Iranian Journal of Wood and Paper Science Research

Print ISSN: 1735-0913

Online ISSN: 2383-112X

Vol. 41, No. 2, Page 113-125 (2026)

DOI: 10.22092/ijwpr.2026.371055.1818

(OPEN ACCESS)

Identification and comp arison of organic chemical components in fluting and kraft liner papers using gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)

Ramin Vaysi

-Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Cha. C., Islamic Azad University, Chalous, Iran,
Email: vaysi_r452@yahoo.com.

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 16 October 2025
Revised: 27 December: 2025
Accepted: 4 January 2026
Published online: 19 June 2026

Keywords:
Chemical composition,
fluting paper,
gas chromatography,
Kraft liner paper,
mass spectrometry.

ABSTRACT

Background and aim: Fluting paper and Kraft liner paper are among the most important grades of paper produced in the pulp and paper industry, particularly for the manufacture of corrugated board. Fluting paper is typically made from a mixture of hardwood fibers using the Neutral Sulfite Semi-Chemical (NSSC) pulping process adding some softwood pulp, while kraft liner paper is produced from similar raw materials through the Kraft pulping process also adding some softwood pulp. However, due to limitations in wood supply and competition for primary raw materials, a significant portion pulp for these papers in Iran is recycled fibers, such as OCC and converting mill rejects. This study employs Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) to precisely identify and compare the organic compounds present in corrugated paper and kraft liner paper. The primary aim of this research is to evaluate the impact of various chemical constituents on the structural and functional properties of these two types of papers. Additionally, the study attempt to find these chemical roles in optimizing production processes and improving the overall quality of the final product within the paper manufacturing industry.

Materials and Methods: In this study, fluting paper samples were collected from the production line of machine No. 2 at Mazandaran Wood and Paper Mill, and kraft liner paper samples were obtained from Chooka paper mill in Gilan. Initially, the ash content and extractable substances in the samples were quantified according to TAPPI standards. The extractable substances were then separated from the paper pulp using acetone as a solvent. The remaining extracts were transferred to glass vials, to which BSTFA (N, O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide) reagent was added. The samples were heated in a water bath at 70°C for one hour before being injected into the GC-MS system for analysis. Compound identification was performed using

retention time chromatograms, the Quats index and Adams table.

Results: GC-MS analysis of the fluting paper identified a total of 76 compounds, with the most abundant being benzaldehyde (20.44%), benzene methanol (5.32%), 9-octadecenoic acid (5.16%), bis(2-ethylhexyl) phthalate (4.33%), gamma-sitosterol (1.34%), and beta-sitosterol (1.01%). These compounds primarily consisted of aromatic hydrocarbons and natural fatty acids. In contrast, GC-MS analysis of kraft liner paper identified 28 compounds, with the major components being bis(2-ethylhexyl) phthalate (28.21%), hexadecanoic acid (24.25%), 9-octadecenoic acid (11.67%), octadecanoic acid (10.45%), hexadecane (7.12%), pimaric acid (2.06%), 1,2-benzenedicarboxylic acid (1.17%), squalene (1.40%), and syringyl aldehyde (0.31%). These substances were predominantly industrial plasticizers and fatty acids, which play an important role in the composition and functional properties of Kraft liner paper. The GC-MS analysis of fluting paper also revealed the presence of compounds such as p-xylene, benzaldehyde, dibenzyl, formylmorpholine, and benzyl alcohol, which were not detected in kraft liner paper. Additionally, light alkanes (such as decane, dodecane, and nonadecane) and phytosterols, specifically beta- and gamma-sitosterol, were uniquely present in fluting paper, supporting the hypothesis of differences in fiber sources or the use of specific additives in fluting paper production. In contrast, phenolic and aromatic compounds detected in fluting paper may be derived from adhesives, inks, or residual chemicals in the manufacturing process. For kraft liner paper, compounds such as abietic acid, pimeric acid, and isocunabic acid were identified, which were absent in fluting paper. Additionally, long-chain hydrocarbons such as tetracosane and squalene were found specifically in this sample, indicating the potential use of softwood fibers or non-fibrous additives like rosin.

Conclusion: The comparison of GC-MS profiles between fluting paper and kraft liner paper revealed that both grades of paper share common chemical constituents, including long-chain alkanes and natural fatty acids. Furthermore, bis(2-ethylhexyl) phthalate, an industrial plasticizer, plays a significant role in improving the mechanical properties of both paper types. The observed differences in specific compounds, such as the presence of aromatic compounds and light alkanes in fluting paper and long-chain hydrocarbons and resins in kraft liner paper, suggest variations in fiber sources, pulping processes, and the use of additives. These differences could provide valuable insights for optimizing paper formulations and enhancing the quality of paper products.

Cite this article: Ramin Vaysi. 2026. Identification and comparative of organic chemical components in fluting and kraft liner papers using gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research,41(2), 113-125.
DOI: https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026. 371055.1818

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijwpr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

شناسایی و مقایسه مواد آلی موجود در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت با روش کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/MS)

رامین ویسی

- گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، پست‌الکترونیک: vaysi_r452@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
علمی - پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۹

واژه‌های کلیدی:
ترکیبات شیمیایی،
کاغذ کنگره‌ای،
کروماتوگرافی گازی،
لاینر کرافت،
طیف‌سنجی جرمی GC/ MS.

چکیده

سابقه و هدف: کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت ازجمله مهمترین کاغذهای تولیدی در صنعت کاغذ کشور هستند که در تولید کارتن‌های مقوایی کاربرد دارند. کاغذ کنگره‌ای معمولاً از مخلوط پهن‌برگان و با استفاده از فرایند خمیرسازی NSSC تولید می‌شود؛ درحالی‌که کاغذ لاینر کرافت از مواد مشابه با استفاده از فرآیند کرافت تولید می‌گردد. بااین‌حال، به دلیل محدودیت‌های تأمین چوب و رقابت در منابع اولیه، بخش زیادی از این کاغذها در کشور از کاغذ بازیافتی تولید می‌شوند. این تحقیق با بهره‌گیری از تکنیک کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) به شناسایی و مقایسه دقیق ترکیبات آلی موجود در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثر ترکیبات شیمیایی مختلف بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی این دو نوع کاغذ و تحلیل نقش آنها در بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و ارتقاء کیفیت نهایی محصول در صنایع کاغذسازی است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، نمونه‌های کاغذ کنگره‌ای از ماشین شماره دو کارخانه چوب و کاغذ مازندران و نمونه‌های کاغذ لاینر کرافت از کارخانه چوکا گیلان انتخاب شد. ابتدا، طبق استانداردهای TAPPI، آرد نمونه‌ها و درصد مواد استخراجی آنها اندازه‌گیری گردید. سپس، مواد استخراجی با استفاده از حلال استون از آرد نمونه‌های کاغذ جدا شده و به آن‌ها واکنش‌گر BSTFA افزوده شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس‌ازآن برای آنالیز به دستگاه GC-MS تزریق شدند. شناسایی ترکیبات موجود با استفاده از دیاگرام زمان بازداری، ضریب کواتز و جدول آدامز انجام شد.

