



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و سوم، ویژه‌نامه ۱، ۱۳۹۵

<http://jwfst.gau.ac.ir>

ارزیابی غیرمخرب ترکیبات شیمیایی چوب‌های مورد استفاده در بناهای تاریخی منطقه

گرگان با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR

*سید مهدی موسوی‌نژاد^۱، محراب مدهوشی^۲، داود رسولی^۳ و محمد وکیلی^۴

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۴دانشیار گروه آموزشی شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۲۶

چکیده

مقدمه: استفاده از طیف‌سنجی مادون‌قرمز برای توصیف مواد لیگنوسلولزی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. از آنجایی که در طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز (FT-IR) حداقل تخریب در نمونه مورد آزمایش اتفاق می‌افتد و با مقدار بسیار کمی از نمونه اطلاعات دقیقی به‌دست می‌آید، لذا این طیف‌سنجی یک تکنیک مفید برای شناسایی ترکیبات شیمیایی چوب است، در مطالعه چوب‌های تاریخی جهت توصیف میزان و نوع تخریب به‌منظور انتخاب روش حفاظت مناسب، غالباً تکنیک FT-IR استفاده می‌شود. در این پژوهش تغییرات ترکیبات شیمیایی چوب‌های استفاده شده در بناهای تاریخی منطقه گرگان با گونه‌های سالم به کمک این طیف‌سنجی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه نمونه چوب‌های تاریخی از دو بنا در منطقه بافت قدیم گرگان (تکیه استرآبادی و حسینیه) تهیه شد. پنج نمونه از این دو بنا انتخاب و برای تشخیص گونه به بررسی خصوصیات ماکروسکوپی این چوب‌ها پرداخته شد. طیف‌سنجی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه MB-154 Bomem مدل FT-IR به‌دست آمد. برای این منظور، آرد چوب از نمونه‌های تهیه شده از یک پیچ‌گوشتی برقی مجهز به مته با قطر ۳ mm و به میزان عمق نفوذ ۲-۳ mm در نمونه به‌دست آمد. آرد به‌دست آمده

*مسئول مکاتبه: mmoosavi511@gmail.com

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

برای انجام آزمون FT-IR در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند تا کمترین رطوبت را داشته باشند. سپس قرص KBr نمونه‌های فوق جهت آزمون طیف‌سنجی FT-IR در محدوده طیفی $4000-500\text{ cm}^{-1}$ و قدرت تفکیک طیفی 4 cm^{-1} ساخته شد. برای هر آزمون ۱۱ اسکن انجام شد و نمونه‌ها با نمونه‌های سالم مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: نمونه‌ها شامل چهار گونه پهن برگ (ممرز، بلوط، راش، ملج) و یک گونه سوزنی برگ (سرخدار) بود. در تمامی گونه‌های پهن برگ شدت جذب در نواحی $1160, 1118, 1049, 897$ و مرتبط با کربوهیدرات‌ها و همچنین نوارهای $1243, 1739$ در ارتباط با همی سلولز به مقدار زیادی کاهش یافته بود. در مقابل، در نوارهای مرتبط با لیگنین افزایش جذب ناچیزی در نواحی $1508, 1595, 1654$ دیده می‌شد. در گونه سرخدار، نواحی $1273, 1428, 1512, 1608$ و در ارتباط با لیگنین و ناحیه 1736 cm^{-1} و مرتبط با همی سلولز کاهش جذب زیادی را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از طیف‌سنجی نشان داد، تخریب زیستی در تمام گونه‌های تاریخی اتفاق افتاده است. از مقایسه نسبی تغییرات شدت نوارهای مرتبط با لیگنین و کربوهیدرات‌ها در گونه‌های پهن برگ مشخص شد که تخریب کربوهیدرات‌ها بیشتر از لیگنین بوده که می‌توان قسمت عمده آن را به عامل پوسیدگی قهوه‌ای نسبت داد. در گونه سوزنی‌برگ (سرخدار)، به دلیل این‌که بیشترین تماس را با باران‌های متوالی داشته علاوه بر کربوهیدرات‌ها، لیگنین نیز تخریب شده است.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی FT-IR، ترکیبات شیمیایی چوب، بناهای تاریخی، سوزنی برگان، پهن‌برگان

مقدمه

چوب دارای ساختار شیمیایی پیچیده‌ای بوده و این ساختار وابستگی زیادی به نوع گونه و محل رویش دارد. با این حال، ترکیبات اصلی آن در همه گونه‌ها ثابت می‌باشد. سه جزء اصلی پلیمری در چوب شامل سلولز (یک پلیمر خطی با واحدهای گلوکز است)، همی سلولز (از پلیمر پلی ساکارید تشکیل شده و چند واحد قندی مختلف، همراه با گروه‌های مشتق شده دیگر) و لیگنین (یک پلیمر سه بعدی شامل گروه‌های آروماتیک و دیگر گروه‌های غیراشباع) می‌باشد (۲۵).

