شکل ۹ هم اثر سطح پولایش، نوع خمیر کاغذ و روغن بر مقاومت عایقی نشان داده شده است که برای کلیه نمونه‌های آغشته به روغن بیشترین مقاومت عایقی مشاهده شد.



شکل ۹- اثر متقابل سطح پالایش، نوع خمیر کاغذ و روغن بر مقاومت عایقی

برای درک خواص دی‌الکتریک کاغذ، بررسی فاکتورهایی که روی ثابت دی‌الکتریک مواد تأثیرگذار هستند، مهم است (محسنی، ۱۳۸۵). شکل ۱۰ نمودار مقایسه میانگین‌ها برای اثر آغشته‌سازی با روغن بر ثابت دی‌الکتریک را نشان می‌دهد که با آغشته‌سازی کاغذها میزان ثابت دی‌الکتریک آنها به میزان ۷۱/۱۲ درصد افزایش می‌یابد.

**ثابت دی‌الکتریک:** نسبت ظرفیت الکتریکی یک خازن پُر شده با عایق (C) به ظرفیت خالاً (C<sub>0</sub>) مقیاسی از پلاریزاسیون عایق است و معمولاً ثابت دی‌الکتریک (k) یا همان پرمی‌تیویته نسبی  $\epsilon_0$  نامیده می‌شود. در واقع ثابت دی‌الکتریک تعیین می‌کند که یک ماده چقدر میتواند صفحات یک خازن را از نظر الکتریکی از هم جدا کند و به صورت نسبت توان الکتریکی مجموعه‌ای از الکترودها با ماده عایق بین آنها به توان الکتریکی همان الکترودها با یک خالاً بین آنها تعریف می‌شود.

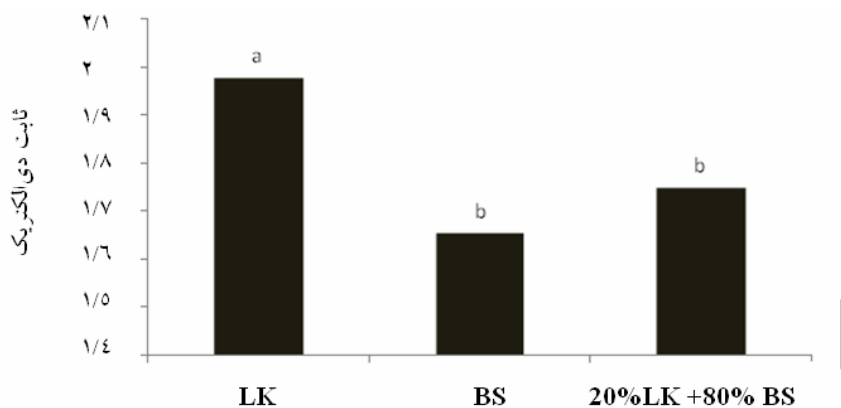


شکل ۱۰- اثر مستقل آغشته‌سازی با روغن بر ثابت دی‌الکتریک

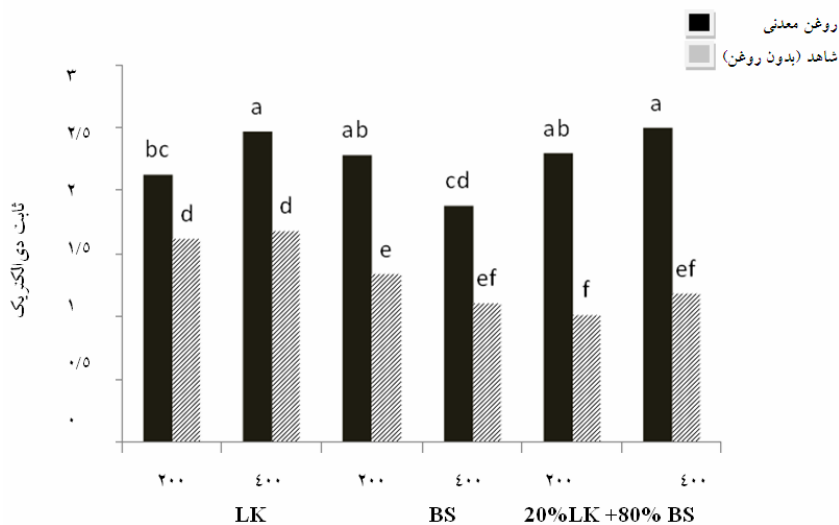


بلند است. به طوری که سایر ترکیب خمیرکاغذها در یک گروه بندی قرار می گیرند.

در شکل ۱۱ هم اثر نوع خمیرکاغذ بر ثابت دی الکتریک آمده است. با توجه به شکل بیشترین میزان ثابت دی الکتریک مربوط به خمیرکاغذهای کرافت الیاف



شکل ۱۱- اثر مستقل ترکیب خمیرکاغذ بر ثابت دی الکتریک



شکل ۱۲- اثرات متقابل سطح پالایش، نوع خمیرکاغذ و آغشته‌گی با روغن بر ثابت دی الکتریک

### بحث

ظرفیت: با توجه به بخش نتایج، میزان ظرفیت برای نمونه‌های با درجه روانی ۲۰۰ml بیشترین مقدار را دارد.

