



## تأثیر ویژگی‌های فیزیوگرافیک رویشگاه بر پویایی پوسیدگی خشکه‌دارها در جنگل‌های اسالم

کیومرث سفیدی

دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسوول: Kiomarssefidi@gmail.com)  
تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۱  
صفحه ۷۰ تا ۷۹

### چکیده

آگاهی از روند پوسیدگی خشکه‌دارها و عوامل رویشگاهی مؤثر بر آن، نقش مهمی در تدوین برنامه‌های مدیریتی حفاظتی در طرح‌های جنگلداری دارد. همچنین بازگشت کربن طی فرآیند تجزیه یکی از مهم‌ترین بخش‌های چرخه کربن در بوم‌سامانه‌های جنگلی است. این پژوهش باهدف کمی سازی تأثیر ویژگی‌های فیزیوگرافیک رویشگاه بر پوسیدگی خشکه‌دارهای راش انجام گرفت. تعداد ۹۰ نمونه برش از خشکه‌دار (کنده) راش به‌طور تصادفی در سری یک و دو طرح ناو اسالم انتخاب و برای هر نمونه قطر کنده و درجه پوسیدگی ثبت شد. تأثیر شاخص جهت دامنه (AS)، شیب دامنه (TSI) و شاخص شکل زمین (LI) بر ویژگی‌های فیزیکی چوب (دانسیته، وزن، میزان رطوبت) و ترکیبات بیوشیمیایی چوب (لیگنین، سلولز و همی سلولز) و نیز بر روند پوسیدگی بررسی شد. متوسط نرخ پوسیدگی کنده‌های راش ۰/۶۱٪ و متوسط دانسیته چوب راش در بین نمونه‌های برش ۰/۳۲٪ به‌دست آمد که دامنه تغییرات آن بین ۰/۰۵٪ و ۰/۶۲٪ گرم در سانتی‌متر مکعب محاسبه شد. بر اساس نتایج در بین کلاسه‌های چهارگانه پوسیدگی اختلاف معنی‌داری به لحاظ دانسیته و میزان لیگنین و سلولز وجود دارد. شاخص شکل زمین مهم‌ترین عامل فیزیوگرافیک مؤثر بر نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها بود. درصد لیگنین به شکل معنی‌داری تحت تأثیر فرم زمین قرار داشت. بر این اساس توصیه می‌شود نگهداری حجم مشخصی از وزن خشک در ساختار توده‌های جنگلی با در نظر گرفتن پویایی حجم خشکه‌دارها و نیز اثر پذیری نرخ پوسیدگی از ویژگی‌های رویشگاه به‌ویژه شرایط فیزیوگرافیک رویشگاه باشد.

واژه‌های کلیدی: فیزیوگرافی، نرخ پوسیدگی، درجه پوسیدگی، شاخص شکل زمین، شاخص شکل شیب دامنه

### مقدمه

امروزه خشکه‌دارها با توجه کارکردهای متعددی که بوم‌سامانه‌های جنگلی دارند به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های ساختاری در توده‌های جنگلی به شمار می‌روند. نقش خشکه‌دارها در فرآیندهای زیستی مانند جریان انرژی و چرخه کربن (۲۸)، افزایش قدرت جوانه‌زنی بذرها درختان جنگلی (۳۹)، افزایش حضور و تنوع قارچ‌های میکروسکوپی (۳۱، ۲۶) و نیز نقش مؤثر در فرآیند ترسیب کربن (۱۵) گزارش شده است. ایجاد خشکه‌دار و شکل‌گیری روشن در پوشش تاجی، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ساختاری بوم‌سامانه‌های جنگلی هستند و منجر به ایجاد ناهمگنی در ساختار و شکل‌گیری درختان زیستگاه (Habitat trees) در جنگل‌ها و در نتیجه افزایش تنوع زیستی در بوم‌سامانه‌های جنگلی می‌شود (۳۲). نگرانی خشکه‌دارها در بوم‌سامانه‌های جنگلی در شیوه‌های مدیریتی جدید با یک پرسش برای مدیران بخش جنگل همراه است و آن زمان پوسیدگی کامل درختان و نیز اثرات محیط فیزیکی بر روند پوسیدگی است. عواملی مانند شکل زمین و وجود اشکال مختلف زمین، شکل شیب در یک دامنه و نیز جهت جغرافیایی می‌تواند نقش مهمی در فراهم کردن شرایط پوسیدگی و در نتیجه انباشت خشکه‌دارها به دنبال داشته باشد (۳۰). یکی از عوامل مؤثر بر نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها در جنگل‌ها عوامل وابسته به فیزیوگرافی رویشگاه است (۱۲). فیزیوگرافی اغلب به شکل ویژگی‌های جغرافیایی محیط فیزیکی مانند شیب، جهت دامنه و سایر ویژگی‌های

وابسته به توپوگرافی منطقه تعریف می‌شود. فیزیوگرافی به‌عنوان ثابت‌ترین بخش یک اکوسیستم تأثیر مهمی در شکل‌گیری ساختار و ترکیب بوم‌سامانه‌های جنگلی داشته و کمترین تأثیر را از آشفستگی‌های کوتاه و بلندمدت طبیعی و انسانی می‌پذیرد (۳۳). فیزیوگرافی می‌تواند ابعاد و اندازه درختان (۳۸)، پراکنش مکانی گونه‌های درختی (۲)، تنوع گونه‌های درختی (۳۵) و نیز انباشت خشکه‌دارها (۳۱) را در یک رویشگاه جنگلی تحت تأثیر قرار دهد. مطالعه صورت گرفته در جنگل‌های راش در شمال کشور نشان داد که رویه زمینی درختان با شاخص شکل زمین ارتباط معنی‌داری دارد و همچنین شیب عرصه رابطه منفی و معنی‌داری با انباشت خشکه‌دار دارد (۳۱).

