

# دانش آزمایشگاهی ایران

سال دوازدهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۳ ■ شماره پیاپی ۴۵

ISSN 2538-3450



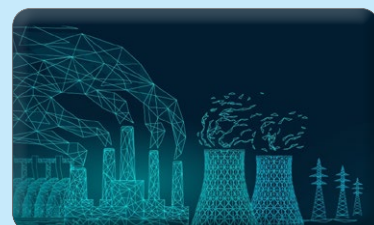
ارزش گوهرشناسی و دیرینه‌شناسی کهربا و روش‌های آزمایشگاهی تشخیص آن



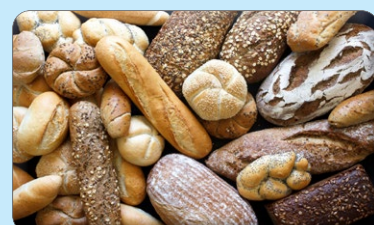
تصویربرداری فراطیفی رامان و پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین، راهکاری نوین در استخراج نقشه توزیع مولکولی مواد



بررسی نرمال بودن توزیع نتایج آزمون با استفاده از نرم‌افزار MiniTab



بهینه‌سازی واحدهای گاز سوز با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری آموزش - یادگیری



بررسی میزان گلوتن در مواد غذایی با استفاده از روش الایزا

## تولید نانوالیاف با روش‌های نوین الکتروریسی

یک دهه در مسیر رشد و رونق خدمات آزمایشگاهی کشور

بهره‌مندی ۱۲ هزار نفر از تسهیلات اعتباری بهارانه شبکه آزمایشگاهی

## نویسندگان

نصراله عباسی<sup>۱\*</sup>، صفورا شاکری<sup>۲</sup>

۱. شرکت راستین زمین پژوهان، مرکز رشد و نوآوری واحدهای فناور دانشگاه زنجان، دانشگاه زنجان
۲. کارشناس معاونت پژوهش و فناوری، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان

\*abbasi@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

# ارزش گوهر شناسی و دیرینه شناسی کهربا و روش های آزمایشگاهی تشخیص آن

## واژه های کلیدی

کهربا، کوپالین، گوهر، طیفسنجی، صمغ.

## چکیده

کهربا یک گوهرسنگ با منشاء آلی است که در پی فسیل شدن صمغ برخی از گیاهان ایجاد می شود. صمغ گیاهانی که در مراحل اولیه سنگ شدن هستند، کوپالین نامیده می شود. برخی از مواد آلی مصنوعی مانند باکلیت، ظاهری شبیه به کهربا داشته و بدل کهربا هستند. داشتن نقطه ذوب و ضریب شکست نوری به نسبت بیشتر، عدم انحلال در برخی از حلال های آلی مانند استون، فلورسانس آبی در زیر پرتو فرابنفش و داشتن بوی صمغی مطبوع در حرارت، از ویژگی های کهربای اصل است. بیشتر کهرباها از رسوبات کرتاسه، ائوسن تا میوسن یافت شده اند و بیشترین مقدار کهرباهای کشف شده از حوضه بالتیک است. داشتن برخی از فسیل های جانوری با حفظ شدگی بسیار خوب، وجود ادخال های گازی، مایع و جامد، اهمیت کهرباها را در مطالعات دیرینه شناسی دو چندان می کند. آزمایش های فیزیکی ساده و همچنین استفاده از روش های آنالیز طیفسنجی رزونانس مغناطیسی هسته ای<sup>۱</sup> و پیرولیز - کروماتوگرافی گازی-طیفسنجی جرمی<sup>۲</sup> در تشخیص کهربا مورد استفاده قرار می گیرند.

## مقدمه

سنگ های قیمتی، از دیرباز مورد توجه انسان ها بوده و در طی قرون متمادی، به تدریج ارزش گوهرسنگ ها برای انسان آشکار شده است. این سنگ ها و مواد قیمتی به انحناهای مختلف، در زیورآلات و یا در داد و ستد مورد استفاده قرار گرفتند. یکی از کهن ترین گوهرسنگ های شناخته شده توسط انسان ها کهربا است. مهره های کهربا از غار و شنوه واقع در استان قم از عصر برنز [۱] و یا از لایه های باستانی تپه حصار و تپه مارلیک یافت شده است که قدمت این مهره ها و شکسته های کهربا مربوط به هزاره پیش از میلاد است [۲ و ۳]. در طب ایرانی نیز به کهربا با عنوان یک داروی معدنی اشاره شده و از آن به دلیل داشتن مزاج معتدل برای تقویت قلب استفاده شده است [۴]. همچنین امروزه کهربا از گوهرهای مورد توجه است و روغن کهربا به عنوان یک عطر خوشبو، طرفداران زیادی دارد. گذشته از ارزش گوهرسنگی کهربا، به دلیل فرآیند تشکیل، ممکن است کهرباها میانبارهایی (اجزاء<sup>۳</sup>) از گازها، مایعات، جامدات و یا فسیل اندام های سخت و نرم جانداران را در خود داشته باشد که اطلاعات بسیار ارزشمندی از شرایط آب و هوایی و حیات گذشته زمین را در اختیار دیرینه شناسان قرار می دهد. اهمیت دیرینه شناسی کهرباها در میان زمین شناسان، موضوعی شناخته شده است و همین امر، ارزش کهرباها را دو چندان می کند. در مقاله حاضر، تلاش می شود تا ضمن ارائه اطلاعات گوهرشناسی و دیرینه شناسی کهرباها، روش های متداول برای تشخیص آزمایشگاهی کهربا بیان شود.