اثرات متقابل سطح پالایش، نوع خمیرکاغذ و روغن بر ثابت دی الکتریک در شکل ۱۲ نشان داده شده است. به طور کلی با آغشته‌سازی، میزان ثابت دی الکتریک افزایش می یابد.

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

معادله ( ) بیانگر عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن است. این عوامل شامل ضخامت بین صفحات خازن (ضخامت کاغذ (d)، سطح مقطع صفحات (A) و نوع دی‌الکتریک ( $\epsilon$ ) است. عمل پالایش با اهداف بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ انجام می‌شود. در واقع پالایش یک مجموعه تغییرات در الیاف به وجود می‌آورد. این عمل مکانیکی باعث حذف کامل یا جزئی دیواره اولیه الیاف می‌شود، که منجر به جذب آب بیشتر توسط دیواره‌های ثانویه و تورم بیشتر می‌گردد. وقتی این لایه حذف شود، به دلیل آمدن لایه S به سطح، الیاف می‌توانند واکنشیده شوند و یک حالت منعطف به خود بگیرند. از طرف دیگر پالایش، آثار دیگری از قبیل انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف، فیبریلاسیون دیواره ثانویه، افزایش سطح ویژه الیاف و افزایش خرده‌ها و نرمه‌ها را بدنبال خواهد داشت (Samaraha, 2011). ایجاد این نرمه‌ها و فیبریلاسیون الیاف میزان تخلخل کاغذها را کاهش داده و در اثر پرس میزان منافذ درون کاغذها کاهش می‌یابد در نتیجه ثابت دی‌الکتریک کاغذ افزایش می‌یابد. از آنجایی که ثابت دی‌الکتریک و ظرفیت، با هم نسبت مستقیم دارند، با افزایش ثابت دی‌الکتریک میزان ظرفیت، افزایش می‌یابد. خمیر کاغذهای کرافت الیاف بلند هم به دلیل پاسخی که به پالایش می‌دهند و پیوندهای هیدروژنی قوی‌ای که دارند باعث افزایش پلاریزاسیون می‌شوند و ثابت دی‌الکتریک بالاتری از خود نشان می‌دهند که منجر به افزایش ظرفیت می‌شود. بالاتر بودن

نتایج بدست‌آمده از ثابت دی‌الکتریک برای نمونه‌های کرافت این امر را تأیید می‌کند. از طرفی آغشته‌سازی با روغن معدنی به دلیل کاهش هوای بین حفرات و جایگزینی آن با روغن میزان ثابت دی‌الکتریک را بالا می‌برد که در نهایت منجر به افزایش ظرفیت می‌شود.

#### تانژانت تلفات: ضریب تلفات دی‌الکتریک متأثر از

درجه پلاریزاسیون روغن است. روغن معدنی ساختار متقارنی دارد، به طوری که با افزایش ثابت دی‌الکتریک و کاهش هدایت میزان تلفات را در کاغذها کاهش می‌دهد. طی بررسی‌هایی که بر روی آغشته‌سازی عایق‌ها با مخلوطی از استر و روغن معدنی انجام شده است، کمترین تانژانت تلفات، برای نمونه‌های آغشته به روغن معدنی گزارش شده است (Suwarno & Irawan, 2008).

#### مقاومت عایقی: روغن معدنی به‌طور طبیعی دارای

مقاومت ویژه بالایی است (Hemmer *et al.*, 2003). از آنجا که مقاومت عایقی با مقاومت ویژه نسبت مستقیم دارد پس نمونه‌های آغشته به روغن معدنی دارای مقاومت عایقی بالاتری هستند. از طرفی مقاومت عایقی با اختلاف قابلیت نسبت مستقیم دارد، با افزایش اختلاف قابلیت افزایش می‌یابد. پس در نمونه‌هایی که ظرفیت پایینی دارند میزان مقاومت عایقی بیشتر است.

#### ثابت دی‌الکتریک: نتایج بدست‌آمده از ثابت

دی‌الکتریک با نتایج ظرفیت مطابقت داشتند. به نحوی که روغن معدنی به دلیل نفوذ در حفرات کاغذ میزان هوای درون منافذ را کاهش داده و چون ثابت دی‌الکتریک بالاتری نسبت به هوا دارد منجر به افزایش ثابت دی‌الکتریک کاغذ می‌شود. ثابت دی‌الکتریک یک ماده به قطب‌پذیری مولکول‌ها بستگی دارد. به‌عنوان مثال، سلولز

- کُرد، ب.، ۱۳۸۸. تأثیر شدت پالایش بر خصوصیات خمیرکاغذ حاصل از چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس. دو فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، (۱)۲۴: ۱۳۳-۱۲۵.  
- محسنی، ح.، ۱۳۸۵. مبانی مهندسی فشار قوی الکتریکی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، فصل دوم (عایق‌های الکتریکی). ۸۳۳ صفحه.

-Bismarck, A., Askargorta, I.A. and Springer J., 2002.

Surface characterization of flax, hemp and cellulose fibers; surface properties and the water uptake behavior. *Polymer Composites*, 23(5): 872-894.

