

## ارزیابی پوسیدگی در چوب صنوبر و راش با استفاده از روش غیرمخرب اشعه X

محراب مدهوشی<sup>۱\*</sup>، وجیهه موجریان گلوگاهی<sup>۲</sup> و محمدرضا ماستری فراهانی<sup>۳</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. پست الکترونیک: madhoushi@gau.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، رشته حفاظت و اصلاح چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳- دانشیار، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

### چکیده

مطالعات رادیوگرافی، یکی از روش‌های غیرمخرب برای ارزیابی کیفی چوب‌آلات ساختمانی به منظور آشکارسازی عیوب آن به دلیل تخریب طبیعی می‌باشد. این مطالعه باهدف ارزیابی معایب چوب صنوبر دلتوئیدس و راش ناشی از پوسیدگی با استفاده از روش غیرمخرب اشعه X انجام شد. برای هر یک از گونه‌ها، از نمونه‌های رنگ نشده (فاقد پوشش) و رنگ شده با سیلر و کیلر (پوشش داده شده) استفاده گردید که مطابق با استاندارد ASTM-D1413 تحت فرایند پوسیدگی قرار گرفتند. فرایند پوسیدگی در دوره‌های ۱، ۲ و ۳ ماهه با استفاده از قارچ مولد پوسیدگی سفید رنگین‌کمان در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید. پس از سیری شدن هر یک از این دوره‌ها، برای بررسی پوسیدگی نمونه‌ها، با استفاده از یک سیستم اشعه X، تصویربرداری در ۳ جهت عرضی، مماسی و شعاعی انجام شد. نتایج نشان دادند که پس از ۱، ۲ و ۳ ماه مجاورت با قارچ پوسیدگی و بر اثر تخریب قارچی ایجاد شده، وزن چوب در هر دو مجموعه نمونه‌های رنگ شده و رنگ نشده کاهش یافته است. در این ارتباط، کاهش وزن ناشی از پوسیدگی گونه راش کمتر از گونه صنوبر بود. همچنین، کاهش وزن نمونه‌های رنگ نشده بیشتر از نمونه‌های رنگ شده بود، که این امر نیز از نظر آماری معنی‌دار بود. نتایج حاصل از رادیوگرافی نمونه‌های رنگ نشده و رنگ شده در جهت‌های عرضی، مماسی و شعاعی نشان داد که پوسیدگی تأثیر بیشتری در ساختار چوب صنوبر در مقایسه با گونه راش دارد. همچنین بررسی تصاویر نشان داد که در نمونه‌های پوشش داده شده، لایه رنگی محافظ تا حدودی مانع تخریب پوسیدگی در این نمونه‌ها محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آزمون غیرمخرب، پوسیدگی، راش، صنوبر دلتوئیدس، اشعه X.

### مقدمه

از نظر مواد آلی طبیعی، چوب گسترده‌ترین ماده برای کاربردهای ساختمانی است، زیرا دارای هزینه و مصرف انرژی کم در فرآوری، استفاده آسان، مقاوم و زیبایی، مشتری‌پسند و دوستدار محیط‌زیست است. اما قرارگیری فراورده‌های چوبی در محیط‌های مصرفی که مستعد عوامل مخرب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است، سبب کاهش

کیفیت و استحکام این ماده می‌شود. در میان این عوامل، پوسیدگی قارچی در مقایسه با اشعه فرابنفش، آتش‌سوزی، لارو حشرات و قارچ‌ها از ابتدایی‌ترین عوامل شناخته شده تخریب چوب می‌باشد (Wang et al., 2014; Weiler et al., 2013). اثرات هواپدگی و پوسیدگی باید در سازه‌های تاریخی چوبی مورد توجه قرار گیرد، زیرا این عوامل به مرور زمان منجر به کاهش معنی‌دار استحکام مکانیکی

سازه‌ها می‌شوند (Sousa *et al.*, 2014). همچنین پوسیدگی در گرده‌بیننه و الوار باعث کاهش ضریب تبدیل و در فراورده‌های نهایی موجب تغییر رنگ و کاهش مقاومت‌ها و در سازه‌های چوبی سبب کاهش مقاومت اعضاء و در نهایت تخریب و شکست آن می‌شود (Kazemi Najafi *et al.*, 2008). حملات تخریبی در ابتدا ممکن است بدون نشانه‌های قابل‌رؤیت و عدم ظاهر شدن روی سطوح اتفاق افتد و باعث تخریب شدید در آینده شود. از سوی دیگر، تخریب برخی از عناصر سازه‌ای فقط محدود به سطوح خارجی و بدون تخریب شدید و کاهش مقاومت‌های مکانیکی است، که گاهی مواقع تصمیم‌گیری را مشکل یا دچار خطا می‌کند (Hill, 2006). از این رو، آگاهی از شرایط سازه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیر و جایگزینی با حداقل نیروی انسانی و مواد و نیز افزایش طول عمر آن سازه شود (Sousa *et al.*, 2014). همچنین بررسی و کنترل کیفیت در هنگام فرایند تولید باید برای شناسایی عیوب ناشی از شرایط نامناسب تولید، اعم از عوامل تکنولوژیکی و خارجی به طور مداوم انجام شود، ضمن اینکه می‌تواند به افزایش کیفیت کمک کرده و از هدر رفتن مواد اولیه جلوگیری کند (Toyserkani, 2007). در ارزیابی غیرمخرب، نیاز به شکست و تخریب نیست و زمان انجام این آزمایش نیز نسبت به روش‌های مخرب بسیار کمتر است (Fredriksson *et al.*, 2014). به طوری که تمام محصولات تولید شده یا مورد استفاده در هنگام سرویس بدون تخریب آنها می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. از دیگر مزایای ارزیابی‌های غیرمخرب سریع و بعضاً قابلیت اجرا در محل است (Weiler *et al.*, 2013; Ceraldi *et al.*, 2001). ارزیابی‌های غیرمخرب در تعیین پوسیدگی، وجود گره، تشخیص ترک، مدول الاستیسیته دینامیکی و میزان تداخل مؤثر می‌باشد (Liu *et al.*, 2014).

