

## پویایی پوسیدگی خشکه‌دارهای راش و ممرز در یک جنگل آمیخته راش

فاطمه علی‌دادی<sup>۱</sup>، محمدرضا مروی‌مهاجر<sup>۲</sup>، وحید اعتماد<sup>۳</sup> و کیومرث سفیدی<sup>۴\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴\* - نویسنده مسئول، استادیار دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پست الکترونیک: kiomarssefidi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۵/۰۴

### چکیده

در دهه‌های اخیر پویایی خشکه‌دارها و زمان پوسیدگی کامل درختان جنگلی باتوجه به نقش آنها در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی و پدیده ترسیب کربن، مورد توجه اکولوژیست‌ها و جنگل‌شناسان قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی روند پوسیدگی در خشکه‌دارهای راش و ممرز در جنگل خیرود نوشهر انجام شد. تعداد ۷۲ خشکه‌دار (کنده) راش و ممرز به‌طور تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به گونه، قطر، درجه پوسیدگی و شیب منطقه برای هر نمونه ثبت شد. به‌منظور تعیین دانسیته (چگالی) چوب، برش قطاع مکعبی شکل با طول و عرض و ارتفاع پنج سانتی‌متر در دو جهت عمود بر هم از مقطع عرضی هر نمونه برداشت شد. نتایج نشان داد زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ از جرم خشکه‌دار راش و ممرز در طبیعت به‌ترتیب ۳۰ و ۱۶ سال است. مجموع زمان موردنیاز برای پوسیدگی تمام مراحل پوسیدگی براساس چهار درجه پوسیدگی در خشکه‌دار راش و ممرز به‌ترتیب ۲۷ و ۲۱ سال محاسبه شد. همچنین مشخص شد که رابطه قوی بین دانسیته و درجه پوسیدگی خشکه‌دارهای راش و ممرز وجود دارد ( $R^2 = 0/8$ )، به‌طوری‌که دانسیته چوب با افزایش درجه پوسیدگی خشکه‌دار در هر دو گونه کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خشکه‌دار، درجه پوسیدگی، راش شرقی، زمان پوسیدگی، ممرز.

### مقدمه

جنگلی محسوب می‌شوند و به یک جزء جدانشدنی در مدیریت جنگل تبدیل شده‌اند. درحقیقت کاهش منابع طبیعی قابل دسترس و مطرح شدن مسائلی مانند حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست، جنگل‌شناسان را به یک تغییر نگرش کلی در مورد جنگل‌ها واداشته که از آن تحت‌عنوان جنگل‌شناسی همگام با طبیعت یاد می‌شود (Sefidi et al., 2008). در جنگل‌شناسی همگام با طبیعت مواردی مانند حفظ تنوع زیستی و حفاظت از جنگل‌ها به‌عنوان ذخیره

تا دهه‌های اخیر خشکه‌دارها به‌عنوان یک عنصر منفی در اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شدند که Stachura و همکاران (۲۰۰۷) این دیدگاه را نشان سوء مدیریت، غفلت و اسراف در جنگل می‌دانند. خوشبختانه در دهه اخیر مفهوم خشکه‌دار به‌تدریج با تحقیقاتی که دانشمندان درمورد عملکرد آنها در جنگل انجام دادند، تغییر یافت. امروزه خشکه‌دارها به‌عنوان یک عنصر مهم در اکوسیستم‌های

خشک‌سازهای راش و ممرز در توده آمیخته راش نشان داد درجه پوسیدگی و اندازه (قطر) خشک‌سازها مهم‌ترین عامل‌های اثرگذار در تبدیل خشک‌سازهای سرپا به افتاده می‌باشند (Sefidi & Marvie Mohadjer, 2010). یکی از سوالاتی که همواره جنگل‌شناسان و اکولوژیست‌ها به دنبال یافتن پاسخ مناسب برای آن هستند، مدت زمان ماندن خشک‌سازها و یا زمان لازم برای پوسیدگی کامل و بازگشت مواد به خاک است. Mackensen و Bauhus (۲۰۰۳) در مورد نرخ پوسیدگی با روش از دست دادن دانسیته در خشک‌سازهای *Pinus radiata* و *Eucalyptus regnans* و *E. maculate* پژوهشی انجام دادند و زمان لازم برای از دست دادن ۹۵٪ از مواد خشک‌ساز را از طریق کاهش دانسیته، ۲۴ سال برای *P. radiata*، ۴۳ سال برای *E. regnans* و ۶۲ سال برای *E. maculate* به دست آوردند. Eaton و Lawrence (۲۰۰۶) با بررسی تغییرات دانسیته در چوب درختان، میانگین ثابت نرخ تجزیه را ۰/۲۷۸ در جنگل‌های جنوب مکزیک ثبت کردند. در مقایسه نرخ تجزیه از طریق کاهش دانسیته برای کنده و تنه الگوی مشابهی برای تغییرات دانسیته تنه و کنده درخت در طول فرآیند پوسیدگی مشاهده شد، با این تفاوت که دامنه از دست دادن دانسیته با افزایش درجه پوسیدگی کاهش یافت (Tobin et al., 2006).

