



## شناسایی ماهیت رزین سندروس در بازار ایران به روش طیفسنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

علی نعمتی بابایلو<sup>۱\*</sup>، مهرداد آزادی بویاغچی<sup>۲</sup>، فرهود نجفی<sup>۳</sup>، محسن محمدی آچالوئی<sup>۴</sup>

۱- استادیار، گروه مرمت آثار تاریخی و باستان‌سنجی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۴۵۶۷-۵۱۳۸۵

۲- استادیار گروه مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۱

۳- استادیار، گروه رزین و افزودنی‌ها، پژوهشکده پوشش‌های سطح و فناوری‌های نوین، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران،

صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۴- استادیار گروه باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۹ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۷/۳/۷

### چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی ماهیت رزین سندروس عرضه شده در بازار ایران بر اساس مطالعه ساختار مولکولی آن است. در این مقاله طیف زیر قرمز تبدیل فوریه رزین‌هایی که به نام سندروس در بازار ایران به فروش می‌رسند، بررسی شده و در تطبیق با طیف سه رزین مرجع کلوپان، کوپال و سندروس، ماهیت آنها مورد تحلیل قرار گرفته است. سندروس رزینی دی‌ترپنوییدی است که از گونه گیاهی *Tetraclinis articulata* Vahl. بومی شمال غربی آفریقا حاصل می‌شود و در ساخت انواع جلا و پوشش برای نقاشی و آثار هنری به کار می‌رود. چنین به نظر می‌رسد که در گذشته نام سندروس به انواعی از رزین‌ها همچون سندروس، کلوپان و کوپال اطلاق می‌شد. امروزه نیز رزین‌های مختلفی با اشکال و رنگ مختلف در بازار ایران به نام سندروس به فروش می‌رسند و هنرمندان معاصر هنرهای سنتی از آن برای ساخت جلای ایرانی به نام روغن کمان استفاده می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که هر سه نوع رزین سندروس، کلوپان و کوپال، در بازار ایران بنام سندروس عرضه می‌گردد. واژه‌های کلیدی: سندروس، کوپال، کلوپان، رزین دی‌ترپنویید، طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه.

## Identifying the Nature of Sandarac Resin in Iran's Market by Using FTIR

A. Nemati Babaylou<sup>\*1</sup>, M. Azadi Boyaghchi<sup>2</sup>, F. Najafi<sup>3</sup>, M. Mohammadi Achachlouei<sup>4</sup>

1- Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, P.O. Box: 51385-4567, Tabriz, Iran

2- Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran, P.O. Box: 1744, Isfahan, Iran

3- Department of Resin and Additives, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

4- Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 27-07-2017

Accepted: 20-11-2017

Available online: 28-05-2018

### Abstract

The aim of this research is to study sandarac ingredients as a resin in Iranian market according to its molecular structure. Fourier transform infrared spectra of resins, which is sold as sandarac in Iranian market, were investigated and their spectra were compared with three reference resins including Manilla copal, Sandarac and Colophony. Sandarac is a diterpenoid resin extracted from *Tetraclinis articulata* Vahl as a native plant of north western Africa. It has been used for production of various kinds of painting varnishes and artwork coatings. It seems that different resins such as copal, colophony and sandarac were known as sandarac in the past. Nowadays, many resins with different forms and colors are sold in Iran as sandarac and contemporary traditional artists use them for manufacturing "Kaman Oil" coating (a traditional Persian resin-oil varnish). Results showed that all the three kinds of resins (copal, colophony and sandarac) are sold and presented in Iran as sandarac. *J. Color Sci. Tech.* 12(2018), 33-43©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Sandarac, Copal, Colophony, Diterpenoid resin, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

## ۱- مقدمه

از رزین‌های دی‌ترپنوییدی (سندروس، کلوپال، کوپال و تربانتین ونیزی) در ساخت انواع جلا برای نقاشی و پوشش آثار هنری استفاده می‌شود [۱، ۲]. به لحاظ ساختاری این رزین‌ها تفاوت‌های مهمی با همدیگر دارند. سه نوع ساختار آبتان، پیماران و لبدان به طور عمده در کنار برخی ترکیبات دیگر ساختار اصلی این رزین‌ها را تشکیل می‌دهند [۳]. ساختارهای آبتان و پیماران بسیار نمی‌شوند اما ساختارهای تشکیل شده از لبدان‌ها به سرعت تشکیل بسیار می‌دهند [۴]. از جمله مهم‌ترین این ساختارها، کامیونیک اسید است که در ساختار سندروس در کنار پیماریک اسید حضور دارد. این رزین از گونه گیاهی *Tetraclinis articulata* Vahl. در نواحی شمال غربی آفریقا حاصل می‌شود. همچنین از یک اسید (انانتیومر کامیونیک اسید) ساختار مهم دیگری از لبدان‌هاست که در کنار زنیباریک اسید بخش عمده کوپال زنگبار، حاصل از گونه *Hymenaea verrucosa* را - که در شرق آفریقا می‌روید، شکل می‌دهند [۵، ۶]. ساختار اخیر به سرعت پلیمریزه شده و محصول سختی از آن حاصل می‌شود که براحتی در حلال‌های آلی حل نمی‌شود. به همین دلیل در گذشته با عبور از فرآیند کربوکسیل زدایی تحت حرارت بالا این نوع رزین‌ها را در داخل یک روغن حل کرده و به عنوان جلا از آن استفاده می‌کردند [۷]. از جمله مشهورترین این جلاها، جلا ایرانی به نام روغن کمان است که بر اساس منابع کهن ترکیبی از سندروس و روغن بزرک می‌باشد و سنت ساخت آن حداقل از قرن ششم هجری (دوازدهم میلادی) تاکنون حفظ شده است [۸]. بررسی‌های متون کهن نشان داده است که در گذشته سندروس را دارای انواع گوناگون دانسته و نام سندروس را به انواعی از رزین‌های دی‌ترپنویید همچون سندروس، کلوپال و کوپال اطلاق می‌کردند و تنها آنها را براساس ویژگی‌های فیزیکی همچون واکنش به حرارت، رنگ و نیز بو و طعم می‌شناختند [۹]. بر این اساس به نظر می‌رسد که تنها رزین حاصل از *Tetraclinis articulata* Vahl. به عنوان سندروس وارد ایران نشده و احتمالاً ایرانیان از کلوپال حاصل از گونه‌های مختلف جنس *Pinacea* و کوپال زنگبار نیز به نام تجاری سندروس در ساخت روغن کمان استفاده کرده‌اند. امروزه نیز رزین‌های مختلفی با اشکال و رنگ مختلف در بازار ایران به نام سندروس به فروش می‌رسد و هنرمندان معاصر از آن برای ساخت روغن کمان استفاده کرده و برای تهیه آن تنها به شکل ظاهری و طعم رزین توجه می‌کنند. بر این اساس شناسایی جزء رزین و نحوه کاربست آن در ساخت روغن کمان اهمیت ویژه‌ای داشته و بایستی تبیین شود که چه نوع رزینی تحت عنوان سندروس توسط هنرمندان برای ساخت مهم‌ترین جلا در تاریخ هنر ایران به کار رفته و می‌رود. بنابراین در این پژوهش طیف مادون قرمز تبدیل فوریه رزین‌هایی که به نام سندروس در ایران به فروش می‌رسند بررسی شده و در تطبیق با طیف سه رزین مرجع

کلوپال، کوپال و سندروس، ماهیت آنها مطالعه شده است.

پیش از این ماهیت سندروس در متون علمی کهن بررسی شده و نشان داده شده است که بر اساس اطلاعات فیزیکی و جغرافیایی حاصل از متون کهن علمی، احتمالاً در گذشته آنچه به نام سندروس تجارت می‌شد، شامل طیفی از رزین‌های دی‌ترپنویید بوده است [۹، ۱۰]. همچنین ویژگی‌های طیف زیر قرمز تبدیل فوریه رزین‌های دی‌ترپنویید بررسی شده است [۲].