مطالعات رادیوگرافی با اشعه X، یکی از روش‌های ارزیابی کیفی چوب‌های ساختمانی به منظور آشکارسازی نواحی پوسیده، اتصالات معیوب و خسارت‌دیده، رفتار اتصالات میخ چوبی و سطوحی با دانسیته کمتر به دلیل

تخریب طبیعی می‌باشد (Maeda *et al.*, 2011). از این رو کاربرد فرایندهای تصویربرداری دیجیتال به منظور افزایش قدرت تشخیص و ارزیابی کیفی مانند عیوب داخلی اتصالات، ابعاد مخفی عناصر ضروری به نظر می‌رسد (Muszynski, 2009). همچنین مطالعات رادیوگرافی به صورت ویژه، یکی از راه‌های ارزیابی برای شناسایی حشرات و هجوم چوب‌خواران دریایی است (Fu, 2005). قاعده کلی فرایند اشعه X مشابه گرفتن عکس با یک دوربین عکاسی می‌باشد. درحالی که کیفیت یک عکس بستگی به عمق میدان، وضوح و تمرکز دارد، این پارامترها برای سیستم‌های اشعه X چندان قابل مقایسه نمی‌باشند. به عبارتی دیگر، برای پذیرش روش‌های جدید غیرمخرب مانند اشعه X، باید قابل مقایسه بودن نتایج آنها مورد توجه قرار بگیرد.

برای عکاسی با اشعه X، شدت (قدرت) پالس، فاصله از نمونه آزمون بین فرستنده و صفحه فیلم، ضخامت، چگالی نفوذشی و وضوح تصویر و دقت روش بسیار مهم می‌باشند (Franke & Franke, 2014). Rinn و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از اشعه X، نمودارهای دانسیته و مقاومت چوب را به دست آورده و با پروفیل و نمودارهای مقاومت به مته و دانسیته به دست آمده از آزمون‌های مکانیکی مقایسه کردند. نتایج آنان نشان داد که نمودارهای مقاومت نواحی چوب آغاز و چوب پایان در پهن‌برگ و سوزنی‌برگ با یافته‌های دانسیته حاصل از اشعه X مطابقت دارد. نتایج تحقیقات Kline و Nyström (۲۰۰۰)، در شناسایی چوب فشاری گونه کاج زرد جنوبی با استفاده از تکنیک طیف‌سنجی با اشعه X نشان داد که به دلیل میزان رطوبت سبز متناقض الوار و دامنه گسترده‌ای از دانسیته، تغییرات دانسیته ناشی از چوب فشاری قابل شناسایی نبوده و برای شناسایی چوب فشاری در شرایط رطوبت سبز موفقیت‌آمیز نیست. Yokoyama و همکاران (۲۰۰۹) ویژگی‌های مکانیکی چوب کهن‌سال هینوکی (*Chamaecyparis obtuse* Endl.)<sup>۱</sup>

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به منظور اطمینان از صحت نمونه‌برداری اولیه و تحلیل آماری سه اصله درخت صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) و سه اصله درخت راش (*Fagus orientalis*) به طور تصادفی از جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان انتخاب و قطع شدند. از هر اصله قطع شده، گرده‌بینه‌هایی تهیه و حدوداً به مدت ۳ ماه در محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در محلی سرپوشیده در معرض هوای آزاد خشک شدند تا رطوبت آنها تا مقدار تقریبی ۱۰ درصد کاهش یابد. سپس طبق استاندارد ASTM-D1413 مربوطه برای آزمون پوسیدگی آماده شدند. برای این منظور، از میان گرده‌بینه‌های خشک شده، نمونه‌هایی سالم به صورت مماسی از برون‌چوب صنوبر دلتوئیدس و راش به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر برای آزمون پوسیدگی تهیه شدند. نمونه‌های درون‌چوب به دلیل مقاومت بیشتر در مقابل پوسیدگی و همچنین نفوذ کمتر مواد پوششی مورد مطالعه قرار نگرفت. بعد از پاک‌سازی و سنباده‌زنی سطح همه نمونه‌های آماده شده، نیمی از آنها برای پوشش‌دهی جدا شدند. این نمونه‌ها ابتدا با سیلر پوشش داده شدند و بعد بعد از گذشت چند ساعت دوباره سنباده‌زنی شده و کیلر با استفاده از پمپ و به صورت تجاری و به‌طور یکنواخت بر سطوح آنها افشاندن شد تا میزان پوشش‌دهی به صورت سطحی و به صورت متعارف انجام شود.

