

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۲/۱۱

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۶/۲۲

محدثه حسینی صومعه^۱، صمد سامانیان^۲، مریم افشار پور^۳

بررسی اثر تخریبی پوسیدگی نرم بر روی درچوبی تاریخی، از گونه چنار واقع در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

چکیده

چوب از جمله مواد خامی است که در بنای تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان به کار رفته است. بر روی محراب این کلیسا درچوبی قرار گرفته است که به سرداب محراب باز می شود. این درچوبی از گونه چنار می باشد، که آسیب پوسیدگی نرم توسط قارچ ها منجر به کاهش استحکام آن شده است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیرات مخرب عامل پوسیدگی نرم در کاهش مقاومت درچوبی تاریخی از جنس چنار واقع در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان می باشد. ضمن این بررسی، مقاومت فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و تغییرات ساختاری این درچوبی ارزیابی می شود. در این راستا، روش های مستند نگاری، نرم افزارهای آماری، مطالعات آزمایشگاهی، مشاهدات میکروسکوپی، آنالیزهای دستگاهی FTIR, SEM به ترتیب برای بررسی میزان تغییرات شیمیایی در ساختار چوب تاریخی و مشاهدات مرفولوژی سطح چوب تحت تأثیر قارچ پوسیدگی نرم استفاده می شود. نتایج حاصل از آزمون ها نشان می دهد، عامل آسیب رسان پوسیدگی نرم در ساختار چوب پهن برگانی همچون چنار موجب تخریب دیواره های سلولی، افزایش رطوبت، کاهش دانسیته، سلولز و لیگنین شده اند که در نهایت منجر به افت مقاومت خمشی، فشاری، ضربه و کاهش سختی چوب تاریخی می شوند. که به دنبال افت مقاومتی و عدم استحکام، تخریب اثر چوبی تاریخی را در پی دارد.

کلیدواژه‌ها: کلیسای بیت اللحم اصفهان، چوب چنار، پوسیدگی نرم، میکروسکوپ الکترونی، تبدیل فوریه-مادون قرمز.

۱. کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران
E-mail: m.h.somea@gmail.com

۲. دانشیار گروه صنایع دستی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول)
E-mail: samanians_s@yahoo.com

۳. استادیار پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، استان تهران، شهر تهران
E-mail: m_afsharpoor@yahoo.com

۴. این مقاله بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی نگارنده اول با عنوان: «کاربرد ترکیب ضد قارچ های نانو در حفاظت آثار چوبی (مورد پژوهی: نمونه چوب و قارچ سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان)» به راهنمایی دکتر صمد سامانیان و مشاوره دکتر مریم افشارپور است.

مقدمه

کلیسای بیت اللحم اصفهان [۱] یکی از مرتفع ترین و با شکوه ترین کلیساهای جلفای اصفهان می باشد که در محله میدان بزرگ جلفا و در شمال کلیسای مریم مقدس واقع است. این کلیسا توسط خواجه پطروس ولیجانیان در سال ۵۱۰۳۸ ق (۱۶۲۸ میلادی) و اواخر عهد سلطنت شاه عباس کبیر و در مدت بیست سال ساخته شد و در زمان سلطنت شاه عباس دوم به اتمام رسید. در چوبی ورودی به سرداب کلیسا که بر روی محراب واقع شده، در چوبی از گونه چنار [۲] می باشد که تحت تاثیر عامل پوسیدگی نرم قرار گرفته است. چوب یک ماده جاذب رطوبت و متخلخل است. قارچ های مخرب توانایی هوازگی سطح چوب را دارند به این علت چوب را می پوسانند. این پوسیدگی حتی در مقادیر بسیار کمی از کاهش وزن چوب روی مقاومت های چوب تاثیر گذار است. عامل پوسیدگی نرم از جمله عوامل مخربی است که ساختار فیزیکی و شیمیایی چوب را مورد حمله قرار می دهد و منجر به کاهش مقاومت در چوب می شود. این پوسیدگی یکی از شایع ترین آسیب ها در فرآیند های تخریبی در چوب های باستانی و تاریخی است.

روش تحقیق

برای رسیدن به داده هایی مستدل در رابطه با شناسایی عامل مخرب بیولوژیکی در نمونه چوب تاریخی چنار در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان، پژوهش های میدانی، مطالعات پیرامون موضوع پژوهشی، استفاده از اطلاعات بر پایه داده های حاصل از ابزار های مطالعاتی همچون کتابخانه، اینترنت و آزمایشگاه ها انجام می شود. برای بررسی مقاومت چوب و تعیین ویژگی های فیزیکی و مکانیکی در نمونه مطالعاتی، براساس استاندارد، استفاده می شود. این مقاومت ها بر اساس استانداردهای ASTM با شماره استاندارد DIN-68763 برای مقاومت های خمشی (MOR) و فشاری موازی الیاف مدول الاستیته (MOE) در مقایسه با گونه چنار سالم ارزیابی می شود [۳]. در این راستا میزان تخریب در نمونه پژوهشی با انجام آنالیز دستگاهی FTIR و مقایسه با نمونه چوب سالم از همان گونه چوب و تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM برای بررسی میزان تخریب حفره های سلولی چوب به لحاظ شکلی میسر می شود [۴].

پیشینه تحقیق

در بررسی ساختاری چوب ها به دو گروه باز دانگان (چوب سوزنی برگان) و نهان دانگان (پهن برگان) تقسیم می شوند. (هادلی ۱۳۸۸، ص ۱) مقدار لیگنین و مواد استخراجی در چوب سوزنی برگان مانند (ساج، آبنوس و ماهون) بیشتر از چوب پهن برگان مانند افرا است. (بلانچت، ۲۰۰۰، ص ۱۹۱) چوب ها به سرعت تحت فرآیند های زنده محیطی و شرایط مناسب و ایده آل برای آنان آسیب می بینند. برای مثال مقبره های دفن شده در زیر خاک و یا در زیر صخره ها مانع از تجزیه چوب می شود. چوب های باستانی که بیش از حد در طول زمان باقی مانده اند، ممکن است از دشمنان مهاجم چوب مصون بمانند، اما به ناچار عوامل زنده مخرب به آنان حمله کرده و آنان را تغییر می دهند [۵]. ساواری و فایندلی در سال ۱۹۵۴، ویژگی پوسیدگی نرم را نرم شدن سطح چوب به علت رطوبت شدید بیان داشته اند. با این حال بلانچت و سیون در سال ۱۹۹۲ گزارش دادند که در محیط های خشک هم این پوسیدگی اتفاق می افتد. هافمایر در سال ۱۹۷۶ در تحقیقاتش بیان داشت، هنگامی