Müller و Bartsch (۲۰۰۹) در جنگل‌های آمیخته راش در کشور آلمان روند پوسیدگی خشک‌سازهای راش را بررسی کردند که در نتیجه مشخص شد پوسیدگی کامل یک خشک‌ساز ۳۵ سال به طول می‌انجامد. Fasth و همکاران (۲۰۱۱) در جنگل‌های پهن‌برگ بلوط در کارولینای شمالی پوسیدگی خشک‌سازها را بررسی کردند و نشان دادند که بیشترین میزان پوسیدگی در سال‌های ابتدایی رخ می‌دهد. Garrett و همکاران (۲۰۱۲) در مورد نرخ تجزیه ریشه و شاخه‌ها در یک توده جنگل‌کاری شده *Pinus radiata* در نیوزلند مطالعه کردند. نتایج تحقیق آنها نیز کاهش دانسیته ریشه و شاخه‌ها را با افزایش زمان پوسیدگی تأیید کرد. آنها زمان لازم برای پوسیدگی کامل حدود ۹۵٪ از درخت (T95)

ژنتیکی و نیز گونه‌های در خطر انقراض اهمیت دارد. از این دیدگاه خشک‌سازها نیز در این شیوه‌های مدیریتی جایگاه خاصی دارند و اغلب برای حفاظت از تنوع زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی یکی از مهم‌ترین شیوه‌ها، نگهداری خشک‌سازها به عنوان زیستگاه می‌باشد (Sefidi & Marvie Mohadjer, 2010; Sefidi et al., 2013). با پایان عمر فیزیولوژیک درخت، وظایف اکولوژیکی درخت در اکوسیستم ادامه می‌یابد و نقش‌های مهم‌تری توسط خشک‌ساز در اکوسیستم دنبال می‌شود. در دهه‌های اخیر نقش خشک‌سازها در فعالیت اکولوژیکی و تنوع زیستی و فرآیندهایی مثل جریان انرژی و چرخه کربن شناخته شده است. نگهداری خشک‌سازها در اکوسیستم‌های جنگلی دارای مزایایی مانند افزایش قدرت جوانه‌زنی بذرهای درختان جنگلی (Kennedy & Quinn, 2001)، مکانی مناسب برای آشیانه‌گزینی و زیستگاه پرندگان (Davis, 1983) و حیات وحش (Harmon et al., 1986) است. علاوه بر این خشک‌سازها باعث بهبود حاصلخیزی خاک‌های جنگلی، حفظ سلامت اکوسیستم‌های جنگلی (Marvie Mohadjer, 2011) می‌شوند و نقش اصلی در چرخه‌های مواد غذایی به ویژه چرخه کربن (Santiago & Amanda, 2005)، تأثیر مستقیم بر شیمی خاک (Kappes et al., 2007) دارند. افزایش تنوع زیستی و غنای گونه‌ای گیاهی و جانوری در اکوسیستم‌های جنگلی (Harmon et al., 1987)، تسریع افزایش زادآوری گونه‌های گیاهی از طریق ایجاد بستر بذر (Yan et al., 2007) از سایر نقش‌های خشک‌سازها هستند. خشک‌سازها همچنین اهمیت زیادی در ذخیره مواد غذایی و نگهداشت آب دارند و در نتیجه باعث ایجاد خرداقلیم مناسب در آشکوب زیرین جنگل‌ها می‌شوند (McComb, 2003). مطالعات انجام شده در جنگل‌های آمیخته راش نشان داده است، خشک‌سازها نقش مؤثری در استقرار نهال‌های راش و ممرز دارند (Kiasari & Rahmani, 2001; Sefidi et al., 2008). از موضوعاتی که برای حفظ سلامتی اکوسیستم و تنوع زیستی در جنگل‌ها مطرح است، نگهداری تعدادی از درختان تا رسیدن به پوسیدگی است. بررسی پویایی

بر این اساس، مبنای مطالعه همگنی عامل‌های محیطی در سطح کلان در نظر گرفته شد. در نهایت با جنگل‌گردشی، مطالعه کتابچه طرح جنگلداری منطقه مورد مطالعه و با همکاری اکیپ قطع و استحصال، تعداد شش کنده باقیمانده در جنگل به صورت تصادفی از بین درختان مربوط به قطع در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۷، ۱۳۸۲، ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ که به ترتیب صفر، دو، چهار، هشت، ۱۲ و ۲۷ سال از زمان برداشت درختان براساس کتابچه طرح جنگلداری سپری شده بود، در هر پارسل انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد و کنده‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. از آنجایی که اطلاعات مربوط به زمان دقیق شروع پوسیدگی خشکه‌دارها در جنگل‌های طبیعی نظیر جنگل‌های شمال ایران اغلب ثبت نمی‌شود، بنابراین در مطالعات مشابه از کنده‌های قطع شده، با توجه به مشخص بودن زمان قطع آنها و به دنبال آن آگاهی از زمان شروع پوسیدگی استفاده شد (Tobin, 2006). در این مطالعه نیز کنده‌ها به‌عنوان نماینده‌ای از خشکه‌دارها در نظر گرفته شدند. این موضوع که اختلاف چندانی بین تجزیه در کنده و خشکه‌دار افتاده وجود ندارد، قبلاً توسط Janisch و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده است.

#### شرایط اقلیمی منطقه

براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر، میزان بارندگی سالانه در این منطقه ۱۳۸۰ میلی‌متر است. براساس فرمول آمبرژه، اقلیم منطقه مرطوب سرد است. میانگین درجه حرارت سالانه ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. گرم‌ترین ماه سال مرداد با میانگین ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال بهمن ماه با میانگین ۷/۵ درجه سانتی‌گراد است (Anonymous, 2008).

#### روش برداشت نمونه‌ها

پس از اجرای عملیات جنگل‌گردشی و یافتن کنده‌های مربوط به سال‌های مورد نظر شامل درختان صفر، دو، چهار، هشت، ۱۲ و ۲۷ سال پس از قطع به‌طور تصادفی کنده‌های راش و مرمر انتخاب و اطلاعات مربوط به نوع گونه، قطر قسمت بالای کنده، درجه پوسیدگی و شیب کلی منطقه در فرم‌های آماربرداری ثبت شد. برای نمونه‌برداری از کنده‌های

را برای ریشه‌ها ۱۰ تا ۸۶ سال و برای شاخه‌ها ۱۵ تا ۸۶ سال به‌دست آوردند و به‌طور کلی در مطالعه آنها سرعت تجزیه ریشه از شاخه‌های روی زمین بیشتر بود.