از قارچ مولد پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor*) مطابق استاندارد برای پوسیدگی سفید استفاده شد که از آزمایشگاه دانشکده گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه گردید. همچنین طبق استاندارد ASTM-D1413 ماده غذایی مورد استفاده برای قارچ مولد پوسیدگی سفید از میان پهن‌برگان کم‌دوام انتخاب شد. آزمون مقاومت به پوسیدگی مطابق این استاندارد بدین صورت بود که پس از حذف ریشه‌های قارچ از روی نمونه‌ها، کنترل وزن انجام و بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای  $2 \pm 10.3$  درجه سلسیوس قرار گرفتند و بعد از توزین دوباره، میزان کاهش وزن نمونه‌ها (*WL*) با استفاده از

به‌دست آمده از ساختمان‌های تاریخی ژاپن را توسط اشعه X بررسی نمودند. آنان به این نتیجه رسیدند که سختی و مقاومت چوب به افزایش دانسیته و کاهش رطوبت تعادل بستگی داشت و ستون باریک چوب سال‌خورده به‌طور واضحی شکننده‌تر از چوب تازه بود. Maeda و همکاران (۲۰۱۱) در آنالیز توسعه پوسیدگی آنیزوتروپی با استفاده از اشعه X به این نتیجه رسیدند که کاهش وزن ناشی از پوسیدگی نمونه‌ها در جهت طولی به‌طور مداوم بدون در نظر گرفتن قارچ مورد استفاده سریع‌تر از جهات دیگر بود. تصاویر سی‌تی اسکن<sup>۱</sup> اشعه X اطلاعات زیادی در جزئیات ارائه داد. صرف نظر از جهت پیشرفت پوسیدگی، ترک در امتداد جهت شعاعی و مماسی نیز مشاهده گردید و کاهش ابعاد ناشی از پوسیدگی در جهت مماسی کمتر از جهت طولی بود.

در داخل کشور، مطالعات چندی نیز در ارتباط با استفاده از سایر آزمون‌های غیرمخرب در تشخیص پوسیدگی گونه‌های داخلی انجام شده است. در این ارتباط می‌توان به تشخیص روند پیشرفت پوسیدگی گونه راش ایران با استفاده از موج تنش توسط Madhoushi و همکاران (۲۰۰۷) و تشخیص پوسیدگی گونه بلوط ایران با استفاده از روش فراصوت<sup>۲</sup> توسط Kazemi Najafi و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد. با توجه به بررسی منابع، تاکنون تحقیقی پیرامون ارزیابی پوسیدگی چوب با استفاده از اشعه X به‌طور مستقل و ترکیبی در ایران انجام نشده است. از این رو، این تحقیق برای اولین بار در ایران به منظور ارزیابی فرسودگی چوب‌های صنوبر و راش ناشی از پوسیدگی با استفاده از روش غیرمخرب اشعه X انجام شده است. هدف این تحقیق در مرحله اول، بررسی امکان تشخیص پیشرفت پوسیدگی با استفاده از اشعه X در دوره‌های متوالی است. همچنین در مرحله بعد، تأثیر گونه، حضور لایه پوششی و جهت الیاف در ارزیابی با استفاده از اشعه X از اهداف این مطالعه محسوب می‌شود.

1- CT Scan  
2- Ultrasound

رابطه (۱) به دست آمد (Saffarzadeh & Masteri, 2013).

$$WL\% = [(W_{o1} - W_{o2}) / W_{o1}] \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، % WL: درصد کاهش وزن نمونه،  $W_{o1}$ : وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ (گرم) و  $W_{o2}$ : وزن خشک پس از مجاورت با قارچ (گرم) است.

برای ارزیابی پوسیدگی نمونه‌های مورد آزمایش، از یک سیستم اشعه X با مدل تجاری Varian در مرکز تحقیقاتی-تصویربرداری گلستان واقع در شهرستان گرگان استفاده شد. مقدار انرژی فوتون حداکثر KVP50 و دوز اشعه X در هر پالس برابر 15-16 میلی سیورت (mSv) برای تحقیقات آزمایشگاهی استفاده گردید. طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق، طرح آماری کاملاً تصادفی تحت آزمایش فاکتوریل با فاکتورهای T (زمان مجاورت نمونه‌ها با قارچ) با سطوح  $T_1$  (۱ ماه)،  $T_2$  (۲ ماه)،  $T_3$  (۳ ماه)؛ فاکتور S (گونه چوبی) با سطوح  $S_1$  (راش)،  $S_2$  (صنوبر) و فاکتور C