## □ ماهیت و ویژگی‌های کهربا

کهربا را می‌توان از زمان کربنیفر و پس از آن و در همه دوره‌های زمین‌شناسی و در همه جای دنیا یافت. قدیمی‌ترین کهربای یافت شده مربوط به لایه‌های زغال‌سنگی کربنیفر ایلینویز آمریکا و به قدمت حدود ۳۲۰ میلیون سال پیش است [۶]. با این حال، بیشتر کهرباها در رسوبات کرتاسه و اتوسن تا میوسن یافت شده‌اند (شکل (۱)).

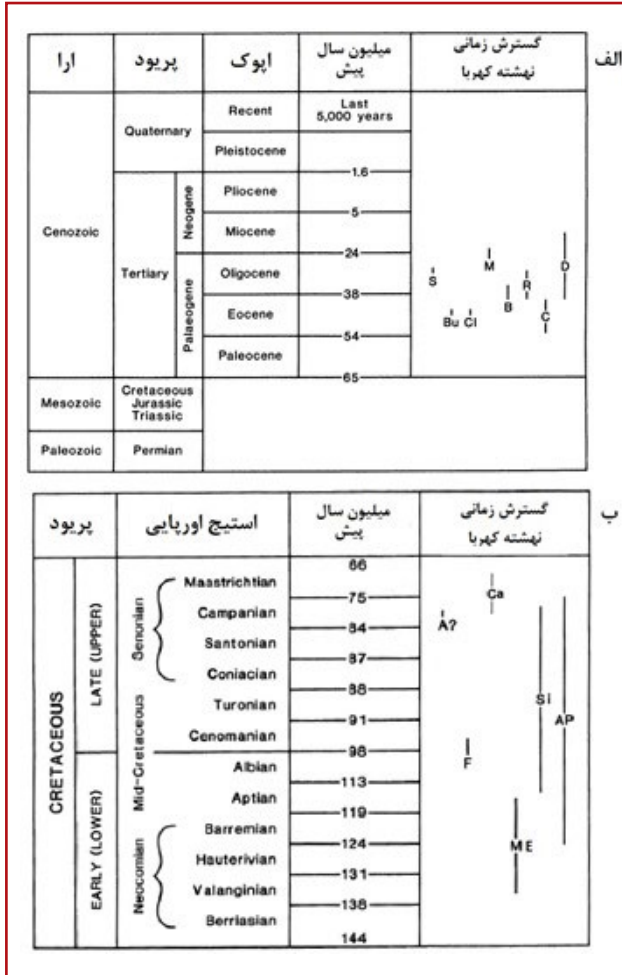
هر چند کهربا در گروه گوهرسنگ‌ها طبقه‌بندی می‌شود اما کهربا یک سنگ یا یک کانی نیست؛ کانی یک ماده طبیعی، جامد و غیرآلی است، این در حالی است که کهربا منشاء آلی داشته و صمغ گیاهان (درختان) فسیل شده است. کهربا یک پلیمر آمورف، بدون ساختار بلوری یا کلیواژ بوده که به رنگ‌های زرد روشن تا قهوه‌ای، قرمز، به‌طور تقریبی بی‌رنگ، سفید شیری، آبی، سیاه متمایل به خاکستری تا سبز است. رنگ خاکه کهربا (اثر کشیدن کانی روی چینی بدون لعاب) سفید بوده و سختی آن در مقیاس موس ۲ تا ۲/۵ است. چگالی کهربا به ترکیبات شیمیایی و فرایند سخت‌شدگی و فسیل شدن آن بستگی دارد و به‌طور معمول از ۱/۰۵ تا ۱/۰۹ متغیر است و بیشینه آن به ۱/۳۰ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌رسد. کهربا شکننده بوده و سطح شکستگی صدفی دارد. به لحاظ نوری، ضریب شکست آن ۱/۵۴ است و به دلیل آمورف بودن، فاقد شکست دوگانه یا مضاعف و چندرنگی است. کوپال<sup>۴</sup> که گاهی هم‌ارز با کهربا در نظر گرفته می‌شود، نوعی رزین خوشبو به رنگ زرد شفاف تا زرد کم رنگ است که از برخی درختان افراسانان (سپیندلز<sup>۵</sup>) به ویژه از پروتیوم کوپال<sup>۶</sup> در آمریکای مرکزی به‌دست می‌آید و از آن برای تهیه چسب یا بخور خوشبو کننده استفاده می‌شود. کوپالی که تا حدودی سخت و کانیایی شده باشد، کوپالین<sup>۷</sup> نامیده می‌شود؛ به عبارتی کوپالین یک نیمه فسیل<sup>۸</sup> صمغ درختان است. جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی کهربا و کوپال را نشان می‌دهد.

جدول (۱): ویژگی‌های فیزیکی کهربا و کوپال [۵].

