

(OPEN ACCESS)

Identification and Comparison of Metal Ions and Organic Compounds in Bamboo and Reed Stalks using Atomic Absorption, GC-MS Methods

Seyed Eshagh Ebadi 

-Department of Wood and Paper, Cha.C. Islamic Azad University, Chalus, Iran, E-mail:eshaghebadi@gmail.com; eshaghebadi@iaiu.ac.iri

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 11 August 2025

Revised: 17 December 2025

Accepted: 24 January 2026

Published online: 19 June 2026

Keywords:

Atomic absorption, bamboo stalk, GC-MS methods, metallic Ions, Reed and organic compounds, Retention-time.

ABSTRACT

Background and Purpose: Due to the limited availability of raw materials required by Iran's wood and paper industries, the utilization of lignocellulosic resources such as bagasse, reed, bamboo, cotton linters, cotton, kiwi pruning waste, rapeseed waste, and others plays a vital role in the country's fiber sector. Among these, bamboo and reed being renewable resources should not be overlooked, as their stalks can supply a portion of the non-wood lignocellulosic materials of Iran's industries. This study was conducted to identify the mineral elements and chemical components of organic matter (in reed and bamboo stalks).

Materials and methods: Thirty reed and bamboo stalks were selected and harvested from the western region of Mazandaran. Initially, stalks flour and ash content were prepared according to TAPPI standard methods. The types and concentrations of mineral elements were determined using 63% nitric acid and an atomic absorption spectrometer. Then, the extractive content of the samples was measured. The extractives were isolated using acetone solvent, and the remaining extract was transferred to a glass vial. BSTFA reagent was added, and the samples were heated in a water bath (bain-marie bath) at 70°C for one hour, followed by injection into the GC-MS system. Compound identification was based on the retention-time diagram, calculation of the Kovats index, and comparison with the Adams table.

Findings: The results indicated that bamboo stalks had higher absorption levels of zinc, copper, and magnesium ions compared to reed. Conversely, reed stalks showed higher absorption of iron, lead, potassium, and manganese ions. GC-MS analysis revealed 96 compounds in reed stalks, with 2-Phenyl-N-methylaniline (25.99%), benzaldehyde (20.70%), 1,2-benzenedicarboxylic acid (11.48%), and xylene (1.16%) being the most prominent. In bamboo stalks, 104 compounds were identified, with benzaldehyde (46.43%), iron monocarbonyl (1.94%), bibenzyl (1.58%), and vanillin (0.09%) being the most abundant.

Conclusion: The findings showed that magnesium had the highest absorption in reed, while lead had the lowest in bamboo. Chromatogram analysis identified nine compounds xylene, benzaldehyde, benzyl chloride, benzene methanol, dodecane, tetradecane, bibenzyl, octadecane, and 1,2-benzenedicarboxylic acid

as common to both reed and bamboo. Vanillin and iron monocarbonyl were specific to bamboo, while bis (2-ethylhexyl) phthalate and gibberellin A3 were specific to reed. Among these, benzaldehyde was the most prevalent compound in both plants, indicating its potential role in the future applications of reed and bamboo stalks.

Cite this article: Seyed Eshagh Ebadi. 2026. Identification and Comparison of Metal Ions and Organic Compounds in Bamboo and Reed Stalks using Atomic Absorption, GC-MS Methods. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 41(2), 139-152.


DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.370363.1811>



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijwpr.arco.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 یون‌های فلزی و ترکیبات آلی موجود در ساقه نی و بامبو با استفاده از فنون جذب اتمی،

کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی

سید اسحاق عبادی 

- گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: با عنایت به محدودیت تأمین مواد اولیه موردنیاز صنایع چوب و کاغذ کشور، استفاده از منابع لیگنوسلولزی مانند باگاس، نی، بامبو، لینتر پنبه، پنبه، چوب پسماند هرس کیوی، پسماند کلزا و غیره در صنایع فیبری ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. در این میان، بامبو و نی به‌عنوان یکی از منابع تجدیدشونده را نباید از نظر دور داشت، به‌طوری‌که ساقه و پسماندهای آن می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از مواد لیگنوسلولزی غیرچوبی صنایع ایران باشد. این تحقیق باهدف شناسایی عناصر معدنی و اجزای شیمیایی مواد آلی موجود در ساقه نی و بامبو انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶	مواد و روش‌ها: تعداد سی ساقه نی و بامبو از منطقه غرب مازندران انتخاب و قطع گردید. در مرحله اول آرد ساقه نی و بامبو و درصد خاکستر آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI تهیه شد. با کمک اسید نیتریک ۶۳ درصد و دستگاه جذب اتمی، نوع و درصد عناصر معدنی آن‌ها تعیین گردید. سپس درصد مواد استخراجی نمونه‌های آزمون‌ی اندازه‌گیری شد. مواد استخراجی توسط حلال استن از آرد چوب جداسازی و باقیمانده مواد استخراجی به داخل یک ویال شیشه‌ای منتقل و به آن واکنش‌گر BSTFA اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در حمام بن‌ماری و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و برای آنالیز به دستگاه GC-MS تزریق شدند. شناسایی ترکیبات با توجه به دیاگرام زمان بازداری، محاسبه ضریب کوارتز و جدول آدامز انجام شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۹	یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار جذب یون‌های روی، مس و منیزیم در ساقه بامبو بیشتر از مقادیر آنها در ساقه نی است. همچنین مقدار جذب یون‌های آهن، سرب، پتاسیم و منگنز در ساقه نی بیشتر از ساقه بامبو می‌باشد. نتایج GC-MS نشان داد که در ساقه نی ۹۶ ترکیب وجود دارد که ۲- فنیل-N-متیل آنیلین (۲۵/۹۹٪)، بنز آلدئید (۲۰/۷۰٪)، ۲،۱- بنزن دی کربوکسیلیک اسید (۱۱/۴۸٪) و زایلان (۱/۱۶٪) به‌عنوان مهمترین ترکیبات هستند. در ساقه بامبو ۱۰۴ ترکیب شناسایی شد که بنز آلدئید (۴۶/۴۳٪)، آهن، مونوکربونیل (۱/۹۴٪)، بی بنزیل (۱/۵۸٪) و وانیلین (۰/۰۹٪) دارای بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات می‌باشند.
واژه‌های کلیدی: بامبو، ترکیبات آلی، ساقه نی، جذب اتمی، زمان بازداری، یون فلزی، GC-MS	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که میزان جذب یون منیزیم در ساقه نی به‌عنوان بیشترین و میزان جذب یون سرب در بامبو به‌عنوان کمترین عناصر شناسایی شده بودند. بررسی کروماتوگرام‌ها هم نشان داد که ۹ ترکیب زایلان، بنز آلدئید، بنزیل کلراید، بنزن متانل، دودکان، تترادکان، بی بنزیل، اوکتادکان و ۲،۱- بنزن دی کربوکسیلیک اسید به‌صورت مشترک در ساقه نی و بامبو وجود دارند. همچنین ترکیبات وانیلین و آهن، مونوکربونیل در ساقه بامبو و ترکیبات بیس (۲-اتیل هگزیل) فتالات و جیبرلین A ₃ در ساقه نی بسیار مهم و حائز اهمیت است. در این میان، بنز آلدئید به‌عنوان یکی از مهمترین و بیشترین ترکیب شناسایی شده در ساقه بامبو و نی است. این ترکیبات می‌توانند در مصارف ساقه نی و بامبو نقش مؤثری داشته باشند.