عوامل مؤثر بر زمان ماندگاری خشکه‌دار در بوم‌سامانه‌های جنگلی نقش مهمی در چرخه کربن در بوم‌سامانه‌های جنگلی دارد. در جنگل‌های شمال مطالعات اندکی به بررسی روند پوسیدگی پرداخته‌اند. علی‌آبادی و همکاران (۳) با بررسی پویایی پوسیدگی خشکه‌دارهای راش و ممرز در یک جنگل آمیخته، راش در جنگل گرازین در مازندران نشان دادند که مدت‌زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵ درصد از جرم خشکه‌دار راش و ممرز در طبیعت به ترتیب ۳۰ و ۱۶ سال است. در جنگل‌های راش اسالم نیز مطالعات سفیدی و همکاران (۲۹) بر اساس کلاسه‌های چهارگانه پوسیدگی ۳۶ سال برآورد کردند. نیز زمان لازم برای پوسیدگی کنده‌های راش را Petrillo و همکاران (۲۴) با بررسی نرخ پوسیدگی در دو گونه

کارکردهای اکوسیستمی با در نظر گرفتن پویایی حجم خشکه دار توصیه نمایند.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

این بررسی در قطعه‌های ۱۳۷،۲۲۰ و ۲۲۶ واقع در طرح جنگلداری ناو اسالم با عرض و طول جغرافیایی به ترتیب  $37^{\circ} 41'$  شمالی و  $48^{\circ} 45'$  شرقی انجام گرفت. انتخاب قطعات با توجه به اطلاعات مربوط به دوره‌های پیشین بهره برداری و زمان قطع درختان صورت گرفت. برای ایجاد همگنی و به حداقل رساندن اثرات سایر متغیرهای طبیعی و انسانی در شرایط محیطی تلاش گردید قطعات نمونه از رویشگاه‌هایی با دامنه ارتفاعی (متر ۸۵۰-۱۲۰۰) و تیپ گیاهی مشابه انتخاب گردد (۴). قطعه ۱۳۷ در سری یک و قطعات ۲۲۰ و ۲۲۶ در سری دو طرح ناو اسالم در محدوده حوزه جنگلداری شهرستان تالش تحت نظر اداره کل منابع طبیعی استان گیلان قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

### روش جمع‌آوری داده‌ها

پس انجام بازدیدهای میدانی، مشورت با مدیران اجرایی طرح و مطالعه کتابچه‌های طرح جنگلداری منطقه مورد مطالعه و با همکاری اکیپ قطع و استحصال و در نظر گرفتن امکان تهیه نمونه در تابستان سال ۱۳۹۳، تعداد ۹۰ نمونه برش به‌صورت تصادفی از ۱۹ کنده باقی‌مانده از درختان مربوط به قطع در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۴، ۱۳۷۸، ۱۳۸۲، ۱۳۸۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ که به ترتیب ۲۵، ۱۹، ۱۵، ۱۱، ۵، ۲ و صفر سال از زمان قطع درختان بر اساس کتابچه‌های طرح‌های جنگلداری سپری شده بود، انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد (۱). استفاده از کنده‌های برش در بررسی پوسیدگی خشکه‌دارها گزارش شده است (۳۶). پس از انتخاب تصادفی کنده‌های راش، اطلاعات مربوط به قطر بالای کنده و درجه پوسیدگی در برگه‌های آماربرداری ثبت و اطلاعات آن با بر اساس کتابچه طرح جنگلداری تایید شد. کلاسه‌های پوسیدگی خشکه‌دارها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی چوب تعیین شد. کلاسه‌های پوسیدگی خشکه دارها به شکل زیر تعیین شد، پوسیدگی درجه ۱، درخت تازه افتاده، پوست و چوب درخت قابل تشخیص است و گاهی اوقات جوانه رشد یک سال اخیر روی آن دیده می‌شود، پوسیدگی درجه ۲، پوسیدگی درون چوب آشکار است و در بیشتر موارد پوست درخت دیده می‌شود. جوانه‌ها دیده نمی‌شوند، در پوسیدگی درجه ۳، درون چوب و پوست درخت به طور کامل پوسیده شده است. سرشاخه‌ها کنده شده‌اند، به آسانی با ضربه به حالت پودری در می‌آید و پوسیدگی درجه ۴، درون چوب و پوست به کلی پوسیده شده و در برخی موارد پوشش علفی به طور کامل روی آن مستقر شده است (۱).

برش قطاع مکعبی شکل با طول و عرض و ارتفاع ۵ سانتی‌متر در ۲ جهت عمود بر هم از مقطع عرضی هر کنده تهیه شد. برش‌ها در مرکز کنده و در چهار جهت جغرافیایی دیگر انجام شد.

نوئل و لاریکس در ارتفاعات آلپ در شمال کشور ایتالیا نشان دادند که در مراحل مختلف پوسیدگی چوب میزان مواد استخراجی در چوب خشکه‌دارها متفاوت است. Paletto و Tosi (۲۳) با مطالعه تغییرات دانسیته چوب در هفت گونه درختی در جنگل‌های کوهستانی ایتالیا نشان دادند که دانسیته چوب با یک نرخ ثابت و مشخصی از کلاسه یک تا پنج کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش دانسیته بین کلاس چهارم و پنجم پوسیدگی مشاهده می‌شود. گزارش‌های منتشرشده، زمان پوسیدن خشکه‌دارهای گونه‌های درختی مختلف را متفاوت ذکر کرده‌اند. بر اساس مطالعات Pouska و Svoboda (۲۶) علاوه بر تأثیر شرایط دمایی و رطوبت بر نرخ پوسیدگی، اندازه خشکه‌دار، جمعیت میکروبی موجود و ویژگی‌های جغرافیایی منطقه نیز تأثیر مهمی بر نرخ تجزیه خشکه‌دارها دارد (۲۷،۲۸). مطالعه تنوع و فراوانی قارچ‌های عامل پوسیدگی توسط سفیدی و اعتماد (۳۱) نشان داد که قارچ‌ها عامل اصلی تجزیه چوب در درختان افتاده هستند که تحت تأثیر میزان نیتروژن، لیگنین و سلولز در چوب قرار دارد. جنگل‌های شمال ایران بر روی دامنه‌های شمالی رشته‌کوه‌های البرز قرار گرفته‌اند و دارای سیستم‌های متنوع ژئومورفیکی هستند که ساختار و ترکیب توده‌های جنگلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر با توجه به رویکردهای حفاظتی مدیریت جنگل‌ها و نیز نقش خشکه‌دارها در حفظ تنوع زیستی، آگاهی از عوامل اثرگذار بر زمان پوسیدگی کامل خشکه‌دار در جنگل می‌تواند مدیران بخش جنگل را در تدوین برنامه‌های مدیریت جنگل، یاری دهد. مدت زمان پوسیدگی کامل یا ماندگاری خشکه دار در نگهداشت حجم معینی از خشکه دار با در نظر گرفتن پویایی خشکه دارها بسیار دارای اهمیت است. آگاهی از تغییرات حجم و دانسیته خشکه دار با گذشت زمان و نیز شناخت عوامل رویشگاهی مؤثر بر نرخ پوسیدگی می‌تواند در انتخاب خشکه دارها (قطر، کیفیت و طول) برای نگهداری در طرح‌های مدیریتی حفاظتی مؤثر باشد. تا کنون مطالعات متعددی در ارتباط با میزان و کیفیت خشکه‌دارها در جنگل‌های شمال انجام شده است. اما پویایی خشکه دارها و تغییر در حجم و دانسیته آنها با گذشت زمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این بررسی تلاش می‌شود تا اثر عامل فیزیوگرافی به عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای رویشگاهی بر روند پوسیدگی خشکه دارها بررسی شود.