در جنگل‌های شمال ایران مطالعات متعددی در ارتباط با حجم، تعداد و ارتباط خشکه‌دار با پوشش گیاهی انجام شده است، اما تابحال تغییرات زمانی و پویایی خشکه‌دارها و روند پوسیدگی آنها و بازگشت عناصر آلی به خاک موضوع پژوهش نبوده است. با توجه به اهمیت مدت زمان ماندن خشکه‌دارها در جنگل و نقش آن در برنامه‌ریزی و تعیین شیوه‌های مدیریتی و حفاظتی جنگل‌ها و نیز اهمیت خشکه‌دارها در پدیده ترسیب کربن، این پژوهش تلاش دارد اطلاعات کمی مناسب در مورد پویایی (روند پوسیدگی با گذشت زمان) خشکه‌دارهای گونه‌های درختی راش شرقی و مرمر را در شرایط طبیعی و تعیین مشخصه‌های هر یک از مراحل پوسیدگی خشکه‌دارها براساس نوع و میزان پوسیدگی این درختان در توده‌های آمیخته راش در جنگل‌های شمال را ارائه دهد. اهداف این پژوهش عبارتند از (۱) تعیین مدت زمان لازم برای پوسیدگی درختان راش شرقی و مرمر در شرایط طبیعی؛ (۲) تعیین مدت زمان لازم برای هر یک از مراحل پوسیدگی و (۳) بررسی روند تغییرات چگالی خشکه‌دارها در روند پوسیدگی به‌عنوان یک فاکتور اصلی در محاسبه نرخ تجزیه.

#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام این پژوهش، پنج پارسل ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۲۰، ۲۲۱ و ۲۲۳ در بخش نم‌خانه جنگل آموزشی و پژوهشی خیرودکنار واقع در هفت کیلومتری شرق نوشهر (با مختصات جغرافیایی ۲۷°۳۶ تا ۴۰°۳۶ شمالی و ۳۲°۵۱ تا ۳۳°۵۱ شرقی) انتخاب شد. انتخاب پارسل‌ها با توجه به اطلاعات مربوط به دوره‌های بهره‌برداری آنها و زمان قطع درختان انجام شد. برای ایجاد همگنی شرایط محیطی سعی شد با انتخاب قطعات نمونه از رویشگاه‌های مشابه تأثیر عامل‌های جانبی و خرد به حداقل ممکن برسد.

$$k = \frac{(\ln D_0 - \ln D_t)}{t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق:  $D_t$ : چگالی چوب در زمان  $t$ ,  $D_0$ : چگالی اولیه چوب و  $K$ : ضریب متوسط پوسیدگی چوب است. مدت زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ از مقدار چوب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$T_{95} = -\ln \frac{0.05}{k} = \frac{3}{k} \quad \text{رابطه (۳)}$$

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) برای تعیین معنی داری اختلاف بین درجه پوسیدگی، ضریب پوسیدگی و دانسیته در سال‌های مختلف استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس توسط آزمون‌های کلموگروف-سمیرنوف و آزمون لیون انجام شد و در صورت نیاز، نرمال‌سازی داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین برای مقایسه دانسیته و ضریب پوسیدگی بین دو گونه راش و مرز از آزمون تی مستقل و برای ارائه مدل پوسیدگی از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. آزمون‌های آماری (در سطح معنی داری ۹۵ درصد اطمینان) انجام شد و به منظور ارائه مدل نرخ تجزیه و تغییرات ایجاد شده در خصوصیات چوب در طی زمان تجزیه، از مدل رگرسیونی نمایی استفاده شد.

#### نتایج

در این بررسی تعداد ۷۲ نمونه از کنده درختان در حال پوسیدن انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت که از این تعداد ۳۶ نمونه متعلق به راش و ۳۶ نمونه متعلق به مرز بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که بین دانسیته چوب در نمونه‌های جمع‌آوری شده در سال‌های مختلف و در درجه‌های پوسیدگی مختلف اختلاف معنی داری وجود دارد.

جوان و به منظور برش قطاع مکعبی شکل با طول و عرض و ارتفاع پنج سانتی‌متر در دو جهت عمود برهم از مقطع عرضی هر کنده، از اره موتوری استفاده شد. نمونه‌برداری از کنده‌های میان‌سال با کمک تبر و برای کنده‌های کهن‌سال به صورت برداشت بقایا با دست انجام شد. در نهایت برای حفظ رطوبت، نمونه‌ها در درون کیسه‌های مخصوص قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند.

حجم تر نمونه‌های مکعبی با استفاده از رابطه ریاضی حجم مکعب محاسبه شد و حجم نمونه‌های با شکل نامنظم با استفاده از روش جایجایی در آب (Yeboah, 2011) محاسبه شد. در ادامه، وزن تر نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و پس از خشک شدن، وزن خشک هر یک از نمونه‌ها ثبت شد. چگالی نمونه‌ها بر حسب  $(g/cm^3)$  با کمک رابطه ۱ محاسبه شد:

$$P = m/v \quad \text{رابطه (۱)}$$

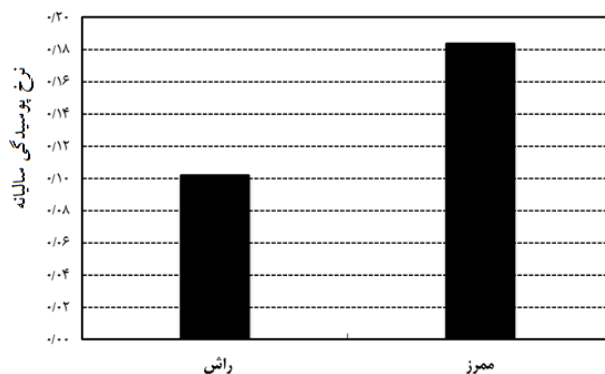
که در آن:  $m$ ، وزن خشک چوب و  $v$ ، حجم تر چوب است.