نتایج: نتایج حاصل از تحلیل دیاگرام‌های GC-MS کاغذ کنگره‌ای نشان داد که از مجموع ۷۶ ترکیب شناسایی‌شده، بنزآلدهید (۲۰/۴۴ درصد)، بنزن‌متانول (۵/۳۲ درصد)، ۹-اکتا دکانوئیک اسید (۵/۱۶ درصد)، بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات (۴/۳۳ درصد)، گاما-سیتوسیترول (۱/۳۴ درصد) و بتا-سیتوسیترول (۱/۰۱ درصد) مهمترین ترکیبات موجود بودند. این ترکیبات شامل ترکیبات آروماتیک و اسیدهای چرب طبیعی هستند. در مقابل، در کاغذ لاینر کرافت از مجموع ۲۸ ترکیب شناسایی‌شده، بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات (۲۸/۲۱ درصد)، هگزادکانوئیک اسید (۲۴/۲۵ درصد)، ۹-اکتا دکانوئیک اسید (۱۱/۶۷ درصد)، اکتادکانوئیک اسید (۱۰/۴۵ درصد)، هگزادکان (۷/۱۲ درصد)، پیماریک اسید (۲/۰۶ درصد)، ۲،۱-بنزن دی‌کربوکسیلیک اسید (۱/۱۷ درصد)، اسکوئلن (۱/۴۰ درصد) و سرینجیل آلدئید (۰/۳۱ درصد) به‌عنوان مهمترین ترکیبات شناسایی‌شده بودند. این ترکیبات عمدتاً به ترکیبات نرم‌کننده صنعتی و برخی ترکیبات چرب اشاره دارند که در ساختار کاغذ لاینر کرافت نقش مهمی ایفا می‌کنند. در تجزیه‌وتحلیل GC-MS کاغذ کنگره‌ای، ترکیباتی مانند پارا-زایلن، بنزآلدهید، بی‌بنزیل، فورمیل‌مورفولین و بنزن‌متانول شناسایی شدند که در کاغذ لاینر کرافت حضور نداشتند. همچنین، آلکان‌های سبک (مانند دکان، دودکان و نونادکان) و ترکیبات زیستی مانند بتا-و گاما-سیتوسترول به‌طور مشخص در کاغذ کنگره‌ای مشاهده شدند که احتمال تفاوت در منابع الیاف یا افزودنی‌های مورد استفاده در این کاغذ را تقویت می‌کند. از سوی دیگر، ترکیبات فنولیک و آروماتیک شناسایی‌شده ممکن

است ناشی از چسب‌ها، جوهرها یا مواد جانبی فرآیند تولید باشند. در کاغذ لاینر کرافت، ترکیباتی مانند اسید آبتیک، اسید پیماریک و ایزوکونابیک اسید شناسایی شدند که در کاغذ کنگره‌ای وجود نداشتند. همچنین، ترکیبات با زنجیره‌های بلند مانند تتراکوزان و اسکوالن به‌طور خاص در این نمونه حضور داشتند که احتمال استفاده از الیاف چوب سوزنی‌برگان و یا افزودنی‌های غیرفیبری مانند روزین‌ها را مطرح می‌کند.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج حاصل از آنالیز GC-MS در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت نشان داد که ترکیبات مشترک شامل آلکان‌های زنجیره بلند و اسیدهای چرب طبیعی در هر دو نوع کاغذ وجود دارند. علاوه بر این، بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات به‌عنوان نرم‌کننده صنعتی نقش مؤثری در بهبود خواص مکانیکی این کاغذها ایفا می‌کند. تفاوت‌های مشاهده‌شده در ترکیبات اختصاصی هر نمونه، ازجمله حضور ترکیبات آروماتیک و آلکان‌های سبک در کاغذ کنگره‌ای و روزین‌ها و آلکان‌های بلند در کاغذ لاینر کرافت نشان‌دهنده تفاوت‌های منبع الیاف و فرآیندهای تولید است. این تفاوت‌ها می‌توانند به بهینه‌سازی و ارتقای کیفیت محصولات کاغذی کمک کنند.

استناد: رامین ویسی. ۱۴۰۵. شناسایی و مقایسه مواد آلی موجود در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت با روش کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/ MS). نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۱(۲)، ۱۱۳-۱۲۵.

DOI: https:// doi.org/10.22092/ijwpr.2026. 371055.1818

مقدمه

کاغذ به‌عنوان یکی از مهمترین دستاوردهای بشری، نقشی اساسی در توسعه فرهنگی، علمی و فناوری جوامع ایفا کرده است. صنعت کاغذسازی با توجه به جایگاه خود در میان پنج صنعت برتر جهان، همواره به‌عنوان ابزاری برای انتقال دانش و گسترش هنر شناخته شده است. در دنیای معاصر، با توجه به تحولات فناوری و نیازهای پیچیده در حوزه‌های نشر، بسته‌بندی و علوم زیستی، تحلیل ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی کاغذ اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. استفاده از روش‌های پیشرفته مانند کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) می‌تواند به‌طور مؤثری در شناسایی و مقایسه مواد آلی موجود در کاغذ و ارتقای کیفیت آن در صنایع مختلف کمک کند.

دراین‌ارتباط، مواد آلی استخراج‌شده از چوب، خمیرکاغذ و کاغذ، عمدتاً از ترکیباتی با وزن مولکولی کم است که برای شناسایی آن‌ها کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) یک تکنیک ایده‌ال به نظر می‌رسد (Mirshokraei, 2002). قدرت تفکیک بالای ستون‌های مویین در سیستم‌های کروماتوگرافی گازی، این روش را به روشی بسیار کارآمد در آنالیز و تعیین مقدار نسبی ترکیبات پیچیده مواد استخراجی تبدیل کرده است. به‌منظور اطمینان از اندازه‌گیری‌های کمی، مشتق‌سازی ترکیبات در روش کروماتوگرافی گازی الزامیست (Hossieni, 1991; Meszaros, *et al.*, 2006).

در ایران، در کارخانه چوب و کاغذ مازندران از مخلوط پهن‌برگان، خمیر NSSC با بازدهی ۷۵ درصد تولید می‌شود. در این سیستم خمیرسازی pH در محدوده ۹-۷ بوده، فشار ۹ بار، دما ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت حدود ۳۰ دقیقه است. سپس خرده چوب‌های پخته شده وارد دو پالایشگر دیسکی موازی با فشار یک اتمسفرشده، بعد از تبدیل خرده چوب‌ها به الیاف، خمیرکاغذ حاصل با درصد خشکی حدود ۱۲-۱۰ درصد وارد برج خمیر NSSC می‌شود. خمیر NSSC تولیدی بعد از طی مراحل آماده‌سازی، وارد خط ۲ کارخانه شده و از آن حدود ۷۵۰۰۰ تن در سال کاغذ کنگره‌ای با وزن پایه ۱۳۵ و ۱۲۷ گرمی تولید شده و روانه بازار مصرف می‌شود.