این پژوهش تلاش دارد تا به این پرسش پاسخ دهد که آیا فیزیوگرافی تأثیری بر نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها دارد؟ برای پاسخ به این پرسش این پژوهش باهدف‌های (الف) ارزیابی تأثیر هریک از شاخص‌های فیزیوگرافی بر نرخ پوسیدگی درختان راش شرقی و (ب) اثرپذیری میزان انباشت مواد استخراجی چوب در ارتباط با ویژگی‌های فیزیوگرافی رویشگاه و (پ) تغییر در ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیکی چوب در شرایط رویشگاهی متفاوت انجام شد. چنانچه اثرپذیری پویایی پوسیدگی خشکه‌دارها از فیزیوگرافی معنی‌دار باشد، مدیران بخش جنگل در مناطقی با ویژگی‌های فیزیوگرافیک مختلف، مقادیر متفاوتی از خشکه‌دارها را برای حفظ

جدول ۱- مشخصات کلی قطعات مورد بررسی در جنگل‌های طرح ناو اسالم

Table 1. The general characteristics of the study area in Asalem Forests

قطعه موردبررسی	مساحت (هکتار)	تراکم درختان (اصله در هکتار)	پوشش تاجی (%)	تپ جنگل
137	43	331	75-90	Beech, Maple, Alder
220	82	320	75-85	Beech, Hornbeam, Maple
226	26	288	65-85	Beech, Hornbeam, Alder

درصد لیگنین نیز به روش کلارون برآورد از رابطه زیر محاسبه شد:

رابطه (۵)

$$\text{درصد لیگنین} = \frac{\text{مقدار خشک پودر مانده روی کاغذ صافی}}{\text{مقدار خشک پودر عاری از مواد استخراجی}} \times 100$$

مقدار همی سلولز، از مجموع اختلاف وزن مواد استخراجی، سلولز و لیگنین نسبت به وزن پودر چوب محاسبه گردید. همچنین شاخص‌های شکل زمین (LI)، شکل دامنه (TSI) و جهت دامنه (ASI) به‌عنوان عوامل فیزیوگرافیک مؤثر بر نرخ پوسیدگی محاسبه گردیدند (۱۹). علت استفاده از این شاخص‌ها به‌جای مشخصه‌های توصیفی از شکل زمین مانند دره، یال و یا دامنه، کمی بودن آن‌ها است ضمن ممانعت از تفسیرهای مختلف توسط افراد از شکل‌های زمین، امکان محاسبات آماری را میسر می‌سازد.

این شاخص‌ها اولین بار توسط McNab (۱۹) معرفی و در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸، ۵ و ۲۱). برای اندازه‌گیری شاخص شکل زمین از مرکز قطعه نمونه شیب زمین در ۴ جهت اصلی قرائت و در نهایت میانگین جهت‌های مختلف به‌عنوان معیاری از شکل زمین ثبت گردید (۲۱). چنانچه مقدار عددی شاخص در یک شکل زمین رقم بالایی باشد، نشان از پرشیب بودن و نزدیکی شکل زمین به دامنه‌های پرشیب دارد، در حالیکه مقدار عددی شاخص در اشکال نسبتاً مسطح از زمین مقدار عددی کمتری را نشان می‌دهد. در حقیقت این عدد معیاری کمی از شکل زمین را به دست می‌دهد. شاخص شکل دامنه با قرائت شیب در جهت‌های اصلی و فرعی جغرافیایی و میانگین‌گیری به دست آمد. شاخص جهت دامنه با اندازه‌گیری آزیموت شیب در مرکز قطعه نمونه و از طریق رابطه زیر به شکل کمی برآورد گردد (۲۱):

$$A_1 = \text{Cos}(A_2 - 45) + 1 \quad (۶) \text{ رابطه}$$

که در این رابطه  $A_1$ : زاویه تبدیل شده در محدوده بین صفر تا دو به عنوان شاخص جهت دامنه و  $A_2$ : آزیموت قرائت شده است (۶).

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کلموگراف اسمیرنوف و برابری واریانس با آزمون لون انجام شد و در صورت نیاز، نرمال‌سازی داده‌ها در محیط نرم‌افزاری SPSS انجام شد. از آزمون تجزیه واریانس یک-طرفه (ANOVA) برای تعیین معنی‌داری اختلاف بین دانسیته و میزان هر یک از مواد استخراجی در کلاسه‌های پوسیدگی مختلف و از آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین نرخ پوسیدگی، دانسیته، لگنین، سلولز، همی سلولز چوب راش در زمان‌های

نمونه‌برداری از کنده‌های جوان با ازه موتوری، کنده‌های میان‌سال با کمک تیر و برای کنده‌های کهن‌سال به‌صورت برداشت بقایا با دست انجام شد. در نهایت نمونه‌ها در درون کیسه‌های مخصوص جهت حفظ رطوبت قرار داده 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 محاسبه گردید. در ادامه، وزن تر نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت  $0.001$  گرم اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $103 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار گرفت و پس از خشک شدن، وزن خشک هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید (۲۲) چگالی نمونه‌ها برحسب  $(g/cm^3)$  با کمک رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\rho = m/v \quad (۱) \text{ رابطه}$$

که در آن  $m$ : وزن خشک چوب،  $v$ : حجم تر چوب است. برای توصیف الگوی پوسیدگی از بین توابع موجود با توجه سهولت و امکان محاسبه در شرایط مختلف، پرکاربردترین تابع توزیع نمایی انتخاب شد (۱۹).