(رنگ آمیزی) با سطوح  $C_1$  (رنگ نشده) و  $C_2$  (رنگ شده) بود تا بتوان علاوه بر بررسی اثر جداگانه هر فاکتور، اثر توأم دو یا سه فاکتور (متقابل) را نیز در ارتباط با یک ویژگی مورد مطالعه قرار داد. برای بررسی اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر، نتایج در سطح ۱ و ۵٪ (خطای آماری) توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### نتایج

#### کاهش وزن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد، اثر مستقل عامل‌های متغیر (زمان مجاورت با قارچ، گونه چوبی و رنگ آمیزی) و اثر متقابل برخی از آنها بر کاهش وزن نمونه‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار می‌باشد، هرچند که اثر متقابل رنگ آمیزی با زمان مجاورت و همچنین رنگ آمیزی با گونه چوبی معنی دار نبودند.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر عامل‌های متغیر بر کاهش وزن

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Sig	تفاوت
S.O.V	S.S	D.F	M.S			
زمان مجاورت (T)	۱۵۲۰/۷۰۰	۲	۷۶۰/۳۵۰	۳۰/۱۷۵	۰/۰۰۰	**
گونه چوبی (S)	۱۰۹۱/۰۶۸	۱	۱۰۹۱/۰۶۸	۴۳/۳۰۰	۰/۰۰۰	**
رنگ آمیزی (C)	۵۹۰/۸۷۸	۱	۵۹۰/۸۷۸	۲۳/۴۵۰	۰/۰۰۰	**
T×S	۲۲۳/۹۴۰	۲	۱۱۱/۹۷۰	۴/۴۴۴	۰/۰۱۶	**
T×C	۳۴/۹۰۹	۲	۱۷/۴۵۴	۰/۶۹۳	۰/۵۰۴	ns
S×C	۲۹/۱۵۹	۱	۲۹/۱۵۹	۱/۱۵۷	۰/۲۸۶	ns
T×S×C	۲۱۸/۵۲۸	۲	۱۰۹/۲۶۴	۴/۳۳۶	۰/۰۱۷	**
خطا	۱۵۱۱/۸۶۲	۶۰	۲۵/۱۹۸			
مجموع	۵۲۲۱/۰۴۴	۷۱				

ضریب تغییرات (%CV): ۲۱/۶

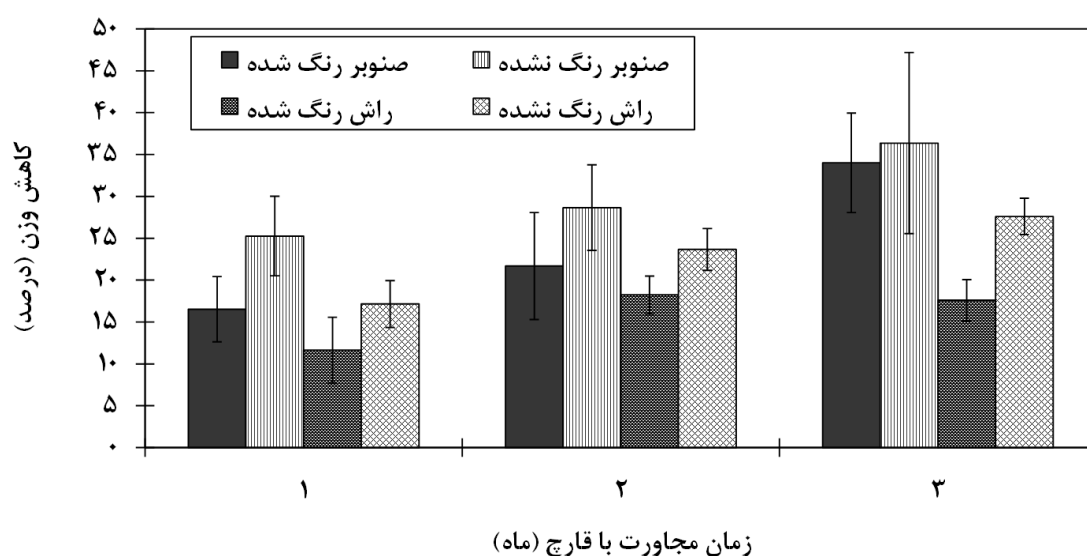
\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns: غیر معنی دار

تغییراتی در کاهش وزن رخ داده است. همان طوری که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، چوب صنوبر رنگ شده و

این بدین معنی است که متغیرهای مربوطه نتوانسته‌اند موجب تغییرات معنی داری در کاهش وزن شوند؛ هرچند که

رنگ‌نشده مستعد به پوسیدگی در مقابل قارچ رنگین‌کمان می‌باشد و کاهش وزن نمونه‌های رنگ‌نشده بیشتر از نمونه‌های رنگ‌شده بود. همین پدیده برای هر دو نوع چوب راش رنگ‌شده و رنگ‌نشده نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۱- اثر زمان مجاورت با قارچ و رنگ‌آمیزی بر کاهش وزن نمونه‌های چوبی گونه‌های صنوبر و راش