ساختارهای آبتان و شناسایی آنها به وسیله طیف‌بینی زیر قرمز در رزین‌های حلالی و روغنی حاوی آن، توسط بلتران و همکارانش مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۱]. شاخصه‌های شناسایی رزین‌های دی‌ترپنویید و تغییرات آنها در ورنی‌های رزینی - روغنی و حلالی تحت شرایط پیرسازی تسریعی با نور زنون توسط آزمارد و همکارانش به وسیله طیف‌بینی تبدیل فوریه مادون قرمز مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۲]. داهر و همکارانش ضمن شناسایی شاخصه‌های طیف رامان و زیر قرمز رزین‌های دی‌ترپنویید، طیف حاصل از رزین‌های خالص دی‌ترپنویید را در قیاس با طیف آنها در ترکیب ورنی‌ها مورد بررسی قرار داده و نیز به شناسایی رزین‌های حاصل از حفاری‌های باستان‌شناسی پرداخته‌اند [۱۳، ۱۴]. اسکالارونه و همکارانش ساختار سندروس و کوپال مانیل را به روش‌های مختلف طیف‌سنجی مورد بررسی قرار داده و محصولات تخریب آنها را بر اثر نور مطالعه کرده‌اند [۱۵]. روغن کمان و طیف زیر قرمز آن بررسی و مورد مطالعه قرار گرفته، اما از ماهیت رزین آن سخنی به میان نیامده است [۱۶]. دریک و همکارانش شاخصه‌های طیف زیر قرمز مواد طبیعی رزینی بکار رفته در پوشش مبلمان‌ها را مورد بررسی قرار داده و آنها را طبقه‌بندی نموده‌اند [۱۷، ۱۸]. ماهیت ساختاری و مولکولی رزین‌های دی‌ترپنویید به کار رفته در آثار هنری توسط میلز و وایت مورد مطالعه قرار گرفته و معرفی شده است [۳]. هرچند شناسایی مواد گوناگون مورد استفاده در نقاشی ایرانی به روش‌های گوناگون و به ویژه طیف سنجی زیر قرمز مورد بررسی قرار گرفته [۱۹-۲۳] و روش‌های بررسی آنها نیز مطالعه شده است [۲۴] اما تاکنون ساختار روغن کمان و مواد آن مورد بررسی و تحلیل قرار نگرفته و برخلاف بررسی‌های انجام شده توسط پژوهشگران، هیچگونه تحلیلی از ماهیت ساختاری رزین به کار رفته در روغن کمان ارائه نشده است و این پژوهش می‌تواند گام موثری در تحلیل، شناسایی و اثبات صحت یا عدم صحت ماهیت سندروس در روغن کمان باشد.

هدف این مقاله بررسی و شناخت ماهیت رزین سندروس در بازار ایران بر اساس مطالعه ساختار مولکولی آن است و برای اولین بار به این مقوله از منظر دانش ساختار شناسی شیمیایی می‌نگرد تا به این تشکیک پاسخ دهد که ممکن است آنچه در متون کهن به نام سندروس برای تهیه پوشش «روغن کمان» معرفی شده شامل رزین‌های دیگری نیز بوده که همگی به نام سندروس به فروش

شد. دو نمونه از تهران و دو نمونه از اصفهان به عنوان شهرهایی که مراجعه هنرمندان زیاد است تهیه شد. دو نمونه نیز از یزد و دزفول تهیه گردید. دو نمونه اخیر به این دلیل تهیه شد که هر چند این دو شهر در هنر نقاشی سابقه مشهوری ندارند اما طبابت و فروش محصولات دارویی سنتی از گذشته دور تاکنون در آنها بطور عالی وجود داشته و احتمال وجود محصولات اصیل عطاری در آنها بیشتر است. ضمن آنکه شهر دزفول سابقه خوبی در تهیه مصنوعات چوبی دارد که روی آنها از پوشش‌های مختلفی استفاده می‌شود. جدول ۱ مشخصات نمونه‌ها را ارائه می‌دهد:

می‌رفته و می‌روند. شناخت دقیق این رزین ضمن کمک به اصلاح روش ساخت روغن کمان در بین هنرمندان معاصر به تحلیل فرآیندهای تخریب نمونه‌های موجود بر روی آثار و اشیاء تاریخی نیز کمک شایانی خواهد نمود.

## ۲- بخش تجربی




### ۱-۲- مواد

رزین کوپال مانیل، سندروس مراکشی و کلوفان به عنوان رزین‌های مرجع مورد استناد، از Kremer Pigments Inc. آلمان تهیه شد. رزین سندروس در ایران از عطاری‌های معتبر در شهرهای مختلف تهیه

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه و رزین‌های مرجع.

ردیف	رزین (نام نمونه در متن)	محل تهیه	شرح ظاهر	تصویر نمونه	کد نمونه
۱	سندروس مراکشی	Kremer pigments Inc.	گرانول زرد روشن همراه با ناخالصی‌های طبیعی		Sandarac
۲	کوپال مانیل		گرانول زرد و سرخ روشن همراه با ناخالصی‌های طبیعی		Manilla Copal
۳	کلوفان		ورقه‌های زرد و ترد		Colophony
۴	سندروس (تهران)	تهران	گرانول زرد و سرخ روشن همراه با ناخالصی‌های طبیعی		Sn.Th
۵	سندروس (شهری)	شهری	گرانول زرد و سرخ روشن همراه با ناخالصی‌های طبیعی		Sn.Ray

جدول ۲: ادامه.

ردیف	رزین (نام نمونه در متن)	محل تهیه	شرح ظاهر	تصویر نمونه	کد نمونه
۶	سندروس (ابوعطار اصفهان)	اصفهان	گرانول زرد و سرخ روشن همراه با ناخالصی‌های طبیعی		Sn.Abu
۷	سندروس (محقق اصفهان)	اصفهان	کلوخه زرد شفاف بدون ناخالصی		Sn.Isf
۸	سندروس (دزفول)	دزفول	کلوخه زرد شفاف بدون ناخالصی		Sn.Dz
۹	سندروس (یزد)	یزد	کلوخه زرد شفاف بدون ناخالصی		Sn.Yz

## ۲-۲- روش کار

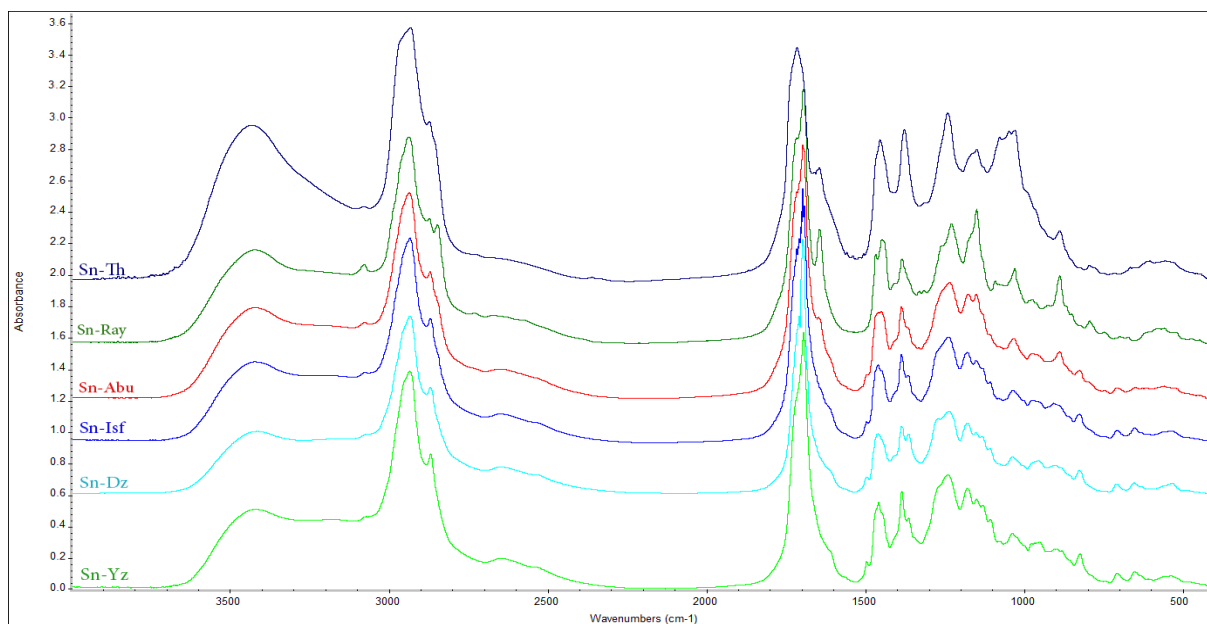
طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه با دستگاه FT-IR Spectrometer مدل Nicolet Nexus 470 ساخت شرکت Thermo Nicolet آمریکا، متصل به نرم‌افزار OMNIC در دانشگاه هنر اصفهان انجام گرفت. از هر رزین سه نمونه تهیه شد و نمونه‌ها به نسبت دقیق ۱ به ۱۰۰ در پودر KBr ساییده شده و پس از تهیه قرص، کلیه طیف‌ها طی ۳۲ پیمایش با تفکیک‌پذیری  $4 \text{ cm}^{-1}$  در محدوده  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$  ثبت شدند. قبل از هر آنالیز، دستگاه با طیف هوا به عنوان زمینه، کالیبره می‌شد.