فرضیه نرخ پوسیدگی در این مدل بر اساس نسبت مقدار ماده باقیمانده باگذشت زمان است که در آن روند پوسیدگی در تمامی بخش‌های چوب، همگن در نظر گرفته می‌شود. نرخ پوسیدگی سالانه نمونه‌ها با کمک رابطه شماره دو محاسبه شد (۲۱):

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

در این رابطه  $D_0$ : چگالی چوب در زمان  $t$ ،  $D_t$ : چگالی اولیه چوب و  $K$ : ضریب متوسط پوسیدگی چوب است. مدت‌زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ از مقدار چوب با استفاده از رابطه شماره سه محاسبه شد (۲۱):

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

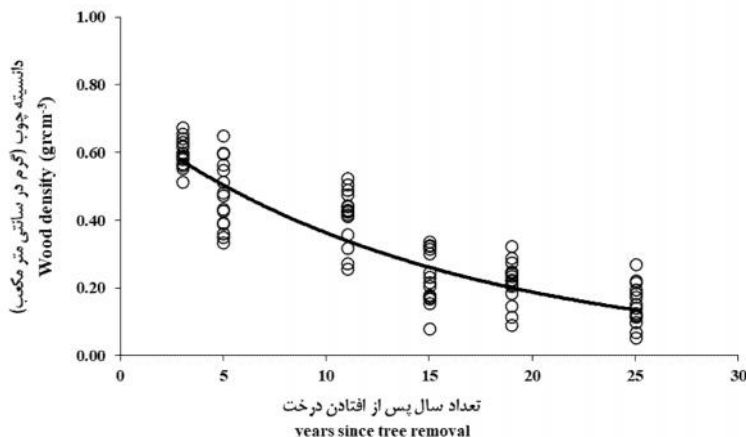
برای اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی چوب‌ها، بر اساس استاندارد ۹۵ T 257 cm<sup>-۱</sup> -آیین‌نامه TAPPI مقدار پودر موردنیاز تهیه و اندازه‌گیری لیگنین، سلولز، مواد استخراجی محلول در استون و خاکستر بر اساس آیین‌نامه TAPPI به شرح زیر انجام شد. لیگنین: ۹۸ T 222 om -، سلولز: ۲۸ T 264 om -، مواد استخراجی محلول در استون: ۹۷ T 204 - و خاکستر: ۹۳ T 211 om -  
درصد سلولز از رابطه زیر محاسبه گردید:

رابطه (۴)

$$\text{وزن خشک سلولز} = \frac{\text{وزن خشک سلولز}}{\text{وزن خشک پودر عاری از مواد استخراجی}} \times 100$$

مختلف و هر یک از شاخص‌های فیزیوگرافی شامل شکل زمین، شکل شیب و جهت دامنه استفاده شد. آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد (۴۱). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تعداد ۹۰ نمونه برش از کنده درختان در حال پوسیدن، متوسط دانسیته چوب راش در بین نمونه‌های برش ۰/۳۲ و دامنه تغییرات آن بین ۰/۰۵ و ۰/۶۲ گرم در سانتی‌مترمکعب محاسبه گردید. مقایسه میانگین دانسیته چوب در سال‌های مختلف برش نشان داد که

اختلاف معنی‌داری بین دانسیته در سال‌های مختلف پس از برش وجود دارد ( $F = 85/95$ ,  $sig > 0/000$ ). مقدار متوسط دانسیته در ۲، ۵، ۱۱، ۱۵، ۱۹، ۲۵، درختان به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۴۱، ۰/۴۸، ۰/۵۹ و ۰/۶۸ گرم در سانتی‌مترمکعب به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده تغییرات دانسیته چوب راش با گذشت زمان از یک تابع نمایی کاهنده پیروی می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات دانسیته چوب راش در سال‌های مختلف پس از برش  
Figure 1. The change in wood density for the Oriental beech in different years since tree removal

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، دانسیته خشک چوب راش با گذشت زمان و پس از شروع پوسیدگی کاهش می‌یابد و کمترین میزان دانسیته در مراحل پیشرفته از پوسیدگی مشاهده می‌گردد. مدل رگرسیونی کاهش دانسیته چوب راش در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و حدود ۸۷ درصد تغییرات در دانسیته با گذشت زمان را با رابطه نمایی زیر تبیین می‌نماید (جدول ۲).

رابطه (۷)  $Dt = 0/608 e^{-0/877 yt}$   
در این مدل،  $Dt$  دانسیته چوب در زمان  $et$  عدد نپر و  $Yt$  تعداد سال‌های پس از برش درخت هستند. بر اساس این تابع که بیانگر کاهش نمایی دانسیته چوب با گذشت زمان است، زمان پوسیدگی حدود ۹۵٪ از دانسیته چوب در این بررسی حدود ۴۶ سال برآورد شد.

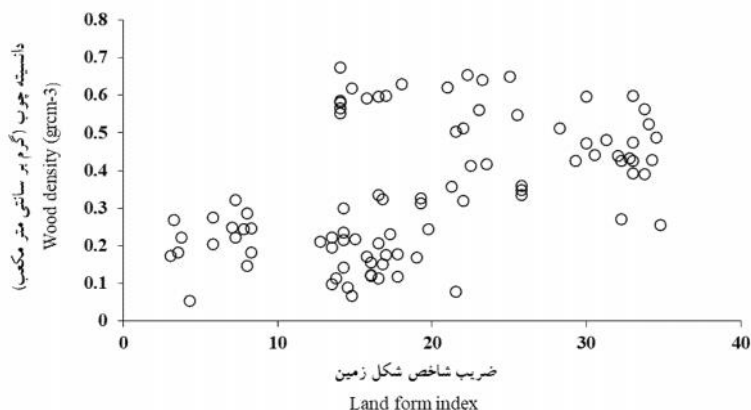
جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی در راش ( $R^2=0/87$ )  
Table 2. Results of ANOVA for the regression model of the relationship between wood density and decay classes for oriental beech ( $R^2=0.87$ )

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	sig
مدل	1	2.11	2.117	294.357	0.0001 <
خطا (باقیمانده)	88	0.633			
کل تصحیح‌نشده	89	2.751			