برای توصیف الگوی تجزیه و پوسیدگی توسط دانشمندان چندین مدل ریاضی ارائه شده است (Harmon *et al.*, 2000; Mackensen & Bauhus, 2003). ولی استفاده از مدل توزیع نمایی single-exponential (Olson, 1963) برای روند تجزیه و پوسیدگی چوب از همه متداول‌تر است، چون اندازه‌گیری آن آسان‌تر است. فرضیه نرخ تجزیه (سرعت نرخ متوسط پوسیدگی چوب) در این مدل براساس نسبت مقدار ماده باقیمانده با گذشت زمان است (Mackensen *et al.*, 2003).

نرخ تجزیه سالانه نمونه‌ها با کمک رابطه ۲ (Olson, 1963) محاسبه شد:

ضریب پوسیدگی در خشکه‌دارهای راش و ممرز نتایج آزمون  $t$  مستقل نشان داد که بین میانگین ضریب پوسیدگی درخت راش ( $0/102 \pm 0/07$ ) و درخت ممرز ( $0/182 \pm 0/02$ ) اختلاف معنی‌داری وجود دارد ( $0/001 = p$ )، به عبارت دیگر این دو گونه دارای روند پوسیدگی متفاوتی هستند، به گونه‌ای که ممرز با سرعت بیشتری نسبت به راش می‌پوسد (شکل ۱).

ضریب پوسیدگی در خشکه‌دارهای راش و ممرز نتایج آزمون  $t$  مستقل نشان داد که بین میانگین ضریب پوسیدگی درخت راش ( $0/102 \pm 0/07$ ) و درخت ممرز ( $0/182 \pm 0/02$ ) اختلاف معنی‌داری وجود دارد ( $0/001 = p$ )، به عبارت دیگر این دو گونه دارای روند پوسیدگی متفاوتی هستند، به گونه‌ای که ممرز با سرعت بیشتری نسبت به راش می‌پوسد (شکل ۱).



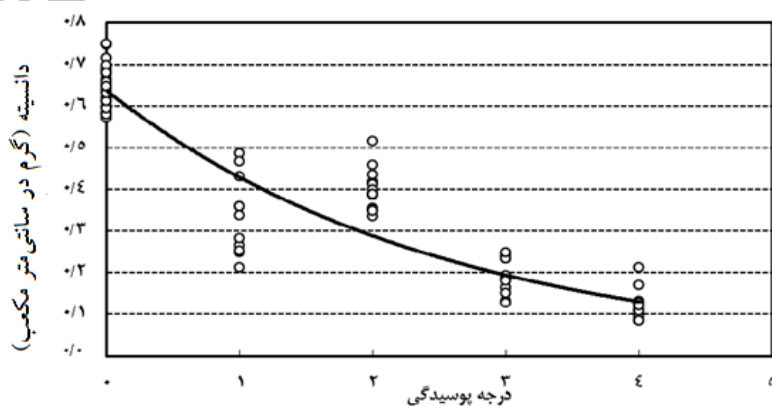
شکل ۱- مقایسه ضریب پوسیدگی در خشکه‌دارهای راش و ممرز

رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی گونه راش به منظور دستیابی به رابطه بین دانسیته و درجه‌های پوسیدگی از مدل رگرسیونی نمایی استفاده شد. نتایج نشان داد که در گونه راش دانسیته با افزایش درجه پوسیدگی کاهش می‌یابد (جدول ۲ و شکل ۲).

رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی گونه راش به منظور دستیابی به رابطه بین دانسیته و درجه‌های پوسیدگی از مدل رگرسیونی نمایی استفاده شد. نتایج نشان داد که در گونه راش دانسیته با افزایش درجه پوسیدگی کاهش می‌یابد (جدول ۲ و شکل ۲).

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی در راش ( $R^2=0.84$ )

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره $F$	سطح معنی‌داری
مدل	۱	۹/۵۴۷	۹/۵۴۷	۱۷۶/۸۵۳	۰/۰۰۰
خطا (باقیمانده)	۳۴	۱/۸۳۵			
کل تصحیح‌نشده	۳۵	۱۱/۳۸۲			



شکل ۲- نمودار تغییرات دانسیته در هر درجه از پوسیدگی در گونه راش

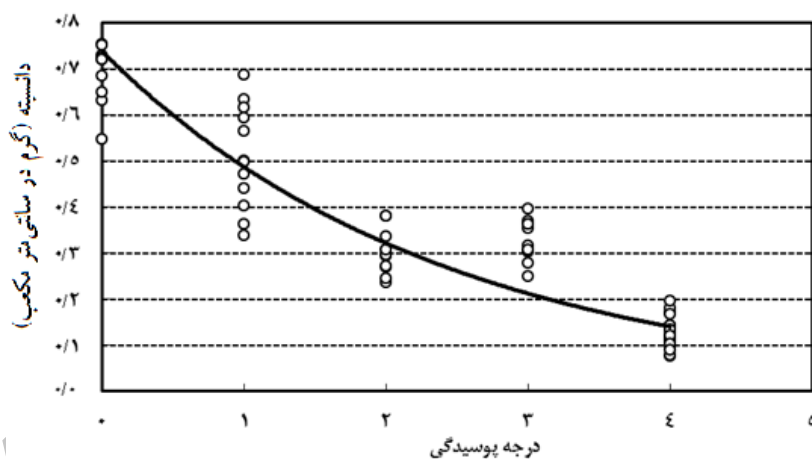
با توجه به جدول ۲ و نمودار رگرسیونی (شکل ۲) مشخص است که مدل برازش شده برای راش به خوبی معنی دار بوده و حدود ۸۴٪ تغییرات در دانسیته توسط درجه پوسیدگی بیان می شود. در اینجا میزان یکنواختی واریانس ها زیاد بوده و بنابراین مدل  $D=0/792 * e^{(-0/433 * DC)}$  به خوبی تغییرات را تعریف می کند. در این مدل  $D$  دانسیته چوب،  $e$  عدد نپر و  $DC$  درجه پوسیدگی است.