که پوسیدگی نرم اتفاق می افتد حفرات تغییر یافته در چوب و نیز گستره دامنه تخریب سلولز می تواند منجر به کاهش استحکام زیاد ویژگی چوب شود. (بلانچت، ۲۰۰۰، ص ۱۹۴) تخریب ناشی از پوسیدگی نرم مقاومت چوب را به مقدار زیادی حتی در شرایط کاهش وزن اندک، کاهش داده و در این رابطه پهن برگ ها در مقایسه با سوزنی برگ ها بیشتر در معرض خطر می باشند. (یونگر و دیگران، ۱۳۸۹، ص ۱۴۸) (تصویر ۱)



تصویر ۱. حمله پوسیدگی نرم به یک برج چوبی خنک کننده، منبع: اسمیت، ۲۰۰۶، ص ۱۴۳

جایگاه در چوبی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

در چوبی آسیب دیده، در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان در گوشه راست محراب قرار گرفته است. محراب کلیسا با ۳ پله (با ارتفاع نقش برجسته سنگی) از تالار اصلی جدا شده و دیواره های آن با تزیینات دیواری پوشیده شده است. (تصویر ۲) متوسط اندازه در چوبی به پهنای دهانه ورودی سرداب به شکل مربع ۱×۱ متر می باشد، که با الوار چوبی با میخ های فلزی به هم متصل شده اند و فاقد هرگونه تزیین است. (تصویر ۳) همچنین حرارت زیاد و بوی حاصل از عوامل قارچ و کپک از آن متساعد می شود. علاوه بر این ریشه های قارچ بر روی دیواره سرداب و سطح رویی محراب هم رشد یافته اند. (تصویر ۴)



تصویر ۲. جایگاه در چوبی تاریخی و نمایی از فضای محراب کلیسا، منبع: نگارنده اول



تصویر ۴. جزئیات عامل پوسیدگی نرم بر روی در چوبی، منبع: نگارنده اول



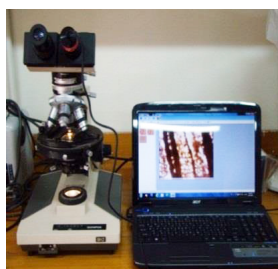
تصویر ۳. نمایی کلی از در چوبی تاریخی به همراه عامل پوسیدگی نرم، منبع: نگارنده اول

مواد و روش آزمون ها

به منظور بررسی تاثیر پوسیدگی نرم بر روی در چوبی تاریخی، تغییرات ساختاری چوب بر مبنای مشاهدات میکروسکوپی و آنالیزهای دستگاهی انجام شد. همچنین تغییرات شیمیایی، میزان اسیدیته چوب، مقاومت فیزیکی و مکانیکی در چوبی تاریخی با نمونه چوب چنار سالم با عمر یک سال مورد مقایسه قرار می گیرد. اسمیت در بررسی ساختار اشعه چوب هایی که دچار پوسیدگی نرم شده اند، بیان داشته است که اشعه های چوب توسط ریسه های قارچ استعمار شده اند [۵]. همچنین مقادیر تغییر یافته لیگنین و ترکیبات کربوهیدرات در چوب های تخریب شده با روش طیف سنجی FTIR، به دست آمده است. که ناحیه ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ cm^{-1} و ۱۵۰۰ تا ۱۷۵۰ cm^{-1} ناحیه اثر انگشتی [۶] برای چوب می باشد. از طرفی بررسی میزان تخریب بر روی چوب سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان، با آنالیز دستگاهی SEM انجام شد که، تصاویر از مقاطع عرضی، مماسی و شعاعی آن گرفته شده است.

مشاهدات میکروسکوپی و آنالیزهای دستگاهی FTIR و SEM در چوب چنار تاریخی کلیسا

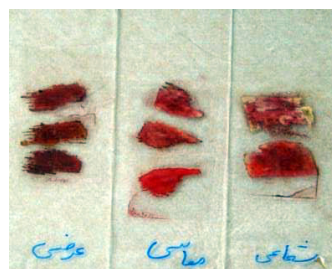
مشاهدات میکروسکوپی با استفاده از بررسی برش مقاطع چوب سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان در زیر میکروسکوپ نوری (OM) انجام شد. همچنین به منظور بررسی وجود عوامل آسیب رسان در ساختار چوب از ماده Fast green استفاده شد. [تصاویر ۵ الی ۷]



تصویر ۷. میکروسکوپ نوری nikon مجهز به Dino light منبع: ؟



تصویر ۶. رنگ آمیزی مقاطع با Fast green، منبع: ؟

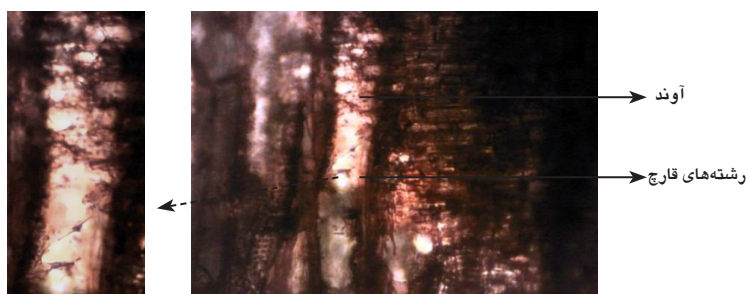


تصویر ۵. تهیه مقاطع با برش از در چوبی، منبع: ؟

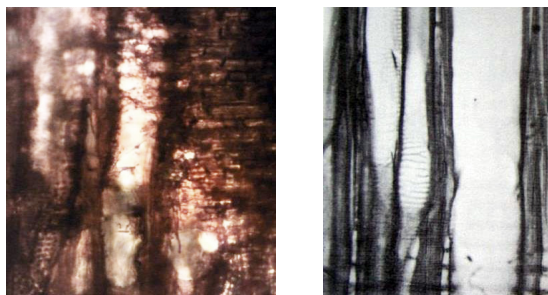
به منظور ارزیابی تاثیر عامل پوسیدگی نرم در نمونه مطالعاتی از روش آنالیزهای دستگاهی FT-IR و SEM نیز استفاده شد تا ساختار شیمیایی چوب تاریخی بعد از تاثیر این عامل مخرب بررسی شود.