نمونه‌های رنگ‌شده، هاله سفیدرنگ ایجاد شده نشان‌دهنده پوشش سطحی نمونه‌ها با سیلر و کیلر است (نمونه‌های شعاعی). طبق نظر Maeda و همکاران (۲۰۱۲)، پوسیدگی می‌تواند بر رنگ تصاویر رادیوگرافی تأثیر زیادی داشته باشد. به طوری که پوسیدگی زیاد می‌تواند موجب تیره شدن تصاویر رادیوگرافی شود. این موضوع به این دلیل است که پوسیدگی سبب کاهش جرم ماده چوبی می‌گردد، در نتیجه در تصاویر به دست آمده به صورت رنگ تیره‌تر مشاهده خواهد شد. قارچ عامل پوسیدگی با مصرف ترکیبات دیواره سلولی به عنوان منبع غنی از کربن باعث ایجاد پوسیدگی می‌گردد که در تصاویر رادیوگرافی به وضوح مشخص است. این مناطق تیره‌تر در چوب راش پوسیده در مقایسه با چوب سالم کاملاً نمایان است. نواحی تیره همبستگی بسیار زیادی با نتایج به دست آمده از کاهش وزن دارد. همچنین نمونه‌های رنگ‌شده با سیلر و کیلر از طریق نفوذ سیلر به درون حفره‌ها و روزنه‌های دیواره سلولی و مسدودسازی آنها باعث کاهش فعالیت قارچ و افزایش حفاظت چوب در برابر قارچ عامل

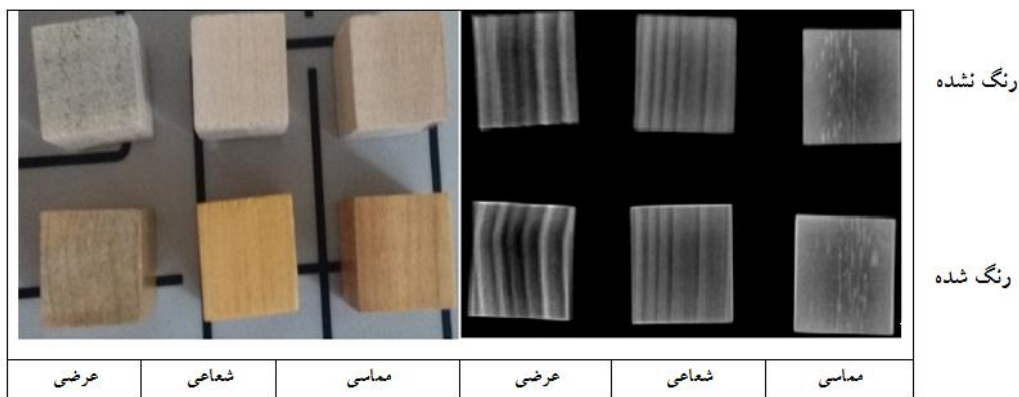
در مقایسه بین گونه‌ها، نتایج نشان داد که کاهش وزن ناشی از پوسیدگی گونه راش (۱۹/۳۱ درصد) نسبت به صنوبر (۲۷/۱ درصد) کمتر می‌باشد، که این میزان نیز از نظر آماری در سطح اطمینان ۱ درصد معنی‌دار بود.