از سال ۱۹۸۰ طیف‌سنجی مادون‌قرمز به‌طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل‌های معمول آزمایشگاهی و تحقیقاتی در زمینه حفاظت مورد استفاده قرار گرفته است. هنگامی که نمونه‌های چوبی

تاریخی مورد مطالعه قرار می‌گیرند اغلب از این تکنیک برای بررسی میزان تخریب آن‌ها استفاده می‌شود (۶-۴). از آنجایی که برای تهیه طیف در طیف‌سنجی FT-IR نیاز به مقادیر بسیار کمی از چوب (چند میلی‌گرم) است لذا حداقل تخریب در نمونه‌ها اتفاق می‌افتد (۱۸).

FT-IR به‌طور گسترده‌ای برای توصیف مواد شیمیایی در چوب و برای به‌دست آوردن داده‌های کیفی و به‌طور عمده در مطالعه لیگنین مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸، ۲۰، ۲۲). گلبریچ و همکاران در ۲۰۱۲ چوب‌های بناهای تاریخی در اروپا را که در معرض شدید باکتری‌ها بودند با طیف‌سنجی FT-IR مورد مطالعه قرار داده و از نتایج به‌دست آمده پی بردند مقدار جذب در نواحی مرتبط با لیگنین در اثر این باکتری‌ها کاهش یافته است. به علاوه این روش جهت تجزیه تحلیل تغییرات شیمیایی در چوب‌های هوازده، پوسیده، تیمار شده و همچنین چوب‌هایی که فرآیندهای تجزیه بیولوژیکی بر روی آن‌ها صورت گرفته نیز کاربرد دارد (۱۰). ملیحه اختری در ۲۰۰۹، نمونه‌هایی از چوب راش را در زمان‌های مختلف (۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ ساعت) تحت هوازده‌گی مصنوعی تحت قرار داد و پس از آن تغییرات شیمیایی و میکروسکوپی ایجاد شده در سطح چوب را با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR ارزیابی نمود. نتایج نشان دادند که هوازده‌گی بر گروه‌های عاملی سطح چوب تأثیر گذاشته و به ساختار پلیمری آن صدماتی وارد کرده و باعث ایجاد تغییرات شیمیایی و فیزیکی در چوب گردیده است. از آنجایی که با افزایش مدت زمان قرار گرفتن در معرض هوازده‌گی، شدت جذب کاهش یافته است، او پی برد بیشترین تغییرات در گروه‌های عاملی و ساختار آروماتیک لیگنین است (۱). در کشور ما ساختمان‌های تاریخی چوبی زیادی وجود دارد که حفاظت از آن‌ها علاوه بر ارزش فرهنگی، تاریخی و مذهبی از دیدگاه گردشگری و جذب توریسم نیز لازم و ضروری است. با توجه به این اهمیت، در این پژوهش تغییرات ترکیبات شیمیایی چوب‌های استفاده شده در بناهای تاریخی بافت قدیم گرگان در مقایسه با گونه‌های سالم به وسیله طیف‌سنجی FT-IR، به‌عنوان یک روش غیرمخرب، مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

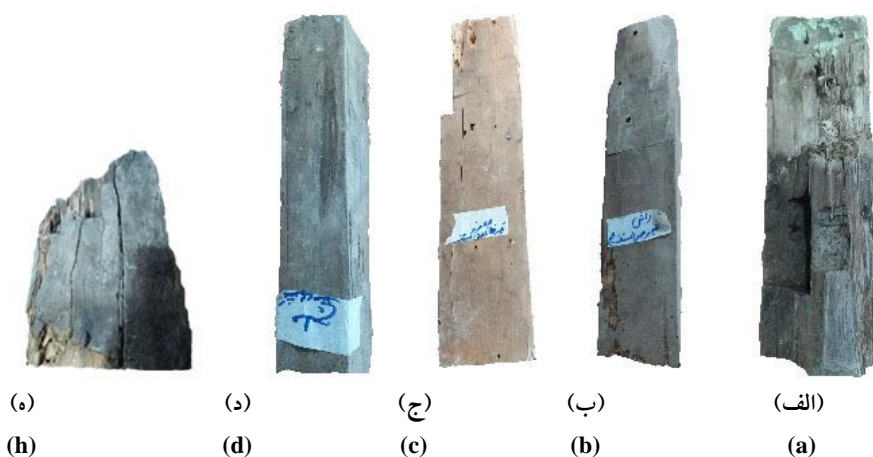
در این مطالعه چوب‌های تاریخی از دو بنا واقع در بافت قدیم گرگان (تکیه استرآبادی و حسینیه)، مورد بررسی قرار گرفت و پنج نمونه به‌صورت تصادفی از این دو بنا انتخاب شد. برای تشخیص گونه چوبی، از قسمت‌های سالم نمونه برش‌های عرضی، مماسی و شعاعی تهیه شد و پس از تشخیص گونه، با نمونه‌های سالم از همان گونه و منطقه مورد مقایسه قرار گرفتند.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

طیف‌سنجی FT-IR: طیف‌سنجی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه FT-IR مدل Bomem MB-154 به‌دست آمد. برای این منظور، آرد چوب از نمونه‌های تهیه شده از یک پیچ‌گوشتی برقی مجهز به مته با قطر ۳ mm و به میزان عمق نفوذ ۲-۳mm در نمونه به‌دست آمد. آرد چوب به‌دست آمده برای انجام آزمون FT-IR در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند تا کمترین رطوبت را داشته باشند. سپس قرص‌هایی با قطر ۱۳ میلی‌متر توسط آرد چوب و KBr ساخته شد. در نهایت طیف نمونه‌ها در محدوده طیفی $4000-500\text{cm}^{-1}$ با قدرت تفکیک 4cm^{-1} و تعداد ۱۱ اسکن تهیه شد. طیف‌ها با استفاده از نرم‌افزار Win-Bomem Easy ویرایش شد. جهت مقایسه نتایج، طیف‌های به‌دست آمده در شدت جذب در ناحیه 1450cm^{-1} که مرتبط با گروه‌های CH_2 یا CH_3 بوده و در گذر زمان دچار تغییر ناچیزی می‌شوند، نرمال گردیدند (۲۸).