تحلیل نتایج حاصل از مشاهدات میکروسکوپی و آنالیزهای دستگاهی FTIR و SEM

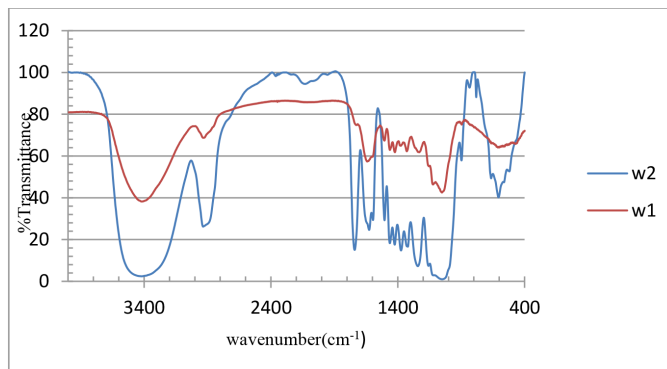
در این مشاهدات ریسه های کریستالی قارچ های عامل پوسیدگی نرم در میان آوند ها مشاهده شدند. این رشته ها که بعد از رنگ آمیزی با fast green ظاهر شدند تفاوت آشکاری را در ساختار چوب نشان دادند. به منظور اطمینان از تمایز وجود آسیب موجود در این نمونه مطالعاتی، تصویری از چوب سالم چنار از همان مقطع تهیه و با نمونه مطالعاتی مقایسه شد. [تصویر ۸ و ۹]



تصویر ۸. سمت راست، ریشه های کریستالی قارچ های عامل پوسیدگی نرم در آوند ها درمقطع شعاعی با بزرگنمایی x ۱۰۰ - سمت چپ تصویر بزرگ از جزئیات رشته های قارچ درون حفرات آوند، منبع: نگارنده اول



تصویر ۹. سمت راست دیواره آوندی در چوب چنار سالم در برش شعاعی (شواين گروبر و ديگران، ۱۳۹۰، ص ۱۰۶)، سمت چپ دیواره های آوندی در نمونه چوب سرداب محراب کلیسا از مقطع شعاعی، منبع: نگارنده اول

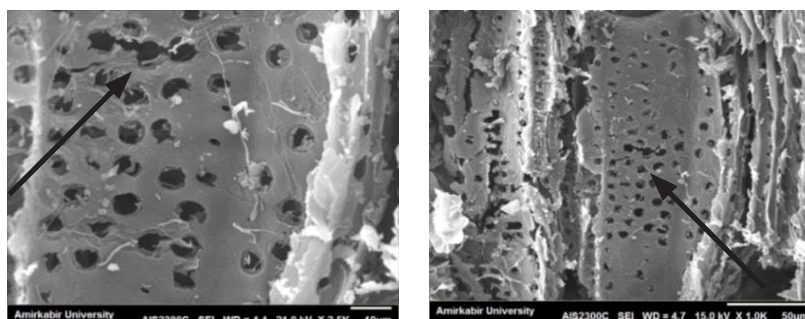


تصویر ۱۰. گراف مقایسه ای میان چوب چنار تاریخی با کد W1 و چوب چنار سالم با کد W2، منبع: نگارنده اول

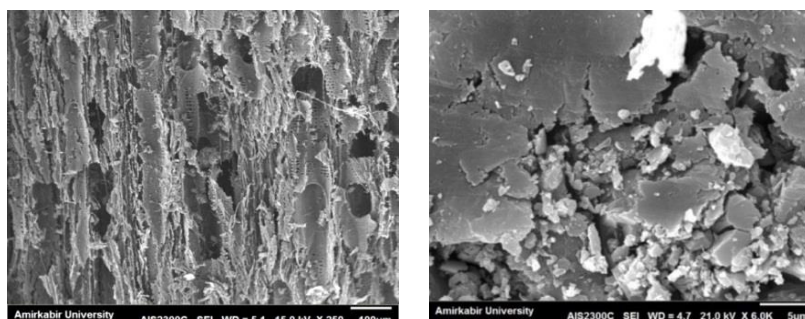
طیف های حاصل از آنالیز FT-IR مورد بررسی قرار گرفتند. در مقایسه طیف های بدست آمده از نمونه های چوب چنار تاریخی (W_1) و چوب چنار سالم (W_2)، پیک های ظاهر شده در ناحیه cm^{-1} ۱۱۱۶ مربوط به سلولز می باشند که در ناحیه اثر انگشتی قرار دارند، که این ناحیه و نوار جذبی ظاهر شده در ناحیه cm^{-1} ۱۶۶۲ مربوط به پیوند OH سلولز می باشد که در چوب تاریخی کاهش یافته است. علاوه بر این نوار های جذبی پیرامون cm^{-1} ۱۳۲۰ تا cm^{-1} ۱۳۸۰ مربوط به ارتعاشات خمشی C-H در سلولز و همی سلولز می باشد که کاهش می نشان می دهد. پیک های لیگنین که در نواحی cm^{-1} ۱۲۵۷ (مربوط به ارتعاشات کششی پیوند C-O)، cm^{-1} ۱۵۰۸ (مربوط به پیوند C=C حلقه آروماتیک) و نواحی cm^{-1} ۱۴۳۵ تا cm^{-1} ۱۴۶۲ (مربوط به ارتعاشات ساختاری لیگنین) در چوب سالم ظاهر شدند، که مقدار آن در نمونه چوب تاریخی کلیسا کاهش یافته و یا کاملاً از بین رفته است. از طرفی نوار جذبی در ناحیه cm^{-1} ۱۷۴۹ که وجود پیوند C=O همی سلولز را نشان

می‌دهد، در نمونه چوب تاریخی مشاهده نمی‌شود. این نتایج بر این دلالت می‌کنند که، میزان سلولز و لیگنین که نقش مهمی در ساختار مقاومتی چوب دارند بر اثر عامل پوسیدگی نرم از بین رفتند. [تصویر ۱۰]

در تحلیل تصاویر حاصل از SEM، در برش عرضی چوب تاریخی، تخریب دیواره‌های سلولی به همراه ریشه‌هایی در اندازه‌های $m\mu$ ، مشاهده شد. این ریشه‌ها مربوط به قارچ‌هایی هستند که موجب تخریب چوب سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان شدند که در برش‌های مماسی و شعاعی نیز، به چشم می‌خورند. در تحلیل تصاویر با نرم افزار مقیاس بندی SEM ریشه‌های قارچ در حد $0/3$ تا $0/8$ میکرو متر اندازه گیری شدند و حفرات سالم با مقیاس ۵۰ و ۱۰ میکرو متری به اندازه ۱ تا ۴ میکرومتر برآورد شدند. در حالی که حفرات تخریب شده به اندازه ۱۶ تا ۲۰ میکرومتر بزرگ و باز شده بودند. [تصویر ۱۱ و ۱۲]