می‌توان بر اساس روند کاهشی موجود، زمان پوسیدگی حدود ۹۵٪ از دانسیته چوب و یا به‌عبارت‌دیگر زمان کاهش ۹۵ درصدی وزن چوب در این بررسی حدود ۴۶ سال برآورد کرد که این یافته با نتایج مطالعات انجام‌شده در شمال ایران (۳) و در جنگل‌های مشابه راش در اروپای مرکزی (۲۱، ۱۳) مطابقت دارد. کاهش دانسیته چوب و نیز افزایش میزان

رطوبتی آن در ارتباط کامل با تخریب ساختمان اولیه چوب با افزایش روند پوسیدگی است (۲۴). نرخ پوسیدگی در درختان مختلف علاوه بر شرایط محیطی مانند شرایط اقلیمی منطقه (۲۷) و ویژگی‌های وراثتی گونه‌های درختی (۱۱) تحت تأثیر ویژگی‌های ژنومورفیک رویشگاه (۱۲) نیز قرار دارد. اگرچه در

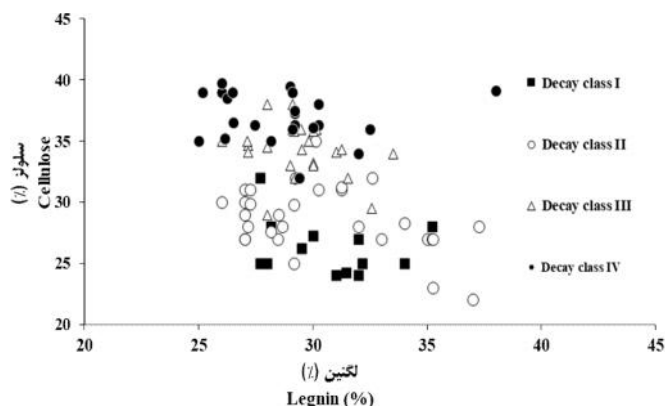
یک مقیاس میانه و کلان تأثیر اقلیم تأثیر چشمگیری بر روند پوسیدگی دارند (۱۶).  
 بر اساس نتایج این بررسی شاخص شکل زمین همبستگی مثبت و معنی‌داری با نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها دارد (جدول ۲). این درحالی‌که است که شاخص شکل دامنه تنها با دانسیته خشکه‌دار همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهد. هرچند که شاخص جهت دامنه، همبستگی معنی‌داری با نرخ پوسیدگی نشان نمی‌دهد؛ هرچند همبستگی ضعیف و منفی بین جهت دامنه و دانسیته خشکه‌دار مشاهده گردید (جدول ۳).



شکل ۲- رابطه بین شاخص شکل زمین و دانسیته خشکه‌دار  
 Figure 2. The relationship between landform index and dead wood

توجه به گذشت زمان از آغاز فرآیند پوسیدگی چوب مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهند.  
 شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب نمودار جعبه‌ای تغییرات سلولز، همی‌سلولز و لیگنین را در کلاسه‌های پوسیدگی مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، درصد لیگنین و همی‌سلولز به شکل معنی‌داری در بین کلاسه‌های پوسیدگی اختلاف نشان داد.

مقایسه میانگین دانسیته چوب در کلاسه‌های پوسیدگی اختلاف معنی‌داری را بین کلاسه‌ها به لحاظ دانسیته چوب نشان می‌دهد ( $F = ۱۳۱/۱۵$ ,  $sig > ۰/۰۰۰$ ). دانسیته چوب در کلاسه‌های چهارگانه پوسیدگی به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۲۶ و ۰/۲۱ گرم در سانتی‌مترمکعب به دست آمد. شکل ۳ مقایسه میزان سلولز و لیگنین را در بین نمونه‌ها و در کلاسه‌های پوسیدگی نشان می‌دهد. میزان سلولز و لیگنین با



شکل ۳- مقایسه درصد لیگنین و سلولز در نمونه‌ها با کلاسه پوسیدگی متفاوت  
 Figure 3. The comparison lignin and cellulose in different decay classes

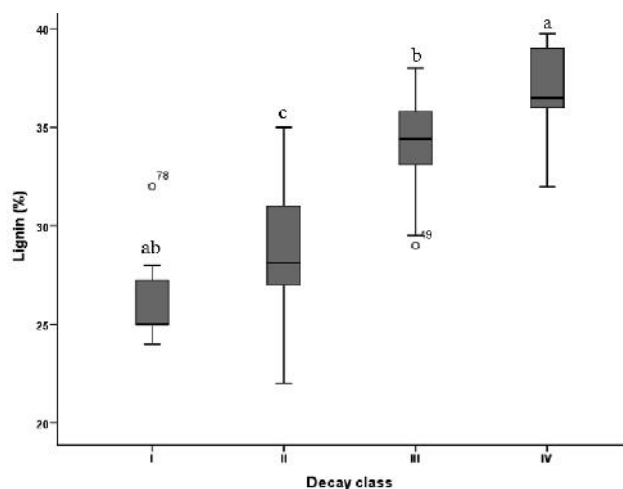
زمان ماندگاری خشکه‌دار متفاوت است. اراضی می‌توانند اشکال متفاوتی را از زمین‌های فرورفته (چاله‌ها) تا زمین‌های دارای برجستگی (تپه‌ها) داشته باشند. هر یک از این اشکال با تأثیر بر میزان انرژی دریافتی در هر واحد از سطح شرایط میکروکلیمای رویشگاه را تعیین می‌کنند. در نیمکره شمالی با توجه زاویه تابش خورشیدی بیشترین میزان انرژی در مناطق

ویژگی‌های فیزیکی چوب (دانسیته، وزن) و ترکیبات بیوشیمیایی چوب (لیگنین، سلولز و همی سلولز) در مراحل مختلف پوسیدگی متفاوت است و تحت تأثیر ویژگی‌های ژئومورفیک رویشگاه قرار دارد. همچنین شاخص شکل زمین همبستگی مثبت و معنی‌داری با نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها دارد. این بدین معنی است که در شکل‌های مختلف زمین