مجتمع صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا) در رضوانشهر گیلان برای تولید خمیر کرافت از مخلوط پهن‌برگان شمال

کشور، همچنین دستیابی به تولید کاغذ قهوه‌ی کرافت لاینر و کنگره‌ای به مقدار ۱۵۰ هزارتن در سال و سایر تولیدات چوبی فعالیت داشته است. در سال‌های اخیر بیش از ۷۰ درصد کاغذ کرافت تولیدی در این کارخانه از کاغذ باطله تولید می‌شود.

دراین‌ارتباط، گروهی از آلاینده‌ها که دارای ماهیت چسبنده بوده و همراه با کاغذ باطله وارد چرخه تولید کاغذ بازیافتی می‌شوند، اما برخی از آلاینده‌ها می‌توانند در طی فرآیند نیز ایجاد شوند. درنهایت منجر به تولید محصولات باکیفیت پایین و هزینه بالا برای تولیدکنندگان کاغذ می‌شود (Hubbe *et al.*, 2001). بنابراین شناسایی و حذف کارآمد این آلاینده‌های چسبناک به‌طور فزاینده‌ای برای صنعت کاغذ حیاتی است. به همین منظور، با کمک حلال تولوئن نیز ترکیباتی مانند بیس (۲- اتیل هگزیل فتالات)، سیگلوهگزان، اتیل بنزن، اتیل سیگلو پنتان و متیل بنزن از رسوبات جامد چسبناک حاصل از تیغه‌های خشک‌کن ماشین کاغذ شناسایی شد. با طبقه‌بندی مواد شناسایی شده با کمک کروماتوگرام‌های حاصل از GC/MS، این نتیجه حاصل شد که ترکیباتی شامل رزین‌های سنتزی، استر اسیدهای چرب، اسیدهای دی کربوکسیلیک، رزین‌های سیکلونی و مختصری عوامل فعال سطحی، نرم‌کننده‌ها و مشتقات بنزنی در رسوبات چسبناک بخش تیغه‌های خشک‌کن فرآیند بازیافت کاغذ وجود دارند Razmpour *et al.*, 2001).

دراین‌ارتباط، از ۵۸ ترکیب شناسایی شده در کاغذ روزنامه حاصل از خمیر CMP، بنزآلدئید (۳۲/۵۶ درصد)، بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات (۶/۹۸ درصد)، ۱۲،۹-اکتا دکانوئیک اسید (۵/۲۴ درصد)، گاما-سیتوسترول (۴/۸۴ درصد)، دی بنزیل (۳/۸۲ درصد)، زایلان (۰/۱۹ درصد)، ۲،۱-بنزن دی کربوکسیلیک اسید (۰/۷۱ درصد)، دو دکانوئیک اسید (۰/۱۴ درصد) و دکان (۰/۱۸ درصد) با بیشترین مقادیر، مهمترین ترکیبات شناسایی شده در کاغذ روزنامه بودند (Vaysi, 2011). همچنین، با کمک کروماتوگرام‌های GC-MS، ۱۷ ترکیب در توالی رنگبری EH، ۱۲ و ۱۴ ترکیب به ترتیب در توالی‌های رنگبری $OD(E_P)P$ و $OD(E_P)D$ از خمیر سودای باگاس شناسایی شد که دو ترکیب p-زایلان، ۱ و۲-بنزن دی کربوکسیلیک اسید در تمامی نمونه‌ها به‌صورت مشترک وجود دارند (Vaysi *et al.*, 2015).

Johansson (۲۰۰۰) شکل‌گیری گروه‌های رنگی و لئو کروموفورها در طی تولید خمیرهای مکانیکی (TMP) و با استفاده از NMR و UV-Vis را بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که در طی تبدیل چوب به خمیر TMP، ساختار کروموفورها و لئوکروموفورها شکل می‌گیرند. به‌کارگیری DTPA و سولفیت سدیم به خرده چوب قبل از پالایش باعث کاهش تشکیل لئوکروموفورها می‌شود. افزایش جذب نور در طی پالایش به ایجاد ساختار ۱-β استیلبن ارتباط ندارد. Razi (۱۹۹۹) گزارش داد که در نمونه‌های دستمال کاغذ نهایی حاصل از کاغذ باطله ۱۹ ترکیب شناسایی شد، که ۹-اکتا دکانوئیک اسید (۵۳/۴۳ درصد)، هگزا دکانوئیک اسید (۲۸/۹۸ درصد)، اکتا دکانوئیک اسید (۸/۸۲ درصد)، بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات (۵/۴۶ درصد) و اسکوئلن (۱/۴ درصد) با بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات بودند. به همین منظور، این تحقیق باهدف شناسایی و مقایسه اجزای شیمیایی مواد آلی موجود در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) انجام شده است. این مطالعه به دنبال تحلیل دقیق‌تر ویژگی‌های شیمیایی این محصولات به‌منظور بهبود کیفیت و فرآیندهای تولید کاغذ است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

برای انجام این تحقیق نمونه‌های کاغذ کنگره‌ای از تولید ماشین شماره دو کارخانه چوب و کاغذ مازندران و نمونه‌های کاغذ لاینر کرافت از تولید کارخانه چوکا گیلان

انتخاب و براساس آزمون استاندارد TAPPI تهیه گردید.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت، ابتدا طبق آزمون شماره T ۲۵۷ – om–۸۵ استاندارد TAPPI و توسط دستگاه آسیاب آزمایشگاهی، از نمونه‌های کاغذی (جداگانه)، پودر (آرد) تهیه شد. به‌منظور جداسازی اجزاء شیمیایی نمونه‌ها، آرد تهیه شده ابتدا الک (مش ۱۰۰) شد و نمونه‌های باقی‌مانده بر روی الک مش ۸۰ جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از روش سوکسله و حلال استون، مواد عصاره‌ای نمونه‌های کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت به‌صورت جداگانه استخراج گردید (Vaysi, 2013 TAPPI, 2009; Barzan, 2002).