تصویر ۱۱. تصویر SEM از مقطع عرضی نمونه چوب تاریخی چنار با بزرگنمایی $m\mu 50$ در تصویر سمت راست و نمایش اندازه ریشه‌های قارچ و $m\mu 10$ در سمت چپ با نمایش اندازه حفرات تخریب شده، منبع: نگارنده اول



تصویر ۱۲. تصویر SEM، سمت راست مقطع مماسی سمت چپ مقطع شعاعی نمونه چوب چنار تاریخی - بزرگنمایی $m\mu 50$ ، منبع: نگارنده اول

آزمون شیمی (سنجش اسیدیته) در چوب چنار تاریخی

عامل پوسیدگی نرم در سطح چوب، گستره اسیدی با pH ۳-۱۱ ایجاد می‌کند. (یونگرو دیگران، ۱۳۸۹، ص ۱۷۹) بنابراین میزان اسیدی بودن چوب تاریخی، تحت تاثیر عامل پوسیدگی نرم بررسی شد. در این راستا از دستگاه (pH meter)، استفاده شد. این آزمون در شرایط محیطی برای مقدار ۲ گرم از چوب تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان که حدود ۴۸ ساعت در آب مقطر قرار گرفته بود، سنجیده شد. [تصویر ۱۳]



تصویر ۱۵. نمونه‌های چوب تاریخی و سالم در سنجش حجم



تصویر ۱۴. حجم سنج جیوه ای



تصویر ۱۳. محاسبه اسیدیته چوب تاریخی کلیسا

تحلیل نتایج حاصل از آزمون شیمی در چوب چنار تاریخی

در سه بار تکرار سنجش میزان اسیدیته چوب چنار تاریخی کلیسا، دستگاه pH متر اعدادی بین ۵-۶ را نشان داد. میانگین اعداد به دست آمده محدوده اسیدی ۵/۷۵ را بیان داشت. بنابراین تأثیر عامل پوسیدگی نرم منجر به پایین آوردن اسیدیته چوب تاریخی شده است.

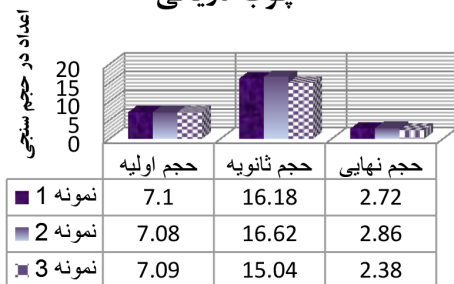
آزمون های فیزیکی (جرم، دانسیته و رطوبت) در چوب چنار تاریخی

از آن جا که نمونه‌های برداشته شده از در چوبی سرداب محراب کلیسا ابعاد مشخص نداشتند، در این پژوهش برای اندازه گیری جرم مخصوص چوب ها از حجم سنج جیوه ای، به طریق فرو بردن در جیوه استفاده شد. این روش دقیق ترین روش در تعیین حجم چوب می باشد [۸]. برای انجام آزمایشات جرم نمونه‌های چوب چنار سالم (۱/۵ ساله) و چوب چنار تاریخی اندازه گیری شد. [تصاویر ۱۴ و ۱۵] برای بررسی دقیق تر از هر دو نمونه سه بار اندازه گیری و جهت مقایسه باهم در جدولی آورده شد.

اعداد بدست آمده از محاسبه حجم در نمونه چوب سالم در مقایسه با چوب تاریخی در جدول و نمودار پیوست آن آورده شده است. که کاهش حجم را در نمونه چوب تاریخی نشان می دهند. [تصویر ۱۷ و ۱۶]

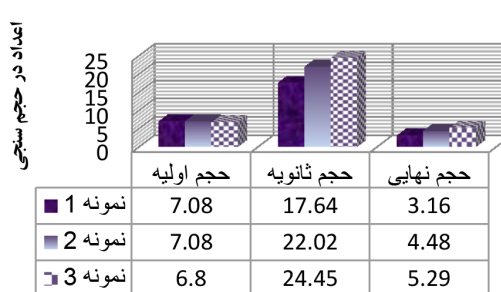
به منظور ارزیابی دانسیته، وزن سه نمونه از هر دو دسته چوب سالم و چوب تاریخی اندازه گیری شد و با استفاده از حجمی که به دست آورده شده بود، محاسبه و در جدول و نمودار ارائه شد. اعداد کاهش دانسیته را در چوب تاریخی کلیسا نسبت به نمونه چوب سالم نشان می دهند. [تصاویر ۱۹ و ۱۸]

چوب تاریخی

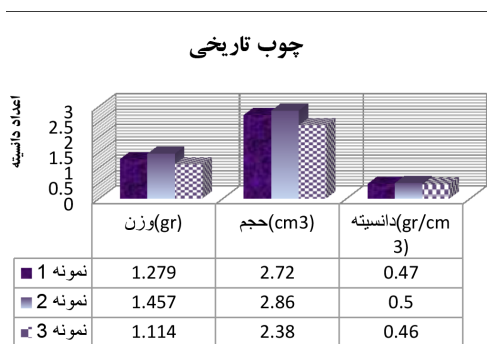


تصویر ۱۷. نمودار و جدول محاسبه حجم در نمونه چوب چنار تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

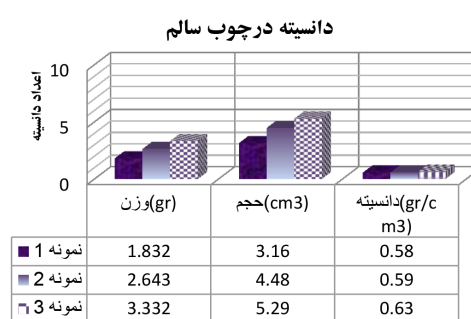
چوب سالم



تصویر ۱۶. نمودار و جدول محاسبه حجم در نمونه چوب چنار سالم



تصویر ۱۹. جدول و نمودار محاسبه دانسیته در نمونه چوب چنار تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