## ۳- نتایج و بحث

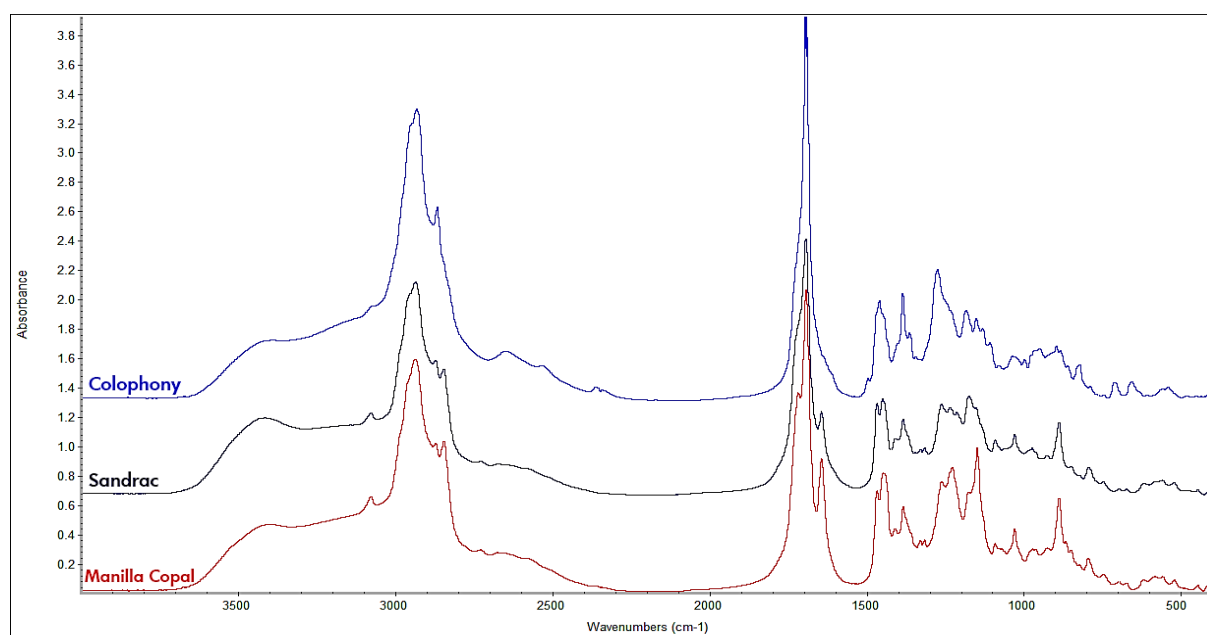
شکل ۱ طیف زیر قرمز تبدیل فوریه نمونه‌های مورد مطالعه و شکل ۲ طیف رزین‌های مرجع را نشان می‌دهند. جدول ۲ نوار جذب‌های نمونه‌های مورد مطالعه، نمونه‌های مرجع و مشخصات طیف زیر قرمز رزین‌های مرجع را در منابع علمی ارائه داده است. بر اساس این

جدول غیر از جذب‌های عمومی رزین‌ها و رزین‌های دی‌ترپنویید که در تمام آنها مشترک است، اختلافاتی در نواحی و شدت جذب این رزین‌ها در نمونه‌های مختلف وجود دارد. فرکانس‌های قوی کربونیل و هیدروکربن‌ها به عنوان نواحی عمومی جذب رزین‌های طبیعی معرفی شده‌اند و جذب آنها - چنانچه در جدول ۲ نیز دیده می‌شود - برای نواحی  $1715-1695 \text{ cm}^{-1}$ ،  $2875-2865$  و  $2958-2930$  و نیز  $2849 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1644$ ،  $1384$ ،  $1448-1445$ ،  $1386$ ،  $888$ . گزارش شده است [۱۲، ۱۳، ۱۷].

تمام رزین‌های طبیعی نوار جذبی ضعیفی در ناحیه  $3080-3070 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از کششی CH از  $\text{CH}_2=\text{CRR}'$  از خود نشان می‌دهند. در نمونه‌های مرجع، نوار جذب ضعیفی در ناحیه  $3076 \text{ cm}^{-1}$  برای کلوفان و برای سندروس و کوپال مانیل در  $3080 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر شده و با سایر منابع نیز منطبق است [۱۲، ۱۳، ۱۸]. در تمام رزین‌های مورد مطالعه نیز این نوار جذب ضعیف دیده می‌شود.



شکل ۱: طیف مادون قرمز تبدیل فوری نمونه‌های مورد بررسی از بازار ایران؛ به ترتیب از بالا به پایین: نمونه تهران (Sn-Th)، نمونه شهر ری (Sn-Ray)، نمونه ابوعطار اصفهان (Sn-Abu)، نمونه محقق اصفهان (Sn-Isf)، نمونه دزفول (Sn-Dz)، نمونه یزد (Sn-Yz).



شکل ۲: طیف زیر قرمز تبدیل فوری سه رزین مرجع از شرکت Kremer Pigments Inc.