-Clark, F., 1962. *Insulating Materials for Design and Engineering Practice*, Ch. 9. John Wiley and Sons, Inc., New York, London.

-Fahmy, T., Mobarak, Y.A. and Fardous, El-Meligy Magda G., 2008. Introducing undeinked old newsprint as a new resource of electrical purposes paper. *Wood Sci Technol* 42:691-698.

-Heathcoat, M.J., 2007. *Insulation: Chapter 3: Basic materials*. In: *The J & P Transformer Book*, Thirteenth edition. 61-62.

-Hemmer, M., Badent, R. and Leihfried, T., 2003. Electrical properties of vegetable oil-impregnated paper insulation. *Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. 60-63.

-Mobarak, F., Mounir, M., Mohsen, F. and Ali, A.F.H., 1999. Studies on the electrical properties of agricultural residues paper I: electrical properties of cotton stalks and wood papers. *Cellulose Chem Technol* 33(3-4):321-331.

-Samaraha, A., Nemati, M. and Hemmasi, A.H., 2011. Effects of refining intensity on characteristics of pulp produced from bagasse through neutral sulfite semi-chemical pulping. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 11(1):10-14.

-Simula Sami, *Electrical properties: II: Applications and measurement methods*. In: *Handbook of physical testing of paper volume 2* (Eds, Jens Borch, Bruce Lyne, M., Mark, Richard E). 365-366.

-Suwarno, o., and Irawan S.D., 2008. Dielectric properties of mixtures between mineral oil and natural ester from palm oil. *Wseas transactions on power systems*. 2(3): 37-46.

به‌عنوان عنصر اصلی ساختار الیاف به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل، اتصالات استتال و اتسر (C-O-C) در ساختارش، بشدت قطبی است (Bismarck, 2002). وجود گروه‌های قطبی بیشتر در ساختار خمیرکاغذها، پلاریزاسیون را افزایش داده و منجر به افزایش ثابت دی-الکتریک می‌شود. بالا بودن ثابت دی‌الکتریک خمیرکاغذ کرافت را احتمالاً می‌توان به بالا بودن گروه‌های قطبی و زنجیره‌های سلولزی طولی تری که دارد نسبت داد.

به‌طور کلی نتایج بدست آمده در این تحقیق اثر مثبت پالایش و آغشته‌سازی با روغن را بر خواص دی‌الکتریکی مثل ظرفیت نشان داد. از طرفی نتایج نشان داد که نوع خمیرکاغذ مصرفی بر خواص دی‌الکتریک کاغذهای عایق مؤثر بوده و باتوجه به نوع کاغذ به کار رفته این خواص تغییر می‌کنند. پس از نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که خمیرکاغذهای باگاس و کرافت ۲۰٪ باگاس ۸۰٪ مشروط به گذراندن آزمایشهای پیرشدگی، می‌توانند جایگزین‌های مناسبی برای خمیرکاغذ کرافت در کاربردهای عایق بخصوص عایق ترانسفورماتور باشند. تحقیقات به‌منظور روشن شدن این مسئله در حال انجام می‌باشد.

## منابع مورد استفاده

- میرشکرای، ا.، ۱۳۸۲. فناوری خمیرکاغذ و کاغذ. ویرایش دوم، انتشارات آبیژ، تهران، ۵۰۳ صفحه.  
- عنایتی، ع.ا. و عبدالخانی، ع.، ۱۳۸۵. خواص دی‌الکتریک چوب و مواد چوبی. تورگوونیکو، جی. آی انتشارات دانشگاه تهران، ۲۲۲ صفحه.

## Dielectric properties of oil impregnated kraft and soda pulps

Moradian Gilan, K.<sup>1\*</sup>, Azadfallah, M.<sup>2</sup>, Shayegani, A.A.<sup>3</sup>  
and Abdolkhani, A.<sup>2</sup>

1- M.Sc., Pulp and Paper Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

2\*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. Email: adfallah@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, School of Electrical & Computer Engineering, University of Tehran, Iran.

Received: March, 2012

Accepted: March, 2013

### Abstract

This research was carried out with the aim of determining dielectric properties of bagasse unbleached soda pulp, long fiber kraft pulp and a mixture of both (20% kraft + 80% bagasse soda). The hand-sheets with 60 g/m<sup>2</sup> basis weight were made after adjusting the freeness of pulps at levels of 200 ± 25 ml and 400 ± 25 ml and dried under mild condition around zero moisture content. Then the impregnation processes were carried out with mineral oil under vacuum at certain temperature. Finally the dielectric properties of impregnated papers including capacitance, insulation resistance, dielectric constant, and loss tangent were measured. The results showed that the refining give rise to enhance the dielectric properties in particular capacitance value. The dielectric properties of oil impregnated paper also increased. According to the preliminary results, unbleached soda bagasse pulp and its mixture with kraft pulp (20% Kraft -80% bagasse soda) found to be the suitable alternative with respect of dielectric applications for replacing kraft pulp, providing successful performance of the aging test.

**Key words:** Dielectric properties, bagasse, kraft, mineral oil, freeness.