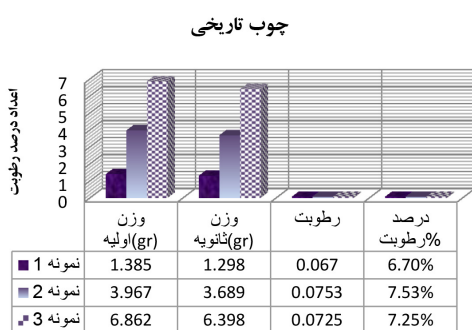


تصویر ۱۸. جدول و نمودار محاسبه دانسیته در نمونه چوب چنار سالم

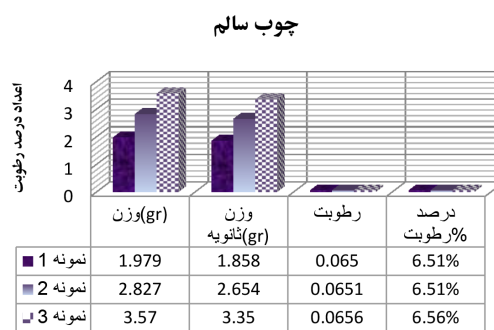
برای محاسبه در صد رطوبت با داشتن جرم مخصوص خشک و با استفاده از رابطه زیر میتوان مقدار رطوبت و درصد آن را بیان داشت.

$$U[\%] = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

بدین منظور ابتدا هر دو نمونه چوب سالم و چوب تاریخی در شرایط محیطی با دمای ۲۴ درجه سانتی گراد و رطوبت ۳۵٪ سه بار توزین شدند. سپس همین نمونه‌ها برای اندازه گیری وزن ثانویه به داخل اتوکلاو منتقل شده و در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. در نهایت با توجه به رابطه ریاضی در بالا میزان رطوبت آنان در نمونه‌های تاریخی و سالم محاسبه شد. که افزایش رطوبت نسبی در نمونه چوب چنار تاریخی نسبت به نمونه سالم مشاهده شد. [تصاویر ۲۰ و ۲۱]



تصویر ۲۱. جدول و نمودار محاسبه درصد رطوبت در نمونه چوب تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان



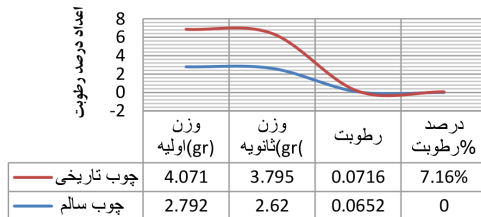
تصویر ۲۰. جدول و نمودار محاسبه درصد رطوبت در نمونه چوب چنار سالم

تحلیل نتایج حاصل از آزمون های فیزیکی چوب چنار تاریخی

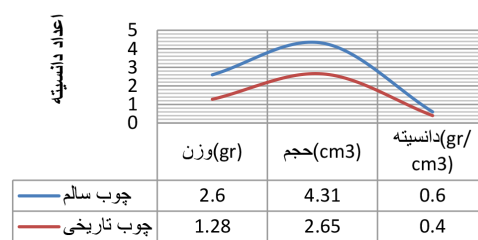
محاسبه اعداد در جداول و نمودار نشان می دهند که، مقدار دانسیته در نمونه‌های چوب تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم نسبت به چوب تازه چنار کاهش یافته است. کاهش دانسیته نشان می دهد که چوب چنار تاریخی کلیسا دارای مقدار ماده چوبی کمتری در مقایسه با نمونه چنار سالم است. که این کاهش مقدار ماده توسط عامل پوسیدگی نرم در چوب ایجاد شده و میزان سلولز و همی سلولز که نقش اساسی در ساختار چوب دارند را کاهش داده است. از طرفی کاهش دانسیته با نسبت هم کشیدگی و واکنشیدگی در چوب ارتباط معکوس داشته و تخریب میکروفیبریل های

سلولزی را در راستای طولی چوب به همراه دارد، که نشانه ای از تخریب ساختمان چوب است. بنابراین کاهش دانسیته در چوب چنار تاریخی کلیسا موجب افزایش هم کشیدگی و واکنشیدگی الیاف چوب می شود که در نهایت منجر به عدم استحکام و تخریب آن می گردد. [تصویر ۲۲] در چوب پوسیده شده، جذب مویبگی آب بیشتر می شود. (یونگر و دیگران، ۱۳۸۹، ص ۳۹) با توجه به اعداد بدست آمده در نمودار درصد رطوبت، میزان رطوبت در چوب چنار تاریخی نسبت به چوب چنار سالم زیاد می باشد. این علت ناشی از وجود خلل و فرجی است که در اثر کهنگی و آفت های بیولوژیکی در چوب چنار کلیسا ایجاد شده است. به همین علت موجب بالارفتن در صد رطوبت نسبی در چوب سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان شده است. [تصویر ۲۳]

مقایسه در صد رطوبت در نمونه چوب چنار سالم با نمونه تاریخی



مقایسه دانسیته در نمونه چوب چنار سالم و تاریخی



تصویر ۲۳. نمودار مقایسه درصد رطوبت در نمونه چوب چنار سالم با نمونه تاریخی در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

تصویر ۲۲. جدول و نمودار مقایسه دانسیته در چوب چنار سالم با نمونه تاریخی در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

آزمون های مقاومت مکانیکی در چوب چنار تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان

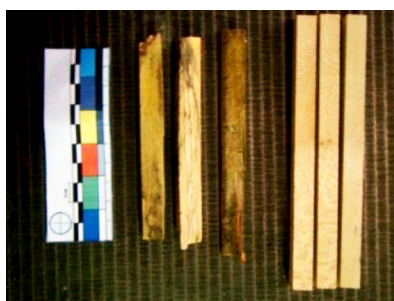
برای محاسبه مقاومت چوب تاریخی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان از استاندارد ASTM D790 برای مقاومت خمشی با واحد kg/cm^3 ، استاندارد ASTM D638 برای مقاومت فشاری با واحد kg/cm^2 و استاندارد ASTM D256 برای مقاومت ضربه ای با واحد kJ/m^2 استفاده شد [۸]. [تصویر ۲۴]

از آن جاکه برای نمونه های چوب تاریخی به لحاظ اندازه محدودیت وجود داشت، مقیاس آنان برپایه اندازه چوب ها در آزمایشات مربوط به چوب-پلاستیک گرفته شد و حتی باز هم از آن مقادیر با رعایت تناسب کوچک تر شد. [تصاویر ۲۶ الی ۳۰] اندازه ابعاد برای مقاومت خمشی هر دو نمونه چوب سالم و تاریخی با سه تکرار، با طول و عرض ۱cm در ارتفاع ۱۰cm تهیه شدند. اعداد به دست آمده در جدولی ارائه شدند. این اعداد کاهش مقاومت خمشی را در نمونه های چوب تاریخی بیان داشتند. [تصاویر ۲۵ و ۳۱]