استناد: سید اسحاق عبادی. ۱۴۰۵. شناسایی و مقایسه یونهای فلزی و ترکیبات آلی موجود در ساقه نی و بامبو با استفاده از فنون جذب اتمی، کروماتوگرافی گازی- طیفسنجی جرمی. نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۱(۲)، ۱۳۹-۱۵۲.

DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.370363.1811>

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و رشد تقاضای مصرف فراورده‌های چوب و کاغذ از یکسو و محدودیت سطح جنگل‌های تجاری و رقابت شدید کارخانه‌های صنایع چوب و کاغذ برای تأمین مواد اولیه از سوی دیگر، استفاده از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی به یک ضرورت تبدیل شده است. منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی مانند باگاس، نی، بامبو، لینتر پنبه، پسماند هرس کیوی، پسماند کلزا و سایر مواد مشابه، به دلیل قابلیت تجدیدپذیری، در دسترس بودن و قیمت مناسب، نقش قابل توجهی در صنایع فیبری ایران و جهان ایفا می‌کنند. استفاده از این منابع می‌تواند فشار بر منابع جنگلی را کاهش داده و مسیر توسعه پایدار صنایع کاغذسازی و بیورفاینری (Biorefinery) را فراهم نماید (Hawanis et al., 2024; Cabañas Romero et al., 2024). در این میان، بامبو و نی در ایران به‌عنوان منابع تجدیدپذیر می‌توانند بخشی از نیازهای لیگنوسلولزی کشور را تأمین کنند (Vaysi, 2015).

بامبو، گیاهی چندساله از خانواده گرامینه (Poaceae) و زیرخانواده بامبوژیته است که دارای حدود ۷۰ جنس و ۱۵۰۰ گونه است و به‌عنوان سریع‌ترین گیاه رشدکننده جهان شناخته می‌شود (Latif, 1995). ساقه بامبو دائمی، چوبی و توخالی است و شامل بافت پارانشیم، آوند چوبی، بافت فیبری و آوند آبکش است. سطح خارجی ساقه با یک پوشش مومی به نام کوتین محافظت می‌شود و بامبو فاقد رشد ثانویه در ساقه است (Wang et al., 2019; Rogerson et al., 2016; Idris & Mohamad, 2002). گونه‌های سریع‌الرشد بامبو می‌توانند روزانه تا ۱۲۲ سانتی‌متر رشد کنند و ارتفاع برخی گونه‌ها به بیش از ۴۰ متر می‌رسد. ریزوم‌ها، واحد اصلی ساختاری بامبو هستند که وظیفه ذخیره و انتقال مواد غذایی را بر عهده دارند و براساس نوع

ریزوم، بامبو می‌تواند به‌صورت تک‌ساقه‌ای یا چندساقه‌ای رشد کند. رشد یک ساقه جدید طی ۲ تا ۴ ماه به حداکثر می‌رسد و فرایند چوبی شدن ساقه طی ۳ تا ۵ سال ادامه می‌یابد (Rogerson et al., 2016). تیمار پیش‌تیماری قلیایی-سولفیت روی پسماند بامبو باعث افزایش دسترسی سلولز به آنزیم‌ها شده است که کاربرد بامبو در تولید فیبر را ارتقاء می‌دهد (Xing et al., 2025).

نی، گیاهی تک‌لپه‌ای از راسته پوشینه‌داران و زیرخانواده گندمیان است که ساختاری مشل‌به بامبو دارد. گونه *Phragmites Donax* بیشترین پراکندگی را در ایران دارد و گونه *P. australis* مهم‌ترین گونه در رویشگاه‌های جنوب، شمال و شرق ایران به‌شمار می‌رود. این گیاه پایا، بلند، مقاوم و محکم است و ارتفاع آن به بیش از ۳ متر می‌رسد و دارای ریزومی خزننده است. این‌گونه در سواحل آهکی، زمین‌های شنی شیب‌دار، جنگل‌های تنگ کوهستانی، سواحل دریاچه‌ها، تالاب‌ها و برخی رودخانه‌ها رشد می‌کند (Ye et al., 2016; Baibagyssov et al., 2025). همچنین ارزش زیست‌توده نی، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی به‌تازگی مورد توجه قرار گرفته است (Ye et al., 2016). علاوه بر این، مدل‌سازی سنجش‌ازدور نشان می‌دهد که زیست‌توده بالای نی در برخی تالاب‌ها، یک منبع غنی برای کاربردهای بیورفاینری دارد (Baibagyssov et al., 2025). مطالعات نشان داده‌اند که ویژگی‌های کاغذ حاصل از خمیر شیمیایی-مکانیکی (CMP) بامبو و نی متفاوت است. بیشترین مقاومت به ترکیدن، طول پارگی، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی، زردی و هاتی در کاغذ حاصل از خمیر CMP بامبو و کمترین آن‌ها (به‌جز روشنی) در کاغذ حاصل از خمیر CMP نی مشاهده شد. همچنین، افزودن ۲۵ تا ۱۰۰ درصد خمیر CMP بامبو به خمیر CMP کارخانه‌های چوب

برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی ساقه نی و بامبو، ابتدا طبق آزمون شماره ۸۵-om-۲۵۷ T استاندارد TAPPI، آرد چوب ساقه تهیه شده، سپس آرد حاصل مربوط به هر دیسک با هم مخلوط شدند. حاصل این اختلاط در واقع تهیه یک نمونه همگن از ساقه نی و بامبو (جدآگانه) بود. سپس با استفاده از روش سوکسله و حلال استن مواد عصاره‌ای ساقه نی و بامبو به دست آمد. اندازه‌گیری مقدار خاکستر طبق آزمون شماره ۸۵-om-۲۱۱ T استاندارد TAPPI انجام شد.

