

## بررسی دوام طبیعی گونه چوبی راش ایرانی با استفاده از مدل Meyer-Veltrup

### چکیده

شناخت دوام طبیعی گونه‌های چوبی امری ضروری می‌باشد. کشور ایران نیز به لحاظ دارا بودن گونه‌های ارزشمند تجاری از این قائده مستثنی نمی‌باشد. به طور معمول دوام طبیعی چوب در شرایط آزمایشگاهی و میدانی با اندازه‌گیری مقاومت به پوسیدگی آن طبق دستورالعمل‌های EN 113 و EN 252 تعیین می‌شود. با این وجود، نتایج حاصل قابل تعمیم به اغلب فرآورده‌های چوبی که در شرایط بدون تماس با خاک هستند نمی‌باشد. Meyer-Veltrup و همکاران در سال (۲۰۱۷) مدل جدیدی به منظور تعیین دوام طبیعی با تکیه بر شرایط اقلیمی در محیط آزمایشگاهی ارائه کردند. در این مدل از دو فاکتور مقاومت ذاتی و قابلیت ترشوندگی استفاده می‌شود. مطالعه حاضر گونه چوبی راش (*Fagus orientalis*) را به عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری جنگل‌های هیرکانی انتخاب کرد تا با استفاده از مدل مقاومت دوام طبیعی آن را بررسی کند. نتایج حاصل چوب برون و درون راش را در دسته کم‌دوام و بی‌دوام (DC 4-5) قرار داد. چوب برون راش بعد از ۱ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری بالاترین میزان جذب آب را نسبت به چوب درون نشان داد. بر اساس شاخص MLF ۶۱/۸ درصد از وزن چوب برون راش در مجاورت قارچ پوسیدگی سفید (T. versicolor) کاهش یافت همچنین کمترین مقدار کاهش وزن چوب برون و درون راش در مجاورت قارچ پوسیدگی سفید *H. fragiforme* ثبت شد. ۴۳/۵ درصد از شاخص MLF چوب راش هم در مجاورت میکروارگانیسم‌های خاکزی (TMC) کاهش یافت. بر اساس مدل مقاومت اولین نشانه‌های پوسیدگی پس از ۳۱۲ و ۲۹۴ روز مشاهده شد.

**واژگان کلیدی:** قابلیت ترشوندگی، مقاومت ذاتی، راش، مدل مقاومت.

زهرا مرادی<sup>۱</sup>

مهرداد قدس‌خواه دریایی<sup>۲\*</sup>

میها هومر<sup>۳</sup>

محسن بهمنی<sup>۴\*</sup>

<sup>۱</sup> دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

<sup>۳</sup> استاد گروه صنایع چوب، دانشکده بیوتکنیکال، دانشگاه لیوبلیانا، اسلوونی

<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی صنایع میلان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مسئول مکاتبات:

[mghods@guilan.ac.ir](mailto:mghods@guilan.ac.ir)

[mohsen.bahmani@sku.ac.ir](mailto:mohsen.bahmani@sku.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

### مقدمه

جنگل‌های هیرکانی با سطحی معادل ۱/۸ میلیون هکتار و دارا بودن ۸۰ گونه درختی یکی از غنی‌ترین جنگل‌های دنیا و تنها منبع تأمین چوب صنعتی کشور محسوب می‌شود [۱] که سالیانه حجمی حدود ۶۰۰ هزار متر مکعب چوب جنگلی از آن‌ها برداشت می‌شود. بخش قابل توجهی از این حجم برداشت مربوط به قطع و استحصال گونه‌هایی

مانند راش، ممرز، توسکا، افرا، بلوط و نمدار بود [۲] و عمدتاً به‌عنوان ماده اولیه کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنایع تبدیل اولیه، صنایع روکش و تخته لایه به مصرف می‌رسیدند [۳]. متأسفانه بهره‌برداری غیر-اصولی و خارج از ظرفیت تولیدی این جنگل‌ها منجر به ایجاد وضعیت نابسامان در ریشگاه‌ها و تخریب گسترده آن‌ها شد به‌طوری‌که عملاً استمرار تولید آن غیرممکن بود. بنابراین کارشناسان امر با هدف حفظ

چوبی قرار دارد [۸]. روش‌های متعددی به‌منظور مطالعه دوام طبیعی گونه‌های چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به استانداردده‌های EN 350 (۲۰۱۶) و EN 15083-1 (۲۰۰۵) CEN/TS در روش آزمایشگاهی [۹ و ۱۰] و استاندارد (EN 252 (۲۰۱۵) در روش میدانی بدون تماس با خاک اشاره کرد [۱۱]. علی‌رغم اهمیت و تعدد آزمون‌های مورد استفاده و نتایج ارزشمندی که در کوتاه‌ترین زمان ممکن به دست می‌دهند این نتایج، قابل‌تعمیم به دوام طبیعی فرآورده‌های چوبی که اغلب در شرایط بدون تماس با خاک هستند نمی‌باشد چرا که در این آزمون‌ها به بازه زمانی طولانی‌تری نیاز است [۱۲]. علاوه بر طولانی بودن زمان آزمون‌های بدون تماس با خاک، غیر قابل‌تعمیم بودن نتایج به روش بدون تماس با خاک [۱۳] و کاربرد وسیع تولیدات چوبی در شرایط بدون تماس با خاک، مسئله تغییر رویکرد جامعه به استفاده از چوب‌آلات تیمارنشده به دلیل مخاطرات زیست‌محیطی [۱۲ و ۱۴] لزوم ارائه روشی کوتاه‌مدت که در بردارنده خصوصیات هر دو روش آزمایشگاهی و میدانی است را بیش از پیش آشکار می‌کند. بنابراین Meyer-Veltrup و همکاران (۲۰۱۷) مفهوم جدیدی به‌منظور تعیین دوام طبیعی با تکیه بر شرایط اقلیمی در محیط آزمایشگاه پیشنهاد کردند که قابل‌تعمیم به شرایط بدون تماس با خاک بود و در نهایت منجر به ارائه مدل مقاومت دوز-پاسخ شد. در این مدل پارامتر کمی  $D_{Rd}$  تحت عنوان دوز مقاومت مواد در قالب معادله  $D_{Rd} = D_{crit} \times K_{wa} \times K_{inh}$  محاسبه می‌شود که تابع مقاومت ذاتی<sup>۲</sup> ماده و کارایی آن در تماس با آب (WEE)<sup>۳</sup> است [۵]. برخلاف سایر روش‌های آزمایشگاهی و میدانی که نتایج دوام طبیعی به صورت نسبی یا به صورت رده‌بندی‌های مختلف در استاندارد EN 350 (۲۰۱۶) بر اساس میزان مقاومت چوب در برابر فعالیت یک عامل مخرب تعریف می‌-