ویژگی‌ها	کهربا	کوپال
نقطه ذوب	۳۸۰-۲۰۰°C	کمتر از ۱۵۰°C
سختی	۲-۳	۱-۲
حلالیت در استون	نامحلول	محلول (سطح آن چسبناک می‌شود)
ضریب‌شکست‌نوری	۱/۵-۱/۶	۱/۵-۱/۶
چگالی ویژه	۱/۱-۱/۰۴	۱/۰۳-۱/۰۸
واکنش در نور UV	به‌طور معمول به رنگ آبی دیده می‌شود	حداکثر اندکی درخشنده دیده می‌شود
واکنش در سوختن	شعله پایدار با دود سیاه	شعله پخش شونده با دود سفید
بوی ناشی از گرمایش	بوی تند صمغ سوخته	بوی خوش، لیموی سوخته

شکل (۱): (الف): پراکنش زمانی کهربا در طی پالئوژن و کرتاسه. (ب): موقعیت‌های مکانی شامل: آلاسکا (A)، کرانه‌های ساحلی آتلانتیک (AP)، بالتیک (B)، برمه (BU)، چین (C)، کانادا (Ca)، کالیفرن (Cl)، دومینیکن (D)، فرانسه (F)، خاورمیانه (ME)، مکزیک (M)، رومانی (R)، سیسیلی (S)، سیبری (Si) [۵].

تعیین سن کهربا به تنهایی مقدور نیست چرا که ممکن است کهربا نابرجا بوده و از محل ایجاد خود جابجا شده باشد. سن کهربا را می‌توان از روی موقعیت چینه‌شناسی کهربای برجا<sup>۹</sup>، فسیل‌های شاخصی که ممکن است در کهربا فسیل شده باشند و یا از روی ارزیابی رادیو-ایزوتوپی برخی از کانی‌ها و یا میانبارهای محبوس شده در کهربا، تخمین زد [۷]. تاکنون در بیش از ۱۰۰ نقطه از جهان، کهربا یافت شده‌است [۸]. کهربا در مناطق خاصی مانند حوضه‌های بالتیک (دانمارک و آلمان) و مدیترانه (لبنان و جزیره سیسیل) بیشترین فراوانی را دارد و در سایر مناطق مانند چین، میانمار، سیبری، اردن، جمهوری



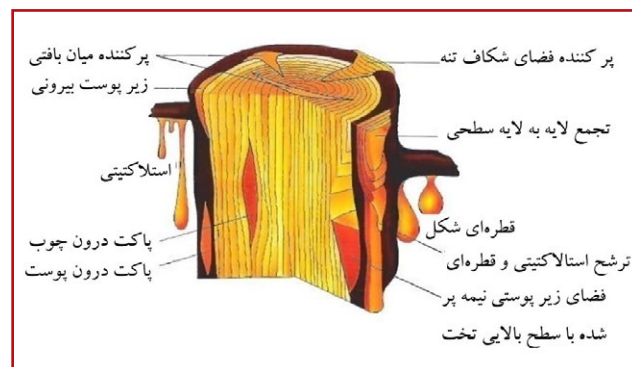
را به‌صورت فسیل، محافظت کند. در این میان، کهرباها از امتیاز منحصر به فردی در حفظ و نگهداری اندام‌های نرم جانداران برخوردار هستند و داده‌های بسیار ارزشمندی از حیات گذشته زمین را در اختیار دانشمندان، قرار می‌دهند. گروه‌های مختلفی از جانداران میکروسکوپی به‌عنوان مثال، آغازیان گرفته تا جانوران بزرگ مانند بندپایان، نرم‌تنان، کرم‌ها و یا حتی مهره‌داران، مانند دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران و همچنین انواع گیاهان و اندام‌های مختلف آنها، در داخل کهربا فسیل شده‌اند [۵ و ۸ تا ۱۱]. با توجه به تنوع فسیلی و حفظ‌شدگی بسیار خوب جانداران در داخل کهرباها، اطلاعات ذی‌قیمتی از موضوعات مختلف دیرینه‌شناسی مانند دیرین اقلیم‌شناسی [۱۲]، دیرین بوم‌شناسی [۱۳]، انقراض‌ها [۱۴]، تکامل و فرگشت گونه‌ها [۱۵ و ۱۶]، فرآیند فسیل شدن [۱۷]، رفتارهای فسیل شده مانند انگل، جفتگیری [۱۸ و ۱۹] و محیط رسوبی [۲۰] از آنها به‌دست آمده است.