گونه ممرز

رابطه ریاضی بین دانسیته و درجه پوسیدگی برای ممرز از طریق مدل رگرسیونی نمایی در شکل ۳ نشان داده شده است که براساس آن، با افزایش درجه پوسیدگی، دانسیته کاهش می یابد (جدول ۳ و شکل ۳). واریانس داده ها در درجه یک زیاد است. همچنین اندکی افزایش دانسیته در درجه سه مشاهده می شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی در ممرز ( $R^2=0.80$ )

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره $F$	سطح معنی داری
مدل	۱	۱۱/۱۵۷	۱۱/۱۵۷	۱۳۶/۱۵۳	۰/۰۰۰
خطا (باقیمانده)	۳۴	۲/۷۸۶			
کل تصحیح نشده	۳۵	۱۳/۹۴۳			



شکل ۳- نمودار تغییرات دانسیته در هر درجه پوسیدگی در گونه ممرز.

دانسیته برای هر گونه، مدت زمان پوسیدگی از رابطه ۲ به دست آمد. نتایج نشان داد برای سپری شدن مجموع درجه های پوسیدگی چهارگانه در گونه راش زمان بیشتری لازم است. به طور کلی در هر دو گونه با افزایش درجه پوسیدگی مدت زمان لازم برای سپری شدن آن مرحله از پوسیدگی بیشتر می شود. در درجه یک مدت زمان پوسیدن همانند میانگین دانسیته برای گونه ممرز تقریباً به اندازه نصف گونه راش است. نتایج همچنین حاکی از آن است که

در گونه ممرز نیز مانند راش رابطه کاملاً مشخصی بین دانسیته و درجه پوسیدگی وجود دارد که حدود ۸۰٪ تغییرات در این ثابت با مدل نمایی  $D=0/703 * e^{(-0/373 * DC)}$  برآورد می شود. در این مدل  $D$  دانسیته چوب،  $e$  عدد نپر و  $DC$  درجه پوسیدگی است.

مدت زمان لازم برای سپری شدن هر درجه از پوسیدگی در خشکساده های راش و ممرز با در نظر گرفتن میانگین ضریب پوسیدگی و میانگین

با افزایش درجه پوسیدگی اختلاف مدت زمان پوسیدگی بین دو گونه بیشتر می‌شود. این اختلاف برای درجه سه حدود دو سال و برای درجه چهار حدود چهار سال است (جدول ۴).

جدول ۴- مدت زمان لازم برای سپری شدن هر درجه از پوسیدگی در خشکه‌دارهای راش و ممرز

مدت زمان لازم برای سپری شدن هر درجه از پوسیدگی (سال)		درجه پوسیدگی
ممرز	راش	
۱	۱	۱
۵	۵	۲
۶	۹	۳
۹	۱۳	۴
۲۱	۲۷	مجموع

جدول ۵ مشاهده می‌شود. براساس نتایج به دست آمده مدت زمان لازم برای پوسیدن ۹۵٪ از جرم خشکه‌دار راش تقریباً حدود دوبرابر ممرز است.

مدت زمان لازم برای پوسیده شدن خشکه‌دار راش و ممرز مدت زمان لازم برای پوسیدن ۹۵٪ از جرم خشکه‌دار راش و ممرز از طریق رابطه ۳ محاسبه شد که نتایج آن در

جدول ۵- مدت زمان لازم برای پوسیدن ۹۵٪ از حجم خشکه‌دار راش و ممرز

گونه	رابطه	r	P	K	T <sub>95</sub>
راش	$Y=e^{-kt}$	۰/۳	<۰/۰۰۱	۰/۱۰۲	۳۰
ممرز	$Y=e^{-kt}$	۰/۷۵	<۰/۰۰۱	۰/۱۸۲	۱۶

## بحث

پدیده پوسیدگی و تجزیه از چندین فرآیند متفاوت تشکیل شده است که شامل تنفس، تکه‌تکه شدن، آشوبی و هوازدگی است. فرآیند اصلی در تجزیه از دست دادن جرم مواد در طول فرآیند تنفس است که می‌توان آن را از طریق اندازه‌گیری حجم و وزن کمی کرد. از دانسیته چوب می‌توان برای توضیح فرآیند تجزیه استفاده کرد، چون اندازه‌گیری آن آسان است و مقدار اولیه آن در بین گونه‌ها خیلی متفاوت نیست (Mackensen & Bauhus, 2003). در پژوهش پیش‌رو از تغییرات دانسیته چوب با گذشت زمان برای تعیین نرخ پوسیدگی استفاده شد. نتایج به دست آمده تفاوت‌هایی را بین دو گونه راش و