و صیانت از جنگل‌ها محدودیت برداشت را به‌عنوان یک اقدام استراتژی و اصلاحی برای اطمینان از گسترش مزایای جنگل برای آیندگان در نظر گرفتند که به موجب آن برداشت چوب صرفاً از عملیات پرورشی و درختان شکسته و افتاده خواهد بود لذا حجم قابل برداشت از جنگل‌ها به شدت کاهش یافته و کشور به طور جدی با کمبود چوب مواجه خواهد شد. از این‌رو ارائه هر نوع راهکاری در کنار زراعت چوب که منتهی به جبران کاهش قطع درختان و تأمین نیاز روزافزون صنایع به چوب شود می‌تواند مؤثر واقع گردد. بنابراین مطالعه حاضر به دنبال ارائه راهکاری برای حفظ کیفیت درختان استحصال شده در شرایط دپو می‌باشد که به دلیل عدم مدیریت بهینه در امر بهره‌برداری و طولانی شدن روند قطع و تبدیل و خروج از عرصه جنگلی کیفیت اولیه خود را تحت تأثیر تخریب زیستی- فیزیکی از دست می‌دهند و دچار تغییرات در طیف وسیعی از خواص مکانیکی و فیزیکی خود می‌شوند [۴] در نتیجه تخریب زیستی- فیزیکی پایداری چوب در مقابل عوامل بیولوژیکی و محیطی کاهش می‌یابد. پایداری چوب به دوام طبیعی آن و انواع روش‌های حفاظت چوب بعد از برداشت درختان بستگی دارد [۵]. دوام طبیعی در گونه‌های مختلف یکسان نبوده و به علت عدم توجه و آگاهی بهره‌برداران از تفاوت آن در گونه‌های با ارزش صنعتی کشور ارزش اقتصادی سرمایه‌ای که در زمان طولانی حاصل شده در کوتاه‌ترین زمان ممکن از بین می‌رود و هزینه سنگینی هم به مجریان طرح‌ها به دلیل افت کیفیت چوب در محل دپو و هم به مصرف‌کنندگان محصولات چوبی به دلیل استفاده از محصولات چوبی کم‌دوام تحمیل می‌شود [۶]. دوام طبیعی به مقاومت ذاتی درختان در برابر عوامل مخرب غیرزنده و زنده اشاره دارد [۷] و تحت تأثیر عوامل متعددی مانند تفاوت ساختار آناتومی و شیمیایی گونه‌های چوبی در سنین مختلف، شرایط اقلیمی، مواد استخراجی<sup>۱</sup> و نوع ترکیبات آن [۶] و شرایط استفاده از فرآورده‌های

<sup>2</sup> Inherent durability

<sup>3</sup> Water Exclusion Efficacy

<sup>1</sup> Extractive materials

کارهای ساختمانی، نجاری و تراورس راه آهن است. مطالعات متعدد آزمایشگاهی و میدانی راش را در دسته کم‌دوام یا بی‌دوام طبقه‌بندی کرده‌اند [۱۷] و [۱۸] اما پژوهشی که دوام چوب راش تیمار نشده را بر اساس مدل مقاومت بررسی کرده باشد مشاهده نشد. بنابراین با توجه به اهمیت آگاهی مجریان بهره‌برداری، مهندسان و طراحان سازه‌های چوبی از مقوله دوام طبیعی در جهت استفاده اصولی و بهینه از منابع جنگلی پژوهش پیش‌رو سعی در بررسی دوام طبیعی چوب راش بر اساس مدل مقاومت دارد.

### مواد و روش‌ها

#### نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور انجام پژوهش، ۳ اصله درخت راش (F. orientalis) از جنگل آموزشی-پژوهشی خیرودکنار به طور تصادفی انتخاب شد و پس از قطع در ارتفاع برابر سینه و اطمینان از سلامت کامل دیسک‌هایی از آن تهیه و در هوای آزاد و زیر سایه به مدت سه ماه خشک شد. نمونه‌ها به دو بخش چوب درون و برون تقسیم شدند. نوئل (Picea abies) نیز به عنوان گونه‌ای که دوام طبیعی آن شناخته شده است به منظور مقایسه دوام طبیعی و تعیین پوسیدگی در آزمون‌های مربوطه مورد استفاده قرار گرفت.