جداسازی و شناسایی اجزاء شیمیایی مواد آلی نمونه‌ها

بعد از استخراج مواد عصاره‌ای و آلی نمونه‌های کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت، حلال حاوی مواد آلی را از طریق عبور دادن گاز بی‌اثر ازت از سطح ظرف تبخیر و از باقیمانده آن که درواقع همان مواد آلی حل شده در استون نمونه‌های آزمونی می‌باشند، برای انجام آزمایش استفاده شد. گام بعدی سایلیل‌دار کردن ترکیبات آلی برای بررسی در دستگاه کروماتوگرافی گازی است. برای این منظور، میزان ۳ میلی‌گرم از باقیمانده مواد آلی توزین کرده و به درون یک ویال شیشه‌ای منتقل گردید. سپس به میزان ۹۰ میکرولیتر واکنشگر بیس (تری متیل سایلیل) تری فلور استامید (BSTFA) به نمونه‌ها اضافه شد. درب ویال شیشه‌ای را بسته و دور آن را با فویل آلومینیمی پیچیده و داخل یونولیت قرار داده شد تا از فرو رفتن ویال در آب جلوگیری شود. سپس برای انجام واکنش بین مواد آلی و BSTFA ویال را درون حمام بن‌ماری با آب ۷۰°C و به‌مدت ۱ ساعت قرار داده شد. بعد از گذشت این مدت، نمونه‌ها برای آنالیز توسط دستگاه گروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنجی جرمی GC-MS آماده گردید. نمونه‌ها توسط سرنگ همیلتون به دستگاه GC-MS تزریق شد. پس از تزریق نمونه‌ها، با استفاده از زمان بازداری ترکیب‌ها (T_R)، شاخص بازداری کواتس (kI)، طیف جرمی و مقایسه این مؤلفه‌ها با ترکیب‌های استاندارد و یا با اطلاعات موجود در کتابخانه دستگاه (جدول آدامز)، نسبت به شناسایی ترکیب‌های تشکیل‌دهنده مواد آلی نمونه‌هایی کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت اقدام شد. برای ثبت کروماتوگرام و طیف جرمی مدت ۳۰ دقیقه وقت مورد نیاز است. برای محاسبه ضریب کوارتز از جدول زمان‌بندی بازداری آلکان‌های نرمال و فرمول محاسبه آن استفاده شد (Meszaros *et al.*, 2006).

$$I = 100n+100\ (t_{rx}-t_{rn}) / (t_{rn+1}-t_{rn})$$

I = ضریب کواتز؛ T_{rn} = زمان بازداری آلکان نرمال

n = تعداد کربن‌های آلکان نرمال؛

T_{rx} = زمان بازداری ماده مجهول.

همچنین شاخص‌های کواتز استخراج شده با جدول آدامز تطبیق داده شد، که به دو صورت الفبایی و صعودی - نزولی بودن ضرایب کواتز تنظیم شده است.

مشخصات دستگاه GC-MS مورد استفاده به شرح ذیل است:

–نوع ستون: HP – 5 MS به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر

–نوع گاز حامل: هلیوم با سرعت ۱ mm در دقیقه

–مدل دستگاه GC: HP6890 Series

–مدل دستگاه MS: Hp 5973 Mass selective Detector

–برنامه دمایی: بین ۶۰°C–۲۶۰°C به ازاء هر دقیقه ۶ °C افزایش دما

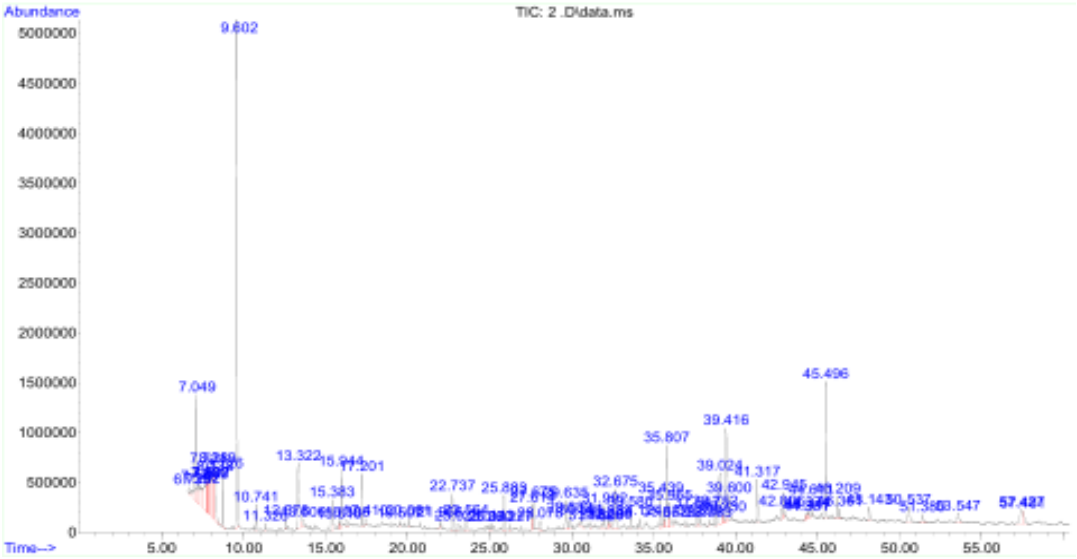
–انرژی ذراتی که در دستگاه MS به نمونه برخورد می‌کنند ۷۰ الکترون‌ولت است.

دراین‌ارتباط، اسیدهای رزینی و اسیدهای چرب موجود در مواد آلی با سرعت مناسب با واکنشگرهای مذکور سایلیل‌دار شده و به‌خوبی به استرهای سایلیل‌دار شده تبدیل و در دستگاه کروماتوگرافی گازی از هم جدا می‌شوند. به

دلیل پایداری اندک ترکیبات سایلیل‌دار شده، ضروری است که عمل سایلیل‌دار کردن، ۲۴ ساعت قبل از آنالیز توسط دستگاه GC/MS انجام شود (Xiao, 2001).

نتایج

کاغذ کنگره‌ای یکی از کاغذهای مهم تولیدی در کشور است که در ماشین شماره دو کارخانه چوب و کاغذ مازندران تولید می‌شود. بررسی کروماتوگرام‌های GC/MS کاغذ کنگره‌ای نشان داد که از ۷۶ ترکیب شناسایی شده، p –زایلان (۳/۲۰ درصد)، بنزآلدئید (۲۰/۴۴ درصد)، دکان (۰/۶۰ درصد)، بنزیل کلراید (۰/۲۳ درصد)، بنزن متانول (۵/۳۲ درصد)، ۱– فرمیل مورفولین (۱/۱۳ درصد)، دودکان (۱/۲۴ درصد)، ترادکان (۱/۱۱ درصد)، نانودکان (۱/۲۲ درصد)، بی‌بنزیل (۰/۹۸ درصد)، سرینجیل آلدئید (۱/۶۴ درصد)، ترادکانوئیک اسید (۰/۲۵ درصد)، اکتا دکان (۱/۴۰ درصد)، دی بوتیل فتالات (۱/۵۳ درصد)، هگزادکانوئیک اسید (۳/۸۱ درصد)، پنتادکان (۱/۳۳ درصد)، سیکلوهگزادکان (۰/۵۷ درصد)، ۹–اکتا دکانوئیک اسید (۵/۱۶ درصد)، ۱–نفتالن کربوکسیلیک اسید (۴/۱۵ درصد)، هپتا دکان (۰/۶۷ درصد)، ۲–متیل–۱– هگزادکانول (۱/۳۰ درصد)، بیس (۲– اتیل هگزیل) فتالات (۴/۳۳ درصد)، ای‌کوزان (۲/۱۴ درصد)، گاما–سیتوسیترول (۱/۳۴ درصد) و بتا–سیتوسیترول (۱/۰۱ درصد) با بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات بودند (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱– کروماتوگرام گازی ترکیبات شیمیایی موجود در کاغذ کنگره‌ای (جدول ۱)

