

تعیین زمان و نرخ پوسیدگی خشکه‌دارهای راش در جنگل‌های اسالم

کیومرث سفیدی^{۱*}، فریبا اسفندیاری درآباد^۲ و معراج شیری^۳

۱. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۴

چکیده

با توجه به نقش خشکه‌دارها در اکوسیستم‌های جنگلی، آگاهی از زمان پوسیدن خشکه‌دارها نقش مهمی در تدوین برنامه‌های حفاظتی دارد. این پژوهش با هدف بررسی پویایی پوسیدگی در خشکه‌دارها در جنگل‌های راش اسالم انجام گرفت. تعداد ۹۰ نمونه برش به‌طور تصادفی انتخاب شد. برای هر نمونه نام گونه، قطر کنده و درجه پوسیدگی به‌ثبت رسید. نتایج نشان داد که مدت زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ و ۵۰٪ از جرم خشکه‌دار راش به‌ترتیب ۴۹ و ۲۲ سال است. بر این اساس، نرخ پوسیدگی این گونه در دامنه ۰/۰۱٪ تا ۰/۰۷٪ در هر سال قرار دارد. مجموع مدت زمان استقرار خشکه‌دار در چهار مرحله پوسیدگی به‌ترتیب ۲، ۱۷، ۱۲ و ۶ سال و در مجموع ۳۶ سال برآورد شد. نتایج نشان داد که دانسیته چوب راش در نمونه‌های سال‌های مختلف به‌شکل معناداری متفاوت است و منحنی تغییرات آن با گذشت زمان و در کلاسه‌های پوسیدگی از تابع نمایی کاهنده پیروی می‌کند. رابطه معناداری بین ترکیبات شیمیایی چوب و نرخ پوسیدگی آن در سال‌های مختلف مشاهده نشد. بر این اساس در نگهداری خشکه‌دارهای راش در جنگل‌ها با هدف حفظ تنوع زیستی و یکپارچگی اکوسیستم، بایستی پویایی حجم و دانسیته خشکه‌دارها با گذشت زمان اهمیت دارد.

کلیدواژه

خشکه‌دار، درجه پوسیدگی، راش شرقی، زمان پوسیدگی، یکپارچگی اکوسیستم.

۱. سرآغاز

جنگلی معرفی شده است و تنوع بالا در اکوسیستم‌های جنگلی، نشان از سلامت و پایداری اکوسیستم دارد (Parviainen and Västilä, 2011). یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی حضور درختان خشکه‌دار است که به ایجاد ناهمگنی در ساختار و شکل‌گیری درختان زیستگاه^۱ در جنگل‌ها و در نتیجه افزایش تنوع زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی منجر می‌شود (Sefidi et al., 2013).

در رویکرد مدیریت هم‌گام با طبیعت در جنگل‌ها، حفظ تنوع زیستی و حفاظت از جنگل‌ها، به منزله زیستگاه بسیاری از گونه‌های در خطر انقراض، اهمیت دارد. حفظ و

امروزه، خشکه‌دارها در حفاظت از تنوع زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی اهمیت بالایی دارد. اهمیت حفظ تنوع در اکوسیستم‌های طبیعی، به شکل‌گیری دیدگاه‌های متفاوتی نسبت به طرح‌های جنگلداری منجر شده است. در اغلب طرح‌های جنگلداری با دیدگاه حفاظت از طبیعت، به‌ویژه در جنگلداری اکولوژیکی، یکی از مهم‌ترین اهداف طرح‌های جنگلداری حفاظت از تنوع زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی است (Bollmann and Müller, 2012). علاوه بر این، تنوع زیستی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کمی ارزیابی مدیریت پایدار اکوسیستم‌های

۱۳۸۳؛ کوچ و همکاران، ۱۳۸۹)، تغییرات آن در مسیر تکامل جوامع جنگلی (Sefidi and Marvi-Mohadjer, 2010; Amanzadeh et al., 2013) و نسبت حجمی خشکه‌دارهای درشت و خرد (Sefidi et al., 2013) تأکید شده است. البته، نقش خشکه‌دارها در ترسیب کربن و آزادسازی آن کمتر بررسی شده است. زمان حضور خشکه‌دار در اکوسیستم‌های جنگلی نقش مهمی در استقرار و چرخه کربن در اکوسیستم‌های جنگلی دارد. علیدادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی پویایی پوسیدگی خشکه‌دارهای راش و ممرز در جنگلی آمیخته نشان دادند که مدت زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ از جرم خشکه‌دار راش و ممرز در طبیعت به ترتیب ۳۰ و ۱۶ سال است. مجموع مدت زمان مورد نیاز برای پوسیدگی تمام مراحل پوسیدگی، براساس چهار درجه پوسیدگی در خشکه‌دار راش و ممرز، به ترتیب، ۲۷ و ۲۱ سال محاسبه شد.

گزارش‌های منتشرشده، زمان پوسیدن خشکه‌دارهای گونه‌های درختی مختلف را متفاوت ذکر کرده‌اند. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته، گونه‌های درختی مختلف سوزنی‌برگ و پهن‌برگ تفاوت‌هایی را به لحاظ نرخ پوسیدگی نشان می‌دهد. در ایالت آرگون، زمان پوسیدگی کامل و نرخ پوسیدگی گونه درختی نراد، به ترتیب، ۲۰ سال و ۰/۰۱۷ در سال برآورد شده است (Dunn and Bailey, 2012). این درحالی است که در جنگل‌های مرکزی آلمان و در توده‌های جنگلی راش، زمان پوسیدگی کامل این گونه ۳۵ سال و نرخ پوسیدگی ۰/۰۸۹ در سال برآورد شده است (Müller and Bartsch, 2009). نرخ پوسیدگی درختان در بین گونه‌های مختلف یک جنس نیز تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. در مطالعات صورت‌گرفته بین گونه‌های مختلف جنس اکالیپتوس میانه زمان پوسیدگی ۹۵٪ از حجم درختان ۴۶ سال و دامنه تغییرات آن بین ۶-۹۱ سال در بین گونه‌های درختی مختلف برآورد شده است (Mackensen and Bauhus, 2003).