#### آزمون‌های مورد استفاده به منظور تعیین دوام

##### ذاتی

##### آزمون دوام

دوام چوب درون و برون نمونه‌ها با توجه به استاندارد (۲۰۰۵) CEN/TS 15083-1 ارزیابی شد [۱۰]. قارچ‌های مورد استفاده در این تحقیق قارچ رنگین‌کمان (Trametes versicolor) و قارچ عامل پوسیدگی سفید (Hypoxylon fragiform) و قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای (Gloeophyllum trabeum) رشد کرده روی محیط کشت آگار بودند. نمونه استاندارد (مرجع) نیز کاج نوئل (P. abies) بود. پیش از آزمون وزن خشک شده اولیه نمونه‌ها در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. همه نمونه‌ها قبل از مجاورت با قارچ‌ها با استفاده از اتوکلاو

شود [۹]. در این مدل دوام بر حسب تعداد روزهایی که یک درخت قطع شده یا یک فرآورده چوبی بدون هیچگونه تیماری و تنها با استفاده از مقاومت ذاتی قادر است در برابر پوسیدگی مقاومت کند تعیین می‌گردد. برای اولین بار Brischke و همکاران (۲۰۱۷) از این مدل به منظور پیش‌بینی دوام طبیعی چوب‌های تیمار نشده استفاده کردند و دوام طبیعی و تغییرات رطوبت ۴ گونه درختی ارس (Juniperus communis)، سرخدار (Taxus baccata)، آلبالو (Prunus serotina)، تیس (Sorbus aucuparia) را مورد بررسی قرار دادند. بر این اساس علائم اولیه پوسیدگی ارس و سرخدار به ترتیب پس از ۱۵۴۲ و ۱۶۷۵ روز، آلبالو و تیس پس از ۶۹۶ و ۳۷۳ روز مشاهده شد و دو گونه اول در طبقه خیلی بادوام و دو گونه بعدی در طبقه کم‌دوام قرار گرفتند [۱۵]. Angelis و همکاران (۲۰۱۸) ترکیب مقاومت کاج (Pinus pinea) را در مقابل پوسیدگی قارچی و رطوبت مورد بررسی قرار دادند. نتایج، چوب برون کاج را با ۳۰۶ روز و چوب درون آن را با ۴۶۴۸ روز مقاومت در برابر پوسیدگی به ترتیب در طبقه ۵ و ۲ دوام قرار داد [۱۶]. آگاهی از دوام طبیعی درختان نه تنها از اتلاف حجم زیادی از چوب در جنگل و مراکز مصرف نهایی جلوگیری می‌کند بلکه می‌تواند با تدوین برنامه زمانی مدونی برای خروج به موقع درختان قطع شده از جنگل به مراکز مصرف در کشورمانند ایران که به دلیل محدودیت برداشت با کمبود جدی چوب مواجه است هم کمک شایانی کند و از کاربرد مواد حفاظتی که استفاده از آن‌ها با توجه به دوام طبیعی درختان ضرورتی ندارد اجتناب نموده و یا از مواد حفاظتی کم‌خطر و دوست‌دار محیط‌زیست استفاده کنند. از این‌رو مطالعه حاضر به دنبال بررسی دوام طبیعی چوب راش (Fagus orientalis) به عنوان یکی از با ارزش‌ترین گونه‌های تجاری جنگل‌های هیرکانی می‌باشد. راش حدود ۳۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۲۳ درصد از کل تعداد درختان جنگل‌های شمال کشور را به خود اختصاص داده است و از نظر طبقه‌بندی جزء پهن-برگان مناسب مصارف روکش، درب و پنجره‌سازی،

خاک از روی نمونه‌ها حذف شده با تقریب ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. کاهش وزن با توجه به رابطه ۲ محاسبه شد؛

$$MLF = \frac{m_0 - m_{dmc}}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

MLF: کاهش وزن ناشی از پوسیدگی قارچی (./)، m0: وزن آون خشک شده قبل از مجاورت با قارچ (گرم)، m0, inc: وزن آون خشک شده بعد از مجاورت با قارچ (گرم).

### برآورد دوام

دوام بصورت نسبت میانه MLF چوب راش (F. orientalis) به میانه MLF چوب نوئل (P. abies) با توجه به رابطه ۳ محاسبه شد [۱۹]؛

$$X = \frac{MLF_{F.orientalis} / m_{0,F.orientalis}}{MLF_{P.abies} / m_{0,P.abies}} \quad (3)$$

MLF, MED, TESTED TIMBER: میانه کاهش وزن نمونه‌های آزمونی (./)، MLF, MED, reference: میانه کاهش وزن نمونه‌های مرجع (./). طبقه بندی دوام (DC) یا از طریق محاسبه میانه MLF یا از طریق محاسبه X-Values و با توجه به ترتیب نشان داده شده در جدول ۱ به دست آمد.

استریل شد و در برابر میسیلیوم‌های قارچی در پتری دیش به مدت ۱۶ هفته در دمای ۲۲±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۷ قرار گرفتند. پس از آزمون، میسیلیوم‌ها از روی نمونه‌ها حذف شده و وزن نهایی نمونه‌ها بعد از خشک شدن در آون با دمای ۲±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد سپس درصد کاهش وزن نمونه‌ها بر مبنای وزن خشک قبل از آزمون قارچ، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد؛

$$MLF = \frac{m_0 - m_{dmc}}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

MLF: درصد کاهش وزن ناشی از پوسیدگی قارچی (./)، m0: وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ (گرم)، m0, inc: وزن خشک بعد از مجاورت با قارچ (گرم).