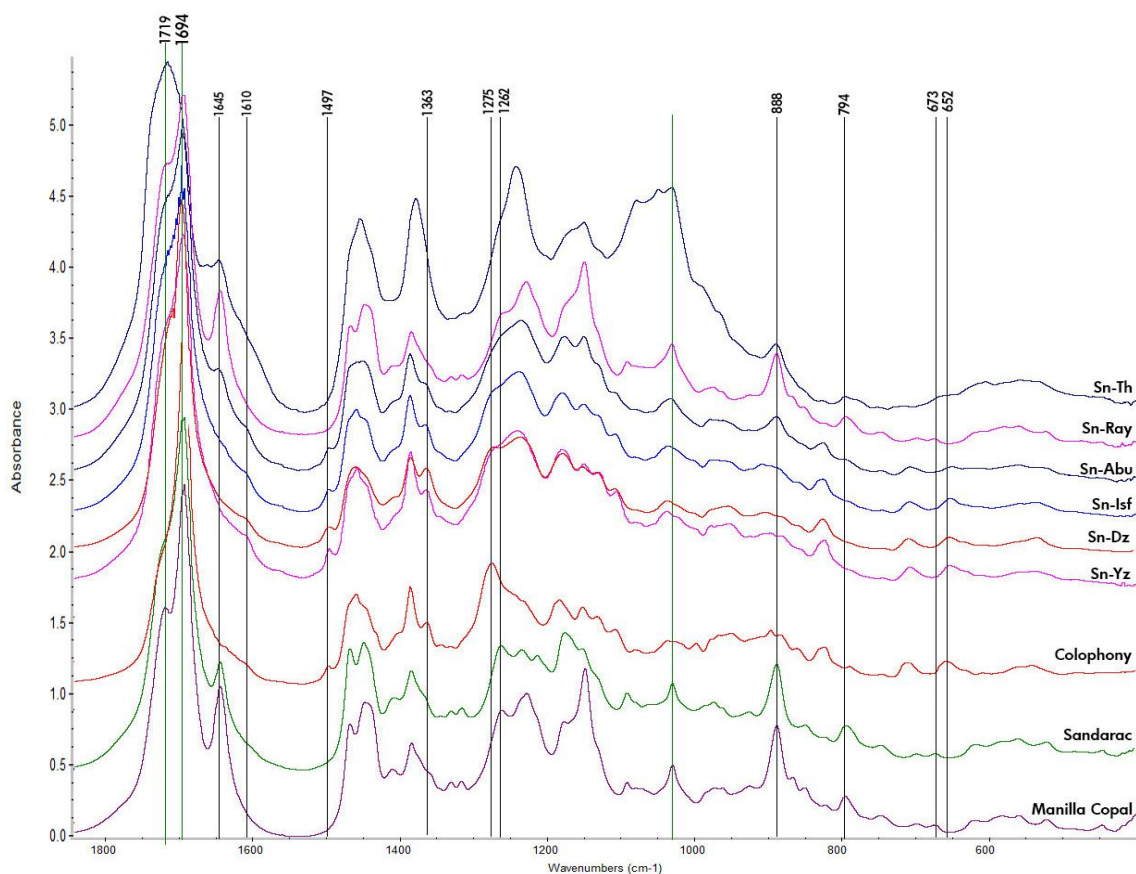
در شکل ۳ نواحی اثر انگشت و کربونیل رزین‌های مورد مطالعه و مرجع در کنار هم ارائه شده و برخی نوار جذب‌های مهم و خاص هر گروه نمایان شده است. در طیف سندروس و کوپال مانیل قوی‌ترین قله متعلق به گروه کربونیل است که در  $1693\text{ cm}^{-1}$  با شانه کوچکی در  $1719\text{ cm}^{-1}$  نمایان شده و ناشی از کششی  $\text{C}=\text{O}$  است. شانه این ناحیه در کوپال قوی‌تر از سندروس ظاهر شده است. در طیف کلوفان نیز قوی‌ترین قله متعلق به گروه کربونیل است که در  $1694\text{ cm}^{-1}$  با شانه کوچکی در  $1718\text{ cm}^{-1}$  نمایان شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه نوار جذبی بسیار قوی در ناحیه  $1694\text{ cm}^{-1}$  با شانه‌ای در  $1718\text{ cm}^{-1}$  در تمام نمونه‌ها بجز نمونه تهران دیده می‌شود. در نمونه تهران تنها قله‌ای قوی در ناحیه  $1715\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود. ضمن آنکه شانه نمونه شهر ری و نمونه ابوعطار اصفهان قوی‌تر از سایر نمونه‌ها دیده می‌شود.

در ناحیه  $\text{CH}$  در رزین‌ها، قوی‌ترین قله متعلق به  $\text{CH}$  کششی

در شکل ۳ نواحی اثر انگشت و کربونیل رزین‌های مورد مطالعه و مرجع در کنار هم ارائه شده و برخی نوار جذب‌های مهم و خاص هر گروه نمایان شده است. در طیف سندروس و کوپال مانیل قوی‌ترین قله متعلق به گروه کربونیل است که در  $1693\text{ cm}^{-1}$  با شانه کوچکی در  $1719\text{ cm}^{-1}$  نمایان شده و ناشی از کششی  $\text{C}=\text{O}$  است. شانه این ناحیه در کوپال قوی‌تر از سندروس ظاهر شده است. در طیف کلوفان نیز قوی‌ترین قله متعلق به گروه کربونیل است که در  $1694\text{ cm}^{-1}$  با شانه کوچکی در  $1718\text{ cm}^{-1}$  نمایان شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه نوار جذبی بسیار قوی در ناحیه  $1694\text{ cm}^{-1}$  با شانه‌ای در  $1718\text{ cm}^{-1}$  در تمام نمونه‌ها بجز نمونه تهران دیده می‌شود. در نمونه تهران تنها قله‌ای قوی در ناحیه  $1715\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود. ضمن آنکه شانه نمونه شهر ری و نمونه ابوعطار اصفهان قوی‌تر از سایر نمونه‌ها دیده می‌شود.

نیز دیده می‌شوند که عبارتند از: در طیف نمونه‌های مرجع، در سندروس و کوپال جذب متوسط در  $1468\text{ cm}^{-1}$  و  $1450\text{ cm}^{-1}$  ناشی از CH متیل و متیلن، جذب متوسط در ناحیه  $1029\text{ cm}^{-1}$  ناشی از  $\text{CH}=\text{CH}_2$  و جذب متوسط در ناحیه  $888\text{ cm}^{-1}$  ناشی از خمشی در گروه وینیل دیده می‌شود [۲۵، ۲۶]. در طیف کلوفان، جذب متوسط در  $1460\text{ cm}^{-1}$  ناشی از CH در متیلن با شانه ضعیفی در  $1445\text{ cm}^{-1}$ ، جذب متوسط در ناحیه  $1364\text{ cm}^{-1}$  ناشی از CH در  $\text{CH}_3$ ، دوقلویی در  $1036\text{ cm}^{-1}$  و  $1027\text{ cm}^{-1}$  احتمالاً ناشی از  $\text{CH}_2=\text{CH}$  از جمله مهم‌ترین جذبهای CH این رزین است [۱۱]. نمونه‌های مورد بررسی نوار جذب متوسطی در  $888\text{ cm}^{-1}$ ،  $1468\text{ cm}^{-1}$  و  $1450\text{ cm}^{-1}$  در نمونه‌های شهری و ابوعطار اصفهان دیده می‌شود. در نمونه تهران نوار جذب  $888\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود اما نوار جذب دیگری در  $1454\text{ cm}^{-1}$  با شانه‌ای در  $1468\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود. نوار جذب  $1036\text{ cm}^{-1}$  تنها در نمونه‌های دزفول و محقق اصفهان حضور دارد و نوار جذب  $1027\text{ cm}^{-1}$  تنها در نمونه یزد دیده می‌شود. همچنین نوار جذبه‌های  $1460\text{ cm}^{-1}$  و  $1445\text{ cm}^{-1}$  به خوبی در این سه نمونه نمایان هستند. نوار جذب  $1365\text{ cm}^{-1}$  علاوه بر سه نمونه مذکور در نمونه ابوعطار اصفهان نیز دیده می‌شود.

نامتقارن در  $\text{CH}_2$  است که در کوپال مانیل و سندروس در ناحیه  $2935\text{ cm}^{-1}$  همراه با دو شانه در ناحیه  $2960\text{ cm}^{-1}$  و  $2985\text{ cm}^{-1}$  ظاهر شده و در کلوفان خود را در ناحیه  $2933\text{ cm}^{-1}$  همراه با یک شانه در ناحیه  $2956\text{ cm}^{-1}$  نمایان کرده است. دو قله نسبتاً قوی نیز در طیف سندروس و کوپال در  $2873\text{ cm}^{-1}$  و  $2847\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از کششی متقارن در  $\text{CH}_2$  باشد. این جذب در طیف کلوفان در  $2868\text{ cm}^{-1}$  نمایان شده است. در طیف نمونه‌های مورد بررسی، قله بسیار قوی در ناحیه  $2935\text{ cm}^{-1}$  در تمام نمونه‌ها حضور دارد که همراه با شانه ضعیفی در  $2956\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه‌های یزد، دزفول و محقق اصفهان و  $2960\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه‌های ابوعطار اصفهان، شهری و تهران و شانه ضعیف دیگری در  $2985\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه‌های شهری و تهران است. در نمونه‌های شهری، تهران و ابوعطار اصفهان نوار جذبی در  $2872\text{ cm}^{-1}$  و  $2848\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود اما نمونه‌های یزد، دزفول و محقق اصفهان در این ناحیه نوار جذبی در  $2868\text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهند که همراه با شانه‌ای در  $2847\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه‌های دزفول و محقق اصفهان و نوار جذب ضعیفی در  $2847\text{ cm}^{-1}$  و شانه‌ای در  $2833\text{ cm}^{-1}$  برای نمونه یزد دیده می‌شود. علاوه بر این نوار جذبه‌های مرتبط با CH در ناحیه اثر انگشت



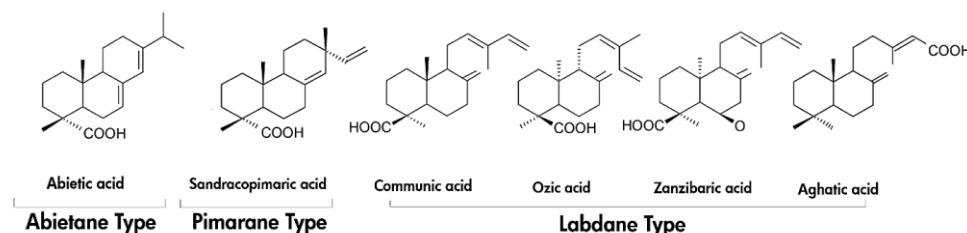
شکل ۳: طیف زیر قرمز تبدیل فوریه نمونه‌های مورد مطالعه در قیاس با نمونه‌های مرجع در نواحی اثر انگشت و کربونیل.