ممرز نشان می‌دهد. براساس مطالعات انجام شده نرخ پوسیدگی در گونه‌های درختی متعلق به سوزنی‌برگان و پهن‌برگان مختلف یکسان نیست. زیاد بودن مقدار عددی شاخص پوسیدگی در گونه‌های درختی پهن‌برگ خزان‌کننده نسبت به سوزنی‌برگان در پژوهش‌های پیشین به اثبات رسیده است (Mackensen & Bauhus, 2003). نتایج پژوهش پیش‌رو نیز نشان داد که دو گونه مورد مطالعه دارای روند پوسیدگی متفاوتی هستند، به طوری که ممرز با نرخ تجزیه (۰/۱۸۲) سریع‌تر از راش (۰/۱۰۲) می‌پوسد. Yang و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی پویایی خشکه‌دارها و نرخ تجزیه در جنگل‌های بالغ بین خشکه‌دارهای سه گونه *Cryptocarya concinna*، *Castanopsis chinensis* و

کامل پوسیده شود، در صورتی که این زمان برای راش اروپایی ۳۵ سال به دست آمده است. این اختلاف را می توان به تفاوت آب و هوایی و فاکتورهای اقلیمی مانند درجه حرارت، رطوبت و میزان بارش سالانه نسبت داد. تجزیه خشکه دار به شدت به اقلیم بستگی دارد (Müller & Bartsch, 2009). نرخ پوسیدگی به طور معنی داری در میانگین دمای بیشتر از ۱۲ یا ۱۳ درجه سانتی گراد افزایش می یابد (Mackensen & Bauhus, 2003). مدل پوسیدگی ارائه شده در آمریکای شمالی (Yin, 1999) که از پارامترهای گونه درختی، دما و باران استفاده کرد، نشان داد که افزایش دو درجه دما باعث افزایش شدت کاهش دانسیته از ۹ تا ۵۵٪ می شود. میانگین دما در منطقه مورد مطالعه پژوهش پیش رو حدود ۱۶/۵ درجه سانتی گراد است که بیش از دو برابر دمای سالانه در جنگل های راش (۷ درجه سانتی گراد) در اروپا است (Müller & Bartsch, 2009). میانگین بارندگی سالانه نیز تأثیر زیادی بر حداکثر نرخ تجزیه می گذارد (Mackensen & Bauhus, 2003) که مقدار آن در منطقه مورد مطالعه پژوهش پیش رو (۱۳۸۰ میلی متر) در مقایسه با رویشگاه درختان راش در آلمان (۱۰۳۲ میلی متر) بیشتر است (حدود ۳۴۸ میلی متر افزایش میانگین بارندگی سالانه نسبت به اروپای مرکزی). این شاید دلیل دیگری بر زیاد بودن نرخ تجزیه راش جنگل های شمال نسبت به راش اروپایی باشد. به طور کلی درختان در عرض های جغرافیایی جنوبی تر و طول جغرافیایی غربی تر با آب و هوای گرم تر و مرطوب تر سریع تر از درختان در شمال و شرق با آب و هوای سردتر و خشک تر پوسیده می شوند (Radtke et al., 2009).

بر اساس نتایج، میانگین دانسیته بین دو گونه درختی راش و ممرز با هم اختلاف معنی داری ندارد، اما زمان از دست دادن ۹۵٪ دانسیته برای گونه ممرز (۱۶ سال) از راش (۳۰ سال) کمتر بود. این نشان می دهد که شدت از دست دادن ۹۵٪ از دانسیته راش تقریباً نزدیک به دوبرابر ممرز است. این موضوع را شاید بتوان به این مطلب نسبت داد که پوسیدگی در ممرز سریع تر آغاز می شود و طبق نتایج

*Schima superba* در جنوب چین پرداختند. در بین گونه های مذکور مشخص شد که *C. concinna* سریع تر از *C. chinensis* و *S. superba* پوسیده می شود. تفاوت در نرخ پوسیدگی درختان به کیفیت بستر و ارگانسیم های تجزیه کننده نسبت داده می شود (Garrett et al., 2007, Mattson, 2008) و همکاران (۱۹۸۷) نیز ۱۰ نوع تنوع نرخ تجزیه را در گونه های مختلف یک جنگل پهن برگ آمیخته در شمال کارولینا پیدا کردند. عامل های مختلفی بر پوسیدگی و نرخ تجزیه تأثیر می گذارند که از جمله آنها می توان به نوع چوب، درجه حرارت، میزان رطوبت چوب، میزان بارش سالانه، ماهیت فیزیکی و شیمیایی بستر چوب و همچنین جمعیت تجزیه کنندگان قارچی و جانوری اشاره کرد (Garrett et al., 2007, 2008). تفاوت در نرخ پوسیدگی ممرز و راش به احتمال زیاد به دلیل تفاوت در کیفیت چوب این دو گونه (Guo et al., 2006; Garrett et al., 2007) است. همچنین تفاوت در نرخ پوسیدگی می تواند به علت تفاوت در ویژگی چوب درختان باشد که متأثر از ویژگی های ژنتیکی این گونه هاست. تفاوت در ترکیبات شیمیایی استخراجی از این دو گونه شاید دلیل دیگری بر این امر باشد، زیرا این عامل یک فاکتور کلیدی در پوسیدگی و اکسیداسیون و جذب جانوران تجزیه کننده است. همچنین بر اساس مطالعات Yang و همکاران (۲۰۱۰) موقعیت طبیعی و کیفیت محل قرارگیری خشکه دار از دیگر فاکتورهای اصلی تأثیرگذار بر تجزیه خشکه دار هستند. به هر حال از نظر وجود شرایط یکسان آب و هوایی، اختلافات آب و هوایی به عنوان یک فاکتور مؤثر در تجزیه، نمی تواند علت تفاوت در نرخ پوسیدگی راش و ممرز منطقه مورد مطالعه پژوهش پیش رو باشد، اما در مقایسه ای که بین نرخ پوسیدگی راش شرقی (راش جنگل های شمال) و راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) انجام شد، نتایج نشان داد که راش شرقی با سرعت بیشتری نسبت به راش اروپایی می پوسد. Müller و Bartsch (۲۰۰۹) نرخ تجزیه را برای راش اروپایی ۰/۰۸۹ به دست آورد. نتایج پژوهش پیش رو نشان داد یک درخت راش شرقی پس از مرگ ۲۷ سال طول می کشد تا به طور