Fig. 1. Gas chromatograph of chemical compounds in fluting paper (Table 1)

تولید کاغذ لاینر کرافت از مخلوط پهن‌برگان و فرآیند کرافت سابقه زیادی در ایران دارد؛ اما در حال حاضر، با عنایت به محدودیت مواد اولیه چوبی و فرسودگی تجهیزات صنعتی آن، بخشی مهمی از این کاغذ در کشور از کاغذ باطله و آخال تولید می‌گردد. بررسی کروماتوگرام‌های GC/MS کاغذ لاینر کرافت نشان داد که از ۲۸ ترکیب شناسایی شده، بیس (۲– اتیل هگزیل) فتالات (۲۸/۲۱ درصد)، هگزادکانوئیک اسید (۲۴/۲۵ درصد)، ۹ –اکتا دکانوئیک اسید (۱۱/۶۷ درصد)، اکتا دکانوئیک اسید (۱۰/۴۵ درصد)، هگزادکان (۷/۱۲ درصد)، دهیدرو–آبیتیک اسید (۵/۷۲ درصد)، بیس (۲– اتیل هگزیل) استر (۳/۳۶ درصد)، پیماریک اسید (۲/۰۶ درصد)، ۲،۱–بنزن دی

کربوکسیلیک اسید (۱/۱۷ درصد)، پنتا دکان (۰/۳۸ درصد)، اکتا دکان (۱/۴۸ درصد)، پنتاکوزاان (۱/۱۷ درصد)، ای-کوزان (۲/۷۶ درصد)، اسکوئلن (۱/۴۰ درصد) و سرینجیل آلدئید (۰/۳۱ درصد) با بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات بودند (شکل ۲).

جدول ۱- برخی از مهمترین ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در کاغذ کنگره‌ای (شکل ۱)

Table 1. Some of important identified chemical compounds in fluting paper (Fig. 1)

Chemical Component	Retention time (min)	Area (%)
P-xylene	7.046	3.20
Benzaldehyde	9.601	20.44
Decane	10.740	0.60
Benzyl chloride	11.328	0.23
Benzene methanol	13.321	5.32
1-Formylmorpholine	15.384	1.13
Dodecane	17.202	1.24
Tridecane	20.061	0.24
2, 6-dimethoxy-phenol	21.963	0.18
Tetradecane	22.739	1.11
Nonadecane	25.146	1.22
Bibenzyl	25.883	0.98
Hexadecane	27.616	0.93
Syringyl aldehyde	29.635	1.64
Tetradecanoic acide	31.802	0.25
Octadecane	31.989	1.40
Didutyl phthalate	33.58	1.53
Hexadecanoic acid	35.806	3.81
Pentadecane	35.967	1.35
Cyclohexadecane	37.649	0.75
9-Octadecanoic acid	39.027	5.16
1-Naphtalenecarboxylic acid	39.415	4.15
Heptadecane	39.603	0.67
2-methyl-1-Hexadecanol	41.314	1.30
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	45.496	4.33
Eicosane	46.207	2.14
gamma-Sitosterol	57.430	1.34
Beta-Sitosterol	57.482	1.01

شکل ۲- کروماتوگرام گازی ترکیبات شیمیایی موجود در کاغذ لاینر کرافت (جدول ۲)

Fig. 2. Gas chromatograph of extractives chemical compounds in Kraft linier paper (Table 2)

جدول ۲- برخی از مهمترین ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در کاغذ لاینرکرافت (شکل ۲)

Table 2. Some of important identified chemical compounds in Kraft linier paper (Fig. 2)

Chemical Component	Retention time (min)	Area (%)
Syringyl aldehyde	30.275	0.31
1, 2- Benzendicarboxylic acide	33.257	1.17
Hexadecanoic acid	35.211	24.01
Pentadecane	35.650	0.38
Hexadecane	37.494	7.12
9-Octadecanoic acid	38.387	11.67
Octadecanoic acid	38.801	10.45
Octadecane	39.260	1.48
Pimaric acid	41.737	2.60
Tetracosane	42.585	0.65
Bicyclogermacrene	42.649	0.53
Isocunabic acid	42.759	0.93
Dehydro-abietic acid	43.452	5.72
Combretastatin A3	44.086	1.93
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	45.496	28.21
Eicosane	45.696	2.76
Squalene	50.515	1.4
Bis(2-ethylhexyl) ester	50.030	3.36

بحث

این تحقیق باهدف شناسایی و مقایسه اجزای شیمیایی مواد آلی موجود در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت با روش کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) انجام شد. بررسی و ارزیابی کروماتوگرام‌های GC/MS نشان داد که در کاغذ کنگره‌ای از ۷۶ ترکیب شناسایی شده، بنزآلدئید، بنزیل کلراید، بنزن متانول، بی بنزیل، سرینجیل آلدئید، دی بوتیل فتالات، بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات، گاما- سیتوسیترول و بتا-سیتوسیترول مهمترین ترکیبات بودند. دراین‌ارتباط، مطالعه ترکیبات آلی شناسایی شده در کاغذ کنگره‌ای از طریق GC/MS نشان‌دهنده حضور متنوعی از ترکیبات آروماتیک، آلکان‌های خطی، اسیدهای چرب، مشتقات لیگنین و فتالات‌ها است که بیانگر پیچیدگی منشأ زیستی و فرآیندی نمونه است. حضور بنزآلدهید با بیشترین سهم درصدی (۲۰/۴۴ درصد) به‌عنوان یک ترکیب آروماتیک، معمولاً نشان‌دهنده محصول فرعی اکسیداسیون لیگنین است که در فرآیندهای خمیرسازی و بازیافت کاغذ تولید می‌شود. این ترکیب می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای لیگنین‌زدایی و تخریب و انحلال لیگنین مواد اولیه لیگنوسلولزی طی پخت محسوب شود (Hatfield & Fukushima, 2005).