تفاوت‌های فاحشی در حلالیت، دمای ذوب، جوش و سایر ویژگی‌های این رزین‌ها نیز با یکدیگر وجود داشته باشد که همگی می‌تواند ناشی از پیوندهای درونی، اکسایش و پلیمریزاسیون در آنها باشد [۳۰].

شاخصه بسیار مهمی که کمک شایانی به تفکیک ساختارهای لبدان، پیماران و آبتیان می‌کند وجود پیوند دوگانه C=C در قسمت‌های مختلف ساختار آنهاست (شکل ۴). پیماران‌ها دارای یک و آبتیان‌ها دارای دو پیوند دوگانه کربن - کربن در حلقه هستند اما ساختارهای لبدان فاقد این نوع پیوند هستند. این پیوند فرکانس‌های خود را در حدود ۱۴۹۷ و  $1610\text{ cm}^{-1}$  بصورت ضعیف تا متوسط نشان می‌دهد. این جذب‌ها در کلوفان بدلیل تبدیل آبتیک اسید به دهیدروآبتیک اسید و افزایش تعداد پیوندهای دوگانه کربن - کربن در حلقه ممکن است قوی‌تر ظاهر شده و در سندروس ضعیف یا بصورت شانه نمایان می‌شود. پیماران‌ها و لبدان‌ها هر دو دارای پیوندهای C=C غیرآروماتیک در گروه وینیل ساختار خود هستند که آبتیان‌ها فاقد این نوع پیوند هستند (شکل ۴). این پیوند فرکانس‌های خود را در ناحیه  $1645\text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهد [۳۱، ۳۲]. بنابراین می‌توان انتظار داشت که کلوفان دارای نوار جذب‌هایی در نواحی  $1497\text{ cm}^{-1}$  و  $1610$ ، سندروس دارای نوار جذب‌هایی در نواحی  $1497$ ،  $1610$  و  $1645$  و کوپال دارای نوار جذبی در ناحیه  $1645\text{ cm}^{-1}$  ناشی از پیوندهای C=C باشند. بررسی نمونه‌های مرجع نشان می‌دهد که تمام موارد فوق در آنها دیده می‌شود و تنها نوار جذب  $1497\text{ cm}^{-1}$  در طیف سندروس بسیار ضعیف است، هر چند در سایر منابع برای این رزین گزارش شده است [۱۵]. مطابقت مشخصات فوق با نمونه‌های مورد نظر نشان می‌دهد که نوار جذب  $1645\text{ cm}^{-1}$  تنها به صورت ضعیف در نمونه‌های تهران و ابوعطار اصفهان و با شدت متوسط در نمونه شهری حضور دارد. نوار جذب  $1610\text{ cm}^{-1}$  به صورت ضعیفی در تمام نمونه‌ها غیر از نمونه شهری دیده می‌شود و نوار جذب  $1497\text{ cm}^{-1}$  تنها در چهار نمونه یزد، دزفول، محقق اصفهان و ابوعطار اصفهان نمایان است. بر این اساس می‌توان گفت که نمونه‌های یزد، دزفول، محقق اصفهان و ابوعطار اصفهان دارای ساختار آبتیان یا پیماران بوده و نمونه‌های تهران، شهری و ابوعطار اصفهان ساختارهای لبدان را در خود نشان می‌دهند.

در ناحیه OH نوار جذب متوسطی در ناحیه  $3447\text{ cm}^{-1}$  در هر سه رزین مرجع دیده می‌شود که ناشی از OH کششی است و در نمونه‌های مورد مطالعه نیز حضور دارند. اما در نمونه تهران قوی‌تر است که با توجه به جذب متفاوت این نمونه در ناحیه کربونیل می‌توان آن را ناشی از اکسایش رزین دانست [۱۵]. در طیف کلوفان دو نوار جذب متوسط مرتبط با OH نیز در نواحی  $2530$  و  $2648\text{ cm}^{-1}$  می‌توان دید که متعلق به OH کربوکسیلیک اسیدها در این رزین است [۱۱]. این دو نوار جذب در نمونه‌های یزد، دزفول و محقق اصفهان بخوبی نمایان است.

برای تفکیک دقیق‌تر رزین‌ها از همدیگر، توجه به تفاوت‌های ساختاری آنها ضروری است. سه رزین دی‌ترپنوییدی کلوفان، سندروس و کوپال، دارای ساختارهای متفاوتی نسبت به یکدیگر هستند. کلوفان متشکل از ساختاری سه حلقه‌ای بنام آبتیک اسید است که در معرض نور و هوای آزاد دچار فرآیند اکسایش شده و به دهیدروآبتیک اسید و ۷-اکسو دهیدروآبتیک اسید و سایر محصولات مشابه تبدیل می‌شود [۱۱، ۱]. سندروس متشکل از یک ساختار سه حلقه‌ای و یک ساختار دو حلقه‌ای است. ساختار سه حلقه‌ای آن شامل پیماریک اسید است که گونه مشهور شناخته شده در آن سندراکوپیماریک اسید است و ساختار دو حلقه‌ای آن نوعی لبدانویید است بنام کامیونیک اسید [۲۷، ۳]. کوپال‌ها دارای تنوع زیادی در سرتاسر جهان هستند و در آمریکای مرکزی، آفریقا و شرق آسیا درختان مولد آنها یافت می‌شوند. در ساختار کوپال‌ها گونه‌های پیماران و آبتیان حضور ندارند و این رزین‌ها تنها از لبدانهای مختلف شکل گرفته‌اند [۴]. ساختار اصلی تشکیل دهنده کوپال مانیل کامیونیک اسید و انانتیومر آن آگاتیک اسید است [۶، ۱۵، ۲۸، ۲۹]. بخش عمده کوپال زنگبار را انانتیومر دیگری از کامیونیک اسید بنام ازیک اسید تشکیل می‌دهد و در کنار آن گونه اکسید شده‌ای از کامیونیک اسید بنام زنباریک اسید نیز یافت می‌شود. البته علاوه بر موارد فوق، الکل‌های این ساختارها و برخی ترکیبات دیگر نیز در مقادیر کم در ترکیب این رزین‌ها یافت می‌شوند [۳]. ساختارهای لبدانوییدی همچون کامیونیک اسید و به ویژه ازیک اسید تحت تابش نور در هوای آزاد پلیمریزه می‌شوند حال آنکه ساختارهای سه حلقه‌ای (پیماران‌ها و آبتیان‌ها) هیچ‌گاه تشکیل بسیار نمی‌دهند [۱۱، ۱۵، ۲۹، ۱]. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که



شکل ۴: برخی ساختارهای تشکیل دهنده رزین‌های دی‌ترپنوییدی.