برش های مورد نیاز برای بررسی مقاومت فشار موازی الیاف در نمونه چوب تاریخی و سالم از هر کدام با سه بار تکرار در ابعاد $6 \times 2 \times 2$ سانتی متر زده شد و در جدول و نمودار ارائه گشت. که افت مقاومت فشار موازی الیاف را در نمونه چوب تاریخی بیان کرده اند. [تصاویر ۳۲ الی ۳۶]



تصویر ۲۴. دستگاه INSTRON 4486 برای محاسبه مقاومت خمشی، فشاری و سختی گوی فلزی



تصویر ۲۶. نمونه‌های چوب سالم و تاریخی برای محاسبه مقاومت خمشی



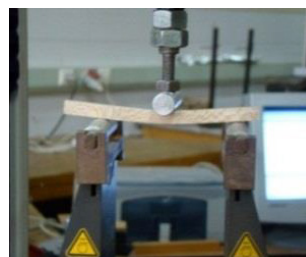
تصویر ۲۵. اندازه گیری با کولیس ورنیه



تصویر ۲۹. بررسی ظاهری تحمل نمونه‌ها در محاسبه مقاومت خمشی

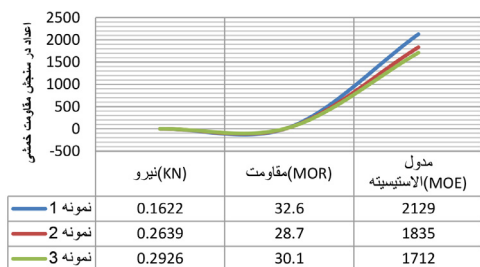


تصویر ۲۸. مقاومت نمونه چوب تاریخی کلیسا



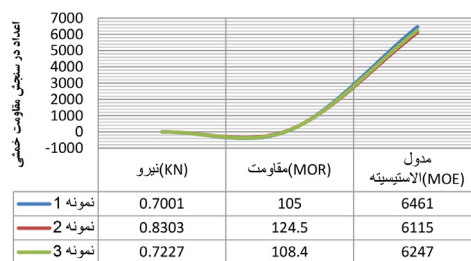
تصویر ۲۷. مقاومت خمشی نمونه چوب سالم

چوب تاریخی



تصویر ۳۱. جدول و نمودار میزان مقاومت خمشی در نمونه‌های چوب چنار تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان

چوب سالم



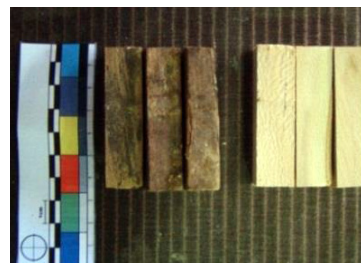
تصویر ۳۰. جدول و نمودار میزان مقاومت خمشی برای نمونه‌های چوب چنار سالم



تصویر ۳۴. بررسی ظاهری در میزان تحمل در برابر فشار موازی الیاف

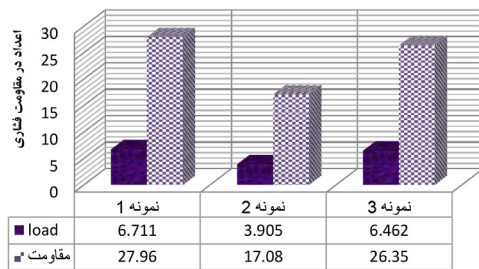


تصویر ۳۳. دستگاه محاسبه فشار موازی الیاف برای نمونه چوب ها



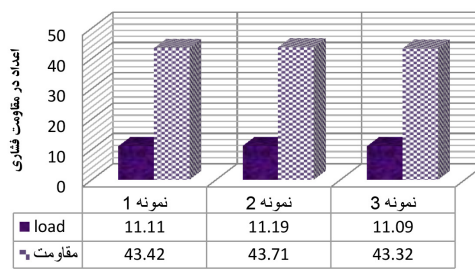
تصویر ۳۲. نمونه‌های چوب سالم و تاریخی

چوب تاریخی



تصویر ۳۶. جدول و نمودار میزان مقاومت فشاری برای نمونه‌های چوب چنار تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان

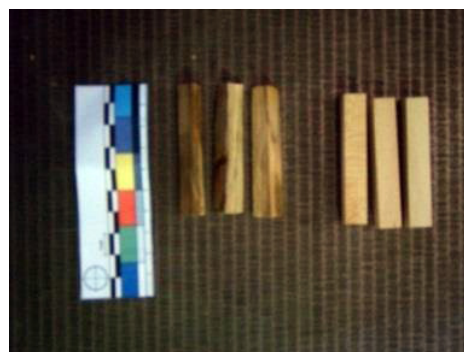
چوب سالم



تصویر ۳۵. جدول و نمودار میزان مقاومت فشاری نمونه‌های چوب چنار سالم



تصویر ۳۸. دستگاه SANTAM برای سنجش مقاومت به ضربه

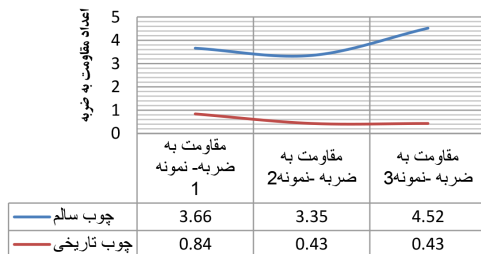


تصویر ۳۷. نمونه‌های چوب سالم و تاریخی

برای آزمون مقاومت به ضربه برش هایی در ابعاد ۱×۱×۶ سانتی متر زده شد و اعداد زیر برای چوب سالم و نمونه چوب تاریخی بدست آمد. نمونه‌های چوب تاریخی کاهش مقاومت به ضربه را نشان دادند. [تصویر ۳۷ الی ۳۹]

آزمون سختی سنجی برای نمونه چوب سالم و تاریخی با دو روش سختی گوی فلزی و سختی سوزنی شرو [۹] سنجیده شد. اعداد بدست آمده در جداول و نمودار زیر بیان شد. در هر دو برآورد سختی سنجی نمونه چوب تاریخی کاهش مقاومت نسبت به نمونه چوب سالم داشته است. [تصاویر ۴۰ الی ۴۵]