### آزمون پوسیدگی نرم

بررسی مقاومت نمونه‌ها در برابر پوسیدگی نرم با توجه به استاندارد (۲۰۰۵) CEN/TS 15083-2 انجام شد [۱۹]. بدین‌منظور نمونه‌های راش (F. orientalis) و نوئل (P. abies) در معرض میکروارگانیزم‌های خاکزی قرار داده شد. نمونه‌ها تا ۴/۵ (چهار پنجم) ارتفاعشان در ظروف پر از خاک کمپوست استریل نشده در دمای ۲۷±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۷ به مدت ۱۶ هفته قرار گرفتند. پس از آزمون، میسیلیوم‌ها و ذرات

جدول ۱- طبقه‌بندی دوام (DC) بر اساس میانه کاهش وزن MLF, med، میانگین نسبی MLF, mean

طبقه‌های دوام	توصیف	MLF, med [%]	X- Value based on MLF, mean	X- Value based on MLF, med
۱	خیلی بادوام	< ۵	x < ۰/۱۵	x < ۰/۱
۲	بادوام	۵ < MLF < ۱۰	۰/۱۵ < x < ۰/۳	۰/۱ < x < ۰/۲
۳	دوام متوسط	۱۰ < MLF < ۱۵	۰/۳ < x < ۰/۶	۰/۲ < x < ۰/۴۵
۴	کم دوام	۱۵ < MLF < ۳۰	۰/۶ < x < ۰/۹	۰/۴۵ < x < ۰/۸
۵	بی دوام	> ۳۰	x > ۰/۹	x > ۰/۸

### آزمون‌های مورد استفاده به منظور تعیین قابلیت ترشوندگی

#### آزمون جذب طولانی مدت آب

بررسی جذب طولانی مدت آب بر اساس استاندارد (۱۹۹۴) CEN انجام شد [۲۰]. قبل از آزمون نمونه‌ها در در آون با دمای ۲±۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا پس از رسیدن به ثبات، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شود. پس از اندازه‌گیری وزن، نمونه‌ها همراه با وزنه‌هایی در شیشه قرار داده شدند تا شناور نشوند. وزن نمونه‌ها بعد از گذشت ۱ و ۲۴ ساعت از غوطه‌وری اندازه‌گیری شد و محتوای رطوبت آن‌ها با توجه به رابطه‌های ۴ و ۵ اندازه‌گیری شد؛

شود که توسط میانگین روزانه دما و میزان رطوبت اندازه-گیری می‌شود. خصوصیات مواد هم تحت عنوان دوز مقاومت (DRd) Resistance dose بیان می‌شود. واحد دوز در اپتیمم شرایط رطوبت و دما برای پوسیدگی قارچی زمان است [۲۳].

$$DEd \leq DRd \quad (۸)$$

دوز مقاومت  $\leq$  دوز مواجهه‌گر

DEd: دوز مواجهه‌گر، DRd: دوز مقاومت

دوز مواجهه‌گر (DEd) به دوز سالانه در یک موقعیت جغرافیایی خاص و فاکتورهای متعددی مانند بارندگی، اقلیم، فاصله تا زمین و طراحی سازه بستگی دارد. جزئیات توسعه مدل مواجهه‌گر توسط Isaksson و همکاران (۲۰۱۴) توصیف شده است [۲۲]. مطالعه حاضر بر نقطه مقابل دوز مواجهه‌گر یعنی دوز مقاومت متمرکز است. دوز مقاومت توسط ۲ فاکتور قابلیت ترشوندگی (Kwa) دوام ذاتی (Kinh) و دوز بحرانی (Dcrit) طبق رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$DRd = Dcrit \times Kwa \times Kinh \quad (۹)$$

Dcrit: محاسبه دوز بحرانی با توجه به استاندارد EN 252 (۲۰۱۵) انجام شده که برابر با درجه پوسیدگی ۱ (پوسیدگی خیلی کم) می‌باشد [۱۱]. به‌منظور محاسبه این دوز از کاج نوئل (P. abies) استفاده شد به‌طوری‌که این گونه در شرایط بهینه مقاومت به پوسیدگی قارچی قرار داده شد و تعداد روزهایی که بدون پوسیدگی قارچی بود ۳۲۵ روز محاسبه شد [۲۲]. Kwa: فاکتوری است که با توجه به قابلیت ترشوندگی نمونه‌های آزمون نسبت به گونه استاندارد نوئل حاصل می‌شود، Kinh: فاکتوری است که برای محاسبه دوام ذاتی نمونه‌های آزمون در برابر پوسیدگی نسبت به گونه نوئل استفاده می‌شود [۱۲].

## نتایج و بحث

همانطور که در شکل ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است. چوب برون راش علاوه بر دارا بودن بالاترین رقم

MC: آب جذب شده در مدت ۱ و ۲۴ ساعت پس از غوطه‌وری (./)، 24 h, 1h: m1 وزن پس از ۱ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری (گرم)، m0: وزن آون خشک شده (گرم).

$$MC_{after 1h} = \frac{m_{after 1h} - m_0}{m_0} \times 100 \quad (۴)$$

$$MC_{after 24h} = \frac{m_{after 24h} - m_0}{m_0} \times 100 \quad (۵)$$

## آزمون جذب آب (آزمون جذب کوتاه مدت)

بررسی جذب کوتاه مدت آب با توجه به استاندارد EN 1609 (۱۹۹۷) انجام شد [۲۱]. نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۵ درصد قرار گرفتند تا به ثبات وزنی برسند. نمونه‌ها به‌طور مداوم هر ۲ ثانیه یکبار و به مدت ۲۰۰ ثانیه در تماس با آب وزن شدند. جذب موئینه آب به صورت گرم بر سانتی‌مترمربع توسط رابطه ۶ محاسبه شد:

$$CWU = \frac{(m_{200s} - m_{crit})}{A} \quad (۶)$$

CWU: جذب موئینه آب در مدت ۲۰۰ ثانیه (گرم بر سانتی‌متر مربع)، m200s: وزن بعد از ۲۰۰ ثانیه تماس با آب (گرم)، m65%: وزن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد (گرم)، A: سطح مقطع نمونه‌ها (سانتی‌مترمربع).