### ارزیابی پوسیدگی به وسیله اشعه X

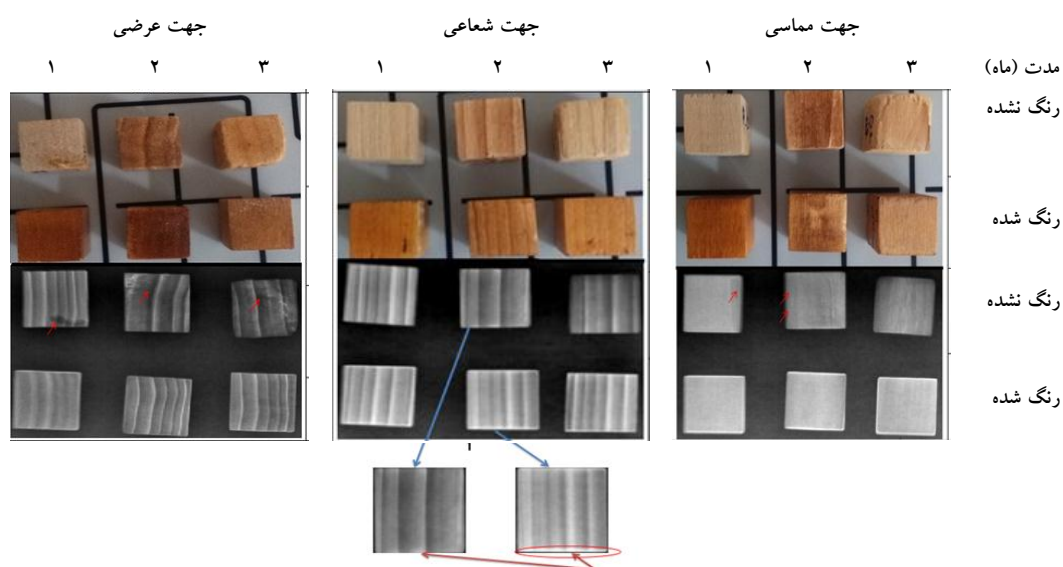
- گونه صنوبر

تصاویر اشعه X تهیه شده از چوب صنوبر بدون پوسیدگی (شکل ۲) و پوسیده شده (شکل ۳) در هر دو مجموعه از نمونه‌های بدون روکش و با روکش در دوره‌های ۱، ۲ و ۳ ماه مجاورت با قارچ پوسیدگی در سه جهت مماسی، شعاعی و عرضی تا حد زیادی روند تخریب را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. همچنین در این تصاویر افزایش تدریجی کاهش سطح و ابعاد چوب در اثر پوسیدگی در مقاطع عرضی و ترک‌ها و بهم‌ریختگی‌های به وجود آمده در امتداد حلقه سالانه و در طول دوره ۳ ماه قابل مشاهده است (مربوط به نمونه‌های عرضی). علاوه بر آن، در تصاویر رادیوگرافی

پوسیدگی شده است (Hill, 2006). به طور کلی نمونه‌های رنگ شده نسبت به نمونه‌های رنگ نشده عملکرد بهتری را در تشخیص میزان پوسیدگی با اشعه X داشتند.



شکل ۲- (چپ) تصویر نمونه‌های واقعی و (راست) تصویر رادیوگرافی نمونه‌های صنوبر شاهد (بدون پوسیدگی)



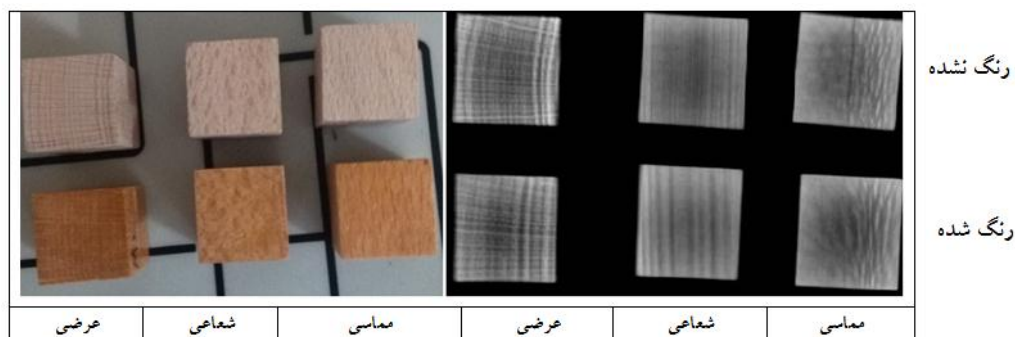
شکل ۳- (بالا) تصویر نمونه‌های واقعی و (پایین) تصاویر رادیوگرافی نمونه‌های پوسیده در ۳ مقطع چوب صنوبر به تفکیک ماه و پوشش

#### گونه راش

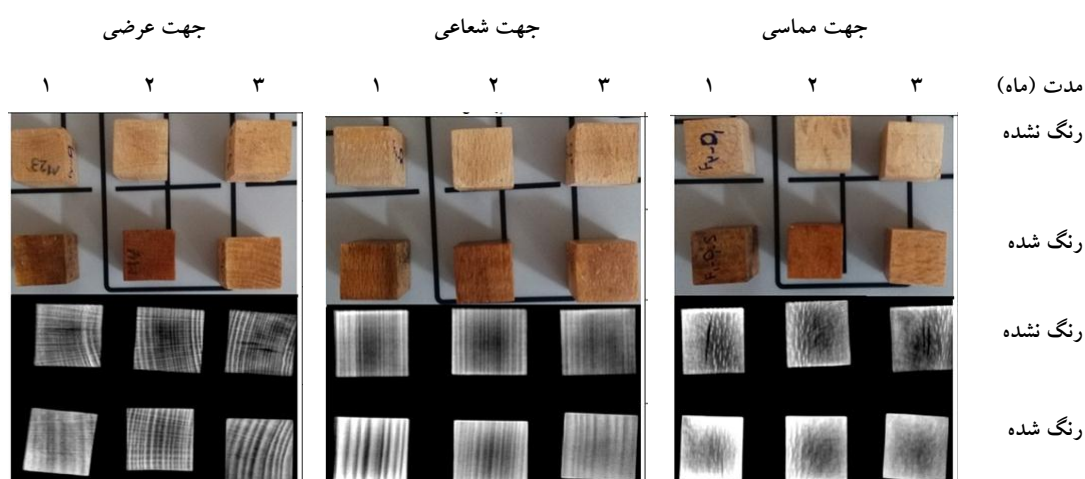
تصاویر اشعه X تهیه شده از چوب راش بدون پوسیدگی (شکل ۴) و پوسیده شده (شکل ۵) در هر دو مجموعه از نمونه‌های بدون روکش و با روکش در دوره‌های ۱، ۲ و ۳ ماه مجاورت با قارچ پوسیدگی در سه جهت مماسی، شعاعی

و عرضی تا حد زیادی روند تخریب را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد پوسیدگی تأثیر کمتری در ساختار چوب راش در مقایسه با گونه صنوبر داشته است، به طوری که طبق تصاویر رادیوگرافی گونه صنوبر همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، نواحی خاکستری (تیره)