آلکان‌های خطی با زنجیره‌های کربنی بلند (دودکان تا ای‌کوزان) حضور مکرر دارند که اغلب از منابع طبیعی مانند واکس‌ها و روغن‌های گیاهی و از آلودگی‌های نفتی تجهیزات تولید کاغذ ناشی می‌شوند (Al-Masri *et al.*, 2010). این ترکیبات با توجه به قابلیت جذب روی سطوح سلولزی می‌توانند بر خواص فیزیکی کاغذ مانند نفوذپذیری و قابلیت آبگریزی تأثیرگذار باشند. مشتقات لیگنینی شامل ۶,۲-دی‌متوکسی‌فنول و سیرینجیل آلدهید، ترکیبات فنولی مهمی هستند که بیانگر منشأ گیاهی نمونه بوده و نقش کلیدی در ساختار و پایداری شبکه لیگنین ایفا می‌کنند (Ralph *et al.*, 2004). این ترکیبات به‌عنوان شاخص‌های شیمیایی برای بررسی کیفیت و منشأ مواد لیگنوسلولزی در نمونه‌های زیستی و صنعتی به کار می‌روند. حضور فتالات‌ها مانند دی‌بوتیل فتالات و بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات که به‌عنوان نرم‌کننده‌های پلاستیکی شناخته شده‌اند، نمایانگر آلودگی‌های محیطی یا افزودنی‌های صنعتی احتمالی در طول فرآیند تولید یا بازیافت کاغذ است. این ترکیبات به دلیل پایداری شیمیایی و اثرهای احتمالی زیست‌محیطی و بهداشتی، موضوع تحقیقات گسترده‌ای قرار گرفته‌اند (Wittassek *et al.*, 2007).

اسیدهای چرب با زنجیره بلند شامل هگزادکانوئیک

اسید و ۹-اکتادکانوئیک اسید نقش مهمی در ساختار بیومولکولی گیاهی دارند و حضور آن‌ها نشان‌دهنده بقایای روغن‌ها و چربی‌های طبیعی گیاهی یا فراوری‌های شیمیایی ناقص در نمونه است (Zhou *et al.*, 2016). همچنین، استرول‌های گیاهی مانند بتا-سیتوسترول و گاما-سیتوسترول که در ترکیب شیمیایی کاغذ کنگره‌ای مشاهده شده‌اند، نقش محافظتی و ساختاری در دیواره سلولی گیاهی دارند و می‌توانند برای تعیین منشأ زیستی مواد اولیه مورد استفاده قرار بگیرند (Piironen *et al.*, 2000). به‌طورکلی، اجزای مواد آلی شناسایی شده در کاغذ کنگره‌ای، نمایانگر فرآیندهای پیچیده زیستی و صنعتی است که شامل تخریب لیگنین، آلوده شدن به افزودنی‌های پلاستیکی و حضور آلکان‌ها و اسیدهای چرب طبیعی است. این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بهبود کیفیت محصول، ارتقاء فرآیندهای بازیافت و کنترل اثرهای زیست‌محیطی مرتبط با تولید کاغذ استفاده شود.

در کاغذ لاینرکرافت نیز از ۲۸ ترکیب شناسایی شده، بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات، دهیدرو-آبیتیک اسید، بیس (۲- اتیل هگزیل) استر، پیماریک اسید، ۲،۱-بنزن دی کربوکسیلیک اسید، اسکوئلن و سرینجیل آلدئید مهمترین ترکیبات بودند. نتایج حاصل از آنالیز طیف GC/MS نمونه کاغذ لاینر کرافت نشان داد که ترکیبات شیمیایی شناسایی‌شده به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند: ترکیبات طبیعی حاصل از ساختار چوب و ترکیبات صنعتی یا آلاینده‌های بالقوه. اسیدهای چرب مانند پالمیتیک اسید (۲۴/۰۱ درصد)، اولئیک اسید (۱۱/۶۷ درصد) و استئاریک اسید (۱۰/۴۵ درصد) از اجزای غالب این طیف بوده‌اند که به‌عنوان متابولیت‌های رایج در سلول‌های گیاهی و اجزای لیگنوسلولزی شناخته می‌شوند. این ترکیبات، در کنار اسیدهای رزینی مانند دی‌هیدروآبیتیک اسید و پیماریک اسید نمایانگر منشأ چوبی و ساختار شیمیایی لیگنین و رزین‌های طبیعی موجود در خمیر حاصل از چوب و مورد استفاده در تولید این نوع کاغذ هستند. این یافته‌ها با مطالعات کلاسیک مانند پژوهش‌های Sjöström (۱۹۹۳) و Fengel & Wegener (۱۹۸۴) در مورد ترکیب شیمیایی چوب همخوانی دارد. در مقابل، شناسایی غلظت بالای ترکیبات فتالاتی مانند بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات با سهم سطحی بالا (۲۸/۲۱ درصد)، زنگ خطر مهمی از منظر ایمنی و سلامت محصول محسوب می‌شود. حضور چنین ترکیباتی احتمال آلودگی ناشی از تماس با سطوح پلاستیکی، مواد افزودنی صنعتی، یا بسته‌بندی‌های غیراستاندارد را مطرح می‌کند (Tickner *et al.*, 2001). از سوی دیگر، ترکیبات هیدروکربنی خطی بلند زنجیر مانند هگزادکان و ای‌کوزان نیز در طیف مشاهده شده‌اند که ممکن است ناشی از افزودنی‌های غیرفیبری به‌کاررفته در فرآیند ساخت کاغذ لاینر کرافت باشند. درمجموع، آنالیز GC/MS به‌خوبی ترکیب دوگانه مواد طبیعی و آلاینده‌های صنعتی را در ساختار این نوع کاغذ نشان می‌دهد. با توجه به کاربردهای گسترده کاغذ لاینر کرافت در صنایع بسته‌بندی، به‌ویژه در تماس غیرمستقیم با مواد غذایی یا محصولات بهداشتی، پایش مداوم کیفیت مواد اولیه، فرآیندهای تولید و بررسی وجود ترکیبات خطرناک مانند فتالات‌ها موضوعی ضروری تلقی می‌شود. دراین‌ارتباط، به‌کارگیری روش‌های استخراج و آنالیز پیشرفته مانند GC/MS ابزار مؤثری برای پایش این ترکیبات فراهم می‌سازد و می‌تواند در جهت بهبود ایمنی، توسعه فرمولاسیون‌های زیست‌پایدار و کاهش بار آلاینده‌ها نقش کلیدی ایفا کند.