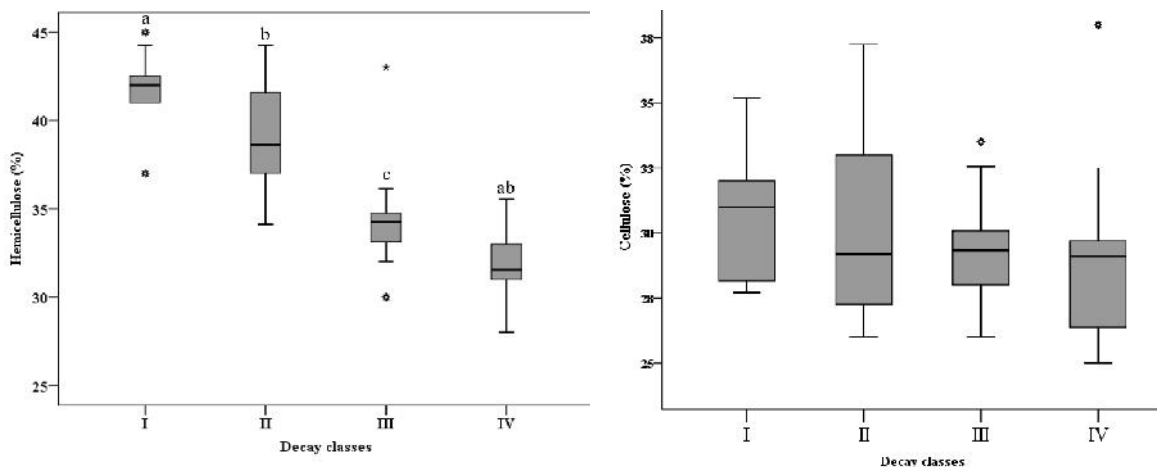
کوهستانی در دامنه‌های رو به جنوب اتفاق می‌افتد و در مقابل دامنه‌های رو به شمال دریافت رطوبت بیشتری دارند. در جنگل‌های کوهستانی شمال ایران نیز اغلب گونه‌های بردبار

جدول ۳- آزمون همبستگی بین شاخص‌های فیزیوگرافی و مشخصه‌های مرتبط با پوسیدگی خشک‌دار  
 Table 3. Results of correlation test between physiographic indices and decay related wood properties

سلولز (l)		لیگنین (l)		دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )		نرخ پوسیدگی		شاخص
sig	r	sig	r	sig	r	sig	r	
0.039	0.221	0.000	-0.521	0.291	0.232	0.000	0.472	شکل زمین (LI)
0.056	0.196	0.000	-0.482	0.000	0.412	0.056	0.243	شکل شیب (TSI)
0.814	0.012	0.514	0.713	0.052	-0.197	0.062	0.112	جهت دامنه (ASI)



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای مقایسه درصد لیگنین در کلاسه پوسیدگی  
 Figure 4. The Boxplot of lignin percent in different decay classes



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای مقایسه درصد همی سلولز در کلاسه پوسیدگی  
 Figure 6. The Boxplot of hemicellulose percent in different decay classes

شکل ۵- نمودار جعبه‌ای مقایسه درصد سلولز در کلاسه پوسیدگی  
 Figure 5. The Boxplot of cellulose percent in different decay classes

(۱۰). در جنگل‌های کوهستانی آپنین در کشور ایتالیا برای گونه راش، کاهش میزان سلولز همراه با روند پوسیدگی گزارش شده است (۱۸). برخلاف سلولز، در مطالعه حاضر روند کاهش برای میزان نسبی لیگنین با افزایش پوسیدگی به دست آمد که با نتایج سایر مطالعات صورت گرفته در سایر کشورها نیز مطابقت دارد (۲۴، ۱۱۶). در آغاز فرآیند تجزیه چوب، مواد سلولزی به سرعت توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف می‌شود و در نتیجه همراه با کاهش جرم، سطح غذایی قابل دسترس برای جانداران فعال در تجزیه کاهش می‌یابد؛ این در حالی است که نسبت لیگنین موجود در مراحل ابتدایی افزایش یافته و انتظار می‌رود که در مراحل پیشرفته پوسیدگی، روند به نسبت کندی را در فرآیند تجزیه شاهد باشیم. تجزیه کند لیگنین در مقایسه با سلولز و همی سلولز، پیش‌تر گزارش شده است (۱۰). ارتباط منفی بین محتوی سلولز و لیگنین در چوب خشکه‌دارها در نتیجه تجزیه سریع سلولز با پوسیدگی‌های قارچی است (۲۴) درحالی‌که لیگنین با سرعت بسیار کمتری تجزیه شده و در مراحل پوسیدگی شدید خشکه‌دارها میزان لیگنین در قیاس با سلولز به شدت افزایش می‌یابد. به همین دلیل اختلاف معنی‌دار بین ویژگی‌های ژئومورفیک رویشگاه و محتوی بیوشیمیایی خشکه‌دارها در مراحل پیشرفته پوسیدگی مشاهده می‌شود.

خشکه‌دارها با سپری شدن دوره پوسیدگی به تدریج از توده جنگلی حذف می‌شوند. تغییر در میزان و کیفیت خشکه‌دارها با گذشت زمان می‌تواند راهنمایی جهت تدوین برنامه‌های جنگل‌شناسی و مدیریتی جنگل باشد. تصمیم در مورد میزان خشکه‌دار قابل توصیه در هکتار از جنگل بدون در نظر گرفتن پویایی خشکه‌دارها و تغییراتی که با گذشت زمان رخ می‌دهد چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. بر اساس نتایج به دست آمده، شاخص شکل زمین مهم‌ترین عامل فیزیوگرافیک مؤثر بر نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها بود و درصد لیگنین به شکل معنی‌داری تحت تأثیر فرم زمین قرار داشت. بر این اساس توصیه می‌شود در تعیین و توصیه حجم مناسب خشکه‌دار با هدف حفظ کارکردهای بوم‌شناختی بوم‌سازگان‌های جنگلی، پویایی حجم خشکه‌دارها و اثرپذیری آن از شکل زمین و سایر ویژگی‌های فیزیوگرافیک در نظر گرفته شود. خشکه‌دارها به تدریج با افزایش روند پوسیدگی تحت تأثیر عوامل متعدد رویشگاهی از جنگل حذف می‌شوند که بایستی در مدیریت حجم نگهداشته شده در طرح‌های حفاظتی به این موارد و به ویژه ویژگی‌های رویشگاه به‌ویژه شرایط فیزیوگرافیک رویشگاه توجه کافی شود.