نگهداری خشکه‌دارها در توده‌های جنگلی در شیوه‌های مدیریتی هم‌گام با طبیعت تأکید شده است. یکی از مهم‌ترین پرسش‌های موجود، نگهداری خشکه‌دارها در بعد کمیت (مقدار) و کیفیت (چگونگی) در جنگل‌هاست. برای پاسخ به چنین پرسش‌هایی، لازم است به زمان استقرار خشکه‌دارها در اکوسیستم جنگلی همچنین، عبور و تجزیه کامل آن توجه کرد و مشخص شود که هر خشکه‌دار به‌طور متوسط چند سال در جنگل می‌ماند تا بر این اساس برنامه‌ریزی‌های مشخصی در حفظ و نگهداری خشکه‌دارها صورت گیرد. در این بررسی با توجه به شرایط موجود در جنگل‌های شمال، زمان پوسیدگی خشکه‌دارهای راش بر اساس داده‌های زمانی موجود از طرح جنگلداری اسالم صورت گرفت.

مطالعات متعدد در دهه‌های اخیر، کارکردهای متفاوتی را برای خشکه‌دارها در اکوسیستم‌های جنگلی بیان کرده است. نقش خشکه‌دارها در فعالیت اکولوژیکی و تنوع زیستی و فرآیندهایی مثل جریان انرژی و چرخه کربن (Santiago and Amanda, 2005) افزایش قدرت جوانه‌زنی بذرهای درختان جنگلی (Kennedy and Quinn, 2001; Yan et al., 2007)، افزایش حضور و تنوع قارچ‌های ماکروسکوپی (Pouska and Svoboda, 2010; Sefidi and Etemad, 2015)، و نقش مؤثر در فرایند ترسیب کربن (Harmon, 2009) به اثبات رسیده است. خشکه‌دارها همچنین، در ذخیره مواد غذایی و نگه‌داشت آب اهمیت زیادی دارد. در نتیجه باعث ایجاد خرداقلیم مناسب در اشکوب زیرین جنگل‌ها می‌شود.

در سال‌های گذشته مطالعات متعددی در ارتباط با خشکه‌دارها در جنگل‌های شمال ایران صورت گرفته است. در اهداف این مطالعات، به نقش مؤثر خشکه‌دارها در استقرار نهال‌های راش و ممرز (محمدنژادکیاسری و رحمانی، ۱۳۸۱؛ سفیدی و همکاران، ۱۳۸۶)، مقدار کمی و کیفی خشکه‌دارها (Sefidi and Etemad, 2014)؛ ذوالفقاری،

پژوهش - ارائه اطلاعات کمی مناسب از زمان و نرخ پوسیدگی درختان راش شرقی - یاری می‌دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. 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 بهره‌برداری و زمان قطع درختان صورت گرفت. برای ایجاد همگنی در شرایط محیطی تلاش شد با انتخاب قطعات نمونه از رویشگاه‌های مشابه، تأثیر عوامل جانبی و خرد به حداقل ممکن برسد.

قطعه ۱۳۷ در سری یک ناو اسالم قرار گرفته و بین طول جغرافیایی $48^{\circ}48'51''$ تا $48^{\circ}52'27''$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ}37'51''$ تا $37^{\circ}41'16''$ واقع شده است. این محدوده از نظر تقسیمات کشوری در استان گیلان و شهرستان تالش قرار دارد. این سری از شمال به رودخانه ناو و طرح جنگلداری سری دریابن، از جنوب به جنگل‌های سری یک لومیر و یال معروف والونه تیغ، از شرق به یال کافریه ژیه و جنگل‌های طرح سیاه‌بیل و گیله‌سرا، و از غرب به یال قطره‌وونی و جنگل‌های سری دو ناو محدود می‌شود. این سری جزء اراضی جنگل‌های حوزه ۷ ناو است، به طوری که حداقل ارتفاع آن ۲۵۰ متر و حداکثر آن ۱۷۰۰ متر و ارتفاع اکثریت سطح آن ۹۰۰ متر است.

طی پژوهشی در جنگل‌های میان‌بند کشور ایرلند، الگوی تجزیه در کنده و تنه درختان یکسان به دست آمد. بر این اساس، نرخ مشابهی در کاهش دانسیته چوب در کنده و تنه حاصل شد (Tobin et al., 2007). Fasth و همکاران (۲۰۱۱) در جنگل‌های پهن‌برگ بلوط در کارولینای شمالی، عوامل مؤثر بر روند پوسیدگی خشک‌ده‌های گونه درختی *Quercus alba* را بررسی کردند و نشان دادند که نرخ پوسیدگی در این گونه بین ۰/۱۷-۰/۲۴ متغیر است. بر اساس نتایج این پژوهش، سرعت تجزیه در خشک‌ده‌های با ابعاد کوچک‌تر با سرعت بیشتری رخ می‌دهد.