شناسایی و مقایسه ترکیبات شیمیایی کاغذهای کنگره‌ای و لاینر کرافت با استفاده از طیف‌سنجی جرمی-کروماتوگرافی گازی (GC/MS) تفاوت‌های معنی‌داری را در ترکیب شیمیایی این دو کاغذ نشان می‌دهد که ریشه در نوع خمیر مصرفی، فرآیند پالایش، افزودنی‌های صنعتی و شرایط استفاده نهایی دارد. آنالیز GC/MS دو نمونه کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت نشان داد که ترکیبات مشترکی مانند آلدئید سرینجیل، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک و آلکان‌های زنجیره بلند هگزادکان، پنتادکان و اکتادکان به‌طور برجسته حضور

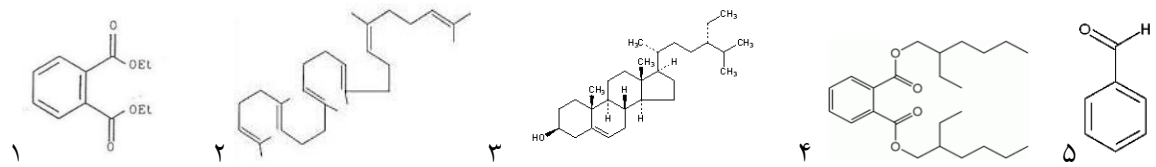
دارند. این ترکیبات عمدتاً منشأ زیستی داشته و بازتاب‌دهنده خواص ساختاری و الیافی کاغذ هستند، درحالی‌که حضور بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات به‌عنوان نرم‌کننده صنعتی در هر دو نمونه، نقش مهمی در بهبود انعطاف‌پذیری و دوام کاغذ ایفا می‌کند. بررسی ترکیبات اختصاصی هر نمونه نشان داد که در کاغذ کنگره‌ای، مواد آروماتیک و فنولیک مانند پارا-زایلن، بنزآلدهید و بی‌بنزیل و آلکان‌های سبک‌تری مانند دکان و دودکان وجود دارند که احتمالاً ناشی از تفاوت در منابع الیاف یا درجه بازیافتی بودن مواد اولیه است. در مقابل، کاغذ لاینر کرافت با ترکیباتی مانند اسید آبتیک، اسید پالمتیک، ایزوکونابیک اسید، کمبرتستاتین A_3 و آلکان‌های بسیار بلند زنجیره‌ای مانند تتراکوزان و اسکوالن مشخص می‌شود که احتمالاً بیانگر استفاده از الیاف چوب سوزنی‌برگان و یا افزودنی‌های روزینی است. افزون بر این، تفاوت در درصد حضور ترکیبات، مانند میزان بالای بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات و اسیدهای چرب بلند زنجیره در لاینر کرافت، نشان‌دهنده تنوع در فرمولاسیون و فرآیند تولید هر نوع کاغذ است. دراین‌ارتباط، آلکان‌های مشترک زنجیره بلند در هر دو نمونه، نقش احتمالی روان کننده‌ها و محافظ‌های سطحی را در بهبود خواص فیزیکی کاغذ ایفا می‌کنند. همچنین، شناسایی ترکیبات زیستی مانند بتاسیتوسترول و اسکوالن در هر دو نمونه نشان‌دهنده بقایای استخراج‌های گیاهی است که در خمیر چوب یا از طریق مواد افزودنی گیاهی وارد سیستم شده‌اند (Sjöström, 1993). این نتایج ضمن تأکید بر پیچیدگی ترکیب شیمیایی کاغذهای مختلف، می‌تواند به بهینه‌سازی فرایندهای تولید و انتخاب مواد اولیه مصرفی کمک کند. به‌طورکلی، کاغذ کنگره‌ای حاوی ترکیبات آروماتیک و تجزیه لیگنین بیشتری است که نشان‌دهنده استفاده از خمیر با پالایش کمتر یا فرآیند تولید صنعتی‌تر و اقتصادی‌تر است. کاغذ لاینر کرافت شامل درصد بالایی از اسیدهای چرب، فتالات‌ها و رزین‌های طبیعی است که می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت بالاتر خمیر، استفاده از افزودنی‌های خاص و هدف قرار دادن مقاومت و دوام بیشتر، با قابلیت استفاده در کاربردهای حساس‌تر مانند چاپ و بسته‌بندی مواد غذایی یا صنعتی است (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه کلی ترکیبات آلی موجود و شناسایی شده در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت

Table 3: Overall comparison of organic compounds found and identified in fluting and kraft Liner papers

Characteristic	Fluting paper	Kraft Liner Paper
Aromatic compound diversity	High	Low
Fatty acid percentage	Low to moderate	Very high
Phthalate presence	Low (1.53%)	Very high (28.21%)
Natural resin compounds	Absent or very low	Distinct and diverse
Alkane diversity	High but with low percentage	Lower but with higher percentage
Biological compounds (Steroids, Squalene)	present	present

دراین‌ارتباط، نتایج مطالعات قبلی با استفاده از دیاگرام GC/MS نشان داد که در اثر رنگبری با پروکسید هیدروژن ترکیباتی مانند ۱ و ۲- دی متیل بنزن، ۲ و ۴- پنتا دی ان نیتریل، دکان، بنزن متانول، بنزیل الکل، فرمیل مورفولین، اوکتادکان، دودکانوئیک اسید، هگزا دکان، ۹ و ۱۲- اکتادکانوئیک اسید و گاما-سیتوسترول از خمیرکاغذ CMPحذف شده‌اند (Vaysi, 2011).



شکل ۳- ساختار بعضی از ترکیبات شناسایی شده در کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت: ۲،۱- بنزن دی کربوکسیلیک اسید (۱)، اسکوئلن (۲)، گاما- سیتوسیترول (۳)، بیس (دو-اتیل هگزیل) فتالات (۴) و بنزآلدیید (۶)

Fig. 3. Chemical Structure of 1, 2-benzene d-carboxylic acid (1), Squalene (2), gamma-Sitosterol (3), Bis(2-ethylhexyl) phthalate (4) Benzaldehyde (3) identified in fluting and Kraft linier papers.