به یک هدف اصلی در همه جنگل‌ها تبدیل شود و یک فرصت عالی برای انجام پژوهش‌های مربوط به مطالعات جامع، طولانی مدت و چندبعدی در بخش‌های مختلف ایجاد کند. به هر حال لازم است که این بررسی‌ها برای تمام درختان جنگلی شمال انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر، به بررسی رابطه ارتفاع از سطح دریا، فرم زمین و نقش جانوران در پوسیدگی خشکه‌دارها در تحقیقات آینده پرداخته شود.

## References

- Anonymous, 2008. Forest Management Plan of Gorazbon District, Kheirud Forest. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 375p (In Persian).
- Davis, J.W. 1983. Snags are for wildlife: 4-9. In. Davis, J.W., Goodwin, G.A., Ockenfels, R.A., (Eds.). Proceedings of the Symposium on Snag Habitat Management. RM, 99 p.
- Eaton, J.M. and Lawrence, D. 2006. Woody debris stock and flux during succession in a dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 232: 46-55.
- Fasth, B.G., Harmon, M.E., Sexton, J. and White, P. 2011. Decomposition of fine woody debris in a deciduous forest in North Carolina. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 138(2): 192-206.
- Garrett, L.G., Davis, M.R. and Oliver, G.R. 2007. Decomposition of coarse woody debris, and methods for determining decay rates. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 37: 227-240.
- Garrett, L.G., Kimberley, M.O., Oliver, G.R., Pearce, S.H. and Beets, P.N. 2012. Decomposition of coarse woody roots and branches in managed *Pinus radiata* plantations in New Zealand- A time series approach. *Forest Ecology and Management*, 269: 116-123.
- Garrett, L.G., Oliver, G.R., Pearce, S.H. and Davis, M.R. 2008. Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 255: 3839-3845.
- Guo, L.B., Bek, E. and Gifford, R.M. 2006. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: mass, carbon and

به دست آمده نیز نرخ پوسیدگی مرز بیشتر از راش است که با مشاهدات انجام شده در طبیعت مطابقت دارد. در کنده‌های مرز علائم پوسیدگی پس از گذشت یک سال مشاهده می‌شود، در حالی که کنده‌های راش پس از گذشت چهار سال در طبیعت به درجه پوسیدگی یک رسیده بودند. به عبارت دیگر، کنده‌های مرز زودتر از راش تجزیه و به هوموس و مواد آلی تبدیل می‌شوند. زیاد بودن سرعت پوسیدگی در مرز را می‌توان به مناسب‌تر بودن شرایط برای استقرار تجزیه‌کنندگان و ویژگی شیمیایی چوب آن دانست. مشابه نتایج پژوهش‌های پیشین، دانسیته چوب با افزایش درجات پوسیدگی کاهش یافت (Tobin, 2006; Yang *et al.*, 2010; Garrett *et al.*, 2012; Yatskov و همکاران 2010). Harmon و همکاران (2003) نیز در روسیه کاهش دانسیته در خشکه‌دارهای افتاده در درختان نوئل و کاج جنگلی و توس را با افزایش درجه پوسیدگی گزارش کردند. روند مشابهی نیز برای درختان سوزنی‌برگ آمریکا مشاهده شده است (Harmon *et al.*, 1987). افزایش گرمایش جهانی اقلیم در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای ممکن است منجر به افزایش سرعت نرخ تجزیه خشکه‌دارها و به دنبال آن افزایش CO<sub>2</sub> ورودی به اتمسفر شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که لازم است نگهداری سلامت و حفظ و تنوع زیستی اکوسیستم‌های جنگلی، نگهداری خشکه‌دارها در جنگل است. با توجه به اهمیت موضوع، دانستن مدت زمان باقی ماندن خشکه‌دارها در جنگل می‌تواند جنگل‌بانان را در مدیریت جنگل یاری دهد. برای حفاظت از تنوع زیستی، برقراری تعادل بین انواع خشکه‌دار و مرحله پوسیدگی آنها مهم است، زیرا هر مرحله از پوسیدگی به عنوان یک زیستگاه برای گونه‌های مختلف جانوری محسوب می‌شود. هر کدام از جانداران موجود در اکوسیستم جنگل به سهمی از خشکه‌دارها برای ادامه حیات خود نیاز دارند. حدود ۲۵٪ از گونه‌های جنگل وابسته به خشکه‌دارهای در حال پوسیدن در جنگل هستند. امروزه افزایش توجه به عملکرد خشکه‌دارها و پویایی پوسیدگی آنها باعث می‌شود مدیریت و استفاده از خشکه‌دار در طبیعت