در همه جهات نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است که نتایج کاهش وزن نیز تأییدکننده وجود پوسیدگی در تصاویر



شکل ۴- (چپ) تصویر نمونه‌های واقعی و (راست) تصویر رادیوگرافی نمونه‌های راش شاهد (بدون پوسیدگی)



شکل ۵- (بالا) تصویر نمونه‌های واقعی و (پایین) تصاویر رادیوگرافی نمونه‌های پوسیده در

۳ مقطع چوب راش به تفکیک ماه و پوشش

### بحث

این مطالعه باهدف ارزیابی پوسیدگی چوب صنوبر و راش با استفاده از روش غیرمخرب اشعه X انجام شد. نتایج نشان دادند که اثر عامل‌های متغیر (زمان مجاورت با قارچ، گونه چوبی و رنگ آمیزی) بر کاهش وزن نمونه‌ها معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر، پس از ۱، ۲ و ۳ ماه مجاورت بر اثر تخریب قارچی از وزن چوب کاسته شده است و روند

این کاهش با افزایش زمان نیز افزایش می‌یابد. در مورد تفاوت بین گونه‌ها، کاهش وزن ناشی از پوسیدگی در گونه راش کمتر از گونه صنوبر و در نمونه‌های رنگ نشده بیشتر از نمونه‌های رنگ شده بود، که این امر نیز از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین تصاویر حاصل از رادیوگرافی نمونه‌های رنگ نشده نشان داد که رنگ آمیزی باعث حفاظت از نمونه‌ها شده است. به طوری که تصاویر

روشن تر و واضح تر شده اند و سطوح خاکستری که نشان دهنده وجود عیب است، به مراتب کمتر مشاهده می شود. محققان در تحقیقات خود نشان دادند که در هنگام پوسیدگی سفید، آنزیم های قارچی باعث تجزیه اجزای دیواره سلولی شده و در این بین، ترکیبات دیواره سلولی به اجزای کوچک تر و ساده تر شکسته شده و قارچ از آنها به عنوان منبع غنی از کربن تغذیه می نماید (Spiridonova et al., 2007). بنابراین کاهش وزن نمونه های چوبی در اثر تجزیه اجزای اصلی چوب و مصرف آن توسط قارچ می باشد. علت کمتر بودن کاهش وزن نمونه های رنگ شده را می توان به کاهش فعالیت قارچ به دلیل دسترس پذیری کمتر ریشه های قارچ به ترکیبات دیواره سلولی لیگنین ناشی از نفوذ سیلر به درون حفره ها و روزنه های دیواره سلولی و بستن آنها نسبت داد؛ به این ترتیب که در مرحله اول سیلر به درون حفره های سلولی نفوذ کرده و به سرعت خشک شده و مسیرهای نفوذ را از راه حفره ها مسدود می نماید و بعد کیلر در سطح چوب حالت شیشه ای و صلبی ایجاد کرده و با ایجاد یک لایه از تخریب آن توسط قارچ جلوگیری می کند (Spiridonova et al., 2007; Leone & Breuil, 1998).

در این مطالعه، نتایج حاصل از رادیوگرافی نمونه های رنگ نشده و رنگ شده صنوبر و راش پوسیده در سه جهت مماسی، شعاعی و عرضی در زمان های ۱، ۲ و ۳ ماه نشان داد در مقایسه با گونه صنوبر، به نظر می رسد پوسیدگی تأثیر کمتری در ساختار چوب راش داشته است، به طوری که طبق تصاویر رادیوگرافی گونه صنوبر، نواحی خاکستری (تیره) در همه جهات نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است که نتایج کاهش وزن نیز تأییدکننده وجود پوسیدگی در تصاویر رادیوگرافی می باشد. با توجه به اینکه گونه راش به دلیل داشتن الیاف مناسب و وزن مخصوص بیشتر نسبت به صنوبر دارای کیفیت بهتر برش در سطوح و میزان فشردگی مناسب تر می باشد، از این رو ارزیابی و پوسیدگی در این چوب بهتر است در شدت پالس و مقادیر بالای اشعه X انجام شود، زیرا دانسیته یکی از مهمترین عوامل در تعیین کیفیت تصویر نهایی رادیوگرافی است (Franke & Franke, 2014).