در هر دو نمونه کاغذ کنگره‌ای و لاینر کرافت، حضور قابل‌توجه بیس (۲-اتیل‌هگزیل) فتالات به‌عنوان نرم‌کننده صنعتی نشان‌دهنده نقش کلیدی آن در بهبود انعطاف‌پذیری و دوام کاغذ است. همچنین، اسیدهای چرب بلند زنجیره مانند اسید هگزادکانوئیک (پالمیتیک اسید) و اسید ۹-اکتادکانوئیک (اولئیک اسید)، با منشأ طبیعی، در تقویت خواص سطحی و جذب مواد افزودنی مؤثر هستند. علاوه بر این، آلکان‌های زنجیره بلند مانند هگزادکان و اکتادکان ممکن است به‌عنوان روان کننده‌ها یا عوامل محافظ سطح عمل کنند و بهینه‌سازی خواص فیزیکی کاغذ را تسهیل نمایند. بعضی از این ترکیبات غیرقطبی و شامل ترکیبات آلی اسیدهای چرب و ترکیبات رزینی بوده که در آب نامحلول هستند. این ترکیبات با توجه به نوع مصرف چوب می‌توانند اثرهای منفی یا مثبتی روی کاربردهای صنعتی چوب داشته باشند (Vaysi, 2011). در صنایع تولید خمیرکاغذ به روش‌های اسیدی، به دلیل انحلال کم این ترکیبات در محیط اسیدی، مشکلاتی را در تولید خمیر و کاغذ ایجاد می‌کنند که مهمترین آنها مشکل قیر (Pitch) در تولید کاغذ است. در این حالت، این ترکیبات از طریق پلیمر شدن، ترکیبات تیره‌رنگ و سنگینی را ایجاد می‌کنند که به‌صورت لکه‌های سیاهی در کاغذ تولیدی دیده می‌شود. دراین‌ارتباط، با طبقه‌بندی مواد شناسایی شده با کمک کروماتوگرام‌های حاصل از GC/MS، این نتیجه حاصل شد که ترکیباتی شامل رزین‌های سنتزی، استر اسیدهای چرب، اسیدهای دی کربوکسیلیک، رزین‌های سیکلونی و مختصری عوامل فعال سطحی، نرم‌کننده‌ها و مشتقات بنزنی در رسوبات چسبناک بخش تیغه‌های خشک‌کن فرآیند بازیافت کاغذ وجود دارند (Razmpour *et al.*, 2001). همچنین، نتایج حاصل از GC-MS نشان داد که ۳۵ ترکیب در خمیر رنگبری نشده باگاس وجود دارد که ۲،۱-بنزن دی کربوکسیلیک اسید، هگزا دکانوئیک اسید، هگزادکان، اوکتادکان، p-زایلان، ۴- هیدروکسی-۴-متیل-۲-پنتانون، اتیل بنزن و دودکان دارای بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات هستند. به‌طورکلی ۱۷ ترکیب در توالی رنگبری EH، ۱۲ و ۱۴ ترکیب به ترتیب در توالی‌های رنگبری OD(EP)P و OD(EP)D شناسایی شد که دو ترکیب p-زایلان، ۱ و ۲-بنزن دی کربوکسیلیک اسید در تمامی نمونه‌ها به‌صورت مشترک وجود دارند و دو ترکیب اوکتا دکان و ۹-اوکتادکانوئیک اسید در خمیرکاغذ رنگبری نشده وجود دارد که در طی توالی‌های رنگبری مورد نظر از خمیرکاغذ حذف شده است. نتایج نشان داد که دو ترکیب ۲ و ۶-دی متیل-۶-نیترو-۲-هپتن-۴-ان و دودکان در مرحله رنگبری EH در خمیر موجود بوده، ولی در طی توالی‌های رنگبری OD(Ep)P و OD(Ep)D از خمیرکاغذ باگاس حذف گردیده است، به‌طوری‌که توالی‌های رنگبری OD(Ep)P، OD(Ep)D و EH نقش مؤثری در سفیدسازی، حذف ترکیبات شیمیایی موجود و روشنی خمیرکاغذ سودای باگاس داشته‌اند (Vaysi *et al.*, 2015).

References

-Al-Masri, M.S., 2010. Hydrocarbon contamination assessment in industrial environmental samples. Journal of Hazardous Materials, 177(1-3), 561-565.https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12. 097.

-Barzan A., S. Soraki, 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran, 111-121, (in Persian).

-Hossieni, S.V., 1991. Chromatography methods, Center of edition, Tehran, Pp, 29-38, (in Persian).

-Fengel, D., & Wegener, G. 1984. Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter.

-Hatfield, R. D., & Fukushima, R. S. 2005. Can lignin be accurately measured? *Crop Science*, 45(3), 832-839. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0093.

-Hubbe, M.A., Rojas, O.J. and Venditti, R.A., 2006. Control of tacky deposits on paper machines: areview. Nord Pulp Pap Res J, 21, 154. https://doi.org/10.3183/npprj-2006-21-02-p154-171

-Johansson M. 2000. Formation of chromophores and leuco-chromopheres during manufacturing of mechanical pulp, department of pulp and paper chemistry and technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

-Meszaros, E., Jakab, E., and Varhegyi, G., 2006. TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of Robinia pseudoacacia, J. of Analytical and Applied Pyrolysis, 79: 61-70. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.12.007

-Mirshokraei, S.A., 2002. Wood chemistry. Aieg edition.Tehran, press. 194 p. (Translated in Persian)

-Piironen, V., et al. 2000. Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(7), 939-966. https://doi.org/10.1002/1097-0010(200005)80:7<939::AID-JSFA596>3.0.CO;2-8

-Razmpour, Z., Asadpour, Gh. Kermanian, H., Ramezani, O., Zabihzadeh, S.M., 2023. A feasibility study on identification of stickies and their sources in packaging paper mill, Iranian journal of wood and paper industries, 38(2), 114-127.

-Razi, M., 1999. The effect of washing and deinking treatments on the type and percentage of metal ions and organic compounds present in tissue paper, master science thesis (MS). Islamic Azad University of Chalous branch, Chalous, Iran, (In Persian). https://doi.org/10.52547/ijethics.3.4.33

-Ralph, J., et al. 2004. Lignins: natural polymers from oxidative coupling of 4-hydroxyphenyl-propanoids. Phytochemistry Reviews, 3(1-2), 29-60. https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000037163.66395.a0.

-Sjöström, E., 1993. Wood chemistry: Fundamentals and applications (2nd ed.). Academic Press.

-TAPPI, Standard Test Methods, 2009. Technical Association of Pulp and Paper Industry. Tappi Press , Atlanta, GA. USA.

-Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI), 2009. Standard Test Methods. Tappi Press , Atlanta, GA. USA.

-Tickner, J. A., Schettler, T., Guidotti, T., McCally, M., & Rossi, M. 2001. Health risks posed by use of Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review. American Journal of Industrial Medicine, 39(1), 100–111. https://doi.org/10.1002/1097-0274(200101)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-W

-Vaysi, R., 2011. Identification of the extractives chemical compounds in newsprints by GC-MS methods, Asian journal of chemistry, 23(11), 5155-5156.

-Vaysi, R. and KHaje-Ali, I. 2015. A study on the possibility of extraction, identification and removal of metallic ions and resins in bleached bagass pulp by ECF stages, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research,30 (1), 72-84.

-Vaysi, R., 2013. The effects of cooking and bleaching on organic chemical compounds in CMP pulp and Newsprint, Journal of Lignocellulose, 2(2), 377-385.

-Wittassek, M., et al. 2007. Internal phthalate exposure over the last two decades – a retrospective human biomonitoring study. Environmental Health Perspectives, 115(3), 409-415. https://doi.org/10.1289/ehp.9367

-Xiao, B., sun, X.F., and sun, R.C. 2001. Extraction and characterization of lipophilic extractives from rice straw chemical composition, J. of wood chemistry and technology, 21: 397-411. https://doi.org/10.1081/wct-100108334

-Zhou, Y., 2016. Characterization and source identification of fatty acids in biomass feedstocks. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2016, 5638267.https://doi.org/10.1155/2016/5638267.