### □ ترکیب شیمیایی کهربا

رزین (شامل صمغ، انگوم و سقز<sup>۱۱</sup>، چربی<sup>۱۲</sup>، شیره<sup>۱۳</sup>، لاتکس<sup>۱۴</sup>، لیزآب<sup>۱۵</sup>، روغن) یکی از چندین موادی است که توسط گیاهان ترشح می‌شود و یک پلیمری است که با گذشت زمان و در صورت تدفین در رسوبات به کوبالین و در نهایت به کهربا تبدیل (پلیمریزه) می‌شود. فرآیند تبدیل شدن صمغ به کوبال و کهربا فرآیندی تدریجی و پیوسته است. صمغ درختان ترکیب شیمیایی خاصی داشته و درختان را از هجوم سایر جانداران مهاجم محافظت می‌نماید و مانع از نفوذ باکتری‌ها و قارچ‌ها به بافت‌های گیاهی می‌شود [۲۱]. ترکیب صمغ درختان با یکدیگر و حتی در یک درخت، در طی فصول متفاوت است و همین امر در رنگ و کیفیت و حتی شرایط فسیل شدن جانداران در کهربا تاثیرگذار است [۲۲ و ۲۳]. صمغ درختان از سایر ترشحات گیاهی متفاوت بوده و دارای ترکیبات پیچیده‌ای است که به‌طور عمده از ترپنوئیدها، ترکیبات فنلی و به همراه برخی از ترکیبات ثانویه همراه است. ترکیب شیمیایی هر نوع صمغی با عوامل مختلفی مانند نوع درخت، فصل، شرایط آب و هوایی، فرآیند متابولیسمی درختان و اندام تولیدکننده صمغ کنترل می‌شود و بسته به منشأ صمغ، متفاوت است. کهربای حوضه بالتیک، با ترکیب شیمیایی اسید بوتاندیوئیک<sup>۱۶</sup> (C<sub>۴</sub>H<sub>۶</sub>O<sub>۴</sub>) است که بیشتر به‌عنوان اسید سوکسینیک<sup>۱۷</sup> شناخته می‌شود. اگرچه به‌طور تقریبی ۸۰ درصد نمونه‌های کهرباهای جهان از حوضه بالتیک است اما انواع دیگری از کهرباها وجود دارند که حاوی اسید سوکسینیک نیستند. تجزیه و تحلیل صدها نمونه از صمغ و کهرباها نشان می‌دهد که می‌توان کهرباها را از نظر ترکیب شیمیایی به چند دسته تقسیم کرد و به‌طور کلی، دو نوع طبقه‌بندی شیمیایی برای کهربا پیشنهاد شده‌است (شکل (۳)) [۲۲]:

دومینیکن، نیوجرسی، آلاسکا و کانادا نیز وجود آن گزارش شده‌است [۵]. در یافته‌های باستان‌شناسی ایران، به کهربا برخورد شده‌است ولی گزارشی از وجود لایه‌های کهربادار در ایران در دسترس نیست. بیش از ۸۰ درصد کهرباهای یافت شده از حوضه بالتیک بوده و بیشتر گزارش‌ها مربوط به زمین‌های کرتاسه هستند [۷].

اندازه و شکل کهربا بسیار متغیر است. کهربای موزه قیدایسکا<sup>۱</sup> در کشور لهستان به وزن ۶۸/۲۰ کیلوگرم وزین‌ترین کهربای جهان است. از آنجایی که کهربا صمغ ترشح شده، چکیده شده و یا جاری شده از تنه درختان است بنابراین، شکل آن ثابت نیست. با این وجود، شکل کهربا به جای خود، نشان‌دهنده فرآیند تشکیل آن است. از روی شکل کهرباها می‌توان به درونی بودن، یعنی آنهایی که در درون و در فضای خالی تنه درخت ایجاد شده‌اند و یا بیرونی بودن که از تنه درختان جدا شده و در نزدیکی درخت جمع می‌شوند، پی برد. کهربای درونی به‌طور معمول فاقد میانبار و اپک بوده و به‌طور نسبی، در اندازه‌های بزرگتری است. کهربای بیرونی به‌طور معمول به‌صورت لایه‌ای است که ناشی از جریان و ترشح چند باره صمغ بوده و بیشتر اذخالی‌ها یا بقایای زیستی دارد [۸]. شکل (۲) موقعیت‌های کهرباها را نسبت به تنه درخت نشان می‌دهد. بیشتر کهرباهایی که در درون تنه و زیر پوست درخت ایجاد می‌شوند، ورقه‌ای شکل هستند و کهرباهایی که در خارج از تنه درخت شکل می‌گیرند، حالت چکیده و قطره‌ای دارند [۸].



شکل (۲): موقعیت جایگیری صمغ در تنه درختان و شکل‌گیری کهربا [۸].

### □ اهمیت دیرینه‌شناختی کهربا

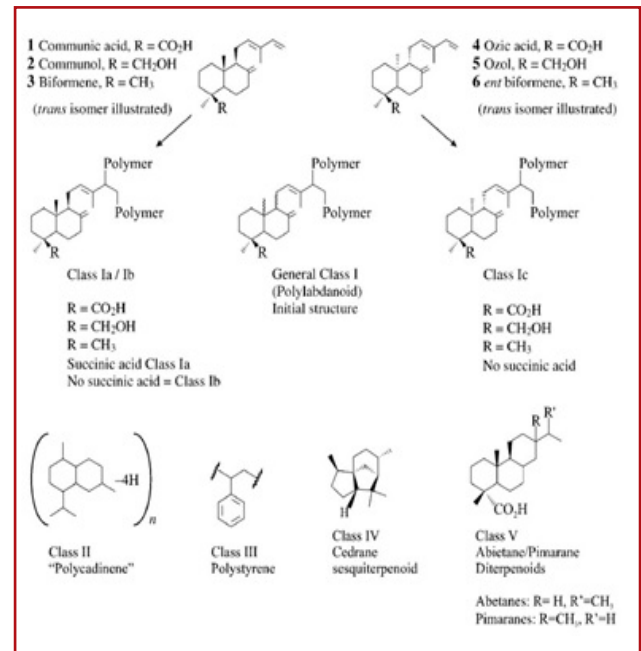
به‌طور معمول، سنگواره‌ها شامل بقایای اندام‌های سخت جانداران به‌عنوان مثال، استخوان، صدف، دندان و یا چوب هستند که شانس بیشتری برای فسیل شدن دارند. اندام‌های نرم به دلیل فسادپذیری، پس از مرگ جانور به سرعت از بین می‌روند و به ندرت در لایه‌های رسوبی یافت می‌شوند. با این وجود، برخی از مواد مانند یخزارها، رسوبات نمک، قیر و یا مومیایی شدن طبیعی، می‌تواند اندام‌های نرم جانداران

این مواد نسبت به کهربای کلاس I-III نرم تر و شکننده تر بوده و کمتر قادر به حفظ شدن و به شکل قابل تشخیص، در طی فرایندهای زمین‌شناسی هستند.