با توجه به تغییر در نگرش کلی نسبت به مدیریت جنگل‌ها و رویکردهای حفاظتی و نیز نقش برجسته جنگل‌ها در ترسیب و ذخیره‌سازی کربن، امروزه آگاهی از زمان ماندگاری خشک‌ده در جنگل، مدیران بخش جنگل را در تدوین برنامه‌های جنگل‌شناسی یاری‌رسان است. با توجه به پویایی حجم خشک‌ده‌ها در اکوسیستم جنگل، آگاهی از تغییرات حجم خشک‌ده با گذشت زمان برای حفظ و نگهداری خشک‌ده‌ها در دوره‌های مختلف طرح‌های جنگلداری بسیار سودمند خواهد بود. این پژوهش تلاش دارد تا به این پرسش‌ها پاسخ دهد: (۱) زمان پوسیدگی خشک‌ده راش در شرایط طبیعی چند سال طول می‌کشد؟ و (۲) هر یک از کلاسه‌های چهارگانه پوسیدگی خشک‌ده‌ها پس از طی چه زمانی سپری می‌شود. پاسخ به این پرسش‌ها ما را در رسیدن به هدف اصلی این

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

| تیپ جنگل | پوشش تاجی (%) | فراوانی درختان (اصله در هکتار) | مساحت (هکتار) | قطعه مورد بررسی |
|--------------------|---------------|--------------------------------|---------------|-----------------------|
| راش - پلت - توسکا | ۷۵-۹۰ | ۳۳۱ | ۴۳ | ۱۳۷، سری یک ناو اسالم |
| راش - ممرز - افرا | ۷۵-۸۵ | ۳۲۰ | ۸۲ | ۲۲۰، سری دو ناو اسالم |
| راش - توسکا - ممرز | ۶۵-۸۰ | ۲۸۸ | ۲۶ | ۲۲۶، سری دو ناو اسالم |

از نظر آب‌وهوایی با استفاده از داده‌های ده‌ساله نزدیک‌ترین ایستگاه کليماتولوژی به منطقه (پيسه‌سون) در ارتفاع ۱۲۸۴ متری از سطح دریا، میانگین میزان بارندگی سالانه ۱۲۸۶/۵ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه ۸/۵ درجه سانتی‌گراد، حداقل درجه حرارت ثبت شده ۱۹/۵- درجه سانتی‌گراد، و تعداد روزهای یخبندان ۱۳۲ روز ثبت شده است که بر اساس روش آمبرژه جزء قليم سرد و مرطوب قرار می‌گیرد.

قطعات ۲۲۰ و ۲۲۶ در سری دو طرح ناو اسالم قرار گرفته است. سری دو ناو مربوط به حوزه ۷ ناو در محدوده حوزه جنگلداری شهرستان تالش تحت نظر اداره کل منابع طبیعی استان گیلان واقع شده است. این سری از شمال به رودخانه ناو و طرح جنگلداری سری دریابن، از جنوب به خط‌الرأس اسبه وونی که حد مرز سری دو و حوزه آبخیز لومیر است، از شرق به یال قطره‌وونی و شن‌دول که حد مرز سری دو با جنگل‌های سری یک است، و از غرب به یال ووزه‌لرزه و خلنبر که حد مرز سری دو با جنگل‌های سری سه است محدود می‌شود. این سری در حدود ارتفاعی ۲۸۰ تا ۲۱۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است.

۲.۲. جمع‌آوری داده‌ها

پس از بازدیدهای میدانی و جنگل‌گردشی، مشورت با مدیران اجرایی طرح و مطالعه کتابچه طرح جنگلداری منطقه مورد مطالعه و با همکاری اکپ قطع و استحصال و در نظر گرفتن امکان تهیه نمونه در تابستان ۱۳۹۳، تعداد نود نمونه برش به صورت تصادفی از نوزده کنده باقی‌مانده در جنگل از بین درختان قطع شده 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 کتابچه طرح جنگلداری سپری شده بود، انتخاب و نمونه‌برداری از کنده‌های برش صورت گرفت. استفاده از کنده‌های برش علی‌رغم وجود تفاوت‌هایی در وزن

مخصوص در قیاس با سایر اندام درختی با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات مربوط به زمان دقیق شروع پوسیدگی خشکه‌دارها در جنگل‌های طبیعی تأیید شده است و در مطالعات متعددی استفاده شده است (Tobin et al., 2007). مطالعات Janisch و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده است بین نرخ پوسیدگی در کنده و تنه‌های افتاده درختی در حال پوسیدن اختلاف معناداری وجود ندارد.

پس از انتخاب تصادفی کنده‌های راش از بین کنده‌های مورد نظر، اطلاعات مربوط به نوع گونه، قطر بالای کنده و درجه پوسیدگی در فرم‌های آماربرداری ثبت شد. برای نمونه‌برداری از کنده‌های جوان و به‌منظور برش قطاع مکعبی شکل با طول و عرض و ارتفاع ۵ سانتی‌متر در دو جهت عمود بر هم از مقطع عرضی هر کنده، از ااره موتوری استفاده شد. نمونه‌برداری از کنده‌های میان‌سال با کمک تبر و از کنده‌های کهن‌سال به صورت برداشت بقایا با دست انجام شد. در نهایت، نمونه‌ها در درون کیسه‌های مخصوص برای حفظ رطوبت قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شد.

کلاس‌های پوسیدگی خشکه‌دارها به شکل زیر تعیین شد (Albrecht, 1990; Sefidi and Marvie-Mohadjer, 2010):

۱. پوسیدگی درجه ۱، درخت تازه‌افتاده، پوست و چوب درخت قابل تشخیص است و گاه جوانه رشد یک سال اخیر روی آن دیده می‌شود.
۲. پوسیدگی درجه ۲، پوسیدگی درون چوب آشکار است و در بیشتر موارد پوست درخت دیده می‌شود. جوانه‌ها دیده نمی‌شود.
۳. در پوسیدگی درجه ۳، درون چوب و پوست درخت به‌طور کامل پوسیده شده، سرشاخه‌ها کنده شده و به‌آسانی با ضربه به حالت پودری درمی‌آید.
۴. پوسیدگی درجه ۴، درون چوب و پوست به‌کلی پوسیده شده و در برخی موارد درخت به‌کلی به خاک تبدیل شده و پوشش علفی به‌طور کامل مستقر شده است.

استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

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

برای اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی چوب‌ها، بر اساس استاندارد ۹۵-۲۵۷cm T آیین‌نامه TAPPI مقدار آرد مورد نیاز تهیه شد. اندازه‌گیری لیگنین، سلولز، مواد استخراجی محلول در استون و خاکستر بر اساس آیین‌نامه TAPPI به شرح زیر انجام شد: لیگنین: ۹۸-۲۲۲ om T، سلولز: ۸۸-۲۶۴ om T، مواد استخراجی محلول در استون: ۹۷-۲۰۴ cm T و خاکستر: ۹۳-۲۱۱ om T. برای برآورد ترکیب شیمیایی چوب ابتدا پودر عاری از مواد استخراجی با حلال استون تهیه شد. مقدار ۲ گرم از آن به‌همراه ۵۰ cc اسید اسیدنیتریک ۶۵٪ داخل بالن ته‌گرد حرارت‌دهی و از روی صافی عبور داده شد. پس از سه تکرار کرده و درصد سلولز از رابطه (۴) به‌دست آمد.

(۴)

وزن خشک سلولز
درصد خشک پودر عاری از مواد استخراجی = $\frac{\text{وزن خشک سلولز}}{\text{وزن خشک پودر عاری از مواد استخراجی}} \times 100$
درصد لیگنین نیز به روش کلزون برآورد شد. برای این کار ۱۵ ml اسید سولفوریک ۷۲٪ به ۱ گرم پودر خشک عاری از مواد استخراجی افزوده و پس از نگهداری به مدت دو ساعت در دمای اتاق و هم‌زنی به این مخلوط ۵۶۰ ml آب اضافه شد. در ادامه، پس از حرارت‌دهی، مخلوط از کاغذ صافی عبور داده و در نهایت کاغذ صافی به همراه پودر حاوی لیگنین در آون با دمای ۱۰۳ به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. مقدار لیگنین از رابطه (۵) به‌دست آمد.

(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 شد.

حجم تر نمونه‌های مکعبی با استفاده از رابطه ریاضی حجم مکعب محاسبه حجم نمونه‌های با شکل نامنظم با استفاده از روش جابه‌جایی در آب (Yeboah, 2011) محاسبه شد. در ادامه وزن تر نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای 103 ± 1 درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرارگرفت و پس از خشک‌شدن، وزن خشک هر یک از نمونه‌ها محاسبه شد. چگالی نمونه‌ها بر حسب (g/cm^3) با کمک رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\rho = m/V \quad (1)$$

که در آن m وزن خشک چوب و V حجم تر چوب است.

برای توصیف الگوی تجزیه و پوسیدگی، دانشمندان چندین مدل ریاضی ارائه کرده‌اند (Harmon et al., 2000; Mackensen and Bauhus, 2003) که در بین توابع موجود با توجه به سهولت و امکان محاسبه در شرایط مختلف، پرکاربردترین تابع توزیع‌نمایی است (Olson, 1963). فرضیه نرخ پوسیدگی (سرعت نرخ متوسط پوسیدگی چوب) در این مدل بر اساس نسبت مقدار ماده باقیمانده با گذشت زمان است، که در آن روند پوسیدگی در تمامی بخش‌های چوب همگن در نظر گرفته می‌شود. اغلب، در تشریح فرایند پوسیدگی تغییرات دانسیته چوب در نظر گرفته می‌شود (Schäfer, 2002) که علت آن اندازه‌گیری راحت و نزدیکی مقدار اولیه آن در بین گونه‌های درختی مختلف است (Mackensen and Bauhus, 2003).

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

$$k = \frac{(\ln D_0 - \ln D_t)}{t} \quad (2)$$

در این رابطه 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

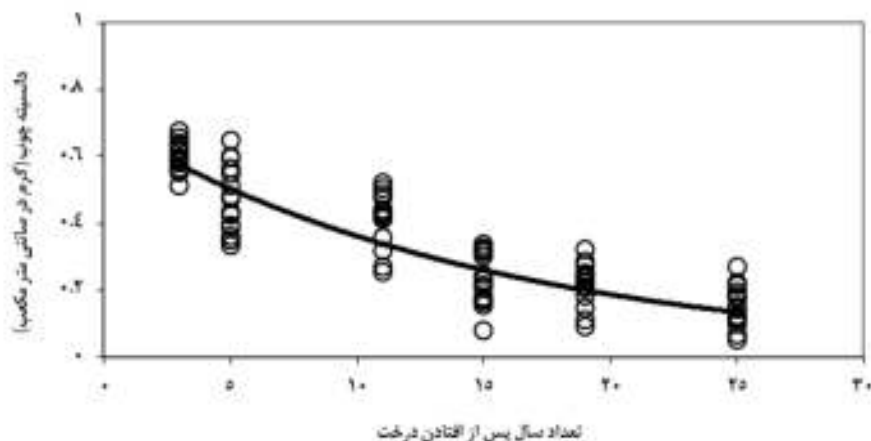
۳.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا، نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس با استفاده از آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف و آزمون لون^۲ انجام شد. در مواردی نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها وجود داشت که در محیط نرم‌افزاری SPSS انجام شد. از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای تعیین معناداری اختلاف بین دانسیته در کلاسه‌های پوسیدگی و در سال‌های مختلف استفاده شد. همچنین، برای ارائه مدل پوسیدگی از رگرسیون چند متغیره استفاده شد. برای بررسی رابطه بین ترکیب شیمیایی چوب و دانسیته چوب راش در زمان‌های مختلف پس از سال پوسیدگی از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. آزمون‌های آماری در سطح معناداری ۰/۰۵ (Zar, 1999) انجام شد. به منظور ارائه مدل نرخ تجزیه و تغییرات ایجادشده در خصوصیات چوب طی

زمان تجزیه، مدل رگرسیونی نمایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 22) به کار رفت.

۳. نتایج

در این بررسی تعداد نود نمونه برش از کنده درختان در حال پوسیدن انتخاب و بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، متوسط دانسیته چوب راش در بین نمونه‌های برش ۰/۳۲ گرم در سانتی‌متر مکعب به دست آمد که دامنه تغییرات آن بین ۰/۰۵ و ۰/۶۲ گرم در سانتی‌متر مکعب محاسبه شد. مقایسه میانگین دانسیته چوب در سال‌های مختلف برش نشان داد بین دانسیته در سال‌های مختلف پس از برش اختلاف معناداری وجود دارد (F ۸۵/۹۸, sig < ۰/۰۰۰).