نتایج و بحث

با بررسی خصوصیات ماکروسکوپی مشخص شد که گونه‌ها شامل چهار گونه پهن‌برگ (ممرز، بلوط، راش، ملج) و یک گونه سوزنی‌برگ (سرخدار) می‌باشد (شکل ۱). سه گونه ممرز، ملج و راش در شرایط مکانی مناسبی قرار گرفته بودند و کمترین تماس را با عوامل جوی داشتند اما گونه بلوط که از قسمت بیرونی ساختمان تهیه شده بود در معرض نسبی باران و نورآفتاب قرار داشت و همچنین گونه سرخدار به‌دلیل تخریب ضلع غربی ساختمان به‌صورت مستقیم در معرض عوامل جوی قرار گرفته بود. در جدول ۱ موقعیت قرارگیری نمونه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه‌های تهیه شده از بناهای تاریخی: الف) سرخدار، ب) راش، ج) ممرز، د) ملج، ه) بلوط.

Figure 1. The obtained samples from historical buildings: a) Yew, b) Beech, c) Hornbeam, d) Elm, h) Oak.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های تهیه شده از بناهای تاریخی و مکان قرارگیری آنها.

Table 1. Characteristics of Sample collected from historic buildings and their location.

بنای تاریخی historical building	سال Year	مکان قرارگیری نمونه‌ها Location of samples	نوع گونه (پهن برگ / سوزنی برگ) Wood type (Hardwood/Softwood)	گونه Species
تکیه استرآبادی	150	تیر اصلی سقف طبقه همکف قست خارجی ساختمان، ضلع شمالی	پهن برگ <i>Hardwood</i>	بلوط <i>Quercus castaneifolia</i> <i>Oak</i>
تکیه استرآبادی	150	تیر اصلی سقف طبقه اول، ضلع جنوبی	پهن برگ <i>Hardwood</i>	ممرز <i>Carpinusbetulus</i> <i>Hornbeam</i>
تکیه استرآبادی	150	شیر سر، ضلع شمالی	پهن برگ <i>Hardwood</i>	راش <i>Fagus orientalis</i> <i>Beech</i>
تکیه استرآبادی	150	کشویی بین دو تیر سقف	پهن برگ <i>Hardwood</i>	ملج <i>Ulmus glabra</i> <i>Elm</i>
حسینیه	150	قسمت داخلی ضلع غربی	سوزنی برگ <i>Softwood</i>	سرخدار <i>Taxus baccata</i> <i>Yew</i>

تمام ترکیبات موجود در ساختار چوب در طیف FT-IR نمایان شده بودند. پیک‌های به‌دست آمده ترکیباتی همچون سلولز، همی سلولز و لیگنین را نشان دادند و برخی نوارهای مرتبط با این ترکیبات تغییر یافته بود. تغییراتی بین عدد موج ترکیبات شیمیایی در سوزنی برگان و پهن برگان وجود داشت که در جدول ۲ آمده است.

اکثر عوامل مهم در چوب بین دامنه $1800-800\text{ cm}^{-1}$ وجود دارند و هر کدام همانند اثرانگشت در چوب می‌باشند. از مقایسه طیف‌های مادون قرمز حاصله با یکدیگر، اختلاف‌هایی در بین نمونه‌های تاریخی و سالم دیده شد.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵

جدول ۲- انتساب نوارهای FT-IR برای گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ سالم.

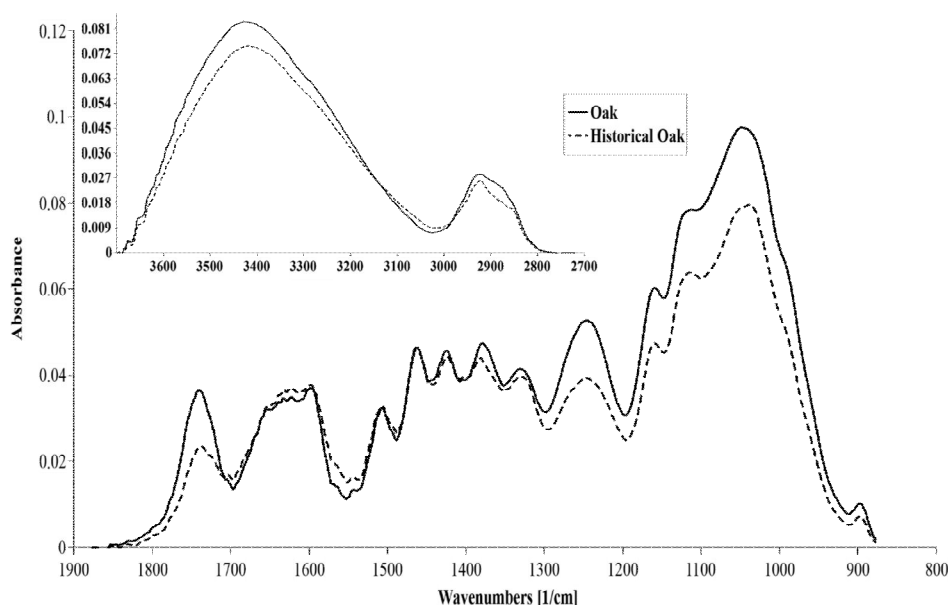
Table 2. FT-IR band assignments for fresh species hardwood and softwood.