## کمی کردن دوز مقاومت

به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گونه‌های مورد مطالعه در شرایط میدانی یا مصارف بیرون از ساختمان از مدلی که توسط Meyer- Veltrup و همکاران (۲۰۱۷) و Isaksson و همکاران (۲۰۱۴) توسعه یافته است استفاده شد [۲۲] و [۵]. این مدل از یکسو عوامل اقلیمی و از سوی دیگر مقاومت ذاتی مواد را توصیف می‌کند. شرط مورد پذیرش در این مدل به صورت رابطه ۷ قابل بیان است.

$$\text{مقاومت} \leq \text{مواجهه‌گر} \quad (۷)$$

$$Exposure \leq Resistance$$

به این معنی که مقدار مقاومت مواد باید بزرگتر یا مساوی مواجهه‌گر باشد. مواجهه‌گر (Exposure) تحت عنوان دوز مواجهه‌گر (DEd) Exposure dose بیان می‌-

<sup>4</sup> Wetting ability

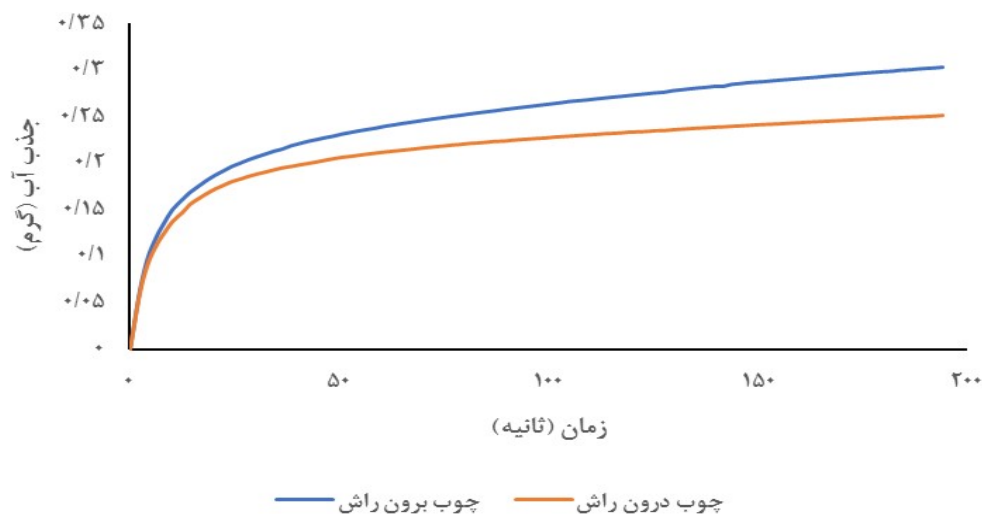
<sup>5</sup> Inherent resistance

استخراجی پایین همچون راش را پیش‌بینی می‌کند شناخته شده است. یکی از شاخص‌های آن جذب مؤئینه آب (CWU) است که فقط در سطوح محوری چوب که معمولاً به عنوان نقطه ضعف و جهت‌های اصلی نفوذ آب و هجوم قارچ‌ها هستند اندازه‌گیری می‌شود [۲۴]. همانطور که نتایج جدول ۲ نشان داد بالاترین مقادیر این شاخص به چوب برون راش (۰/۶۱۱) به دلیل اتصال متقابل بهتر مایعات به سلول‌های چوبی تعلق دارد. در جذب طولانی مدت عملکرد چوب درون راش بهتر از چوب برون و نوئل بود. نفوذپذیری بیشتر چوب برون راش در آزمون‌های جذب بلند مدت آب را می‌توان به این دلیل نسبت داد که نمونه‌ها قبل از آزمون در آون خشک شده بودند. Angelis و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که نمونه‌هایی که در آون خشک نشده بودند WEE بهتری نسبت به نمونه‌های خشک شده داشتند [۱۶].

میانگین ثبت شده (۰/۳۰۴ گرم بر سانتی‌متر مربع) بالاترین میانگین جذب مؤئینه آب (۰/۶۱۱ گرم بر سانتی-متر مربع) را هم به خود اختصاص داده است. به منظور بررسی جذب طولانی‌مدت آب، نمونه‌ها به مدت ۱ و ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند و درصد رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری شد. جذب آب چوب برون و چوب درون راش پس از ۱ ساعت به ترتیب ۱۹ و ۱۸/۹ درصد به دست آمد. این رقم پس از ۲۴ ساعت در چوب برون به ۴۵/۴ و در چوب درون به ۴۰/۹ درصد رسید (جدول ۲). مقدار رطوبت چوب اغلب به عنوان یک متغیر ورودی به منظور مدل‌سازی شرایط مصرف و در نتیجه تعیین میزان خطر پوسیدگی قارچی به کار می‌رود. در این مطالعه بالاترین مقادیر جذب کوتاه و بلند مدت آب به ترتیب در چوب برون سپس چوب درون راش مشاهده شد. (WEE) به عنوان متغیری که عملکرد گونه‌های چوبی با مواد