مقاومت به ضربه در نمونه چوب چنارسالم در مقایسه با نمونه تاریخی

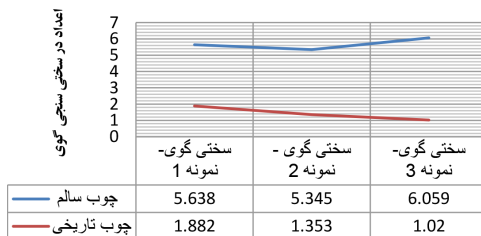


تصویر ۳۹. جدول و نمودار میزان مقاومت ضربه ای نمونه‌های چوب چنارسالم در مقایسه با نمونه‌های چوب تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان



تصویر ۴۰. محاسبه مقاومت به سختی با گوی فلزی | تصویر ۴۱. بررسی ظاهری از میزان سختی

سختی سنجی با گوی فلزی در نمونه چوب چنارسالم در مقایسه با نمونه تاریخی



تصویر ۴۲. جدول و نمودار میزان سختی سنجی با گوی درنمونه‌های چوب چنارسالم در مقایسه با نمونه‌های چوب تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان

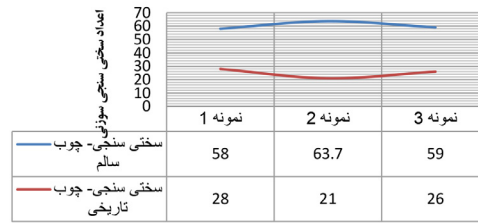


تصویر ۴۴. محاسبه سختی سوزنی در نمونه چوب سالم



تصویر ۴۳. محاسبه سختی سوزنی در نمونه چوب تاریخی

سنجش سختی سوزنی در نمونه چوب سالم در مقایسه با چوب تاریخی

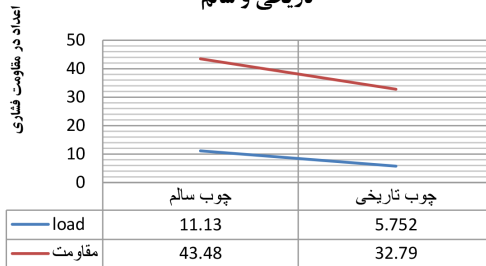


تصویر ۴۵. جدول و نمودار محاسبه سختی سنجی سوزنی در نمونه چوب چنار سالم با نمونه چوب تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان

تحلیل نتایج حاصل از آزمون های مقاومت مکانیکی در چوب چنار تاریخی

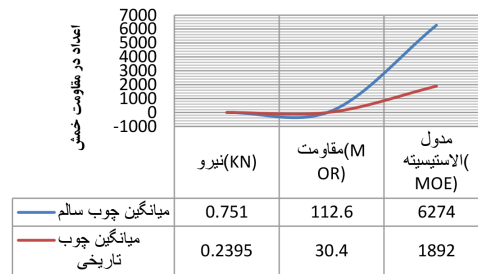
کاهش فشار موازی الیاف با افت دانسیته مرتبط است. (یونگرو دیگران، ۱۳۸۹، ص ۵۰) مقایسه آزمون های مکانیکی بر روی چوب چنار تاریخی کلیسا با نمونه های چوب چنار سالم، کاهش مقاومت را در چوب چنار تاریخی نشان می دهد. این کاهش مقاومت ناشی از دانسیته پایین در چوب چنار تاریخی می باشد که عامل پوسیدگی نرم در آن ایجاد کرده اند و منجر به افت مقاومت در آن گشته اند. از طرفی کاهش درصد لیگنین و سلولز در چوب چنار تاریخی موجب کاهش مقاومت فشاری و خمشی در چوب چنار تاریخی نسبت به سالم آن شده است. [تصویر ۴۷ و ۴۶]

مقایسه مقاومت فشار موازی الیاف در چوب چنار تاریخی و سالم



تصویر ۴۷. جدول و نمودار مقایسه مقاومت فشار موازی الیاف در نمونه چوب چنار سالم با نمونه تاریخی در کلیسای بیت اللحم اصفهان

مقایسه مقاومت خمشی در چوب چنار تاریخی و سالم



تصویر ۴۶. جدول و نمودار مقایسه خمشی در نمونه چوب چنار سالم با نمونه تاریخی کلیسای بیت اللحم اصفهان

همچنین اعداد بدست آمده از سنجش سختی سوزنی بیان کننده جهت الیاف، وجود باختگی ها، اختلاف بین جهت های شعاعی و مماسی و تخریب برخی نواحی که در معرض این عامل قرار گرفته اند، می باشد. مقاومت به ضربه از هر مقاومت مکانیکی دیگری به پوسیدگی حساس تر است. (شنیویند، ۱۹۹۰) این مقاومت در چوب تاریخی چنار کلیسا نسبت به چنار سالم، کاهش یافته است و نشان دهنده مراحل پوسیدگی در این چوب است، بنابراین اثر پوسیدگی نرم بر روی مقاومت چوب چنار تاریخی کلیسا حتی در مقادیر خیلی کم کاهش وزن آن، قابل توجه است. [تصاویر ۴۲ و ۴۵]

نتیجه گیری

مطالعات پیرامون نقش تخریبی پوسیدگی نرم و استناد بر آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی بر روی گونه چوبی چنار تاریخی در سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان نشان می‌دهد، پوسیدگی نرم منجر به تخریب دیواره‌های سلولی در چوب چنار شده و کاهش جرم (مقدار ماده چوبی) را برای آن داشته است. این کاهش منجر به افت دانسیته در چوب تاریخی شده که خلل و فرج آن را افزایش داده و در نهایت موجب جذب رطوبت بیشتر در چوب تاریخی نسبت به نمونه چوب چنار سالم گشته است. بنابراین این چوب پوسیده شده، جذب مویبندی آب بیشتری داشته و در مقایسه با چوب سالم، دانسیته پایین تری دارد. بنابراین نفوذ پذیری بیشتری برای رطوبت داشته، و این کاهش دانسیته، مقاومت در چوب چنار تاریخی را کاهش داده است. طیف سنجی FTIR، کاهش سلولز و لیگنین را در چوب چنار تاریخی نشان داده است که به دنبال آن مقاومت مکانیکی چوب به میزان زیادی کاهش یافته و افت مقاومتی را در برابر خمش، فشار، ضربه و سختی برای آن داشته است. بنابراین پوسیدگی نرم از جمله عوامل بیولوژیکی مخربی است که، با کاهش مواد بنیادی در چوب همچون سلولز و همی سلولز در ساختار چوب چنار تاریخی موجب کاهش استحکام و افت مقاومت بر روی در چوبی سرداب محراب کلیسای بیت اللحم اصفهان گشته است.