### روش‌های آزمایشگاهی تشخیص کهربا و اودخال‌های آن

کهرباها به ندرت به صورت خالص یافت می‌شوند. تنوع رنگی و تغییر در میزان فسیل‌شدگی کهربا (میزان پلیمریزاسیون) موجب می‌شود تا برخی از مواد دست‌ساز یا فرآوری شده مصنوعی با آن اشتباه شوند. یکی از این مواد، نوعی رزین مصنوعی به نام باکلیت<sup>۲۳</sup> است که ظاهری شبیه به کهربا دارد. این رزین در واقع اولین رزین مصنوعی جهان با ترکیب فنول فورمال‌دهاید با فرمول  $(C_6H_6O \cdot CH_2O)_n$  است. از آنجایی که کهرباها قیمتی هستند، در شناسایی آنها تلاش می‌شود از روش‌هایی استفاده شود که به نمونه آسیب نرسد و به اصطلاح، روش‌های غیر تهاجمی به کار گرفته شود. با این وجود، در صورت نیاز به استفاده از روش‌های تهاجمی، سعی می‌شود بخش غیر ملموس کهربا مورد سنجش قرار گیرد. روش‌های مرسوم و سنتی برای شناسایی کهرباها عبارتند از [۲۵]:

- بررسی در پرتو فرابنفش (غیر تهاجمی): قطعه کهربا در زیر پرتو UV قرار می‌گیرد. کهربای بالتیک (با ترکیب ساکسینیک) در این پرتو خاصیت فلورسانس نشان می‌دهد.
- آزمایش سوزن داغ: این روش تهاجمی است و به نمونه آسیب می‌رساند. یک سوزن داغ را در بخش نامحسوس نمونه فرو می‌کنند. اگر سوزن به راحتی وارد نمونه شود و بوی تند بدهد، نمونه یک ماده مصنوعی مانند باکلیت است. اگر سوزن به راحتی وارد شود اما بوی شیرین دهد، نمونه کوپال است. اگر نمونه مقاوم باشد (سوزن به سختی به نمونه فشار داده شود) و بوی مطبوع دهد، این نشان دهنده کهربا است.
- آزمایش الکتریسیته ساکن (غیر تهاجمی): نمونه روی یک پارچه پشمی مالش داده شده و در نزدیکی خرده‌های کوچک



شکل (۳): سیستم طبقه‌بندی کهربا، شامل ساختارهای کهرباهای کلاس I [۲۴].

■ گروهی که براساس طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای حالت جامد  $^{13}C$  و محلول  $^1H$  بوده و کهرباها و یا صمغ‌های عهد حاضر را شامل می‌شود که از پنج گروه شیمیایی اصلی (E و A, B, C, D) تشکیل شده‌است (جدول (۲)).

■ گروهی دیگر از کهرباها که بر پایه اسپکترومتری ساختار شیمیایی مشخص می‌شوند. با استفاده از روش پیرولیز-کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی، ساختار کهربا را به هفت دسته Ia, Ib, Ic, II, III, IV and V تقسیم می‌شود که بیشتر با گروه‌های شیمیایی NMR همپوشانی دارد (جدول (۲) و شکل (۳)) [۲۴]. کهرباهای کلاس IV و V از ترپنوئیدهایی تشکیل شده‌اند که فاقد ویژگی‌های ساختاری لازم برای پلیمریزاسیون خود به خودی هستند؛ در نتیجه،

جدول (۲): گروه‌های شیمیایی کهربا براساس داده‌های NMR و PY-GC-MS [۲۲ و ۲۴].

گروه شیمیایی NMR	گروه شیمیایی PY-GC-MS	ساختار	گسترش	محدوده سنی	درخت تولید کننده
A	Ib, IV, V	Ib: non-Succinite acid Polyabdanoid IV: Sesquiterpenoid V: Abietane, pimarane/isopimarane diterpenoids	جهانی	تریاس تا عهد حاضر	درخت آروکیرسیا <sup>۱۸</sup>
B	II	Polycadinene	جهانی	کربنفر تا عهد حاضر	درخت دیپتروکیرپسیا <sup>۱۹</sup>
C	Ia	Succinite acid Polyabdanoid	حوضه بالتیک	اوسن	احتمالاً مربوط به درخت مخروطیان کنیفرس <sup>۲۰</sup>
D	Ic	non-Succinite acid Polyabdanoid	دومینیکن (مشابه مکزیک و آمریکای جنوبی)	میوسن	مشابه رزین گیاه هایمنیا <sup>۲۱</sup>
E	III	polystyrene	نیوجرسی	کرتاسه	مشابه رزین درخت لیکویدمبر <sup>۲۲</sup>