پهن‌برگان Hardwood (cm ⁻¹)	سوزنی‌برگان Softwood (cm ⁻¹)	گروه‌های عاملی Functional group	مشخصه Assignment	منابع References
897	895	تغییر شکل C-H	سلولز	9,21
1033	1029	ارتعاشات کششی C-O	سلولز- همی سلولز	7,21
1049	1056	ارتعاشات کششی C-C, C-O	سلولز- همی سلولز	17,21
1118	1110	کشش غیرمتقارن C-O-C	سلولز- همی سلولز	21
1160	1159	کشش غیر متقارن C-C, C-O	سلولز- همی سلولز	21,30
1243	1234	ارتعاشات کششی C-O زایلن و حلقه سرینجیل	لیگنین و همی سلولز	16,30
-	1273	ارتعاشات کششی C-O حلقه گواپاسیل و نوسانات CH,OH	لیگنین، سلولز و همی سلولز	7,21
1330	-	ارتعاشات C-H و کشش C-O مربوط به حلقه سرینجیل	سلولز- لیگنین	9
1375	1375	خمش متقارن و نامتقارن گروه‌های CH ₃	سلولز- لیگنین	7,21
1425	1428	ارتعاشات ساختار آروماتیکی	لیگنین	17
1464	1460	خمش غیر متقارن CH ₃ در گروه‌های متوکسیل	لیگنین	9,30
1508	1512	ارتعاشات کششی ساختار آروماتیکی C=C	لیگنین	7,10,12
1595	1608	ارتعاشات کششی ساختار آروماتیکی C=C	لیگنین	21,27,30
1654	1655	کشش مزدوج C-O	لیگنین	15,21
1739	1736	ارتعاشات کششی C=O غیر مزدوج و مرتبط با گروه‌های کربونیل	همی سلولز	2,21,30
2843	2841	ارتعاشات کششی متقارن C-H مرتبط با متیل و متیلن	لیگنین، سلولز و همی سلولز	3,17,24
2933	2934	ارتعاشات کششی غیرمتقارن C-H مرتبط با متیل و متیلن	لیگنین، سلولز و همی سلولز	2,3,7,17,24
3423	3421	ارتعاشات کششی O-H	سلولز- همی سلولز	11,14,23

گونه‌های پهن‌برگ: نتایج نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ تا ۵)، در تمامی گونه‌های پهن‌برگ شدت جذب در نواحی 897 cm^{-1} ، 1049 cm^{-1} ، 1118 cm^{-1} ، 1160 cm^{-1} و مرتبط با سلولز و همی سلولز کاهش یافته است. مطابق با جدول ۲ نوار 897 cm^{-1} را می‌توان به تغییر شکل C-H حلقه گلوکوزی سلولز و همی سلولز و سه نوار دیگر را می‌توان به حرکت کششی متقارن و نامتقارن پیوندهای C-O و C-C نسبت داد. همین‌طور نوارهای 1739 cm^{-1} ، 1736 cm^{-1} که مشخصه وجود همی سلولز هستند به مقدار زیادی کاهش جذب

داشتند. نوارهای مرتبط با لیگنین در نواحی 1508 cm^{-1} و محدوده $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ که تقریباً در تمامی گونه‌ها افزایش جذب ناچیزی را نشان می‌دهند. این نوارها به ارتعاشات کششی ساختار آروماتیکی $\text{C}=\text{C}$ نسبت داده شده‌اند. در فرکانس‌های بالا و در نواحی 2843 cm^{-1} مرتبط با ارتعاشات کششی C-H متیل و متیلن و ناحیه 3423 cm^{-1} و در ارتباط با سلولز و همی سلولز قدرت جذب به‌طور محسوسی کاهش یافته است. از اطلاعات به‌دست آمده مشخص است که تخریب سلولز و همی سلولز بیشتر از لیگنین صورت گرفته که می‌توان این امر را به پوسیدگی قهوه‌ای و هوازگی در چوب نسبت داد (۲۹).