شکل محلول در حلال و ذوب شده در یک روغن خشکانه برای ساخت ورنی‌ها بکار می‌روند. کهنگی رزین طی فرآیندهایی مثل اکسایش بر طیف آن تاثیر گذار است اما شاخص‌های شناسایی رزین حتی بطور ضعیف حفظ می‌شود [۱۲]. در رزین‌های تازه و به ویژه کلوغان عواملی چون شرایط اقلیمی، فاصله زمانی جمع‌آوری تا آنالیز نمونه و نحوه نگهداری رزین بر تغییرات ساختاری رزین موثرند [۱۳]. هرچند ترپنوییدها بر اساس واحد مشخص ایزوپرن شکل می‌گیرند اما به دلیل وجود گروه‌های عاملی اضافی، دارای تنوع زیادی هستند که در میزان اشباع و تعداد اتم‌های اکسیژن با هم اختلاف داشته و موجب تفاوت در ساختار شیمیایی می‌باشند [۲۷، ۱] که تا حدود زیادی به شناسایی آنها با طیف‌سنجی زیر قرمز کمک می‌کند. با توجه به ساختارهای تشکیل دهنده رزین‌های دی‌ترپنویید و تطابق نوار جذب‌های نمونه‌های مرجع با نمونه‌های مورد بررسی (جدول ۲ و شکل ۳) می‌توان ادعا داشت که سه نمونه یزد، دزفول و محقق اصفهان مطابقت بسیار زیادی با نمونه کلوغان دارند. طیف نمونه ابوعطار اصفهان عمدتاً با طیف سندروس مطابقت دارد و دو نمونه دیگر مطابقت بسیاری با طیف کوپال مانیل نشان می‌دهند، هرچند اختلافاتی در نمونه تهران با طیف کوپال دیده می‌شود که می‌توان آن را ناشی از فاصله زمانی زیاد برداشت رزین تا آنالیز و انبارداری طولانی مدت آن و در نتیجه اکسایش رزین دانست. چرا که دو نوار جذب ۱۶۹۵ و  $1718 \text{ cm}^{-1}$  در رزین‌ها، طی فرآیند اکسیداسیون بهم نزدیک شده و تشکیل یک قله می‌دهند. این رخداد هم‌زمان با افزایش جذب OH در  $3445 \text{ cm}^{-1}$  و نیز تغییراتی در محدوده  $1450-1000 \text{ cm}^{-1}$  به سمت حذف برخی نوارهای جذب و افزایش کلی شدت جذب در این ناحیه همراه با کاهش نوار جذب در ناحیه  $888 \text{ cm}^{-1}$  است [۳۴، ۱۵] که تمامی این مشخصات در کنار مشخصات اصلی طیف رزین کوپال با نمونه تهران قابل تطبیق بوده و نشانگر اکسایش آن است.

با توجه به اهمیت حضور گروه کربوکسیل در رزین‌های طبیعی جذب‌های این گروه در طیف مادون قرمز را می‌توان چنین شرح داد: جذب ضعیف در ناحیه  $1407 \text{ cm}^{-1}$  در سندروس و  $1411 \text{ cm}^{-1}$  در کوپال ناشی از COOH، جذب متوسط در ناحیه  $1236 \text{ cm}^{-1}$  و ضعیف در ناحیه  $1214 \text{ cm}^{-1}$  تنها در طیف سندروس و جذب متوسط در  $1228 \text{ cm}^{-1}$  در طیف کوپال و  $794 \text{ cm}^{-1}$  در هر دو رزین ناشی از COH خمشی. جذب متوسط در ناحیه  $1263 \text{ cm}^{-1}$  در هر دو رزین و جذب متوسط در نواحی ۱۱۵۱ و  $1174 \text{ cm}^{-1}$  در طیف سندروس و  $1148 \text{ cm}^{-1}$  با شانه‌ای در  $1178 \text{ cm}^{-1}$  در طیف کوپال ناشی از C-O می‌تواند باشد. جذب ضعیف در ناحیه  $560 \text{ cm}^{-1}$  می‌تواند ناشی از CCO خمشی و جذب در ناحیه  $673 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از C-C باشد [۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۷]. در طیف کلوغان جذب در ناحیه  $1404 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از COOH، جذب ضعیف در نواحی ۱۲۳۲ و  $788 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از COH خمشی مربوط به این گروه است. همچنین جذب متوسط در نواحی ۱۱۸۲ و ۱۱۵۱ و  $1275 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از C-O می‌تواند باشد. جذب‌های ضعیف در ناحیه  $559 \text{ cm}^{-1}$  و کشیده در ناحیه  $542 \text{ cm}^{-1}$  می‌تواند ناشی از C-C-O خمشی باشد. علاوه بر این ساختار بدنه خود را با جذب متوسط در ناحیه  $658 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از C-C-C خمشی نشان می‌دهد [۱۱، ۳۳]. در نمونه‌های مورد بررسی جذب در نواحی ۱۴۱۱، ۵۶۰، ۶۷۳، ۷۹۴، ۵۶۰، ۱۲۶۳، ۱۱۴۸، ۱۱۷۸، ۱۲۳۶ و  $1411 \text{ cm}^{-1}$  در طیف نمونه‌های تهران، شهری و ابوعطار اصفهان منطبق با طیف نمونه‌های سندروس و کوپال دیده می‌شود و جذب در نواحی ۵۴۲، ۵۵۹، ۶۵۸، ۱۱۵۱، ۱۱۸۲، ۱۲۳۲ و  $1274 \text{ cm}^{-1}$  منطبق با طیف کلوغان نمایان است. جذب در ناحیه  $1228 \text{ cm}^{-1}$  تنها در نمونه‌های یزد و دزفول و جذب در نواحی ۷۸۸ و  $1404 \text{ cm}^{-1}$  تنها در نمونه یزد حاضر است. جذب در ناحیه  $658 \text{ cm}^{-1}$  علاوه بر سه نمونه یزد، دزفول، در هر دو نمونه اصفهان ظهور یافته است. رزین‌های طبیعی (دی‌ترپنوییدها، تری‌ترپنوییدها و شلاک) به دو

جدول ۳: نوار جذب‌های نمونه‌های مورد مطالعه، نمونه‌های مرجع و منابع علمی (w: ضعیف، m: متوسط، S: قوی، sh: شانه).

گروه مرجع											شرح	
منابع علمی [۲، ۵، ۱۱-۱۸، ۲۵، ۲۶، ۳۳، ۳۴]												
نمونه‌های مرجع												
نمونه‌های مورد بررسی						MC.Kr	Sn.Kr	Col.Kr	Copal	Sandarac	Colophony	
Sn.Th	Sn.Ray	Sn.Abu	Sn.Dz	Sn.Yz	Sn.Isf							
	۵۲۳					۵۲۰	۵۲۰		(m) ۵۲۰	(m) ۵۲۰		
			۵۳۰	۵۳۹	۵۳۵			۵۴۲			(s) ۵۴۰	δ C-C-O
۵۵۸	۵۵۹	۵۵۹	m,sh۵۵۹	m,sh۵۵۹	m,sh۵۵۹	۵۵۹	۵۶۰	۵۵۹	(m) ۵۶۳	(m) ۵۵۶	(m,sh) ۵۶۱	
۵۸۰	۵۸۳					۵۸۳	۵۸۶		(m,b)۵۸۳	(m,b)۵۸۱		
۶۰۵	۶۱۸	۶۰۹	۶۱۰	۶۱۰	۶۱۰	m ۶۱۷	m ۶۱۷	w ۶۰۹	(m) ۶۱۷		(w) ۶۱۱	
		۶۵۰	۶۵۵	۶۵۳	۶۵۲			۶۵۸			(s) ۶۵۲	δ C-C-C



جدول ۴: ادامه.