شکل ۱. تغییرات دانسیته چوب راش در سال‌های مختلف پس از برش

مشاهده می‌شود. مدل رگرسیونی کاهش دانسیته چوب راش در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار بود. حدود ۸۷٪ تغییرات در دانسیته با گذشت زمان با رابطه نمایی (۶) تبیین می‌شود.

$$Dt = 0.608e^{-0.887ty} \quad (۶)$$

در این مدل Dt دانسیته چوب در زمان t، عدد nبر و Yt تعداد سال‌های پس از برش درخت است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییرات دانسیته چوب راش با گذشت زمان از تابع نمایی کاهنده پیروی می‌کند. جدول ۲ مدل رگرسیونی تغییرات دانسیته با گذشت زمان را برای چوب راش نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، دانسیته خشک چوب راش با گذشت زمان و پس از شروع پوسیدگی کاهش می‌یابد و کمترین میزان دانسیته در مراحل پیشرفته از پوسیدگی

جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی رابطه بین دانسیته چوب و درجه پوسیدگی در راش ($R^2=0/87$)

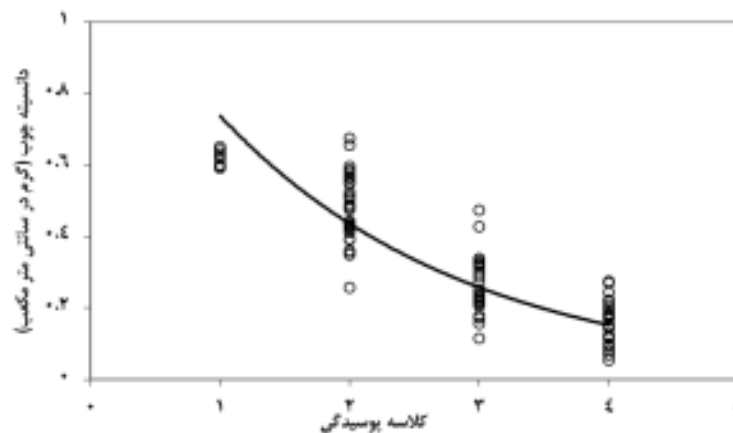
| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | آماره F | سطح معناداری |
|-----------------|------------|--------------|----------------|---------|--------------|
| مدل | ۱ | ۲/۱۱ | ۲/۱۱۷ | ۲۹۴/۳۵۷ | <0/0001 |
| خطا (باقیمانده) | ۸۸ | ۰/۶۳۳ | | | |
| کل تصحیح‌نشده | ۸۹ | ۲/۷۵۱ | | | |

تغییرات دانسیته چوب راش در کلاس‌های پوسیدگی مختلف را نشان می‌دهد. همچنین، بر اساس معادلات رگرسیونی، دانسیته چوب راش در بین کلاس‌های پوسیدگی و از مراحل ابتدایی تا مراحل پیشرفته پوسیدگی از تابع نمایی کاهنده پیروی می‌کند. جدول ۳، نتایج مربوط به تحلیل واریانس تابع برازش شده را نشان می‌دهد.

همچنین، مقایسه مقدار متوسط دانسیته چوب راش در بین کلاس‌های پوسیدگی نیز تفاوت معناداری نشان می‌دهد ($\text{sig} < 0/00, F = 101/8$). بیشترین دانسیته چوب راش در نمونه‌های برش و در کلاس یک از پوسیدگی مشاهده می‌شود (۰/۶۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب). همچنین، کمترین میزان دانسیته بین نمونه‌های برش در کلاس چهار (۰/۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به دست آمد. شکل ۲

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی دانسیته چوب و درجه پوسیدگی در راش ($R^2=0/85$)

| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | آماره F | سطح معناداری |
|-----------------|------------|--------------|----------------|---------|--------------|
| مدل | ۱ | ۲۳/۳۶۹ | ۲۳/۳۶۹ | ۲۴۰/۴۴۲ | <0/0001 |
| خطا (باقیمانده) | ۸۸ | ۸/۵۵۱ | | | |
| کل تصحیح‌نشده | ۸۹ | ۳۱/۱۶۲ | | | |



شکل ۲. تغییرات دانسیته چوب راش در کلاس‌های مختلف پوسیدگی

دانسیتته چوب راش در منطقه مورد مطالعه ۴۹ سال به دست آمد. جدول ۴ متغیرهای مربوط به رابطه کاهش دانسیته و مدت زمان لازم برای پوسیدن ۹۵٪ را نشان می دهد.

بر اساس تغییرات دانسیته چوب راش در سال های مختلف پس از پوسیدگی، همچنین تابع نمایی کاهنده به دست آمده، مدت زمان لازم برای پوسیدن ۹۵٪ از

جدول ۴. مدت زمان لازم برای پوسیدن خشکدار راش بر اساس مدل استخراجی

| رابطه | r^2 | P | K | $T_{0.5}$ | $T_{0.05}$ |
|---------------------|-------|--------|------|-----------|------------|
| $D_t = D_0 e^{-kt}$ | ۰/۷۷ | <۰/۰۰۱ | ۰/۰۶ | ۱۱/۵ | ۴۹ |

مرحله از پوسیدگی درختان راش در مجموع ۳۶ سال در جنگل های منطقه تخمین زده می شود. جدول ۵، مدت زمان لازم برای پوسیدگی ۹۵٪ و ۵۰٪ از دانسیته چوب راش، همچنین نرخ پوسیدگی و دانسیته متوسط در چهار کلاسه پوسیدگی را نشان می دهد.