۳- آماده‌سازی نمونه‌ها برای شناسایی عناصر معدنی ساقه نی و بامبو

برای جداسازی عناصر معدنی از ساقه نی و بامبو، ۵ گرم خاکستر در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری قرار داده و ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۳ درصد به آن افزوده شد. مخلوط هر ۱۵ دقیقه ۲-۳ بار به آرامی هم زده شد و پس از گذشت یک ساعت، محلول از صافی عبور داده شد. سپس خاکستر با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد تا عناصر معدنی در اسید نیتریک حل شده و به صورت محلول منتقل گردید. این محلول برای شناسایی و تعیین غلظت عناصر معدنی مانند پتاسیم، نیکل، روی، مس، آهن و سرب به دستگاه جذب اتمی ارسال شد (Vaysi., 2013).

۴- شناسایی عناصر معدنی چوب ساقه نی و بامبو با کمک دستگاه جذب اتمی

پس از آماده‌سازی دستگاه جذب اتمی، لامپ‌های کاتدی برای عناصر آهن، پتاسیم، مس، سرب، روی و نیکل به ترتیب در محل مناسب قرار گرفتند و جریان در محدوده ۲-۳ میلی‌آمپر تنظیم گردید. سپس شکاف تک‌فام‌ساز به گونه‌ای تنظیم شد که خط رزونانس با طول‌موج ۲۸۵/۲ نانومتر انتخاب گردید. در ادامه، کپسول‌های استیلن و هوا به دستگاه متصل شدند. محلول‌های استاندارد به داخل شعله وارد شده و اندازه‌گیری‌ها با ۳ تکرار برای هر عنصر انجام و نتایج ثبت گردید. از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل ۲۰۰ سپکاتو (ساخت شرکت یاریان) برای تعیین جذب یون‌های

و کاغذ، تمامی ویژگی‌های کاغذ (به جز روشنی) را بهبود بخشیده است. نتایج نشان داد که می‌توان از اختلاط ۲۵ تا ۱۰۰ درصدی خمیر CMP بامبو و اختلاط ۲۵ درصدی خمیر CMP نی در تولید کاغذ روزنامه استفاده کرد (Vaysi, 2015).

بنابراین فیبرهای غیرچوبی لیگنوسلولزی نی و گونه‌های بامبو، می‌توانند به عنوان منابع پایداری برای صنایع کاغذ و بیورفاینری مطرح شوند (Tocco et al., 2021; Fidelis et al., 2023) و گنجاندن چنین منابعی (بامبو و نی) در صنعت کاغذسازی می‌تواند به کاهش فشار بر منابع جنگلی کمک کرده و مسیر توسعه پایدارتری را برای تأمین ماده اولیه لیگنوسلولزی فراهم نماید (Cabañas Romero et al., 2024).

تحقیقات و مطالعات بیومتری و ترکیب شیمیایی نی در مناطق مختلف ایران نشان داد که میانگین طول الیاف، سلولز و لیگنین این گونه به ترتیب ۱/۳۹ میلی‌متر، ۶۰/۱۲٪ و ۲۰/۶۴٪ است. از این رو، نی می‌تولند به عنوان یکی از مواد اولیه مناسب در صنایع کاغذسازی، در مقایسه با پهن‌برگان بومی و سایر گیاهان غیرچوبی، مدنظر قرار گیرد (Mahdavi et al., 2006). با توجه به اهمیت شناخت دقیق ترکیبات شیمیایی و یون‌های فلزی موجود در این منابع غیرچوبی و اثر آنها بر کیفیت کاغذ، این تحقیق باهدف بررسی و مقایسه یون‌های فلزی و ترکیبات آلی موجود در ساقه بامبو و نی با استفاده از فنون جذب اتمی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) انجام شده است.

مواد و روش‌ها

۱- تهیه نمونه‌های آزمون

برای انجام این تحقیق تعداد سی ساقه نی و بامبو از منطقه غرب مازندران به صورت تصادفی انتخاب، قطع و از هر ساقه نمونه آزمون تهیه شد.

۲- اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

آن استفاده گردید (Vaysi, 2019, Vaysi, 2015).

$$I = 100n + 100(t_{rx} - t_m) / (t_{m+1} - t_m)$$

* I = ضریب کوارتز

* T_{rn} = زمان بازداري آلکان نرمال

* n = تعداد کربن‌های آلکان نرمال

* T_{rx} = زمان بازداري ماده مجهول

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

۶- مشخصات دستگاه GC:

- نوع ستون: HP - 5MS 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.

نتایج

الف- نتایج حاصل از دستگاه جذب اتمی و مربوط به میزان جذب یون‌های فلزی ساقه نی و بامبو:

- مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

نتایج جدول آزمون t نشان می‌دهد که در آزمون تساوی میانگین مشخصه یون‌های فلزی در سطوح گونه (بامبو و نی)، شواهد کافی برای رد فرض صفر (H_0) وجود داشته و اختلاف معنی‌داری بین میانگین یون‌های فلزی سرب، روی، منیزیم و پتاسیم در ساقه نی و بامبو وجود دارد (جدول ۱).

فلزی در گیاهان چوبی و غیرچوبی استفاده شد. عبور تابش UV یا VIS از محیطی با ذرات تک اتمی در حالت گازی (بخار) موجب جذب برخی از فرکانس‌ها و انتقال بین سطوح انرژی مجاز الکترون‌های والانس می‌شود که در نتیجه آن، طیف حاصل شامل خطوط منحصربه‌فرد و باریک (طیف خطی) خواهد بود.

۵- جداسازی و شناسایی اجزاء شیمیایی مواد استخراجی ساقه نی و بامبو

پس از استخراج مواد از ساقه نی و بامبو، حلال حاوی ترکیبات استخراجی با عبور گاز بی‌اثر نیتروژن از سطح ظرف تبخیر شده و باقیمانده که همان مواد استخراجی ساقه است، برای انجام آزمایش‌های بعدی استفاده گردید. گام بعدی در فرایند، سایلنل‌دار کردن ترکیبات استخراجی به منظور تحلیل در دستگاه کروماتوگرافی گازی بود. برای این منظور، ۰/۰۰۳ گرم از باقیمانده مواد استخراجی توزین شده و درون ویالی شیشه‌ای منتقل گردید. سپس ۹۰ میکرولیتر از واکنشگر بیس (تری‌متیل‌سایلنیل) تری‌فلوراستامید (BSTFA) به نمونه اضافه شد. درب ویال بسته شده و برای جلوگیری از غوطه‌وری ویال در آب، با فویل آلومینیومی پیچیده و در داخل یونولیت قرار داده شد. سپس، واکنش بین مواد استخراجی و BSTFA در حمام بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت انجام شد. پس از این مدت، نمونه‌ها برای آنالیز با دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) آماده گردیدند. نمونه‌ها با استفاده از سرنگ همیلتون به بخش Injection دستگاه تزریق و پس از آن، شناسایی ترکیبات از طریق زمان بازداري ترکیب‌ها (TR)، شاخص بازداري کوآتس (KI)، طیف جرمی و مقایسه آن‌ها با $\mu_1 = \mu_2$ ترکیبات استاندارد یا اطلاعات کتابخانه‌ای دستگاه (جدول آدامز) انجام شد. ثبت کروماتوگرام و طیف جرمی نیازمند ۳۰ دقیقه زمان بود. همچنین، برای محاسبه ضریب کوآتس از جدول زمان‌بندی بازداري آلکان‌های نرمال و فرمول محاسبه