این روش‌ها این است که دقیق‌تر هستند و اطلاعات بیشتری را از نمونه ارائه می‌دهند و البته برخی کمتر تهاجمی هستند. عیب عمده این است که به‌طور معمول به تجهیزات بسیار گران قیمت تری نیاز است. از طرف دیگر، شامل تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده‌ای است که برای بسیاری از محققان غیرقابل دسترس هستند. برخی از محققان از روش‌های تلفیقی آنالیز کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی<sup>۲۵</sup> و طیف‌سنجی رامان استفاده می‌کنند [۲۶]؛ چراکه تنها استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی، به دلیل تخریب ساختار مولکولی ممکن است نتایج رضایت‌بخشی را نداشته باشد.

از طریق تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی جرمی، مواد جدا شده با کروماتوگرافی گازی، دارای ترکیبات خاصی در کهربا است که قابل شناسایی بوده و اساس طبقه‌بندی قابل اعتماد انواع مختلف کهربا است [۲۷]. طیف‌سنجی NMR در واقع یک طبقه‌بندی مکملی را ارائه می‌دهد و برای توصیف رزین‌های عهد حاضر و سایر ترشحات گیاهی با ترکیبات مولکولی بسیار متفاوت نیز، قابل استفاده است.

روش توموگرافی کامپیوتری پرتو ایکس<sup>۲۶</sup> که روش تصویربرداری پیشرفته پرتو X است، در شناسایی ساختار سه بُعدی جانداران فسیل شده در داخل کهربا بسیار مفید و کارایی دارد. در پرتو X معمولی، اشعه به‌صورت سطحی روی جسم سه بُعدی تابیده می‌شود و یک تصویر دو بُعدی از جسم به‌دست می‌آید. در حالی که در روش توموگرافی کامپیوتری، پرتو X، تصویربرداری دیجیتالی از یک برش نازک، موازی با پرتو اشعه ایکس انجام می‌دهد. ضخامت برش معمولی از ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۳ میلی‌متر، با اندازه پیکسل (عناصر تصویر) در محدوده ۰/۰۲۵ تا ۱ میلی‌متر است [۲۸ و ۲۹].

ادخال‌های غیر زیستی شامل میانبارهای گازی، مایع و جامد داخل کهرباها است که اطلاعات ارزشمندی از شرایط محیط تشکیل و شرایط آب و هوایی گذشته را در اختیار قرار می‌دهند. برای مطالعه این نوع ادخال‌ها، استفاده از استیج سرمایه‌گذاری و گرمایش به‌منظور ثبت بازه دمایی و یک میکروسکوپ پلاریزان به‌منظور پتروگرافی (سنگ‌نگاری) میانبارها لازم است.

کاغذ نگه داشته می‌شود. کهربا و باکلیت با الکتروسیسته ساکن باردار می‌شود و کاغذ را به سمت خود جذب می‌کند. کوپال و بیشتر کهرباهای بدلی چنین خاصیتی را ندارند.

■ آزمایش با برش چاقو (تهاجمی): یک گوشه نامحسوس از قطعه کهربا را با ابزاری تیز مانند چاقوی جراحی برش داده می‌شود. کهربا و کوپال در حین برش خرد می‌شوند، باکلیت خرده‌های بزرگتری تولید می‌کند و راحت‌تر بریده می‌شود. ■ آزمایش نقطه ذوب (تهاجمی): نقطه ذوب مورد انتظار کهربا ۲۸۷-۳۰۰ درجه سانتیگراد است و نقطه ذوب کوپال کمی پایین‌تر است، در حالی که باکلیت بدون عبور از فاز مایع، تجزیه می‌شود.

■ آزمایش حلالیت (تهاجمی): حلال مورد نظر مانند استون، دی استون الکل، سقز و تری کلرواتیلن انتخاب می‌شود. از آنجایی که کوپال فسیل نشده است (یعنی به‌طور کامل پلیمریزه شده و دارای پیوندهای اولیه است) در استون محلول است، در حالی که کهربا یا مواد پلاستیکی مشابه، اینگونه نیستند. همچنین مرطوب کردن سطوح کهربایی شکسته شده با هیدروکسید پتاسیم و فشردن آنها یک روش بازسازی و تعمیر کهربا است و به‌عنوان وسیله‌ای برای تشخیص اصل بودن کهربا شناخته می‌شود.

■ آزمایش چگالی (غیر تهاجمی): با استفاده از ترازیوی چگالی سنج، جرم نمونه در هوا و در آب اندازه‌گیری می‌شود و چگالی ویژه آن، از طریق تقسیم نمودن جرم در هوا بر تفاضل جرم در هوا و آب به‌دست می‌آید. البته باید توجه داشت که این روش تنها زمانی مفید است که در نمونه ادخال‌های زیستی - غیرزیستی زیادی وجود نداشته باشد. مقدار ثبت شده برای چگالی کهربا ۱/۰۹۶ تا ۱/۰۵۸ گرم بر میلی‌لیتر است.