جدول ۲. جذب کوتاه و طولانی مدت آب

جذب بلندمدت آب		جذب کوتاه مدت آب		جذب مؤئینگی آب (g/cm <sup>2</sup> )		گونه چوبی
رطوبت بعد از ۲۴ ساعت (%)	میانگین	رطوبت بعد از ۱ ساعت (%)	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۳/۶	۴۰/۹	۱/۶	۱۸/۹	۰/۰۴۵	۰/۵۰۴	چوب درون راش
۲/۷	۴۵/۴	۲/۱	۱۹	۰/۰۵۳	۰/۶۱۱	چوب برون راش
۴/۱	۶۱/۶	۳۱/۹	۳۱/۹	۰/۰۴۱	۰/۵۴۷	نوئل



شکل ۱- نمودار جذب مؤئینه آب توسط تنسیومتر در مدت ۲۰۰ ثانیه

۲۰۸٪ درصد را ثبت کردند. در کنار قارچ‌های مخرب چوب میکروارگانیزم‌های خاکزی (TMC) با ۴۳/۵ درصد کاهش وزن، رقم قابل ملاحظه‌ای به خود اختصاص دادند.

مقادیر ثبت شده درصد رطوبت (MC%) چوب درون و برون در مجاورت همه قارچ‌ها رقمی بالاتر از ۳۰ درصد را به خود اختصاص داد. در این مورد هم چوب برون و قارچ رنگین کمان *T. versicolor* بیشترین درصد رطوبت یعنی

جدول ۳. دوام راش پس از مجاورت با قارچ‌های پوسیدگی

پوسیدگی نرم			قارچ‌های پوسیدگی									
TMC			G. trabeum			T. versicolor			H. fragiform			
MC (%)	انحراف معیار	میانگین	MC (%)	انحراف معیار	میانگین	MC (%)	انحراف معیار	میانگین	MC (%)	انحراف معیار	میانگین	گونه چوبی
۱۳۹	۷/۹	۴۳/۵	۱۰۵	۲/۷	۳۵/۸	۱۶۲	۹/۱	۵۴/۲	۱۱۶	۴/۱	۲۶/۴	چوب درون راش
۱۳۹	۷/۹	۴۳/۵	۱۱۱	۷/۶	۳۱/۲	۲۰۸	۷/۷	۶۱/۱	۱۱۱	۳/۲	۲۶/۹	چوب برون راش
۵۷/۷	۱۶/۷	۳۵/۴	۴۶	۷/۹	۳۴/۱	۴۰	۴/۱	۲۳/۸	۴/۶	۴/۶	۲۳/۷	نوئل

برون و درون راش را پس از مجاورت با قارچ *G. trabeum* در دسته کم‌دوام تا بی‌دوام (DC 4-5) قرار داد. مقادیر کاهش وزن در پوسیدگی نرم نیز چوب درون و برون راش را در دسته بی‌دوام قرار داد (DC 5). بر اساس روابط شماره ۹ و پس از محاسبه فاکتورهای مقاومت ذاتی (Kinh) و عملکرد آب (Kwa) دوز مقاومت (DRd) محاسبه شد. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود اولین نشانه‌های پوسیدگی قارچی چوب درون و برون راش به ترتیب پس از گذشت ۳۱۲ و ۲۹۴ روز مشاهده شد.

جدول ۴. کلاسه‌بندی دوام راش

TMC		G. trabeum		T. versicolor		fragiform H.		گونه چوبی
x-value MLF, mean	x-value MLF, mean	MLF, med	x-value MLF, mean	MLF, med	x-value MLF, mean	MLF, med		
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۴	درون چوب راش	
۵	۴	۵	۵	۵	۵	۴	چوب برون راش	
۵	۵	۵	۵	۴	۵	۴	نوئل	

جدول ۵. فاکتورهای محاسبه‌کننده قابلیت ترشوندگی (Kwa) و خواص مقاومت ذاتی مواد (Kinh)

DRd rel	DRd	Kinh	Kwa	
۰/۹۶۱	۳۱۲	۰/۸۶۶	۱/۱۰۹	چوب درون راش
۰/۹۰۳	۲۹۴	۰/۸۶۷	۱/۰۸۴	چوب برون راش
۱	۳۲۵	۱	۱	نوئل

[۲۶]. *T. versicolor* با دامنه میزبانی وسیع به طور کامل پارانشیم سلولی، سلولز و لیگنین را تخریب کرده و پوسیدگی سفید ایجاد می‌کند. Olfat و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که چوب برون و چوب درون راش دارای مقاومت کمی در مقابل قارچ پوسیدگی سفید بود به طوریکه پس از ۱۶ هفته مجاورت ۴۷/۵ درصد کاهش وزن مشاهده شد [۱۷]. با استفاده از *Kwa* به عنوان فاکتور توصیف کننده رفتار چوب در مدت زمان بارش و *Kinh* به عنوان فاکتور دیگری که عملکرد گونه‌های چوبی در مواجهه با قارچ‌های عامل پوسیدگی را توصیف می‌کند دوز مقاومت DRd محاسبه شد. برخلاف روش‌های آزمایشگاهی که دوام طبیعی به صورت توصیفی بیان می‌شود یا روش‌های میدانی بدون تماس با خاک که به دلیل زمان‌بر بودن و تعداد محدود آن‌ها اطلاعات کافی از دوام طبیعی گونه‌ها در اختیار قرار نمی‌دهد، این مدل قادر به بیان عددی عمر مفید چوب‌آلات تیمار نشده در شرایط بدون تماس با خاک در کوتاه‌ترین زمان ممکن است که هم در میزان هزینه‌ها و هم زمان به مقدار زیادی صرف‌جویی می‌کند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده چوب راش در دسته کم‌دوام تا بی‌دوام (DC 4-5) قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل مقاومت نشان داد که عمر نسبی چوب راش ( $D_{Rdrel} = 0.0 - 90.3/961$ ) در شرایط سرویس تقریباً نزدیک به نوئل (1) است بنابراین با توجه به نتایج موجود می‌توان به بهره‌برداران بازه زمانی ۳۱۲-۲۹۴ روز پیشنهاد داد که اقدام به خروج چوب راش از جنگل کنند و چنانچه در این بازه موفق به خروج چوب راش از جنگل نشدند اقدامات محافظتی به منظور حفظ کیفیت چوب را انجام دهند.