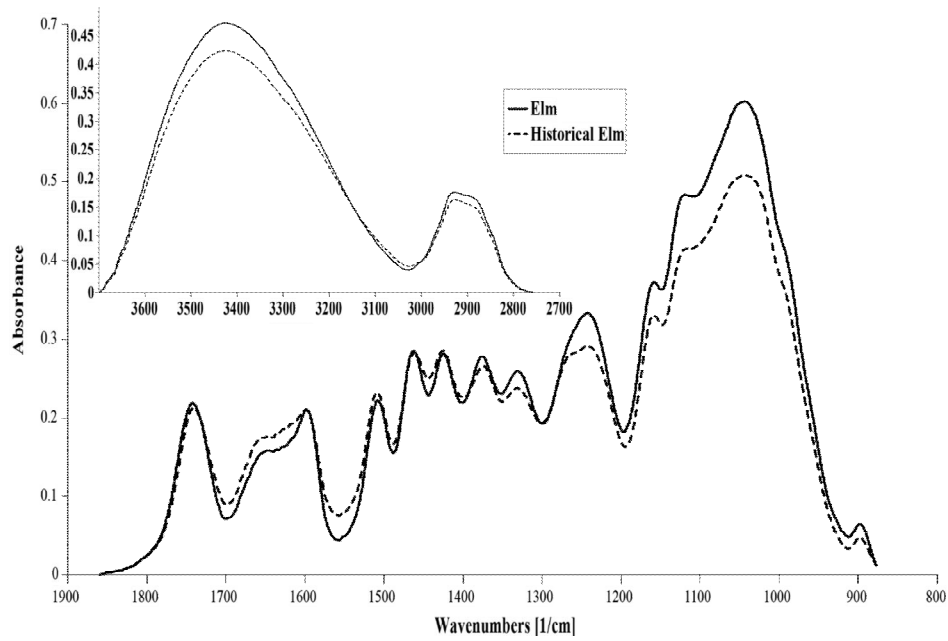
مقایسه ترکیبات موجود در نمونه پهن برگان سالم و تاریخی نشان داد نمونه تاریخی بلوط بیشترین افت سلولز و همی سلولز را داشته و گونه راش کمترین افت سلولز و همی سلولز و لیگنین را نسبت به گونه‌ها دیگر داشته است، که می‌توان دلیل آنرا به شرایط مکانی گونه نسبت داد.



شکل ۲- طیف FT-IR نمونه بلوط سالم و تاریخی.

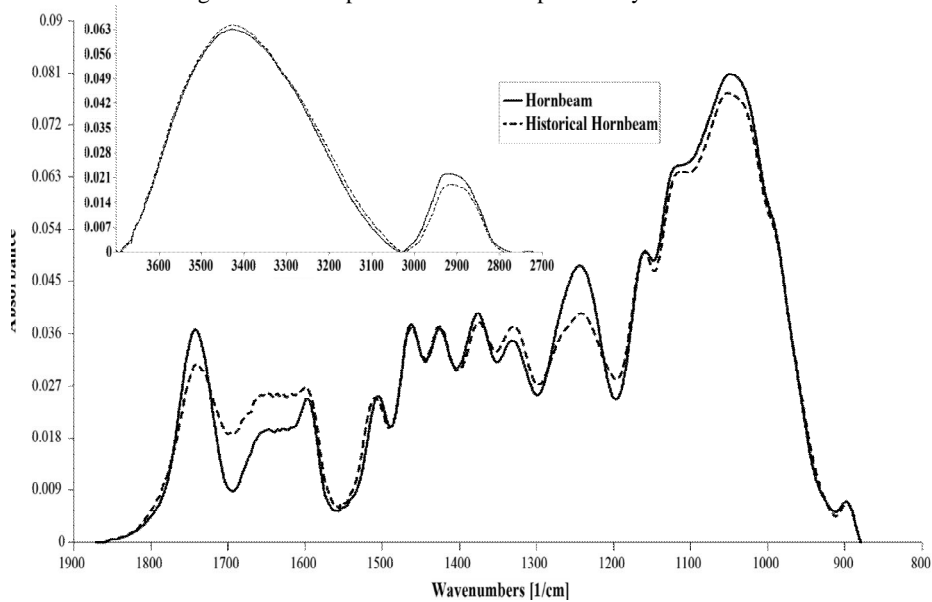
Figure 3. FT-IR spectrum of oak sample healthy and historical.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵



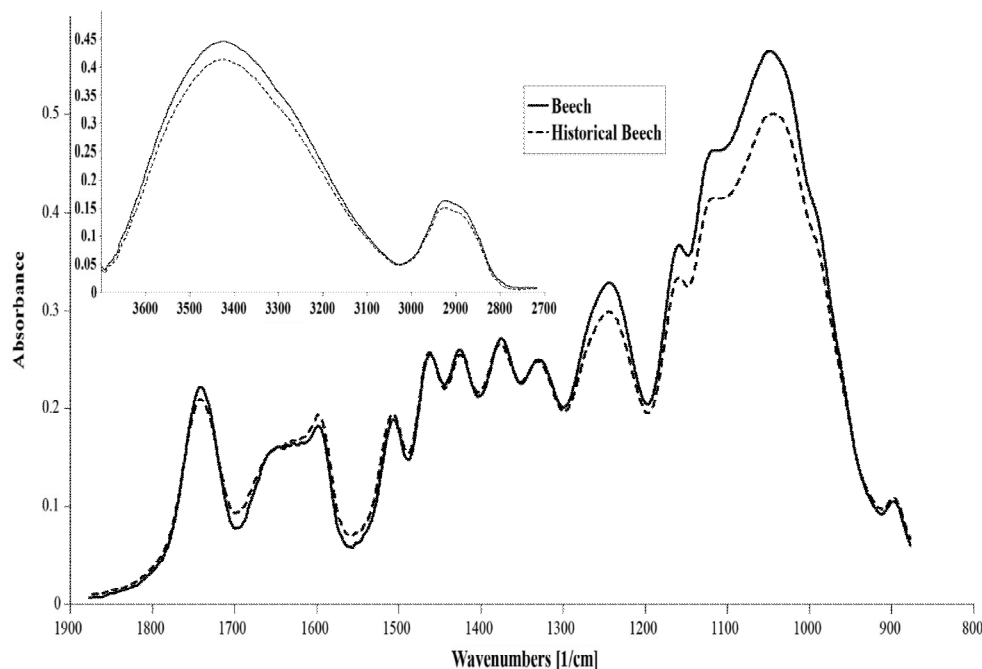
شکل ۳- طیف FT-IR نمونه ملج سالم و تاریخی.