همچنین روش‌های پیشرفته و نوینی برای شناسایی کهربا مورد استفاده قرار می‌گیرند که نیازمند تجهیزات پیشرفته است. بیشتر این روش‌ها براساس استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه فرورسرخ<sup>۲۴</sup> هستند. بیشتر محققین، از FTIR در گام نخست و به‌عنوان یک روش آنالیز عمومی استفاده می‌کنند [۲۶]. مزایای

## نتیجه‌گیری

کهربا یکی از گوهرسنگ‌های با ارزش از نظر گوهرشناسی و دیرینه‌شناسی است. به دلیل شرایط ایجاد، این گوهرسنگ می‌تواند اطلاعات خوبی از نظر شرایط فسیل شدن صمغ درختان و همچنین جاندارانی که در درون آن گیر کرده‌اند را در اختیار پژوهشگران قرار دهد. سن و قدمت کهربا بستگی به دیرینگی ظهور و گسترش گیاهان دارد، ولی بیشتر از زمین‌های کرتاسه، آئوسن و میوسن یافت شده‌اند. ترکیب شیمیایی کهرباها در درجه نخست، به ترکیب شیمیایی صمغ گیاهانی که به کهربا تبدیل شده‌اند بستگی دارد. با این وجود، فرایند سنگزایی و فسیل شدن، در تغییر ترکیب شیمیایی کهرباها موثر است. کهرباها براساس نتایج طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای به پنج دسته و براساس روش پیرولیز - کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی به هفت دسته تقسیم می‌شوند. بیشتر کهرباها از حوضه بالتیک یافت شده‌اند و ترکیب شیمیایی آنها از نوع اسید بوتاندیوئیک ( $C_4H_6O_4$ ) است که بیشتر به‌عنوان اسید سوکسینیک شناخته می‌شود. برای شناسایی کهربای اصل می‌توان از دو روش سنتی یا نوین استفاد کرد.

## پی‌نوشت

- |   |  |
|---|--|
| 1. Nuclear magnetic resonance (NMR)                                 | 14. latex  |
| 2. Pyrolysis Gas Chromatography/Mass Spectrometry (Pyrolysis-GC-MS) | 15. mucilage                                       |
| 3. inclusions   | 16. butanedioic                                    |
| 4. Copal  | 17. succinic acid                                  |
| 5. Sapindales   | 18. Araucariaceae                                  |
| 6. Protium copal  | 19. Dipterocarpaceae                               |
| 7. Copaline   | 20. coniferous                                     |
| 8. subfossil  | 21. Hymenaea                                       |
| 9. in situ  | 22. Liquidambar                                    |
| 10. Muzeum Gdańska  | 23. Bakelite                                       |
| 11. gum   | 24. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) |
| 12. wax   | 25. Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS)   |
| 13. sup   | 26. X-ray computed tomography                      |

## مراجع

- [1] Bagherpour Kashani, N., Rouštaei, K., and Stöllner, Th., Iron Age amber beads from Vešnave/Iran. In Bagherpour Kashani, N. and Stöllner, T., (eds.) Water and caves in Ancient Iranian religion: Aspects of archaeology, cultural history and religion. In Workshop in the «Kunstsammlungen» at the University of Bochum, p. 71-77.
- [2] Moorey, P.R.S., Ancient Mesopotamian materials and industries: the archaeological evidence. Eisenbrauns, 1999.
- [3] Beck C. W., and Muroga, T. The origin of the amber found at Tepe Marlik. Japanese Studies in the History of Science, 1972, 11, 99–102.
- [4] Vahedi Mazdabadi, Y, Bozorgi, M., Farjadmand, F., Binesh Marvesti, M., Akbarzadeh, T., Khanavi, M, and Saidi, M. (2017). Investigation of cardiac drugs based on mineral stones in traditional Iranian medicine. Journal of traditional medicine of Islam and Iran, year 9, number 4, p. 320-309.
- [5] Poinar, G.O., Life in amber. 1992, Stanford University Press.
- [6] Bray, P.S. and Anderson, K.B., Identification of Carboniferous (320 million years old) class Ice amber. Science, 2009, 326(5949), pp.132-134.
- [7] Chang, S.-C.; Li, Y.; Zheng, D. Dating Amber: Review and Perspective. Minerals 2023, 13, 948. <https://doi.org/10.3390/min13070948>.
- [8] Weitschat, W. and Wichard, W., 2002. Atlas of plants and animals in Baltic amber (p. 256). München: Pfeil.
- [9] Penney, D. (Ed.). Biodiversity of Fossils in Amber from the Major World Deposits (Manchester: Siri Scientific Press,), 2010, 304 pp., ISBN 978 0 955 86364 6.
- [10] Penney, D. and Green, D.I., Fossils in Amber: Remarkable snapshots of prehistoric forest life. Siri Scientific Press. 2011.
- [11] Grimaldi, D.A., Amber: window to the past. Harry N. Abrams, Inc., Publishers, in association with the American Museum of Natural History, 1996, 216 p.
- [12] Poinar, G., Archibald, B. and Brown, A., New amber deposit provides evidence of early Paleogene extinctions,