علاوه بر خشک کردن نمونه‌ها در آون با دمای بالا هجوم قارچ‌های پوسیدگی به منابع غذایی در دسترس همچون کربوهیدرات‌های محلول نیز سبب افت دوام چوب خواهد شد. چوب برون و درون راش در مواجهه با قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید نسبت به نوئل مقاومت کمتری از خود نشان دادند این مقاومت در چوب درون کمی بیشتر از چوب برون بود. Malekani و همکاران علت مقاومت بیشتر چوب درون را به ترکیبات استخراجی آن نسبت داد [۱۸]. مواد استخراجی ممکن است نقش بازدارنده در ورود رطوبت به چوب را داشته باشند در نتیجه به عنوان عوامل طبیعی حفاظت کننده جهت جلوگیری از تخریب چوب به وسیله میکروارگانیسم‌ها به شمار می‌آیند. پس از ۱۶ هفته مجاورت با قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید کاهش وزن چوب نوئل نسبت به راش کمتر بود چرا که قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید، گونه‌های چوبی پهن‌برگ را به عنوان منبع غذایی با مقدار لیگنین کمتر به چوب سوزنی‌برگان ترجیح می‌دهند، در حالیکه پوسیدگی قهوه‌ای در چوب سوزنی‌برگان شایع‌تر است. دلایل زیادی برای این موضوع گفته شده است، اما اغلب تغییر ترکیب شیمیایی چوب از قبیل لیگنین و همی‌سلولز متفاوت و همچنین تفاوت در ترکیب مواد استخراجی عامل اصلی این رفتار دانسته شده است [۲۵]. در این مطالعه درصد رطوبت چوب درون و برون راش پس از هجوم قارچ‌ها به بیش از ۳۰ درصد رسید و بالاترین درصد رطوبت چوب برون (۲۰۸ درصد) وقتی مشاهده شد که مورد هجوم قارچ *T. versicolor* قرار گرفته بود. محتوای رطوبتی بالا را می‌توان به روند دپلمرازیسون (وابسپارش) ترکیبات دیواره سلولی توسط قارچ‌ها، تخریب حفرات و باز شدن خلل و فرج در دیواره سلولی مرتبط دانست. Bari و همکاران (۲۰۱۵) قارچ‌های پوسیدگی سفید به ویژه *T. versicolor* را با بیش از ۹۰ درصد از تخریب گونه‌های پهن‌برگ به عنوان مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های مخرب چوب پهن‌برگان معرفی کردند

## منابع

- [1] Marvie Mohadjer, M. R., 2006. *Silviculture*. University of Tehran Press. 387p. (In Persian).
- [2] Jourgholami, M., 2017. Effects of protection treatments on preventing log checking (case study: Kheyroud forest). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(2), 309-321. (In Persian).
- [3] Sarikhani, N., 2009. *Forest utilization*. University of Tehran Press. 3th edition. 728p. (In Persian).
- [4] Zabel, R. a. and Morrell, J. J., 1992. *Wood microbiology, Decay and its prevention*. Academic Press, Inc.; New York. 476 p.
- [5] Meyer, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P.O., Isaksson, T., Larsson Brelid, P., Westin, M. and Jermer, J., 2017. The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood – Development and verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology*, 51(3), 615–637.
- [6] Taylor, A. M., Gartner, B. L. and Morrell, J. J., 2007. Heartwood formation and natural durability a review. *Wood and Fiber Science*, 34(4), 587-611.
- [7] Reinprecht, L., 2016. *Wood Deterioration, protection and maintenance*, John Wiley and Sons. 337p.
- [8] Van Acker, J., Stevens, M., Carey, J., Sierra-Alvarez, R., Miltitz, H., Le Bayon, I., Kleist, G. and Peek, R. D., 2003. Biological durability of wood in relation to end-use. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61(1), 35-45.
- [9] EN 350, 2016. *Durability of Wood and Wood- Based Products Testing and Classification of the Resistance to Biological Agents, the Permeability to Water and the Performance of Wood and Wood-Based Materials* (Brussels: CEN (European Committee for Standardization)).
- [10] CEN/TS 15083-1, 2005. *Durability of Wood and Wood-Based Products Determination of the Natural Durability of Solid Wood Against Wood- Destroying Fungi, Test Methods Part 1: Basidiomycetes* (Brussels: CEN (European Committee for Standardization)).
- [11] EN 252, 2015. *Field Test Method for Determining the Relative Protective Effectiveness of a Wood Preservative in Ground Contact* (Brussels: CEN (European Committee for Standardization)).
- [12] Brischke, C., Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flæte, PO. and Larsson Brelid, P., 2013. Natural durability of timber exposed above ground—a survey. *Drvna Industrija*, 64, 113–129.
- [13] Kutnik, M., Suttie, E. and Brischke, C., 2014. European standards on durability and performance of wood and wood-based products— Trends and challenges. *Wood Mat Sci Eng*, 9(3), 122–133.
- [14] Brischke, C., Welzbacher, CR., Meyer, L., Bornemann, T., Larsson-Brelid, P., Pilgárd, A., Fruhwald Hansson, E., Westin, M., Rapp, AO., Thelandersson, S. and Jermer, J., 2011. Service life prediction of wooden components—Part 3: approaching a comprehensive test methodology. *The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 11-20464*.
- [15] Brischke, C., Hesse, C., Meyer-Veltrup, L. and Humar, M., 2017. Studies on the material resistance and moisture dynamics of Common juniper, English yew, Black cherry, and Rowan. *Wood Material Science & Engineering*, 13(4), 222-230.
- [16] Angelis, M., Humar, M., Romagnolia, M., Vekb, V., Poljanšekb, I., Ovenb, P., Thalerb, N., Lesarb, B. and Kržišnikb, D., 2018. Chemical composition and resistance of Italian stone pine (*Pinus pinea* L.) wood against fungal decay and wetting. *Industrial Crops and Products*, 117, 187–196.
- [17] Olfat, A. M., 2014. Natural durability ratings in *Fagus orientalis* degraded by wood-rotting Basidiomycetes, *Coriolus versicolor*. *Adv. in Environ. Biol*, 8(4), 985-989.