بر اساس نتایج این پژوهش در درجات پوسیدگی مختلف، دانسیته چوب راش متفاوت است و بر اساس مدل تخمین تغییرات دانسیته با گذشت زمان، مدت زمان پوسیدگی در چهار درجه پوسیدگی به ترتیب ۲، ۱۷، ۱۲ و ۶ سال برآورد می شود. بر این اساس، برای طی چهار

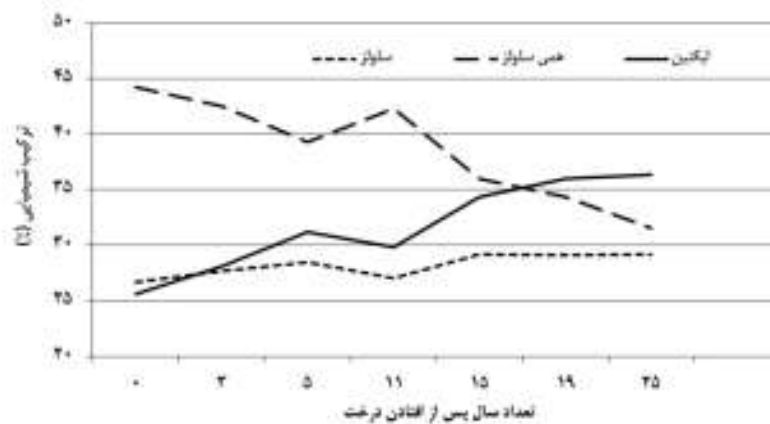
جدول ۵. مدت زمان لازم برای استقرار خشکدار راش در کلاسه های پوسیدگی بر اساس مدل استخراجی

| درجه پوسیدگی | $T_{0.5}$ | $T_{0.05}$ | نرخ پوسیدگی | دانسیته ($g\ cm^{-3}$) |
|--------------|-----------|------------|-------------|--------------------------|
| ۱ | ۱ | ۱ | ۰/۰۵۲ | ۰/۶۱۶ |
| ۲ | ۱۷ | ۷/۵ | ۰/۰۴۱ | ۰/۴۸۱ |
| ۳ | ۱۲ | ۵/۵ | ۰/۰۳۴ | ۰/۲۶۷ |
| ۴ | ۶ | ۴ | ۰/۰۳۱ | ۰/۱۵۹ |
| کل | ۳۶ | ۱۸ | - | - |

همی سلولز و لیگنین در چوب رابطه معناداری با نرخ تجزیه در سال های مختلف نشان نمی دهد.

شکل ۳ تغییر در سلولز، همی سلولز و لیگنین را پس از گذشت زمان نشان می دهد. بر این اساس، میزان سلولز در سال های اولیه پوسیدگی زیاد و با گذشت زمان کاهش می یابد. تغییرات ترکیب شیمیایی چوب از چوب درخت راش به شکلی است که در مراحل پیشرفته پوسیدگی، میزان لیگنین، نسبت به سلولز و همی سلولز بیشتر است.

نتایج آزمون های آماری نشان دهنده ارتباط معنادار بین ترکیب شیمیایی چوب و دانسیته چوب راش در خشکدارها با گذشت زمان است. به عبارتی با گذشت زمان و کاهش دانسیته چوب مقدار ترکیب شیمیایی چوب به شکل معناداری تغییر می یابد. هم زمان با کاهش دانسیته چوب راش با گذشت زمان، مقدار همی سلولز در چوب کاهش می یابد ($P=۰/۹۳۹$, $Sig=۰/۰۰۲$). این در حالی است که درصد لیگنین ($P=۰/۹۶۳$, $Sig=۰/۰۰۱$) و سلولز ($P=۰/۸۴۴$, $Sig=۰/۰۱۷$) رابطه معکوسی را با میزان دانسیته چوب راش نشان می دهد. هر چند درصد سلولز،



شکل ۳. تغییرات سلولز، همی سلولز و لیگنین چوب راش در سال‌های مختلف پس از برش

پوسیدگی حدود ۹۵٪ از چوب یا به عبارت دیگر زمان کاهش ۹۵٪ وزن چوب را برآورد کرد. این یافته با نتایج مطالعات انجام‌شده در شمال ایران (علی‌دادی و همکاران، ۱۳۹۴) و در سایر مناطق و در جنگل‌های مشابه (Garrett et al., 2012; Müller and Bartsch, 2009) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج این پژوهش در جنگل‌های راش منطقه اسالم، مدت زمان لازم برای پوسیدن درخت راش و ازدست‌دادن ۹۵٪ وزن چوب حدود ۴۶ سال است. مطالعات مختلف نتایج متفاوتی را برای نرخ پوسیدگی گونه‌های درختی مختلف و در نتیجه زمان پوسیدن گونه‌های مختلف گزارش کرده‌اند. نرخ پوسیدگی در درختان مختلف علاوه‌بر ویژگی‌های ژئومورفیکی رویشگاه (Fukasawa, 2015) و شرایط محیطی نظیر اقلیم (Russell et al., 2014) که تأثیر بسیاری در فرایند پوسیدگی دارد (Dunn and Bailey, 2012)، تحت تأثیر ژنتیک گونه‌ها نیز قرار دارد.

مطالعات متعددی تفاوت‌هایی را در بین گونه‌های مختلف از لحاظ نرخ پوسیدگی ذکر کرده است. Mackensen و Bauhus (۲۰۰۳) تفاوت‌هایی را بین گونه‌های جنس اکالیپتوس از لحاظ نرخ پوسیدگی نشان دادند. بر این اساس گونه‌های درختی *E. radiata* و

۴. بحث

زمان لازم برای پوسیدن خشکه‌داری در جنگل، جنگل‌شناسان را در تدوین برنامه‌های مدیریتی توده‌های جنگلی، همچنین نگهداری مقدار بهینه خشکه‌دار در اکوسیستم جنگل یاری می‌دهد. علاوه‌بر این، برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی طرح جنگلداری به داده‌های کمی مناسب برای تحلیل پویایی خشکه‌دارها با گذشت زمان نیاز دارد. در مدیریت توده‌های جنگلی بر مبنای شیوه‌های هم‌گام با طبیعت اغلب توصیه می‌شود خشکه‌دارها به منظور حفظ تنوع زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی حفظ و نگهداری شود. همواره حجم معینی از خشکه‌دار در جنگل برای نگهداری توصیه می‌شود (برای مثال، در جنگل‌های شمال حداقل ۱۵ مترمکعب). این در حالی است که حجم خشکه‌دارها پویاست و با گذشت زمان خشکه‌دارها با پیشرفت پوسیدگی از اکوسیستم جنگلی حذف می‌شود.