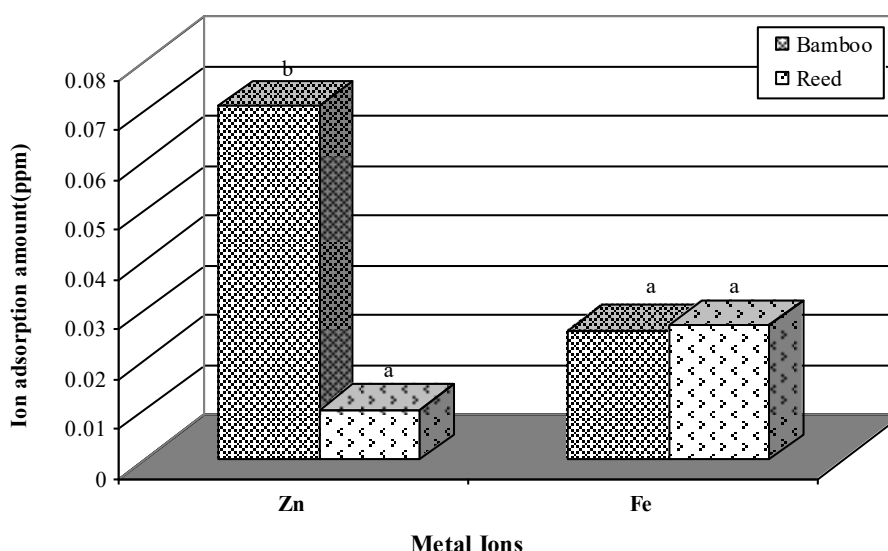
جدول ۱- آزمون t بین متغیر و یون‌های فلزی موجود در ساقه بامبو و نی

Table 1- T-test between variable and metal ions in bamboo and reed stems

K	Mn	Mg	Zn	Cu	Fe	Pb	V. Cha.
21.131	-2.449	-12.237	91	3.464	-1.225	-31	t
0.0001	0.07	0.0001	0.0001	0.026	0.288	0.0001	significant

نیز در نی کمی بیشتر از ساقه بامبو است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب یون روی نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱).

مقایسه میزان جذب یون آهن و روی موجود در ساقه نی و بامبو نتایج نشان داد که میزان جذب یون روی در ساقه بامبو (۰/۰۷۱ ppm) بیشتر از ساقه نی است. میزان جذب یون آهن

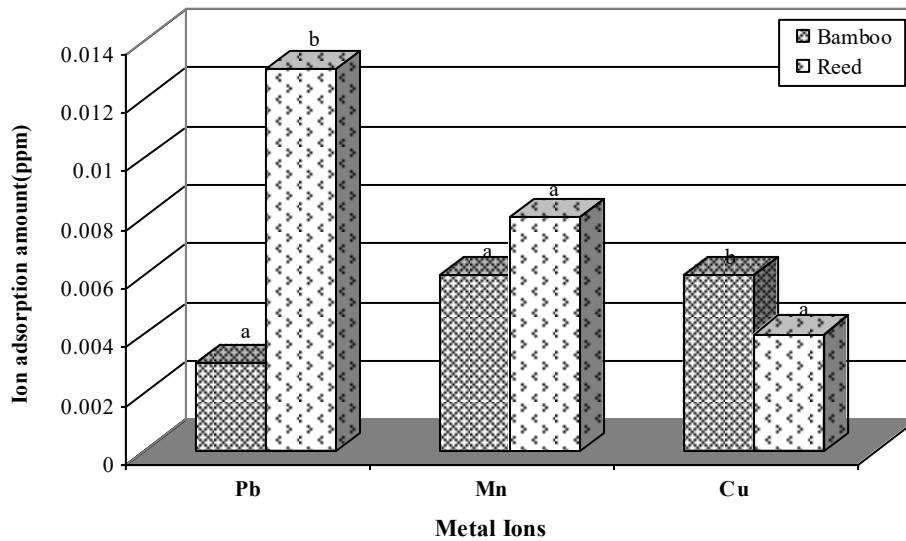


شکل ۱- مقایسه میزان جذب یون آهن و روی در ساقه بامبو و نی

Fig.1 - Comparison of the absorption rate of "Fe and Zn" ions in bamboo and reed stems

است. میزان جذب یون مس در ساقه بامبو (۰/۰۰۶ ppm) نیز بیشتر از مقدار آن در نی است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب یون سرب و مس نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲).

مقایسه میزان جذب یون سرب، منگنز و مس موجود در بامبو و نی نتایج نشان داد که میزان جذب یون سرب در ساقه نی (۰/۰۱۳ ppm) و منگنز (۰/۰۰۸ ppm) بیشتر از ساقه نی

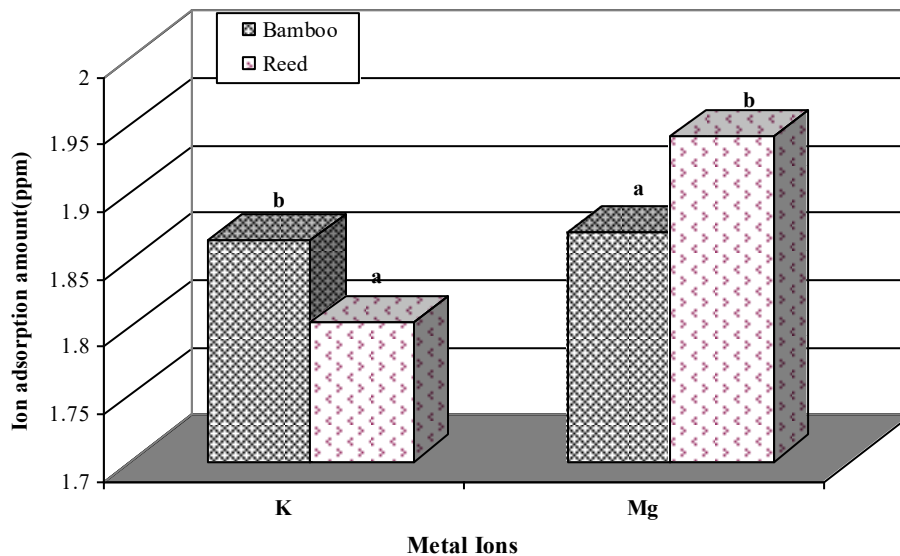


شکل ۲- مقایسه میزان جذب یون سرب، منگنز و مس در ساقه بامبو و نی

Fig.2. Comparison of the absorption rate of "Pb, Mn and Cu" ions in bamboo and reed stems

مقایسه میزان جذب یون پتاسیم و منیزیم موجود در ساقه بامبو (ppm) ۱/۸۷۰ است. میزان جذب یون پتاسیم در ساقه بامبو (ppm) ۱/۸۶۴ بیشتر از مقدار آن در نی است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب یون پتاسیم و منیزیم ساقه بامبو و نی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).