- [18] Malakani, M., Khademieslam, H., Hosseinihashemi, SK. and Zeinaly, F., 2014. Influence of fungal decay on chemi-mechanical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). *Cellulose Chem Technol*, 48(1-2), 97-103. (In Persian).
- [19] CEN/TS 15083-2, (2005). Durability of Wood and Wood-Based Products – Determination of the Natural Durability of Solid Wood Against Wood Destroying Fungi, Test Methods – Part 2: Soft Rotting Micro-Fungi (Brussels: CEN (European Committee for Standardization)).
- [20] CEN, 1994. ENV 1250-2 Wood Preservatives Methods for Measuring Losses of Active Ingredients and Other Preservative Ingredients from Treated Timber Part 2: Laboratory Method for Obtaining Samples for Analysis to Measure Losses by Leaching into Water or Synthetic Sea Water. CEN (European Committee for Standardization), Brussels.
- [21] EN 1609, 1997. Thermal insulating products for building applications—determination of short term water absorption by partial immersion. CEN (European committee for standardization), Brussels
- [22] Issaksson, T., Thelandrsson, S., Jemer, J. and Brischke, C., 2014. Beständighet för utomhusträ ovan mark. Guide för utformning och materialval. Rapport TVBK-3066. Lund University, Division of Structural Engineering, Lund, Sweden.
- [23] Isaksson, T., Brischke, C. and Thelandrsson, S., 2013. Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures*, 46(7), 1209–1225.
- [24] Zlathtic Z, M. and Humar, M., 2016. Influence of Artificial and Natural Weathering on Hydrophobicity and Surface Properties of Wood "Wood weathering," *BioResources*, 11(2), 4964-4989.
- [25] Schmidt, O. (2006). Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use. Springer Science and Business Media. 334p.
- [26] Bari, E., Schmidt, O. and Oladi, R., 2015. A histological investigation of Oriental beech wood decayed by *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor*. *Forest Pathol*, 45(5), 349-357.

## Investigation of the Natural Durability of Beech Wood by Meyer-Veltrup Model

### Abstract

Assessing the natural durability of wood species is of paramount importance, and Iran is no exception due to its rich diversity of valuable commercial timbers. Traditionally, wood durability is evaluated in laboratory and field studies by measuring decay resistance according to EN 113 and EN 252 standards. However, a novel methodology titled "resistance model" has been proposed by Meyer-Veltrup *et al.* to enhance the accuracy of natural durability estimation, applicable to environments without direct soil contact. This model employs two key factors: inherent decay resistance and wetting capacity. *Fagus orientalis*, a prominent commercial species, was selected for this study to investigate its natural durability. The results revealed that *F. orientalis* heartwood and sapwood are moderately durable and non-durable (DC grades 4-5), respectively. Water immersion tests after 1 and 24 hours exhibited the highest values for sapwood, followed by heartwood. The ML<sub>F</sub> (mass loss) index analysis attributed 61% of sapwood decay to the white fungus (*Trametes versicolor*), while the lowest ML<sub>F</sub> was caused by both sapwood and heartwood, primarily attributed to *Hypoxylon fragiforme*. Terrestrial organisms (TMC) were identified as the primary agents of decay, contributing to 43.5% of the ML<sub>F</sub> on beech wood. The resistance model indicated that the earliest signs of decay were detected after 312 and 294 days.

**Keywords:** Wetting ability, inherent resistance, *Fagus orientalis*, resistance model.

**Z. Moradi**<sup>1</sup>  
**M. Ghodskhah Daryaei**<sup>2\*</sup>  
**M. Humar**<sup>3</sup>  
**M. Bahmani**<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Ph.D, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran.

<sup>3</sup> Professor, Department of wood Science, Biotechnical Faculty, University of Ljubjana, Slovenia.

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Wood and Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran.

Corresponding author:  
[mghods@guilan.ac.ir](mailto:mghods@guilan.ac.ir)  
[mohsen.bahmani@sku.ac.ir](mailto:mohsen.bahmani@sku.ac.ir)

Received: 2023/11/22  
Accepted: 2023/11/27