- debris and its role as habitat for mammals. Mammal community dynamics: management and conservation in the coniferous forests of western North America. Cambridge University Press, New York, New York, 374-404.
- Müller, S.U. and Bartsch, N. 2009. Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in central Germany. European Journal of Forest Research, 128: 287-296.
  - Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 44: 322-330.
  - Radtke, P.J., Amateis, R.L., Prisley, S.P., Copenheaver, C.A., Chojnacky, D.C., Pittman, J.R. and Burkhardt, H.E. 2009. Modeling production and decay of coarse woody debris in loblolly pine plantations. Forest Ecology and Management, 257: 790-799.
  - Santiago, J.M. and Amanda, D.R. 2005. Dead Trees as Resources for Forest Wildlife. Extension Fact Sheet, Ohio State University Express, 12p.
  - Sefidi, K. and Marvie Mohadjer, M.R. 2010. Characteristics of coarse woody debris in successional stages of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran. Journal of Forest Science, 56: 7-17.
  - Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Mosandl, R. and Copenheaver, C.A. 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, Northern Iran. Forest Ecology and Management, 262: 1094-1099.
  - Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Mosandl, R. and Copenheaver, C.A. 2013. Coarse and fine woody debris in mature oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests of northern Iran. Natural Areas Journal, 33(3): 248-255.
  - Sefidi, K., Marvi-Mohajer, M.R., Zobeyri, M. and Etemad, V. 2008. Investigation on dead trees effects on natural regeneration of oriental beech and hornbeam in a mixed beech forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15: 365-373 (In Persian).
  - Stachura, K., Bobiec, A., Obidzioski, A., Oklejewicz, K. and Wolkowycki, D. 2007. Old trees and decaying wood in forest ecosystems of Poland "Old Wood". A toolkit for nitrogen stocks, and turnover. Forest Ecology and Management, 228: 145-151.
  - Harmon, M., Krankina, O. and Sexton, J. 2000. Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics. Canadian Journal of Forest Research, 30:76-84.
  - Harmon, M.E., Cromack, K. and Smith, B.G. 1987. Coarse woody debris in mixed-conifer forests, Sequoia National Park, California. Canadian Journal of Forest Research, 17: 1265-1272.
  - Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkamper, G.W., Cromack, J. and Cummins, K.W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advance Ecology Restoration, 15: 133-302.
  - Janisch, J.E., Harmon, M.E., Chen, H., Fasth, B. and Sexton, J. 2005. Decomposition of coarse woody debris originating by clearcutting of an old-growth conifer forest. Ecoscience, 12(2): 151-160.
  - Kappes, H., Catalano, C. and Topp, W. 2007. Coarse woody debris ameliorates chemical and biotic soil parameters of acidified broad-leaved forests. Applied Soil Ecology, 36: 190-198.
  - Kennedy, P.G. and Quinn, T. 2001. Understory plant establishment on old-growth stumps and the forest floor in western Washington. Forest Ecology and Management, 154: 193-200.
  - Kiasari, M.Sh. and Rahmani, R. 2001. The effect of dead trees on natural regeneration in the mixed beech and hornbeam forests, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 54(2): 143-152 (In Persian).
  - Mackensen, J. and Bauhus, J. 2003. Density loss and respiration rates in coarse woody debris of *Pinus radiata*, *Eucalyptus regnans* and *Eucalyptus maculata*. Soil Biology and Biochemistry, 35: 177-186.
  - Marvie Mohadjer, M.R. 2011. Silviculture. University of Tehran Press, Tehran, 387p (In Persian).
  - Mattson, K.G., Swank, W.T. and Waide, J.B. 1987. Decomposition of woody debris in a regenerating, clear-cut forest in the southern Appalachians. Canadian Journal of Forest Research: 712-721.
  - McComb, W. C. 2003. Ecology of coarse woody

- Journal of Applied Ecology, 13(9): 1069-1071.
- Yatskov, M., Harmon M.E. and Krankina, O.N. 2003. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. Canadian Journal of Forest Research, 33: 1211-1226.
  - Yeboah, D. 2011. Variation in carbon content of tropical tree species from Ghana. Thesis, Michigan Technological University, 2011. <http://digitalcommons.mtu.edu/etds/161>.
  - Yin, X., 1999. The decay of forest dead wood: numerical modeling and implications based on some 300 data cases from North America. Oecologia, 121:81-98.
  - participants, Version 07,05.08.2011.
  - Tobin, B. 2006. Carbon sequestration in Sitka spruce in Ireland. Ph. D. thesis, School of Biology and Environmental Science, University College Dublin, Dublin.
  - Yan, E., Wang, X., Huang, J., Zeng, R. and Gong, L. 2007. Long - lasting legacy of forest succession and forest management: Characteristics of coarse woody debris in an evergreen broad-leaved forest of Eastern China. Forest Ecology and Management, 252: 98-107.
  - Yang, L., Dai, L. and Zhang, Y. 2002. Storage and decomposition of fallen wood in dark coniferous forest on the North Slope of Changbai Mountain in Chinese. Chinese

Archive of SID

## Decay dynamics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) deadwood in mixed beech stands

F. Alidadi<sup>1</sup>, M.R. Marvie Mohadjer<sup>2</sup>, V. Etemad<sup>3</sup> and K. Sefidi<sup>4</sup>

1- M. Sc. Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2- Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

3- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

4 - Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources Technology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran.

Received: 02.02.2014

Accepted: 07.26.2014

### Abstract

Due to their significance for carbon sequestration and ecosystem management, information on decay dynamic of deadwood and its total decay time are of great importance to ecologists and forest managers. This study was conducted in Kheirud forest of Nowshahr to study the decay process of beech and hornbeam deadwood. Therefore, 72 beech and hornbeam dead trees were randomly selected. For each sample tree, information on species, diameter, decay classes and slope gradient were recorded. The cubic cut samples with 5 cm length, width and height in two perpendicular aspects were taken from each decaying stump. 30 and 16 years of decaying time were shown to be needed for 95% dry mass of dead beech and hornbeam logs, respectively. In addition, the required periods for passing through all stages of decay for beech and hornbeam dead trees were 27 and 21 years, respectively. A strong relation ( $R^2=0.8$ ) between density and decay stage of dead trees was indicated. Therefore, the density of dead wood was concluded to significantly decline with increased decay stage in both species.

**Keywords:** Deadwood, decay grade, decay time, oriental beech, hornbeam.