نتایج نشان داد که میزان جذب یون منیزیم در ساقه نی (ppm) ۱/۹۴۱ بیشتر از مقدار آن در ساقه بامبو (ppm) ۱/۸۷۰ است. میزان جذب یون پتاسیم و منیزیم موجود در ساقه بامبو و نی



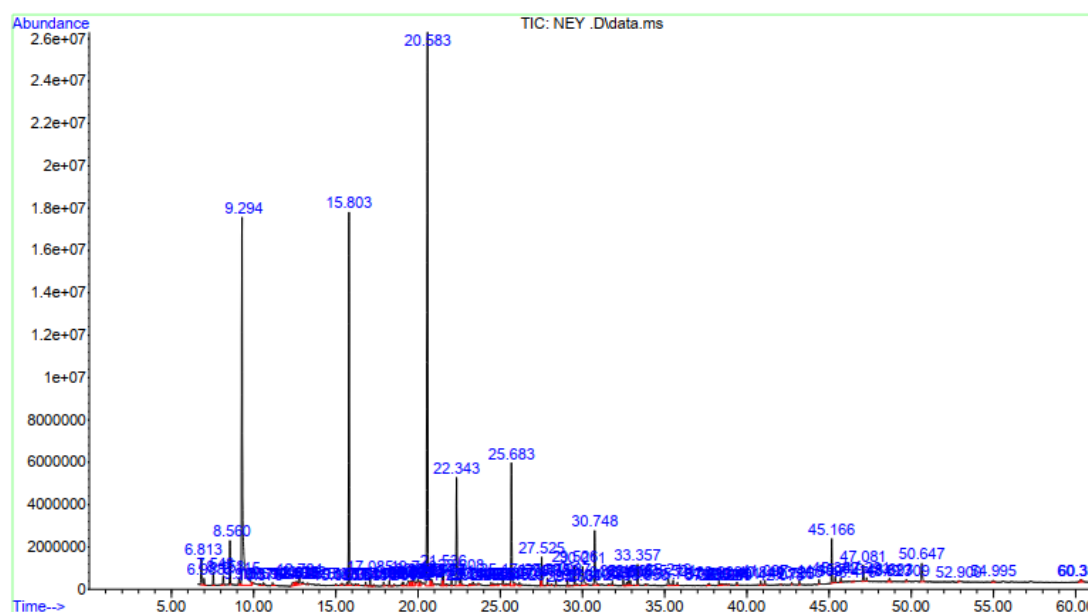
شکل ۳- مقایسه میزان جذب یون منیزیم و پتاسیم در ساقه بامبو و نی

Fig. 3. Comparison of the absorption rate of "Mg and K" ions in bamboo and reed stems

نتایج حاصل از دستگاه GC-MS و شناسایی ترکیبات آلی موجود در مواد آلی ساقه نی و بامبو

اسید (۱۱/۴۸٪)، زایلان (۱/۱۶٪)، بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات (۱/۳۷٪)، α - فنیل- بنزن اتانول (۱/۳۹٪) و جیبرلین A₃ (۰/۳۳٪) دارای بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات هستند (شکل ۴، جدول ۲).

نتایج نشان داد که در چوب ساقه نی ۹۹ ترکیب شناسایی وجود دارد، به طوری که ۲- فنیل-N- متیل آنیلین (۲۵/۹۹٪)، بنز آلدئید (۲۰/۷۰٪)، ۱۲- پروپنویک اسید (۵/۳۶٪)، بی بنزیل (۴/۸۶٪)، ۲،۱- بنزن دی کربوکسیلیک



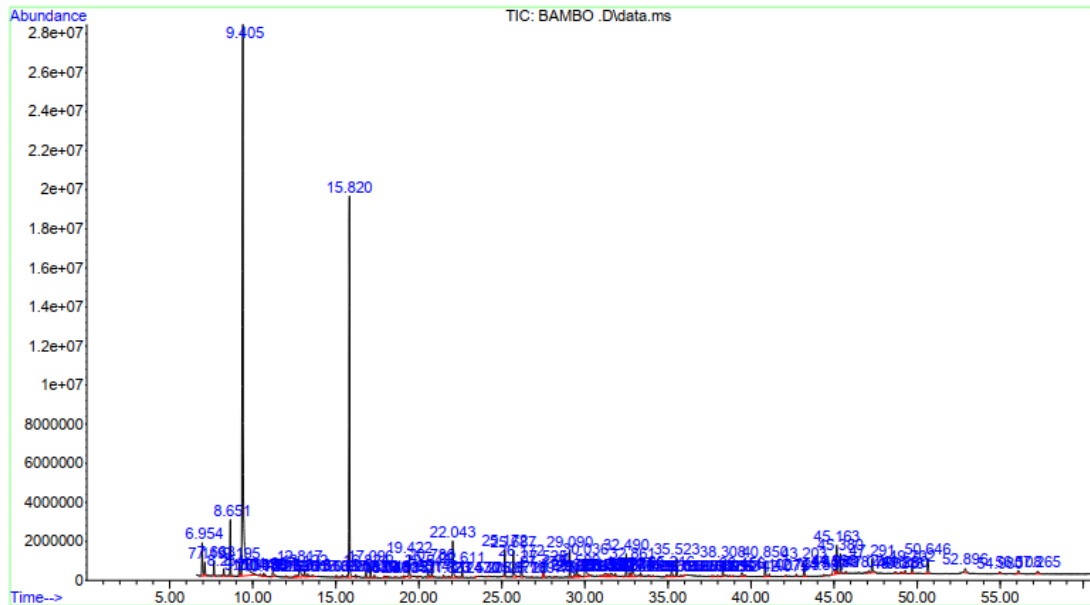
شکل ۴- کروماتوگرام گازی ترکیبات آلی موجود در ساقه نی (جدول ۲)

Fig. 4. Gas chromatogram of organic compounds in the reed stem (Tab. 2)