Figure 4. FT-IR spectrum of elm sample healthy and historical.



شکل ۴- طیف FT-IR نمونه ممرز سالم و تاریخی.

Figure 5. FT-IR spectrum of hornbeam sample healthy and historical.

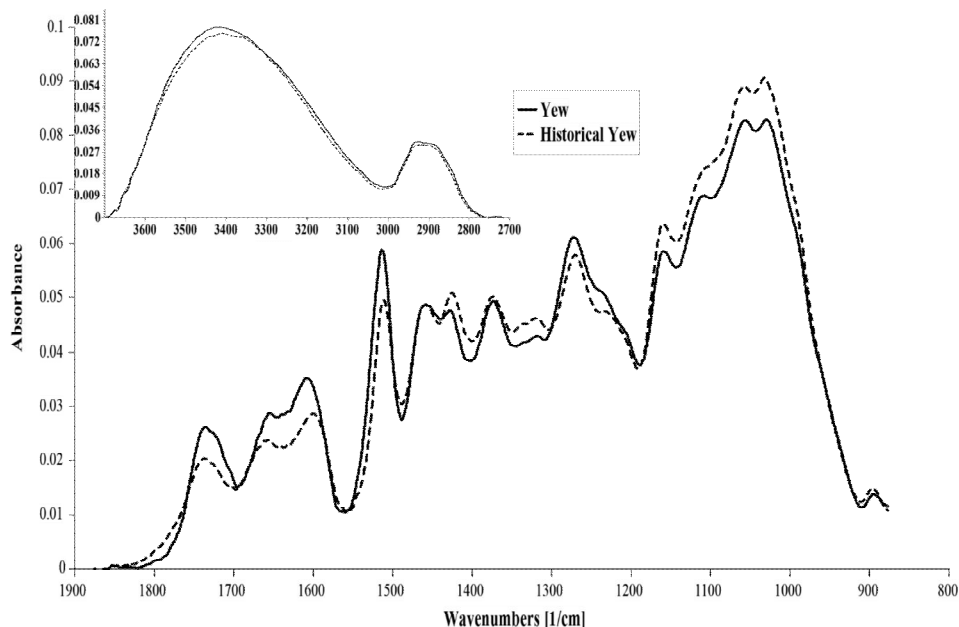


شکل ۵- طیف FT-IR نمونه راش سالم و تاریخی.

Figure 6. FT-IR spectrum of beech sample healthy and historical.

سوزنی برگ: در گونه سرخدار (شکل ۶) و در نواحی cm^{-1} ۱۰۲۹، ۱۰۵۶، ۱۱۱۰، ۱۱۵۹ مرتبط با سلولز و همی سلولز افزایش جذب مشاهده می شود. در مقابل نواحی cm^{-1} ۱۲۷۳، ۱۴۲۸، ۱۵۱۲، ۱۶۰۸ و در ارتباط کاهش جذب رخ داده است. همچنین ناحیه cm^{-1} ۱۷۳۶ و مرتبط با همی سلولز کاهش جذب زیادی را داشته است. با توجه به این که گونه سرخدار گونه ای مقاوم در برابر عوامل مخرب چوب می باشد اما تخریب زیاد ترکیبات شیمیایی در این گونه اتفاق افتاده است که می توان قسمت عمده آن را تماس مستقیم این گونه با باران در ضلع غربی بنای تاریخی دانست. خشک و تر شدن باعث همکشیدگی و واکنشیدگی شده و این خود به همراه عامل فرسایش باعث ترک و گسیختگی شده و این امر خطر پوسیدگی قارچی را به دنبال دارد.

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۳)، ویژه‌نامه (۱) ۱۳۹۵



شکل ۶- طیف FT-IR نمونه سرخدار سالم و تاریخی.

Figure 7. FT-IR spectrum of yew sample healthy and historical.