شکل زمین، جهت و شکل دامنه تأثیر مهمی در افت انرژی خورشیدی و در نتیجه بر الگوها و فرآیندهای اکوسیستمی دارند (۳۳). در شرایط اقلیمی خرد دو عامل رطوبت و دما مهم‌ترین تأثیر را بر نرخ پوسیدگی خشکه‌دارها دارند. مطالعات Liu و همکاران (۱۷) نشان داد که دو عامل بارش روزانه و میانگین دما بر نرخ پوسیدگی درختان تأثیرگذار است. همچنین مطالعات نشان داده است که دمای رویشگاه به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثرپذیر از شکل زمین، مهم‌ترین عامل اقلیمی اثرگذار بر روند پوسیدگی و نرخ تجزیه در درختان جنگلی است (۳۳). Mackensen و همکاران (۱۹) نشان دادند که نرخ پوسیدگی برای درختان در دمای بالای ۱۲-۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند و میانگین بارش نیز تأثیر قابل‌توجهی در افزایش پوسیدگی دارد. بر اساس نتایج مطالعه Yin (۳۸) نرخ پوسیدگی در مقابل افزایش دو درجه‌ای دما حدود ۵۵ درصد افزایش می‌یابد، علاوه بر این تأثیر میکروارگانیسم‌های فعال در چرخه‌های غذایی خاک نیز در روند پوسیدگی و فرآیندهای تنفس بیولوژیک، خردشدگی بافت چوب، آبشویی و هوازدگی مؤثر هستند که خود آن‌ها متاثر از میزان انرژی دریافتی و فیزیوگرافی منطقه است. فعالیت اغلب میکروارگانیسم‌ها می‌تواند تحت تأثیر شرایط میکروکلیمای خاک قرار گیرد (۳۷). شروع روند پوسیدگی در خشکه‌دارها اغلب در مرحله آغازین با خردشدگی و شکسته شدن فیزیکی چوب همراه است که میکروارگانیسم‌های بزرگ و برخی از حشرات و بندپایان دارای نقش اصلی در این مرحله هستند (۱۹). بر اساس مطالعات Pietikainen و همکاران (۲۵) دما مهم‌ترین عامل بر تنوع میکروارگانیسم و فعالیت آن‌ها به شمار می‌رود. تأثیر تنوع میکروارگانیسم‌های خاک در تسریع فرآیند پوسیدگی خشکه‌دارها در مطالعات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (۱۴). علاوه بر فیزیک چوب، ویژگی‌های بیوشیمیایی چوب درختان نیز بر روی فعالیت و جذب میکروارگانیسم‌ها و پیشرفت پوسیدگی مؤثر هستند. فرآیند تجزیه اکسیداسیون و نیز جذب جانداران مختلف تحت تأثیر محتوی بیوشیمیایی چوب قرار می‌گیرد. میزان لیگنین و سلولز در مراحل پوسیدگی تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند. علاوه بر این، شکل زمین و شیب آن تأثیر معنی‌داری بر میزان لیگنین دارد. هرچند که به نظر می‌رسد این عوامل با تأثیر بر روند پوسیدگی اثر غیرمستقیم بر محتوی بیوشیمیایی چوب دارند. بر اساس نتایج این بررسی، در مراحل پیشرفته پوسیدگی نسبت لیگنین در چوب به سلولز و همی سلولز افزایش یافته است که علت آن تجزیه نسبتاً کند لیگنین در قیاس با سلولز است

## منابع

1. Albrecht, L. 1990. Grundlagen, Ziele und Methodik der Waldökologischen Forschung in Naturwald reservaten. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
2. Alavi, S.J., Z.G. Amiri, M.R. Marvie Mohadjer and Z. Nouri. 2008. Spatial distribution of *Ulmus glabra* in relation to physiographical parameters. Journal of Environment, 43: 93-100 (In Persian).
3. Alidadi, F., M.R. Marvi-Mohadjer, V. Etemad and K. Sefidi. 2015. Decay dynamic of beech and hornbeam trees in mixed beech (*Fagus orientalis lipsky*) stands. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(4): 624-635 (In Persian).
4. Anonymus. 2004. Forestry plan of Asalem booklet. Forest Range and Watershed Management Organization, Iran (In Persian).
5. Barbour, M.G., J.H. Burk, W.D. Pitts, F.S. Gilliam and M.W. Schwartz. 1999. Terrestrial Plant Ecology. Benjamin/Cummings, Addison Wesley Longman, Inc. 649 pp.
6. Berg, B., B. Erhagen, M. Johansson, L. Vesterdal, M. Fauri, P. Sanborn and M. Nilsson. 2013. Manganese dynamics in decomposing needle and leaf litter – a synthesis. Canadian Journal of Forest Research, 43(12): 1127-1136.
7. Beers, T.W., P.E. Dress and L.C. Wensel. 1966. Aspect transformation in site productivity research. Journal of Forestry, 64: 691-692.
8. Bradford, M.A., R.J. Warren, P. Baldrian, T.W. Crowther, D.S. Maynard, E.E. Oldfield, W.R. Wieder, S.A. Wood and J.R. King. 2014. Climate fails to predict wood decomposition at regional scales. Nature Climate Change, 4: 625-630.
9. Büttler, R., L. Patty, R.C. Le Bayon, C. Guenat and R. Schlaepfe. 2007. Log decay of *Picea abies* in the Swiss Jura Mountains of Central Europe. Forest Ecology and Management, 242(2-3): 791-799.
10. Crawford, R.L. 1981. Lignin Biodegradation and Transformation. New York: John Wiley. 280pp.
11. Dunn, C.J. and J. D. Bailey. 2012. Temporal dynamics and decay of coarse wood in early seral habitats of dry-mixed conifer forests in Oregon's Eastern Cascades. Forest Ecology and Management, 276: 71-81.
12. Fukasawa, Y. 2015. The geographical gradient of pine log decomposition in Japan. Forest Ecology and Management, 349: 29-35.
13. Garrett, L.G., M.O. Kimberley, G.R. Oliver, S.H. Pearce and P.N. Beets. 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.
14. Garrett, L.G., G.R. Oliver, S.H. Pearce and M.R. Davis. 2008. Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand. Forest Ecology and Management, 255: 3839-3845.
15. Harmon, M.E. 2009. Woody detritus mass and its contribution to carbon dynamics of old-growth forests: the temporal context. In: Wirth, C., G. Gleixner and M. Heimann (Eds.), Ecological Studies, vol. 207: Old-Growth Forests. Springer, Berlin Heidelberg, 159-190 pp.
16. Hérault, B., J. Beauchêne, F. Muller, F. WagnerBaraloto and B. BlancMartin. 2010. Modeling decay rates of dead wood in a Neotropical forest. Oe.L. ecologia, 164: 243-251.
17. Liua, W., D. Schaefer, L. Qiao and X. Liu. 2013. What controls the variability of wood-decay rates? Forest Ecology and Management, 310: 623-631.
18. Lombardi, F., P. Cherubini, R. Tognetti, C. Coccozza, B. Lasserre and M. Marchetti. 2013. Investigating biochemical processes to assess deadwood decay of beech and silver fir in Mediterranean mountain forests. Annals of Forest Science, 70(1): 101-111.
19. Mackensen, J. and J. Bauhus. 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.
20. McNab, W.H. 1993. A topographic index to quantify the effect of mesoscale landform on site productivity. Canadian Journal of Forestry Research, 23: 1100-1107
21. Müller, S.U. and N. Bartsch. 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.
22. Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 44: 322-330.
23. Paletto, A. and V. Tosi. 2010. Deadwood density variation with decay class in seven tree species of the Italian Alps, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(2): 164-173.
24. Petrillo, M., P.G. Cherubini Sartori, S. Abiven, J. Ascher, D. Bertoldi, F. Camin, A. Barbero, R. Larcher and M. Egli. 2015. Decomposition of Norway spruce and European larch coarse woody debris (CWD) in relation to different elevation and exposure in an Alpine setting. I Forest 9: 154-164.
25. Pietikainen, J., A.B. MariePettersson and E. Baeth. 2005. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. Microbiology Ecology, 52: 49-58.
26. Pouska, V. and M. Svoboda. 2010. The diversity of wood-decaying fungi in relation to changing site conditions in an old-growth mountain spruce forest, central Europe. European Journal of Forest Research, 129: 219-231.