جدول ۲- ترکیبات آلی شناسایی شده موجود در ساقه نی (شکل ۴)

Tab. 2- Identified organic compounds in the reed stem (Fig. 4)

Area (%)	Retention time(min)	Composition	Row
1.16	6.813	Xaylan	1
20.70	9.297	Benzaldehyde	2
0.19	11.141	Benzyl chloride	3
1.26	12.402	Benzene methanol	4
0.34	17.086	Dodecane	5
25.99	20.585	2-Phenyl-N-methyl-aniline	6
7.74	22.345	2-Propanoic acid	7
0.55	22.610	Tetradecane	8
4.86	25.682	Bibenzyl	9
1.39	30.010	α -Phenyl-benzene ethanol	10
0.15	31.828	Octadecane	11
0.68	33.354	1, 2- Benzene dicarboxylic acid	12
0.16	41.097	1-Octadecane	13
1.56	44.396	I-Cosan	14
1.37	45.166	Bis (2-ethylhexyl) phthalate	15
0.65	47.081	Hexadecane	16
0.33	60.315	Gibberellin A ₃ (GA ₃)	17



شکل ۵- کروماتوگرام گازی ترکیبات آلی موجود در ساقه بامبو (جدول ۳)

Fig. 5. Gas chromatogram of organic compounds in the bamboo stem (Tab. 3)

کربوکسیلیک اسید (۱/۲۳٪)، زایلان (۱/۷۹٪)، بنزیل کلراید (۰/۴٪)، دی بوتیل فتالات (۰/۵۴٪)، بنزن متانل (۰/۷٪) و وانیلین (۰/۰۹٪) دارای بیشترین مقادیر و مهمترین ترکیبات هستند (شکل ۵، جدول ۳).

نتایج نشان داد که در چوب ساقه بامبو ۱۱۴ ترکیب وجود دارد، به طوری که بنز آلدهید (۴۶/۴۳٪)، آهن، مونوکرپونیل (۱/۹۴٪)، بی‌بنزیل (۱/۵۸٪)، بنزن اتنول (۱/۸۱٪)، بنزن اتوکسی متیل (۱/۱۹٪)، ۲،۱- بنزن دی

جدول ۳- ترکیبات آلی شناسایی شده موجود در ساقه بامبو (شکل ۵)

Tab. 3- Identified organic compounds in the bamboo stem (Fig. 5)

Area (%)	Retention time(min)	Composition	Row
1.79	6.955	Xaylan	1
46.43	9.407	Benzaldehyde	2
0.40	11.205	Benzyl chloride	3
0.70	12.531	Benzene methanol	4
1.19	12.816	Benzene methoxy methyl	5
0.46	13.120	Propanoic acid	6
0.50	17.098	Dodecane	7
0.43	32.610	Tetradecane	8
0.09	20.470	Vanillin	9
1.58	25.689	Bibenzyl	10
1.57	26.788	I-Cosan	11
1.81	30.036	Benzene methanol	12
0.24	31.827	Octadecane	13
0.54	35.217	Dibutyl Phthalate	14
1.94	35.217	Iron, Monocarbonyl	15
1.23	45.166	1, 2- Benzene dicarboxylic acid	16

بحث

این تحقیق باهدف شناسایی و مقایسه عناصر معدنی و ترکیبات آلی موجود در ساقه نی و بامبو شمال ایران (منطقه نوشهر) انجام شد. نتایج حاصل از دستگاه جذب اتمی نشان داد که مقدار جذب یون‌های روی، مس و منیزیم در ساقه بامبو بیشتر از مقادیر آنها در ساقه نی است. همچنین مقدار جذب یون آهن، سرب، پتاسیم و منگنز در ساقه نی بیشتر از ساقه بامبو است. این نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های بالقوه در توانایی جذب و ذخیره‌سازی عناصر ریزمغذی و آلاینده‌های فلزی در این دو گیاه است که می‌تواند در کاربردهای کشاورزی، زیست‌محیطی و صنعتی اهمیت داشته باشد. مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند که بامبو به‌عنوان یک گیاه با توانایی بالای جذب فلزات سنگین می‌تواند نقش مؤثری ایفا کند (Liu et al., 2020). در مطالعه‌ای به مقایسه جذب فلزات سنگین توسط بامبو و سایر گیاهان پرداخته‌اند و توانایی بالای بامبو در جذب فلزات مانند روی و مس را تأیید کرده‌اند. همچنین، Xu و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود نشان داده‌اند که بامبو می‌تواند به‌طور مؤثری در پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم عمل کند که این ویژگی بامبو را برای کاربردهای زیست‌محیطی و کشاورزی مناسب می‌سازد.

نتایج کروماتوگرام GC/MS ساقه نی (*Arundo donax*) نشان‌دهنده حضور ترکیبات شیمیایی مختلفی است که بسیاری از آنها نقش‌های بیولوژیکی و متابولیک مهمی در گیاه ایفا می‌کنند. در این تحلیل، بنزالدهید با ۲۰/۷۰٪ به‌عنوان یکی از ترکیبات غالب شناسایی شده است که می‌تولند در فرایندهای دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه نقش داشته باشد. این ترکیب مشابه سایر ترکیبات آلدئیدی در گیاهان، دارای خواص ضد میکروبی و ضد قارچی است و ممکن است به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در واکنش‌های استرس محیطی گیاه عمل کند (Kovács et al., 2020). همچنین، ۲-فنیل-ان-متیل‌آمین ۲۵/۹۹٪ به‌عنوان یک آمین آروماتیک، ممکن است در

واکنش‌های متابولیکی پیچیده و ارتباطات بین‌سلولی در گیاه شرکت داشته باشد (Vaysi, 2019).