نتیجه‌گیری

نتایج طیف‌سنجی FT-IR نمی‌تواند به‌طور دقیق در مطالعات کمی استفاده شود، ولی می‌تواند یک ابزار قدرتمند به‌منظور بررسی تحولات ساختاری در ترکیبات شیمیایی در چوب‌های تاریخی باشد. این مطالعه طیف‌سنجی، تخریب را در گونه‌های بنای تاریخی تکیه استرآبادی و حسینیه گرگان شناسایی کرده است. از مقایسه نسبی تغییرات شدت نوارهای مرتبط با لیگنین و کربوهیدرات‌ها در گونه‌های پهن برگ مشاهده شد که تخریب کربوهیدرات‌ها بیشتر از لیگنین بوده و در مقابل تنها گونه سوزنی برگ (سرخدار)، به‌دلیل این‌که بیشترین تماس را با باران‌های متوالی داشته علاوه‌بر کربوهیدرات‌ها، تخریب لیگنین را نیز نشان می‌دهد. ویژگی‌های تخریبی مشاهده شده در نمونه‌های تاریخی را می‌توان به عواملی همچون قارچ‌ها، باکتری‌ها و حشرات نسبت داد و همچنین کاهش پیک‌ها را به آبشویی ترکیبات آلی و هیدرولیز به وسیله آب از چوب مرتبط دانست (۱۹).

با این حال این روش باید در ترکیب با تکنیک‌های تحلیلی دیگر (مانند FT-Raman) که می‌تواند مکمل یکدیگر باشند و ممکن است اطلاعات بیشتری در مورد شیمی چوب‌های باستانی به ما بدهد

مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت این مطالعه پتانسیل تحقیقاتی قابل توجهی از کاربرد FT-IR در نمونه‌های باستانی چوبی نشان داد.

منابع

1. Akhtari, M. 2010. Investigation of Microscopic Structure and Chemical Changes in Beech Wood during Weathering Process, *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 17: 3.113-124.
2. Bodirlau, R., and Teaca, C.A. 2009. Fourier transform infrared spectroscopy and thermal analysis of lignocellulose fillers treated with organic anhydrides, *Rom. Journ. Phys.* 54: 1-2, 93-104.
3. Carrillo, F., Colom, X., Suñol, J.J., and Saurina, J. 2004. Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres, *Eur. Polym. J.* 40: 2229-2234.
4. Casadio, F., and Toniolo, L. 2001. The analysis of polychrome works of art: 40 years of infrared spectroscopic investigations, *J. Cult. Her.* 2: 71-78.
5. Derrick, M.R., Landry, J.M., and Stulik, D.C. 1991. Infrared spectroscopy in conservation science. Scientific tools for conservation, The Getty Conservation Institute.
6. Derrick, M.R., Landry, J.M., and Stulik, D.C. 1991. Methods in scientific examination of works of art: infrared microspectroscopy, The Getty Conservation Institute.
7. Faix, O. 1992. Methods in lignin chemistry, Fourier transform infrared spectroscopy, Pp: 83-109.
8. Faix, O., Bremer, O., Schmidt, O., and Stevanovic, T. 1991. Monitoring of chemical changes in white-rot degraded beech wood by pyrolysis-gas chromatography and Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Anal Appl Pyrolysis*, 21: 147-162.
9. Lionetto, F., Del Sole, R., Cannoletta, D., Vasapollo, G., and Maffezzoli, A. 2012. Monitoring Wood Degradation during Weathering by Cellulose Crystallinity, *materials*, 5: 1910-1922.
10. Gelbrich, J., Carsten, M., and Militz, H. 2009. Evaluation of bacterial wood degradation by Fourier-Transform-Infrared (FTIR) measurements, *Journal of Cultural Heritage*. 13: 3.S135-S138.
11. Hergert, H.L. 1971. Infrared spectra. In *Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reactions*. Edited by: Sarkanen K.V., Ludwig C.H. New York: Wiley Interscience, Pp: 267-297.
12. Lewis, I.R., Daniel, N.W., Chaffin, N.C., and Griffiths, P. 1994. Raman spectrometry and neural networks for the classification of wood types. *Spectrochim Acta, Part A, Mol Spectrosc* 50: 1943-1958.

13. Lionetto, F., Sole, R.D., Cannoletta, D., Vasapollo, G., and Maffezzoli, A. 2012. Monitoring wood degradation during weathering by cellulose crystallinity. *Materials* 5: 10.1910-1922.
14. Michell, A., and Higgins, H. 2002. *Infrared Spectroscopy in Australian Forest Products research*, CSIRO Forestry and Forest Products, Melbourne, Australia. 60p.
15. Mirshokraie, S.A., Larie, J., Mostaghni, F., and Abdulkhani, A. 2014. Analysis of photodegraded lignin and lignin model compounds by ATR-FTIR spectroscopy, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 29: 3.343-353.
16. Pandey, K.K., and Pitman, A.J. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi, *Int Biodet Biodeg*, 52: 151-160.
17. Pandey, K.K. 1999. A study of chemical structure of soft and hardwood polymers by FTIR spectroscopy, *Journal of Applied Polymer Science* 71: 1969-1975.
18. Picollo, M., Cavallo, E., Macchioni, N., Pignatelli, O., Pizzo, B., and Santoni, I. 2011. Spectral characterisation of ancient wooden artefacts with the use of traditional ir techniques and atr device: a methodological approach, *E-Preservation science*, 8: 23-28.
19. Petrou, M. 2008. Development of a methodology for the in-situ preservation of wetland archaeological sites in Greece (Ph.D. thesis). Division of Archaeological Geographical and Environmental Sciences, University of Bradford, Bradford.
20. Popescu, C.M., Vasile, C., Popescu, M.C., and Singurel, Gh. 2006. Degradation of lime wood painting supports, *Spectral characterization. Cellulose Chem. Tech*, 40: 649-658.
21. Pucetaite, M. 2012. Archaeological wood from the Swedish warship vasa studied by infrared microscopy, Lund University, Faculty of Science Department of Physics, Master Project.
22. Rodrigues, J., Faix, O., and Pereira, H. 1998. Determination of lignin content of Eucalyptus globules wood using FTIR spectroscopy. *Holzforschung* 52: 1. 46-50.
23. Rodrigues, J., Faix, O., and Pereira, H. 1998. Determination of lignin content of eucalyptus globules wood using FTIR spectroscopy, *Holzforschung*, 52: 46-50.
24. Schwanninger, M., Rodrigues, J.C., Pereira, H., and Hinterstoisser, B. 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose, *Vib. Spectrosc.* 36: 1.23-40.
25. Sjöström, E. 1993. *Wood Chemistry: Fundamentals and applications*. 2nd ed., Academic Press, San Diego, Pp: 51-88.