- paleoclimates, and past distributions. *The Canadian Entomologist*, 1999, 131(2), pp.171-177.
- [13] Penney, D., Paleocology of Dominican amber preservation: spider (Araneae) inclusions demonstrate a bias for active, trunk-dwelling faunas. *Paleobiology*, 2002, 28(3), pp.389-398.
- [14] Hall, J.P., Robbins, R.K. and Harvey, D.J., Extinction and biogeography in the Caribbean: new evidence from a fossil riodinid butterfly in Dominican amber. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 2004, 271(1541), pp.797-801.
- [15] Langenheim, J.H., Amber: A Botanical Inquiry: Amber provides an evolutionary framework for interdisciplinary studies of resin-secreting plants. *Science*, 1969, 163(3872), pp.1157-1169.
- [16] Perrichot, V., Marion, L., Néraudeau, D., Vullo, R. and Tafforeau, P., The early evolution of feathers: fossil evidence from Cretaceous amber of France. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2008, 275(1639), pp.1197-1202.
- [17] Grimaldi, D.A., Lillegraven, J.A., Wampler, T.W., Bookwalter, D. and Shedrinsky, A., Amber from Upper Cretaceous through Paleocene strata of the Hanna Basin, Wyoming, with evidence for source and taphonomy of fossil resins. *Rocky Mountain Geology*, 2000, 35(2), pp.163-204.
- [18] silization, *Paleontological Society Papers* 2014, 20, 163–216.
- [19] Mizumoto, N., Hellemans, S., Engel, M.S., Bourguignon, T. and Buček, A., Extinct and extant termites reveal the fidelity of behavior fossilization in amber. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2024, 121(12), p.e2308922121.
- [20] de Lourdes Serrano-Sánchez, M., Hegna, T.A., Schaaf, P., Pérez, L., Centeno-García, E. and Vega, F.J., The aquatic and semiaquatic biota in Miocene amber from the Campo La Granja mine (Chiapas, Mexico): Paleoenvironmental implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 2015, 62, pp.243-256.
- [21] Poinar, G. O. & Hess, R. Preservative qualities of recent and fossil resins: electron micrograph studies on tissue preserved in Baltic amber. *Journal of Baltic Studies*, 1985, 16, 222–30.
- [22] McCoy, V.E., Soriano, C. and Gabbott, S.E., A review of preservational variation of fossil inclusions in amber of different chemical groups. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 2017, 107(2-3), pp.203-211.
- [23] Henwood, A., Exceptional preservation of dipteran flight muscle and the taphonomy of insects in amber. *Palaios*, 1992, 203-212.
- [24] Lambert, J. B., Santiago-Blay, J. A. & Anderson, K. B., Chemical signatures of fossilized resins and recent plant exudates. *Angewandte Chemie International Edition*, 2008, 47, 9608–16.
- [25] Caldararo, N., The analysis, identification and treatment of an amber artifact. *Archeomatica*, 2013, 4(2), 46-49.
- [26] Vavra, N., Chemical characterization of fossil resins (“amber”)—A critical review of methods, problems and possibilities: determination of mineral species, botanical sources and geographical attribution. *125 Jahre Knappenwand -125 years Knappenwand Proceedings of a Symposium, Wien, Juni 1993, Abh.Geol. B.-A., Band 49, S. 147-157.*
- [27] Beck, C.W., Spectroscopic investigations of amber. *Applied Spectroscopy Reviews*, 1986, 22(1), pp.57-110.
- [28] Burstein, P., Bjorkholm, P.J., Chase, R.C. and Seguin, F.H., The largest and smallest X-ray computed tomography systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1984, 221(1), pp.207-212.
- [29] Murasato, Y., Horiuchi, M. and Otsuji, Y., Three-dimensional modeling of double-stent techniques at the left main coronary artery bifurcation using micro-focus X-ray computed tomography. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, 2007, 70(2), pp.211-220.



## Authors

Nasrollah Abbasi<sup>1\*</sup>Safoora Shakeri<sup>2</sup>

\*abbasi@znu.ac.ir

1. Rastin Zamin Pazhouhan Co, Incubator and Innovation Center, University of Zanjan, Zanjan, 45371-38971, Iran.

2. Research affairs office, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan 45371-38971, Iran



## Gemological and paleontological value of amber and laboratory methods of its detection

### Abstract

Amber is known as jewel with organic origin, which was formed during the fossilization of the resin of some plants. The resin of plants in the early stages of petrification is called copaline. There are, however, some synthetic organic materials such as Bakelite, with amber-like appearance and are a counterfeit for amber. Main characteristics of natural ambers include: having a higher melting point and refractometry index, not dissolving in some organic solvents such as acetone, blue fluorescence under ultraviolet light and having a pleasant resinous smell in heat. Most ambers have been found from the Cretaceous, Eocene to Miocene sediments, and the largest numbers of ambers discovered is from the Baltic basin. Having some well-preserved fossils, and presence of gas, liquid and solid inclusions, cause to increase the valuable of amber in the paleontological studies. Simple physical tests as well as the use of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) or Pyrolysis Gas Chromatography/Mass Spectrometry (Pyrolysis-GC-MS) are useful analysis methods in the amber detection.

### Keywords

Amber, Copaline, Jewel, Spectroscopy, Resin.

## Production of Nanofibers with New Electrospinning Methods



Gemological and paleontological value of amber and laboratory methods of its detection



Raman hyperspectral imaging and the implementation of machine learning algorithms: an innovative approach for molecular mapping of materials



Checking the normality of distribution of test results using minitab software



Optimization of gas-fired units using teaching-learning meta-heuristic algorithm



Study on gluten amounts of foodstuffs by ELISA method