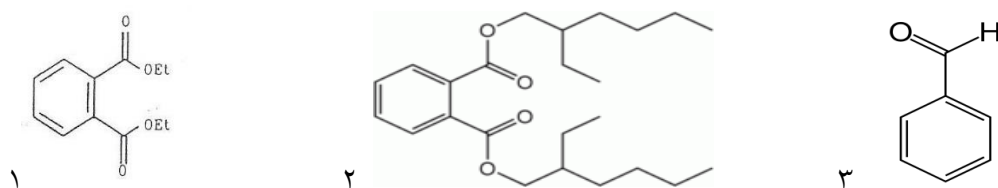
از سوی دیگر، ترکیبات اسید پروپانویک (۷/۷۴٪) و بی‌بنزیل (۴/۸۶٪) نیز در مقادیر قابل توجهی وجود دارند که هر دو در متابولیسم ثانویه گیاهان نقش دارند. اسید پروپانویک به‌عنوان یک اسید آلی می‌تولند در تنظیم pH سلولی و پاسخ به استرس‌های محیطی مؤثر باشد (Chen et al., 2025). همچنین، حضور ترکیب جبرلین A_3 (۰/۳۳٪) به‌عنوان یک هورمون گیاهی در ساقه نی، نشان‌دهنده فعالیت‌های هورمونی مرتبط با رشد و توسعه گیاه است. این هورمون نقش مهمی در فرایندهای گلدهی، جوانه‌زنی و طول‌کشیدن گیاه ایفا می‌کند (Zhao et al., 2020). همچنین ۱ و ۲- بنزن دی کربوکسیلیک اسید (۱۱/۴۸٪) نیز از مهمترین ترکیبات هستند. در مجموع، نتایج نشان داد که در ساقه نی ۹۹ ترکیب وجود دارد و این تحلیل نشان‌دهنده ترکیب پیچیده‌ای از متابولیت‌های اولیه و ثانویه در ساقه نی است که می‌تواند در فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاه تأثیرگذار باشند. این ترکیبات ممکن است کاربردهایی در زمینه‌های دارویی، صنعتی و کشاورزی داشته باشند، به‌ویژه در تولید ترکیبات طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و هورمونی که می‌توانند در توسعه محصولات جدید استفاده شوند.

نتایج تحلیل GC/MS ساقه بامبو (*Bambusa spp.*) نشان‌دهنده حضور مجموعه‌ای از ترکیبات شیمیایی است که به‌طور بالقوه در فرایندهای متابولیکی و دفاعی گیاه نقش دارند. بنزالدهید با ۴۶/۴۳٪ ترکیب غالب در نمونه است که به‌عنوان یک متابولیت ثانویه شناخته می‌شود و در پاسخ‌های دفاعی گیاه، به‌ویژه در برابر استرس‌های محیطی و آلودگی‌های میکروبی، مؤثر است (Santos et al., 2019). ترکیبات بنزیل کلرید و بنزن متانول نیز در مقادیر کمتری حضور دارند که ممکن است در واکنش‌های شیمیایی درون گیاهی یا به‌عنوان پیش‌سازهای ترکیبات دیگر نقش ایفا کنند (Ding et al., 2021).

مقایسه ترکیبات شیمیایی موجود در ساقه‌های نی (*Arundo donax*) و بامبو (*Bambusa spp.*) نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه در ترکیب متابولیتی و ظرفیت‌های بیولوژیکی این دو گیاه است. در ساقه نی، ترکیباتی مانند بنزالدهید ۲-فنیل-ان-متیل‌آنین به‌عنوان ترکیبات غالب شناخته می‌شوند که ممکن است نقش‌های مهمی در فرایندهای دفاعی و متابولیسم گیاه ایفا کنند (Santos et al., 2019). از سوی دیگر، در ساقه بامبو، بنزالدهید به‌عنوان ترکیب اصلی و غالب شناخته می‌شود که به‌طور مشابه در پاسخ‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه نقش دارد (Ding et al., 2021).

یکی دیگر از تفاوت‌های مهم، حضور ترکیباتی مانند آهن، مونوکربونیل در بامبو است که نشان‌دهنده نقش فلزات در متابولیسم گیاهان است (Zhou et al., 2021)، درحالی‌که چنین ترکیباتی در نی مشاهده نمی‌شود. در بامبو، ترکیبات دی‌بوتیل فتالات و ۱، ۲-بنزن دی‌کربوکسیلیک اسید نیز حضور دارند که می‌توانند به‌عنوان آلودگی شیمیایی یا پیش‌سازهای ترکیبات صنعتی باشند (شکل ۶). در مقابل، نی بیشتر حاوی ترکیبات آلی مانند اسید پروپانوئیک و بی‌بنزین است که در متابولیت‌های ثانویه گیاهی نقش دارند (Kovács et al., 2020).

اسید پروپانوئیک که در گیاهان معمولاً به‌عنوان یک متابولیت ثانویه دیده می‌شود، در این نمونه به میزان کمی وجود دارد و ممکن است در تنظیم پاسخ به استرس‌های محیطی دخیل باشد. ترکیبات دودکان و تترا دکان و هیدروکربن‌های اشباع موجود در ساقه بامبو، به‌عنوان مولکول‌های غیرقطبی می‌توانند در ذخیره‌سازی انرژی و محافظت از گیاه در برابر شرایط محیطی نقش داشته باشند (Zhao et al., 2020). دی‌بوتیل فتالات نیز در ترکیب شیمیایی ساقه بامبو وجود دارد. این ترکیب می‌تواند در فرایندهای متابولیسمی فلزی و سنتز مواد شیمیایی در گیاه اثرگذار باشد (Zhou et al., 2021). حضور ۱، ۲-بنزن دی‌کربوکسیلیک اسید نیز به‌عنوان یک متابولیت آلی دیگر ممکن است نشان‌دهنده واکنش‌های دفاعی در برابر استرس‌های شیمیایی یا فیزیکی باشد (Wang et al., 2019). در مجموع برخی از ۱۱۴ ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در بامبو می‌توانند کاربردهای صنعتی و دارویی مختلفی به‌ویژه در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی داشته باشند. حضور متابولیت‌های ثانویه مانند بنزالدهید و وانیلین نشان‌دهنده ظرفیت بامبو در تولید ترکیبات خوشبو و ضد میکروبی است که در صنعت عطرسازی و داروسازی کاربرد دارند.



شکل ۶- بعضی از مهمترین ترکیبات آلی شناسایی شده در چوب ساقه نی و بامبو: ۱ و ۲- بنزن دی کربوکسیلیک اسید (۱)، بیس (۲)- اتیل هگزینیل) فتالات (۲) و بنزالدهید (۳)

Fig. 6. Some of the most important organic compounds identified in reed and bamboo stem: 1, 2-Benzenedicarboxylic acid (1), Bis (2-ethylhexyl) phthalate (2), and Benzaldehyde (3)

مشترک در ساقه نی و بامبو وجود دارند. همچنین ترکیبات وانیلین و آهن، مونوکربونیل در ساقه بامبو و ترکیبات بیس (۲-اتیل هگزینیل) فتالات و جیبرلین A₃ در ساقه نی بسیار

مقایسه کروماتوگرام‌ها نشان داد که ۹ ترکیب زایلان، بنز آلدهید، بنزین کلراید، بنزن متانل، دودکان، تترادکان، بی بنزین، اوکتادکان و ۱ و ۲- بنزن دی کربوکسیلیک اسید به‌صورت

توجه به نتایج این تحقیق به مقدار زیاد در ساقه نی و بامبو نیز وجود دارد. در مجموع، هر دو گیاه حاوی ترکیبات شیمیایی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی هستند، اما تفاوت‌های موجود در ترکیبات شیمیایی آن‌ها، به‌ویژه در غلظت ترکیبات غالب، نشان‌دهنده ویژگی‌های بیولوژیکی و متابولیکی متمایز در هر یک از این گیاهان است. این تفاوت‌ها می‌تواند در استفاده‌های صنعتی و دارویی این گیاهان مؤثر باشد.