27. Russell, M.B., C.W. Woodall, A.W. D'Amato, S. Fraver and J.B. Bradford. 2014. Technical note: Linking climate change and downed woody debris decomposition across forests of the eastern United States. *Bio geosciences*, 11: 6417-6425.
28. Santiago, J.M. and D.R. Amanda. 2005. Dead trees as resources for Forest Wildlife. Extension fact sheet. Ohio State University Express, 12 pp.
29. Sefidi, K., D.F. Darabd and M. Sharari. 2016. The decay time and rate determination in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) dead trees in Asalem forests. *Environmental Studies*, 42(3): 551-563.
30. Sefidi, K., D.F. Esfandiary and M. Azarian. 2016. Effect of topography on tree species composition and volume of coarse woody debris in an Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) old growth forests, northern Iran. *I Forest*, 9: 658-665.
31. Sefidi, K. and V. Etemad. 2015. Dead wood characteristics influencing macro fungi species abundance and diversity in Caspian natural beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Forest Systems*, 24(2): 1-9.
32. Sefidi, K. 2018. Quantitative evaluation of habitat and dead tree abundance in the oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, case study from the Siahkal forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(3): 331-343.
33. Swanson, F.J., T.K. Kratz, N. Caine and R.G. Woodmansee. 1988. Landform Effects on Ecosystem Patterns and Processes. *BioScience*, 38(2): 92-98.
34. Talbot, J.M. and K.K. Treseder. 2012. Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry–decay relationships. *Ecology*, 93: 345-354.
35. Taleshi, H. and M. Akbarinia. 2012. Biodiversity of Woody and Herbaceous Vegetation Species in Relation to Environmental Factors in Lowland Forests of Eastern Nowshahr. *Iranian Journal of Biology*, 24(5): 776-777 (In Persian).
36. Tobin, B., K. Black, L. McGurdyand and M. Nieuwenhuis. 2007. Estimates of decay rates of components of coarse woody debris in thinned Sitka spruce stands. *Forestry*, 80: 455-469.
37. Urbanova, M., J. Snajdr and P. Baldrian. 2015. Composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees, *Soil Biology and Biochemistry*, 84: 53-64.
38. Valipour, A., M. Namiranian, H. Ghazanfari, S.M. Heshmatol Vaezin, M.J. Lexer and T. Plieninger. 2014. Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(1): 30-47 (In Persian).
39. Yan, E., X. Wang, J. Huang, R. Zeng and Gong. 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.
40. 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.
41. Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*, Ed 4. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

## The Influence of Geomorphological Characteristics of Forest Sites on the Decay Dynamics of Dead Trees in Asalem Forests, Western Hyrcanian Region

Kiomars Sefidi

Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Mohagheh Ardabili, Ardebil, Iran  
(Corresponding Author: Kiomarssefidi@gmail.com)

Receive: August 29, 2018

Accepted: December 2, 2018

### Abstract

Knowledge of the decay trend of dead trees and site factors affecting their functions, plays an important role in the development of conservation management plans in forestry projects. This research was conducted in Asalem beech forests in northern Iran to assess the impact of physiographic features of the site on the process of dead trees decay. A total of 90 sample cuts of dead beech stumps were randomly selected and studied. For each sample, species, diameter and decay classes were recorded. The effect of aspect Slope Index (ASI), Terrain Shape Index (TSI) and Landform Index (LI) on the physical properties of dead wood (density, weight, moisture content) and biochemical components of wood (lignin, cellulose and hemicellulose) on the process of decay were investigated. The mean decay rate of dead beech stumps calculated 0.061 and the mean of beech was 0.32 that varied between 0.05 and 0.62 grams per cubic meters. The results revealed decay process requires about 46 years and the four classes decay showed significant difference in terms of wood density, lignin and cellulose. Meanwhile, the LI was the most important physiographic factors influencing the decay rate of dead trees. The lignin content of the deadwoods was significantly influenced by the form of land. Accordingly, it can be concluded that maintenance certain volume of dead tree in the forest stand structure need to taking account into the dynamics of dead trees, as well as the effects of geomorphological characteristics of site, especially land form conditions

**Keywords:** Decay Constant, Decay Grade, Landform Index (LI), Physiography, Terrain Shape Index (TSI)