نمونه‌های مورد بررسی									گروه مرجع			شرح
Sn.Th	Sn.Ray	Sn.Abu	Sn.Dz	Sn.Yz	Sn.Isf	MC.Kr	Sn.Kr	Col.Kr	منابع علمی [۲، ۵، ۱۱-۱۸، ۲۵، ۲۶، ۳۳، ۳۴]			
۶۷۲	۶۷۴					۶۷۳	۶۷۳		(m) ۶۷۵	۶۷۳		C-C
	۶۹۷					۶۹۷	۶۹۷		(m) ۶۹۵	(m) ۶۹۶		
۷۱۷		۷۰۷	۷۰۸	۷۰۸	۷۰۸			۷۰۹			۷۰۷	
۸۲۶	۸۲۰	۸۲۴	۸۲۳	۸۲۴	۸۲۴	۸۲۱	۸۲۲	۸۲۳		۸۲۳	۸۲۳	
۸۵۱	۸۵۰				۸۵۳	۸۴۹	۸۴۸	۸۶۱	۸۵۰	۸۵۶		
۸۸۹	۸۸۸	۸۸۹	۸۹۸	۸۹۷	۹۰۷	۸۸۸	۸۸۸	۸۹۶		۹۰۹	۹۱۰	
			sh1۰۲۲	sh1۰۲۳				sh1۰۲۷				
۱۰۳۰	۱۰۳۰	۱۰۳۲	۱۰۳۷	۱۰۳۷	۱۰۳۶	۱۰۳۰	۱۰۳۰	۱۰۳۶	۱۰۳۵			
		۱۱۰۵	۱۱۰۶	۱۱۰۶	۱۱۰۶			۱۱۰۷			۱۱۰۷	
		۱۱۲۸	۱۱۳۰	۱۱۳۰	۱۱۳۰						۱۱۳۰	
	۱۲۲۹	۱۲۳۹				۱۲۲۸	۱۲۳۴		-۱۲۳۵ (w)۱۲۲۸	(w)۱۲۳۶	(w)۱۲۳۹	δ (COH) خمشی
۱۲۴۳			۱۲۴۰	۱۲۴۵	۱۲۴۲						(w)۱۲۴۸	پیچش O-H
۱۲۶۳	۱۲۶۱	۱۲۶۳				۱۲۶۲	۱۲۶۴		-۱۲۶۳ ۱۲۵۹	-۱۲۶۳ ۱۲۵۹		C-O استرها
			۱۲۷۴	۱۲۷۵	۱۲۷۵			۱۲۷۵			۱۲۷۵	C-O-
۱۳۱۴	۱۳۱۶	۱۳۱۶				۱۳۱۶	۱۳۱۶		۱۳۱۵	۱۳۱۵		
۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۳۱				۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۲۹	۱۳۲۹		
		۱۳۶۵	۱۳۶۴	۱۳۶۵	۱۳۶۶			۱۳۶۳			(m)۱۳۶۵	CH <sub>3</sub> در CH
	۱۴۱۰	۱۴۱۰				۱۴۱۱	۱۴۰۸		(w)۱۴۱۰	(w)۱۴۱۰	(w)۱۴۱۰	COOH
۱۴۵۵	۱۱۴۹	۱۴۵۱				۱۴۴۹	۱۴۵۰	۱۴۵۹	(w)۱۴۴۹	(w)۱۴۴۹	(w)۱۴۴۵	-CH
		۱۴۹۷	۱۴۹۷	۱۴۹۷	۱۴۹۷			۱۴۹۷		۱۴۹۷	۱۴۹۶	C=C
		۱۶۱۰		۱۶۱۰	۱۶۱۰						-۱۶۱۰ ۱۶۱۵	C=C
												در C=C
۱۶۴۶	۱۶۴۴	۱۶۴۷				۱۶۴۴	۱۶۴۴		(m)۱۶۴۳	(m)۱۶۴۳	(w)۱۶۴۳	وینیل کششی و خمشی
۱۶۹۷ w	۱۶۹۵	۱۶۹۷	۱۶۹۷	۱۶۹۷	۱۶۹۳	۱۶۹۷	۱۶۹۵	۱۶۹۴	(s)۱۶۹۴	(s)۱۶۹۴	(s)۱۶۹۷	v (C=O)
۱۷۱۶	۱۷۱۶		۱۷۱۶	۱۷۱۸	۱۷۱۹	۱۷۱۹	۱۷۲۰	۱۷۱۸	(sh)۱۷۱۸	(sh)۱۷۱۸	(sh)۱۷۱۸	v (C=O) اسیدها
-۲۵۷۰ ۲۶۲۴	۲۵۷۴		-۲۵۳۲ ۲۶۳۲	-۲۵۳۳ ۲۶۳۴	-۲۵۳۴ ۲۶۳۳	۲۵۷۵	۲۵۷۳	-۲۵۳۵ ۲۶۵۱			-۲۶۵۰ ۲۵۳۰	کربوکسیلیک اسیدها
۲۸۲۷		۲۸۲۸							۲۸۳۶	۲۸۳۶		CH <sub>2</sub> کششی در وینیل
	۲۸۴۷					۲۸۴۶	۲۸۴۷		۲۸۴۹	۲۸۴۹		
۲۸۷۳	۲۸۷۳	۲۸۷۱	۲۸۶۹	۲۸۶۹	۲۸۷۰	۲۸۷۳	۲۸۷۳	۲۸۶۸	(s)۲۸۷۳	(s)۲۸۷۳	-۲۸۷۰ (s/du)۲۸۵۳	در v (CH) <sub>s</sub> CH <sub>2</sub>
۲۹۳۳	۲۹۳۷	۲۹۳۶	۲۹۳۴	۲۹۳۵	۲۹۳۴	۲۹۳۶	۲۹۵۸	-۲۹۳۳ ۲۹۵۳	(s)۲۹۳۳	۲۹۳۳(s)	-۲۹۳۰ (s/du)۲۹۵۲	v (CH) <sub>as</sub> در CH <sub>2</sub>

## ۴- نتیجه گیری

سندروس بوده و این مساله تنوع رزین‌هایی که به نام سندروس به فروش می‌رسند را به اثبات می‌رساند. برای بررسی دقیق‌تر، استفاده از روش Py-GC-MS ضروری بوده و توصیه می‌شود.

## تشکر و قدردانی

نگارندگان از دانشگاه هنر اصفهان بدلیل در اختیار نهادن امکانات آزمایشگاهی و از آقایان دکتر شهاب پورطالبی (دانشگاه پلی تکنیک دلف هلند)، دکتر امید عودباشی (دانشگاه هنر اصفهان) و دکتر محمدمهدی کریم نژاد (دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد) و دکتر محمد حدادی (کتابخانه ملی و مرکز اسناد جمهوری اسلامی ایران) جهت همکاری در تهیه نمونه‌ها قدردانی می‌نمایند. نمونه‌های اصفهان توسط نگارنده اول، نمونه دزفول توسط نگارنده دوم و سایر نمونه‌ها توسط همکاران فوق از مراکز ذیل تهیه شده‌اند: نمونه تهران: خ انقلاب، پل چوبی، عطاری رضاییان، نمونه شهرری: بازارچه حرم حضرت عبدالعظیم، عطاری عطار نژاد، نمونه ابوعطار: اصفهان، خ فیض، عطاری ابوعطار (به اذعان فروشنده نمونه از هند وارد می‌شود)، نمونه محقق: اصفهان، بازار مسجد جامع، عطاری محقق، نمونه دزفول: بازار قدیم دزفول، نمونه یزد: عطاری خ نعیم آباد. کدهای سفارش نمونه‌های کرمر در تارنمای فروش شرکت: کوپال مانیل: ۶۰۱۵۰، سندروس مراکشسی: ۶۰۱۰۰، کلوفان: ۶۰۳۰۰ (http://shop.kremerpigments.com)

تفاوت‌های ساختاری رزین‌ها بر اساس نوع و محل پیوندهای مولکولی به ویژه در پیوندهای دوگانه کربن-کربن آروماتیک و غیرآروماتیک و پیوندهای گروه‌های کربونیل و کربوکسیل شاخص‌های مهمی برای تفکیک رزین‌ها از همدیگر در طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه به شمار می‌روند. با توجه با ساختار آبتان‌ها، پیماران‌ها و لبدان‌ها و وجود تنوعی از پیوندهای دوگانه کربن-کربن می‌توان وجود یا عدم وجود جذب در  $1645$ ،  $1610$  و  $1497$   $\text{cm}^{-1}$  را به عنوان شاخصی برای تفکیک رزین‌های دی‌ترپنویید دانست. چنانچه کلوفان با ساختار آبتیک اسید و مشتقات آن دارای پیوندهای دوگانه کربن-کربن آروماتیک بوده و در نواحی  $1497$  و  $1610$   $\text{cm}^{-1}$  از خود جذب نشان می‌دهد. سندروس دارای نوار جذبهایی در نواحی  $1497$ ،  $1610$  و  $1645$   $\text{cm}^{-1}$  است که نشانگر وجود ساختارهای پیماران و لبدان است و کوپال تنها دارای نوار جذبی در ناحیه  $1645$   $\text{cm}^{-1}$  ناشی از پیوندهای  $\text{C}=\text{C}$  غیر آروماتیک در ساختار لبدان است. همچنین جذب در ناحیه  $1275$   $\text{cm}^{-1}$  برای کلوفان و  $1263$ - $1259$   $\text{cm}^{-1}$  برای سندروس و کوپال ناشی از  $\text{C}-\text{O}$  را می‌توان از شاخص‌های مهم تفکیک این رزین‌ها از یکدیگر دانست. در این مقاله با بررسی نمونه‌های مختلف رزین موجود در بازار ایران و تطبیق طیف زیر قرمز تبدیل فوریه آنها با نمونه‌های مرجع از سه رزین کلوفان، کوپال و سندروس، این نتیجه حاصل شد که آنچه در بازار ایران به نام سندروس به فروش می‌رسد شامل هر سه نوع رزین کلوفان، کوپال و