### منابع مورد استفاده

- Ceraldi, C., Mormone, V. and Ermolli, E., 2001. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics, *Materials and Structures*, 34:59-64.
- Franke, S. and Franke, B., 2014. X-Ray technology for the assessment of timber structures. Paper presented at the COST FP 1101 Workshop, Biel, Switzerland. 49-55.
- Fredriksson, M., Johansson, E. and Berglund, A., 2014. Rotating *Pinus sylvestris* sawlogs by projecting knots from x-ray computed tomography images onto a plane, *BioResources*, 9:816-827.
- Fu, G., 2005. Inspection and monitoring techniques for bridges and civil structures, Woodhead Publishing in Materials. Cambridge. 100-114 pp.
- Hill, C., 2006. Wood Modification (Chemical, Thermal and Other Processes), School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor – England, 261 pages.
- Kazemi Najafi, S., Najari, S., Pourtahmasi, K. and Karimi, A.N., 2008. 3D assessing of decay in oak using nondestructive ultrasonic technique, *Journal of the Iranian natural resources*, 61(3):723-432. (In Persian)
- Leone, R. and Breuil, C., 1998. Filamentous fungi can degrade aspen steryl esters and waxes, *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*. 41:133-137.
- Liu, Y., Gong, M., Li, L. and Chui, Y.H., 2014. Width effect on the modulus of elasticity of hardwood lumber measured by nondestructive evaluation techniques, *Construction and Building Materials*. 50:278-280.
- Madhoushi, M., Hashemi, S.M. and Behzad, M., 2008. Evaluation of influence of decay on dynamic and static moduli of elasticity in Iranian beech by using of NDT stress wave, *J. Agric. Sci. Nat. Res.*, 15:176-183. (In Persian)
- Maeda, K., Ohta, M. and Momohara, I., 2011. Analysis of decay anisotrop by X-ray computer tomography, *Pro Lingo*, 7:18-25.
- Muszynski, L., 2009. Imaging wood plastic composites (WPCs): X-ray computed tomography, a few other promising techniques, and why we should pay attention, *BioResource*, 4:1210-1221.



- beams weakened by decay. International journal of architectural heritage, 8:436-451.
- Toyserkani, H., 2007. Non-destructive investigations. Isfahan, Isfahan University Jihad Press Center, 305 pages. (In Persian)
- Wang, L., Zhang, X., Xu, G., Xu, H. and Wu, J., 2014. Using lignin content, cellulose content, and cellulose crystallinity as indicators of wood decay in *Juglans mandshurica* Maxim. and *Pinus koraiensis*. BioResources, 9:6205-6213.
- Weiler, M., Missio, A.L., Darci A. Gatto, D.A. and William G., Güths, W.G., 2013. Nondestructive evaluation of wood decayed by xylophagous organisms. Materials Research, 16:1203-1213.
- Yokoyama, M., Gril, J., Matsuo, M., Yano, H., Sugiyama, J., Clair, B., Kubodera, S., Mistutani, T., Sakamoto, M., Ozaki, H., Imamura, M. and Kawai, M., 2009. Mechanical characteristics of aged Hinoki wood from Japanese historical buildings. Comptes Rendus Physique, 10:601-611.
- Nyström, J. and Kline, D.E., 2000. Automatic classification of compression wood in green southern yellow pine. Wood and Fiber Science, 32(3):301-310.
- Rinn, F., Schweingruber, F.H. and Schär, E., 1996. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density chart of different wood species. Holzforschung, 50:303-311.
- Saffarzadeh, M. and Masteri Farahani, M.R., 2013. Decay resistance of commercial plastic- pistachio twig flour composite with or pigment. Journal of wood & forest science and technology, 20:111-123. (In Persian)
- Spiridonova, R.B., Petkova, E., Georgieva, N., Yotova, L. and Spiridonov, I., 2007. Utilization of a chemical-mechanical pulp with improved properties from poplar wood in the composition of packing papers. BioResource, 2:34-40.
- Sousa, H.S., Branco, J.M. and Lourenço, P.B., 2014. Characterization of cross sections from old chestnut

## Assessment of decay in poplar and beech wood using X-ray non-destructive method

M. Madhoushi<sup>1\*</sup>, V. Mojerian Galogahi<sup>2</sup> and M. Masteri Farahani<sup>3</sup>

1\*-Corresponding author Associate Professor, Department of Wood Technology and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, Email: madhoushi@gau.ac.ir

2- M.Sc., Graduate in Modification and Conservation of Wood, Department of Wood Technology and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3-Associate Professor, Department of Wood Technology and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: Oct., 2017

Accepted: Feb., 2018

### Abstract

Radiography is a method of non-destructive evaluation of the quality of construction wood in order to detect the defects due to natural degradation. The objective of this study was to investigate the assessment of poplar (*Populus deltoides*) and beech (*Fagus orientalis*) wood defects arising from the decay using X-ray non-destructive method. In this study, for each of species, uncoated and coated by acid catalyzed lacquers and nitrocellulose lacquers samples were used. Decay resistance test was performed according to modified ASTM D1413 standard. The decaying of the woods was done for the periods of 1, 2 and 3 months using *Coriolus versicolor* fungus at laboratory conditions. After each of these periods, for the decay of the samples, X-ray imaging using an imaging at the cross, tangential, and radial directions was done. Results of weight loss confirmed the presence of decay. The results showed that after 1, 2 and 3 months of exposure to fungus, fungal degradation lead to weight loss in the coated and uncoated samples. So that, the weight loss caused by decay in beech was less than poplar samples. As well, the weight loss of uncoated was less than of coated samples, which was also statistically significant. The X-ray results of uncoated and coated samples at the cross, tangential, and radial directions indicated that decay has more impact on beech wood in comparison to poplar wood structure. The study as well showed that the protective layer provided a partly barrier for decay destruction in these samples.

**Keywords:** Non-destructive testing, decay, beech, poplar, X-ray.