26. Yang, H., Lewis, I.R., and Griffiths, P.R. 1999. Raman Spectrometry and Neural Networks for the Classification of Wood Types. 2. Kohonen self-organizing maps *Spectrochim. Acta, Part A*, 55: 2783-2791.
27. Emmanuel, V., Odile, B., and Celine, R. 2015. FTIR spectroscopy of woods: A new approach to study the weathering of the carving face of a sculpture, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136: 1255–1259.
28. Zhou, L., Shen D., He, J., Wei, Y., Ma., Q., and Hua, Z. 2012. Multispectroscopic studies for the identification of archaeological frankincense excavated in the underground palace of Bao'en Temple, Nanjing: near infrared, midinfrared, and Raman spectroscopies, *J Raman Spectroscopy*, 43: 1504–1509.
29. Sandak, A., Sandak, J., Zborowska, M., and Pradzynski, W. 2010. Near infrared spectroscopy as a tool for archaeological wood characterization, *Journal of Archaeological Science*, 37: 2093-2101.
30. Moosavi, M., Madhoushi, M., Vakili, M., and Rasouli, D. 2016. Evaluation and identify the chemical structure of the main polymer of softwoods and hardwoods by FT-IR spectroscopy, *Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy*, 6: 18. 49-61.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (1), 2016

<http://jwfst.gau.ac.ir>

Non-destructive evaluation of wood chemical compounds used in Gorgan historical building via FT-IR spectroscopy

*S.M. Moosavi-nejad¹, M. Madhoushi², D. Rasouli³ and M. Vakili⁴

¹M.Sc. Student, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept., of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Assistant Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept., of Chemistry, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 06/14/2016; Accepted: 10/17/2016

Abstract

Introduction: The use of infrared spectroscopy to describe the lignocellulosic materials has increased dramatically. Since the infrared Fourier transform (FT-IR) spectroscopy least destruction occurs in the test sample and with a small quantity of sample accurate information is obtained, so this spectrometer is a useful technique for identifying chemical compounds of wood. In studying the historic woods, to describe the amount and type of damage to select the appropriate protection method, often FT-IR technique is used. In this study, changes in the chemical compounds of wood used in historical building of Gorgan with healthy species are studied with the help of this spectroscopy.

Materials and Methods: In this study, historic wood samples were prepared from two buildings in the old context of Gorgan (Tekye, Estarabadi and Hosseinieh). Five samples were selected from these two buildings and to identify the species to study macroscopic characterization to review these woods. Spectroscopy of samples was obtained with the use of MB-154 Bomem FT-IR model. For this purpose, wood flour was prepared from samples from a drill equipped with a drill bit with 3 mm diameter and a depth of 2-3 mm. Flour obtained for the FT-IR test was dried in the oven at temperature 103°C for 24 hours to have the lowest moisture content. Then KBr tablet of the above examples was prepared for the FT-IR spectroscopy test in the spectral range 4000-500 cm⁻¹ and spectral resolution 4 cm⁻¹. 11 scans were performed for each test and samples were compared with healthy samples.

*Corresponding author: mmoosavi511@gmail.com

Results: Samples include four species: hardwood (hornbeam, oak, beech, elm) and a softwood species (yew). In all hardwood species, the absorption intensity in areas 897, 1049, 1118, 1160 cm^{-1} and related to carbohydrates and also bands 1739, 1243 cm^{-1} in connection with the hemicellulose was reduced significantly. In contrast, in the case of bands related to lignin, poor absorption is seen in 1654, 1595, 1508 cm^{-1} . In Yew species, areas 1608, 1512, 1428, 1273 cm^{-1} and in connection with lignin and area 1736 cm^{-1} related to hemicellulose showed a large decrease in absorption.

Conclusion: The results from spectroscopy showed that biodegrades has occurred in all historical species. With relative comparison of changes in intensity of the bands associated with lignin and carbohydrates in hardwood species, it has become clear that carbohydrates degradation was more than lignin, which can be primarily attributed to brown rot. In softwood species (yew), because they have the most contact with the continuous rains, in addition to carbohydrates, lignin has also been destroyed.

Keywords: FT-IR spectroscopy, Chemical compounds of wood, Historical buildings, Softwood, Hardwood