## ۵- مراجع

1. D. Scalarone, O. Chiantore, Py-GC/MS of natural and synthetic resins. In organic mass spectrometry in art and archaeology, John Wiley & Sons, Chichester, UK (2009), 327-361.
2. A. Nemati Babaylou, M. Azadi Boyaghchi, F. Najafi, M. Mohammadi Achachlouei, Review on identification of diterpenoid resins in artworks varnishes by FT-IR. *J. Res. Archaeom.* 3 (2017), 68-80.
3. J. S. Mills, R. White, Natural resins of art and archaeology their sources, chemistry, and identification. *Stud. Conserv.* 22(1977), 12-31.
4. J. H. Langenheim, Plant resins, Timber Press, Oregon, 2003, 334-335.
5. A. Cunningham, I. D. Gay, A. Oehlschlager, J. H. Langenheim,  $^{13}\text{C}$  NMR and IR analyses of structure, aging and botanical origin of Dominican and Mexican ambers. *Phytochem.* 22 (1983), 965-968.
6. J. H. Langenheim, Biology of amber-producing trees: focus on case studies of Hymenaea and Agathis, In Amber, Resinite, and Fossil resins. *Am. Chem. Soc.* Washington, D.C. (1995), 1-31
7. J. Mills, R. White, Organic chemistry of museum objects. Routledge, New York, 2012, 95-118
8. A. Nemati Babaylou, M. Azadi Boyaghchi, F. Najafi, LacQuer and oil (varnish) technology in Persian art book. *J. At Res.* 4 (2014), 149-154.
9. A. Nemati Babaylou, M. Azadi Boyaghchi, F. Najafi, M. Mohammadi Achachlouei, Recognition of sandarac resin nature in old scientific texts. *J. Islamic Iranian Traditional Med.* 7(2017), 73-84.
10. L. Decq, P. Stoffelen, V. Leyman, V. Cattersel, C. Indekeu, D. Steyaert, E. Van Binnebeke, W. Fremout, S. Steven, Natural resins sold today: A quality control study. Natural history collections as historical reference material, 31<sup>st</sup> Annual Meeting of the Society for the Preservation of Natural History Collections, Berlin (2016).
11. V. Beltran, N. Salvadó, S. Butí, T. Pradell, Ageing of resin from Pinus species assessed by infrared spectroscopy. *Anal. Bioanal. Chem.* 408 (2016), 4073-4082.
12. C. Azemard, C. Vieillescazes, M. Ménager, Effect of photodegradation on the identification of natural varnishes by FT-IR spectroscopy. *Microchem. J.* 112 (2014), 137-149.
13. C. Daher, C. Paris, A. S. Le Hó, L. Bellot-Gurlet, J. P. Échard, A joint use of Raman and infrared spectroscopies for the identification of natural organic media used in ancient varnishes. *J. Raman Spectrosc.* 41 (2010), 1494-1499.
14. C. Daher, L. Bellot-Gurlet, Non-destructive characterization of archaeological resins: seeking alteration criteria through

- vibrational signatures. *Anal. Methods*. 5 (2013), 6583-6591.
15. D. Scalarone, M. Lazzari, O. Chiantore, Ageing behaviour and analytical pyrolysis characterisation of diterpenic resins used as art materials: Manila copal and sandarac. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 68 (2003), 115-136.
  16. Sh. Shakeryan, Study on "Kaman Oil" structure in the event of conservation of historical penboxes. M. A. Dissertation, Art University of Isfahan, Iran, 2009.
  17. M. Derrick, Fourier transform infrared spectral analysis of natural resins used in furniture finishes. *J. Am. Inst. Conserv.* 28(1989), 43-56.
  18. M. R. Derrick, D. Stulik, J. M. Landry, Infrared spectroscopy in conservation science. Getty Publications Los Angeles, 2000, 103-107
  19. M. B. Kasiri, A. Nematy Babaylou, H. Zandkarimi, Photo-oxidative stability of a series of red acrylic paints. *Prog. Color Colorants Coat.* 7 (2014), 177-185.
  ۲۰. م. باقرزاده کثیری، شناسایی رنگدانه لاجورد در نگاره‌های ایرانی با استفاده از روش‌های نشر پرتو ایکس القائی پروتون (PIXE) و میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM). *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*. ۹(۱۳۹۴)، ۲۵۸-۲۵۱.
  ۲۱. د. هرنندی، م. ح. طاهری، ع. سرداری، شناسایی رنگدانه‌های دیوارنگاره. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*. ۹(۱۳۹۴)، ۱۸۷-۱۹۷.
  ۲۲. ع. ر. کوچکزایی، ع. نعمتی بابایلو، ل. دانشپور، شناسایی رنگدانه‌های مورد استفاده در تزئین کتیبه کاغذی خانه انصارین تبریز. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*. ۹(۱۳۹۴)، ۳۰۶-۲۹۷.
  ۲۳. ز. حقیقی، ا. ح. کریمی، ر. وطنخواه، شناسایی بست دیوارنگاره‌های تاریخی خانه سوکیاس اصفهان با استفاده از طیف‌بینی زیر قرمز تبدیل فوری و کمومتریکس. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*. ۹(۱۳۹۴)، ۸۲-۷۵.
  ۲۴. ا. ح. کریمی، ع. عابد اصفهانی، م. شیردوانی، بررسی کارایی آزمایش‌های شیمی‌تر در شناخت بست رنگ نقاشی سنتی ایران. *نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ*. ۲(۱۳۹۱)، ۱۴-۳.
  25. S. Prati, G. Sciutto, R. Mazzeo, C. Torri, D. Fabbri, Application of ATR-far-infrared spectroscopy to the analysis of natural resins. *Anal. Bioanal. Chem.* 399 (2011), 3081-3091.
  26. M. Guiliano, L. Asia, G. Onoratini, G. Mille, Applications of diamond crystal ATR FT-IR spectroscopy to the characterization of ambers. *Spectrochim. Acta Part A*. 67 (2007), 1407-1411.
  27. A. M. Pollard, C. M. Batt, B. Stern, S. M. M. Young, Analytical chemistry in archaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 77-91.
  28. D. Scalarone, J. Van der Horst, J. J. Boon, O. Chiantore, Direct-temperature mass spectrometric detection of volatile terpenoids and natural terpenoid polymers in fresh and artificially aged resins. *J. Mass Spectrom.* 38 (2003), 607-617.
  29. L. Decq, F. Lynen, M. Schilling, W. Fremout, V. Cattersel, D. Steyaert, D., S. Saverwyns, The analysis of European lacquer: optimization of thermochemolysis temperature of natural resins. *Appl. Phys. A*. 122 (2016), 1007.
  30. O. Poinar, Life in amber. Stanford University Press, Stanford, 1992, 60-65.
  31. D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, J. R. Vyvyan, Introduction to spectroscopy. Cengage Learning, Stanford, 2008, 31-87.
  32. R. M. Silverstein, F.W. Webster, D. J. Kiemle, D. L. Bryce, Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley & sons, Hoboken, 2014, 81-108.
  33. C. Daher, V. Pimenta, L. Bellot-Gurlet, Towards a non-invasive quantitative analysis of the organic components in museum objects varnishes by vibrational spectroscopies: Methodological approach. *Talanta*, 129 (2014), 336-345.
  34. D. Ciofini, J. Striova, M. Camaiti, S. Siano, Photo-oxidative kinetics of solvent and oil-based terpenoid varnishes. *Polym. Degrad. Stab.* 123 (2016), 47-61.