در این ارتباط همواره این سؤال مطرح است که با توجه به تغییرات حجم، خشکه‌دار چند سال نیازهای اکولوژیکی را در اکوسیستم‌های جنگل تأمین می‌کند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاهش دانسیته چوب با گذشت زمان از تابع نمایی کاهنده پیروی می‌کند و می‌توان بر اساس روند کاهشی موجود، تخمینی از زمان

نشان دادند که نرخ تجزیه در درختان در دمای بالای ۱۲-۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند و میانگین بارش نیز تأثیر قابل توجهی در افزایش پوسیدگی دارد. همچنین، افزایش ۵۵٪ نرخ پوسیدگی در مقابل افزایش دو درجه‌ای دما نیز گزارش شده است (Yin, 1999). علاوه بر این، تأثیر میکروارگانیسم‌های فعال در چرخه‌های غذایی خاک نیز در روند پوسیدگی فرایندهای تنفس بیولوژیکی، خردشدگی بافت چوب، آبشویی و هوازگی مؤثر است. فعالیت اغلب میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر شرایط میکروکلیمای خاک قرار می‌گیرد (Beets et al., 2008; Sefidi et al., 2016). در مقایسه جنگل‌های گرازبن و اسالم در غرب و شرق جنگل‌های شمال، به نظر می‌رسد تفاوت میکروکلیمای خاک با تأثیر بر جمعیت میکروبی فعال در روند پوسیدگی نقش داشته باشد. اغلب میکروارگانیسم‌های بزرگ و برخی حشرات و بندپایان آغازگر فرایند تجزیه و خردشدن بافت چوب‌اند (Mackensen and Bauhus, 2003). تأثیر تنوع میکروارگانیسم‌های خاک در تسریع فرایند پوسیدگی خشکه‌دارها در مطالعات متعددی تأیید شده است (Garrett et al., 2008; Beets et al., 2008). علاوه بر موارد ذکر شده، ویژگی‌های شیمیایی چوب درختان مختلف نیز بر فعالیت و جذب میکروارگانیسم‌ها و پیشرفت پوسیدگی مؤثر است. طی فرایند تجزیه اکسایش همچنین، جذب جانداران مختلف تحت تأثیر محتوای شیمیایی چوب است. در این بررسی میزان ترکیب شیمیایی چوب در مراحل پوسیدگی مختلف بررسی شده است. بر این اساس در مراحل پیشرفته پوسیدگی نسبت لیگنین در چوب به سلولز و همی سلولز افزایش می‌یابد که علت آن تجزیه نسبتاً کند لیگنین در قیاس با سلولز است. هر چند نرخ تجزیه در سال‌های مختلف رابطه معناداری با درصد هیچ یک از مواد را نشان نمی‌دهد که این یافته با نتایج پژوهش

E. elata تفاوت‌هایی از لحاظ نرخ تجزیه چوب نشان می‌دهد. علاوه بر این، گونه‌های درختی سوزنی‌برگ و پهن‌برگ نیز به واسطه داشتن مواد شیمیایی متفاوت در ساختمان چوب، تفاوت‌هایی را به لحاظ نرخ پوسیدگی نشان می‌دهد (Mackensen and Bauhus, 2003). Paletto و Tosi (۲۰۱۴) نشان دادند اختلاف در زمان پوسیدگی گونه‌های درختی به علت تفاوت در محتوای رطوبت و دانسیته اولیه درختان است. علی‌دای و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی جنگل‌های آمیخته راش در استان مازندران نشان دادند خشکه‌دارهای درخت ممرز در مقایسه با راش نرخ پوسیدگی بالاتری دارد و در مدت زمان کوتاه‌تری چرخه پوسیدگی را طی می‌کند. در این مطالعه، زمان لازم برای پوسیدگی کامل خشکه‌دار ۴۶ سال به دست آمد. همچنین، در مطالعه‌ای در جنگل‌های استان مازندران، این زمان حدود ۳۰ سال (علی‌دای و همکاران، ۱۳۹۴) و در جنگل‌های راش اروپا نیز برای گونه راش *F. sylvatica* در جنگل‌های کشور آلمان ۳۵ سال (Müller and Bartsch, 2009) گزارش شده است. تفاوت در نتایج به دست آمده، علاوه بر تفاوت در دانسیته اولیه و تفاوت‌های درون‌گونه‌ای مؤثر بر روند پوسیدگی، ممکن است به دلیل وجود تفاوت نسبی در شرایط اقلیمی دو منطقه باشد. رویشگاه جنگل گرازبن دارای رطوبت کمتر و دوره خشک طولانی‌تری نسبت به جنگل‌های اسالم در شرق استان گیلان است.