مهم و حائز اهمیت است. در این میان، بنزآلدئید به‌عنوان یکی از مهمترین و بیشترین ترکیب شناسایی شده در ساقه بامبو و نی است. بنزآلدئید یک ترکیب شیمیایی با حلقه بنزنی است که یک هیدروژن آن با یک آلدهید جایگزین شده است. بنزآلدئید ساده‌ترین آلدهید آروماتیک بوده و از پرکاربردترین ماده‌های شیمیایی در صنعت است، این ماده شیمیایی در دمای اتاق، مایعی بی‌رنگ با بویی شبیه بوی بادام‌زمینی است. بنزآلدئید در زردآلو، گیلان، برگ بو، هلو و همچنین با

References

- Baibagysov, A., Magiera, A., Thevs, N. & Waldhardt, R., 2025. Resource Characteristics of Common Reed (*Phragmites australis*) in the Syr Darya Delta, Kazakhstan, by Means of Remote Sensing and Random Forest. *Plants*, 14(6), 933. <https://doi.org/10.3390/plants14060933>
- Cabañas-Romero, L.V., Cusola, O., Buruaga-Ramiro, C., Valls, C., Roncero, M.B. & Valenzuela, S.V., 2024. Flax biorefining for paper production. *Cellulose*, 31(7), 4497-4508. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-05866-0>
- Chen, X., Wang, X., Gu, S., Huang, A. and Cheng, H., 2025. Effects of alkali treatment on the bending and fracture behavior of biomaterial bamboo. *Polymer Testing*, 143, p.108715. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2025.108715>
- Ding, Y., Li, M. & Zhang, X., 2021. The role of phenolic compounds in plant metabolism and stress responses. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 30(3), 291-299. <https://doi.org/10.1007/s13562-020-00564-9>
- Fidelis, M., Tienaho, J., Brännström, H., Korpinen, R., Pihlava, J. M., Hellström, J., ... & Kilpeläinen, P., 2023. Chemical composition and bioactivity of hemp, reed canary grass and common reed grown on boreal marginal lands. *RSC Sustainability*, 1(9), 2202-2223. <https://doi.org/10.1039/d3su00255a>
- Hawanis, H.S.N., Ilyas, R.A., Jalil, R., Ibrahim, R., Majid, R.A. & Ab Hamid, N.H., 2024. Extraction and characterization of morphological, physical, physiochemical, thermal, and chemical composition of five bamboo malaysian species. *Cellulose*, 31(13), 7941-7952. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06090-6>
- Kovács, S., Szigeti, J. & Varga, M., 2020. Bioactive compounds and their role in plant defense mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104112. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104112>
- Latif, M., 1995. Bamboo in Malaysia, past, present and future research, proceeding of 4th international bamboo workshop, Thailand, 39-45.
- Liu, Y., Zhang, S. & Chen, X., 2020. Heavy metal accumulation and its physiological effects in plants: A comparative study of bamboo and other species. *Environmental Pollution*, 263, 114485. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114485>
- Mahdavi S., Habibi M., Salehi K. & Familian H., 2006. Comparative investigation on pulp production from Reed (*P. Australis*), *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 21(24), p60.
- Idris, M.A. & Mohamad, A.Z.M.Y., 2002. Bamboo shoot utilization in peninsular Malaysia: A case study in Pahang. *Journal of Bamboo and Rattan*, 1(2), 141-155. <https://doi.org/10.1163/156915902760181612>
- Rogerson, A.N.O.K.Y.E., Edi Suhaimi, B.A.K.A.R., Jegatheswaran, R.A.T.N.A.N.S.I.N.G.A.M. & Awang, K.B., 2016. Bamboo properties and suitability as a replacement for wood. *Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews*, 2(1), 63-79.
- Santos, E.L., Silva, A.M. & Pereira, M.G., 2019. Antioxidant and antimicrobial activities of bamboo (*Bambusa spp.*) extracts. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(24), 6084. <https://doi.org/10.3390/ijms20246084>
- Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. *Standard Test Methods*. Tappi Press, Atlanta, GA, USA.
- Tocco, D., Carucci, C., Monduzzi, M., Salis, A. & Sanjust, E., 2021. Recent developments in the delignification and exploitation of grass lignocellulosic biomass. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(6), 2412-2432. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c07266>
- Vaysi, R., 2019. A study on the possibility of

- identification and comparison of metallic ions and chemical components in wood of persian maple and caucasian maple wood by atomic absorption and GC-MS methods, Iranian J. of Wood and Paper Sci. and Technology 34(3), 361-371, (in Persian).
- Vaysi, R., 2015. An investigation and comparison of newsprint properties from bamboo and reed CMP pulps, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30 (2), 256-265.
- Vaysi, R., 2013. Identification and comparison of chemical components in sweet locust and false acacia wood extractions by GC-MS methods, Iranian J. of Wood and Paper Sci. and Technology 28(4), 755-762. (in Persian).
- Ye, S., Laws, E.A., Costanza, R. & Brix, H., 2016. Ecosystem service value for the common reed wetlands in the Liaohe Delta, Northeast China. Open Journal of Ecology, 6, 129-137. <https://doi.org/10.4236/oje.2016.63013>
- Wang, D., Bai, T., Cheng, W., Xu, C., Wang, G., Cheng, H. and Han, G., 2019. Surface modification of bamboo fibers to enhance the interfacial adhesion of epoxy resin-based composites prepared by resin transfer molding. Polymers, 11(12), p.2107. <https://doi.org/10.3390/polym11122107>.
- Xing, J., Geng, B., Fatehi, P., Zhu, H., Lei, M., Zhu, H., ... & Wu, T., 2025. Chemo-enzymatic treatment of mechanical pulping: An efficient method for energy reduction and pulp strengthening. Industrial Crops and Products, 235, 121656. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121656>
- Xu, L., Wang, S. & Sun, Y., 2021. Uptake of heavy metals by bamboo species and its potential for phytoremediation. Science of the Total Environment, 781, 146603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146603>
- Zhao, L., Wang, L. & Xu, X., 2020. Role of secondary metabolites in the protection of bamboo (Bambusa spp.) against environmental stresses. Frontiers in Plant Science, 11, 1152. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01152>
- Zhou, J., Chen, Z. & Lin, F., 2021. Phytochemical and biological activities of bamboo: A comprehensive review. Plants, 10(5), 1024. <https://doi.org/10.3390/plants10051024>