پی‌نوشت‌ها

۱. کلیسای بیت اللحم مربوط به دوره صفوی به شماره ۷۶۴۳ به ثبت ملی رسیده است. (<http://www.isfahancht.ir/newsf>)
۲. گونه چنار با نام علمی *Platanus Orientalis L.* از خانواده پهن برگان است.
۳. نتایج بدست آمده از تحقیقات: غفرانی، ۱۳۸۷ و کارگر فرد و دیگران، ۱۳۸۴ می باشد.
۴. نتایج بدست آمده از تحقیقات صادقی فر، ۱۳۸۳، (عبادی، ۱۳۸۵)، (گیاشی [۳] و دیگران، ۲۰۰۳)، (بلانچت [۴]، ۲۰۰۰)، (رایزکیلا [۵] و دیگران، ۲۰۰۷)، (بودیرلاو [۶] و دیگران، ۲۰۰۹)، (گراشو [۷] و دیگران، ۲۰۰۹)، (دبریکا [۸] و دیگران، ۲۰۰۸)، (روشو [۹] و دیگران، ۲۰۱۰) و (کاتااکا [۱۰] و دیگران، ۱۹۹۸) می باشد.
۵. (اسمیت، ۲۰۰۶، ص ۱۴۲)
۶. ناحیه اثر انگشتی، ناحیه ای در طیف بینی می باشد، که در آن طول موج ویژگی های مخصوص ساختار ماده هویدا می شود و این ویژگی ها منحصر به همان ماده اند. جنستار (جنستار و پالو، ۲۰۰۶، ص ۹۹۲) ناحیه ۶۰۰ تا 1800 cm^{-1} و دبریکا و دیگران، ۲۰۰۸، ص ۳۵) ناحیه 1500 cm^{-1} تا 1750 را برای چوب در تحقیقاتشان بیان داشته اند.
۷. از آنجا که، جیوه قادر نیست سطح چوب را خیس کند از حجم سنج Breuil استفاده می شود. (عنایتی، ۱۳۸۹، ص ۱۰)
۸. آزمون های سختی سنجی نیز به مقاومت ماده در برابر فرورفتگی سطح گفته می شود. در واقع آزمایش سختی سنجی معیاری از مقاومت آن ها در برابر تغییر شکل دائم، مقاومت در برابر فرورفتگی است.
۹. سختی شر اسکروسکوپ (Shore Scleroscope Hardness) از نوع دینامیک است و طی آن یک وزنه با نوک الماسی از ارتفاع مشخصی رها شده، با سطح نمونه آزمایش برخورد می کند، و ارتفاع بازگشت آن اندازه گیری می شود.

فهرست منابع

- صادقی فر، حسن و میرشکرای سید احمد، بررسی لیگنین چوب صنوبر تعیین خصوصیات با روش های طیف سنجی FTIR, UV-Vis، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، شماره ۲، ۱۳۸۴
- عبادی، سید اسحاق، بررسی ویژگی های آناتومیک چوب افرا پلت دست کاشت در محورهای طولی و شعاعی درخت، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره ۳، ۱۳۸۹

- عنایتی، علی اکبر، فیزیک چوب، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۸۹
- غفرانی، محمد، بررسی امکان ساخت چند سازه چوب پلاستیک از خاک اره و پلی اتیلن ترفتالات ضایعاتی، علوم محیطی، سال ششم، شماره دوم، ۱۳۸۷
- کارگر فرد، ابوالفضل، حسین زاده، عبدالرحمن، نوربخش، امید، خواجه خزعل حاجی حسنی، رضا، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط ساخته شده از چوب صنوبر، منابع طبیعی، ۱۳۸۴
- هادلی، آر. بروس (۱۹۹۰)، شناسایی چوب (نتایج دقیق با استفاده از ابزارهای ساده)، ترجمه، علی نقی کریمی، محمد حسن اختراع و کامبیز پور طهماسبی، چاپ اول، انتشارات آبیژ، تهران، ۱۳۸۸
- ونگر ا.، ا.پ. شینیوند و. یونگر (۲۰۰۱)، حفاظت آثار هنری چوبی، ترجمه اصغر طارمیان و علی نقی کریمی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۳۸۹

- Blanchette, Robert A. (1991). Deterioration in historic & archaeological woods from terrestrial sites, *Journal of plant pathology*. 54- 60.
- Blanchette, Robert A., Haight, John E., Koestler, Robert J. Hatchfield, Pamela B., Arnold, Dorthea. (1994). *Assesment of deterioration in archaeological wood From ancient Egypt*, VOL.33, NO.1. 55-70.
- Blanchette, Robert A. (2000). A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*. 46. 189-204.
- Bodirlau, R., Teaca, C.A. (2009). *Transform infrared spectroscopy & thermal analysis of lignocellulose fillers treated with organic Anhydrides*, Vol. 54, No.1. 93-104.
- Dobrica, Iuliana, Bugheanu, Paula, Stanculescu, Ioana, Ponta, C. (2008). *FTIR Spectral data of wood used in romanian traditional village construction*, Department of Physical Chemistry. vol.1. 33-37.
- Genestar, C., Palou, J. (2006). *FTIR spectroscopic evaluation of deterioration in an historic coffered ceiling*, Department of Chemistry, University of Balearic Islands (UIB).
- Giachi, Gianna, Bettazzi, Francesca, Chimichi, Stefano, Staccioli, Giuseppe. (2003). Chemical characterisation of degraded wood in ships discovered in a recent excavation of the Etruscan and Roman harbour of Pisa. *Journal of Cultural Heritage*. 4. 75-83.
- Gruchow, Falk, Machill, Susanne, Thiele, Steffen, Herm, Christoph, Salzer, Rainer. (2009) *Imaging FTIR S spectroscopic investigation of wood: paint interface of aged polychrome art objects*. e-preservation science. 145 -150
- Kataoka, Yutaka, Kondo, Tetsuo. (1998). *FT-IR Microscopic Analysis of Changing Cellulose Crystalline Structure during Wood Cell Wall Formation*, 760- 764.
- Raikila, Sanni, Pulkkinen, Minna, Laakso, Tapio, Fagerstedt, Kurt, Loija, Mia, Mahlberg, Riitta, Paajanen, Leena, Ritschkoff, Anne-Christine, Saranpaa, Pekka. (2007). FTIR Spectroscopic Prediction of Klason and Acid Soluble Lignin Variation in Norway Spruce Cutting Clones. *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*. 61. 45- 52.
- Rosu, Dan, Teaca, Carmen-Alice, Bodirlau, Ruxanda, Rosu, Liliana. (2010). FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 3.
- Schmidt, Olaf. (2006). *Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.