مطالعات متعددی تأثیر اقلیم و شرایط میکروکلیمای رویشگاه بر روند پوسیدگی درختان را گزارش کرده‌اند (Jomura et al., 2008; Héroult et al., 2010). Liu و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که دو عامل بارش روزانه و میانگین دما بر نرخ پوسیدگی درختان تأثیرگذار است. مطالعات نشان داده است که دما، مهم‌ترین عامل اقلیمی اثرگذار بر روند پوسیدگی و نرخ تجزیه در درختان جنگلی است. Bauhus و Mackensen (۲۰۰۳)

اکوسیستم‌ها بر مبنای حفظ تنوع زیستی در جنگل‌ها جایگاه پراهمیتی دارد. حفظ و نگهداری خشکه‌دارها ضامن حفظ تنوع گونه‌ای به‌ویژه در جمعیت پرندگان، حشرات و قارچ‌ها در اکوسیستم‌های جنگلی است. علاوه بر حفظ کمیت و کیفیت خشکه‌دارها، با توجه به پویایی خشکه‌دارها (تغییر در حجم خشکه‌دار با گذشت زمان) لازم است جنگل‌شناسان و مدیران بخش جنگل بتوانند تخمین نزدیک به واقعیت از زمان استقرار خشکه‌دار در توده‌های جنگلی داشته باشند. بر اساس یافته‌ی این پژوهش توصیه می‌شود در نگهداری خشکه‌دارها در جنگل علاوه بر نگهداری حجم مشخص از خشکه‌دار در جنگل به پویایی خشکه‌دارها در جنگل و تغییرات حجم با گذشت زمان نیز توجه شود.

یادداشت‌ها

1. Habitate trees
2. Leven's test

Mackensen و Bausch (۲۰۰۳) مطابقت دارد. مطالعات نشان داده است که در آغاز فرایند تجزیه‌ی چوب، مواد سلولزی به مصرف میکروارگانیسم‌ها می‌رسد، در نتیجه همراه با کاهش جرم، سطح غذایی در دسترس برای جانداران فعال در تجزیه کاهش می‌یابد. این درحالی است که نسبت لیگنین موجود به مراحل ابتدایی کاهش نمی‌یابد و انتظار می‌رود در مراحل پیشرفته از پوسیدگی روند نسبتاً کندی را در فرایند تجزیه شاهد باشیم. تجزیه نسبتاً کند لیگنین در مقایسه با سلولز و همی سلولز پیش‌تر گزارش شده است (Crawford, 1981). در عین حال باید متذکر شد نوع پوسیدگی و قارچ مستقر روی خشکه‌دار، همچنین تأثیر آن بر نوع مواد مصرف‌شده تأثیر مهمی بر نسبت سلولز و لیگنین در مراحل ابتدایی دارد، که پیشنهاد مناسبی برای مطالعات تکمیلی این پژوهش است.

امروزه، در بین مدیران بخش جنگل، شاهد تغییر در نگرش و رویکرد کلی نسبت به مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی بوده‌ایم. در نگاه مبتنی بر حفظ سلامتی،

۷. منابع

- ذوالفقاری، ا. ۱۳۸۳. بررسی اکولوژیک و جنگل‌شناسی خشکه‌دارها در یک جنگل مدیریت‌شده راش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۸۰ ص.
- سفیدی، ک. مروی مهاجر. م. زبیری. م. اعتماد. و. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر خشکه‌دارها در استقرار نهال‌های راش و ممرز در جنگل آمیخته راش، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵ (۴): ۳۶۵-۳۷۳.
- علی‌دادی، ف. مروی مهاجر، م. ر. اعتماد، و. سفیدی، ک. ۱۳۹۴. پویایی پوسیدگی خشکه‌دارهای راش و ممرز در یک جنگل آمیخته راش، مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲ (۴): ۶۲۴-۶۲۵.
- کوچ، ی. حسینی، س. م. اکبرینیا، م. طبری، م. جلالی، س. غ. ۱۳۸۹. نقش خشکه‌دار در تراکم زادآوری توده راش آمیخته (مطالعه موردی: جنگل سرد آبرود چالوس، مازندران). مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، ۲ (۲): ۹۳-۱۰۳.
- محمدنژادکیاسری، ش. رحمانی، ر. ۱۳۸۱. تأثیر خشکه‌دارها بر فراوانی تجدید حیات طبیعی در یک جنگل آمیخته راش و ممرز، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۴ (۲): ۱۴۳-۱۵۱.

Albrecht, L. 1990. Grundlagen, Ziele und Methodik der Waldökologischen Forschung in aturwaldreservaten. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.

Amanzadeh, B. Sagheb-Talebi, K. Foumani, B.S. Fadaie, F. Camarero, J.J., Linares, J.C. 2013. Spatial Distribution and

- Volume of Dead Wood in Unmanaged Caspian Beech (*Fagusorientalis*). Forests from Northern Iran. *Forests*. 4(4): 751-765.
- Beets, P.N. Hood, I.A. Kimberley, M.O. Oliver, G.R. Pearce, S.H. Gardner, J.F. 2008. Coarse woody debris decay rates for seven indigenous tree species in the central North Island of New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 256: 548-557.
- Bollmann, K. Müller, J. 2012. Naturwaldreservate: welche, wo und wofür? *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*. 163:187-198.
- Crawford, R.L. 1981. *Lignin Biodegradation and Transformation*. New York: John Wiley. 280pp.
- Dunn, C.J. Bailey, J.D. 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.
- Fasth, B.G. Harmon, M.E. Sexton, J. 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.
- Fukasawa, Y. 2015. The geographical gradient of pine log decomposition in Japan. *Forest Ecology and Management*. 349: 29-35.
- Garrett, L.G. Kimberley, M.O. Oliver, G.R. Pearce, S.H. Beets, P.N. 2012. Decomposition of coarse woody roots and branches in managed *Pinusradiata* plantations in New Zealand- A time series approach. *Forest Ecology and Management*. 269: 116-123.
- Garrett, L.G. Oliver, G.R. Pearce, S.H. Davis, M.R. 2008. Decomposition of *Pinusradiata* coarse woody debris in New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 255, 3839-3845.
- Harmon, M.E. 2009. *Woody detritus mass and its contribution to carbon dynamics of old-growth forests: the temporal context*. In: Wirth, C., Gleixner, G., Heimann, M. (Eds.), *Ecological Studies*, vol. 207: Old-Growth Forests. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 159-190.
- Harmon, M. Krankina, O. Sexton, J. 2000. Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics. *Canadian Journal of Forest Research*. 30:76-84.
- Hérault, B. Beauchêne, J. Muller, F. Wagner, F. Baraloto, C. Blanc, L. Martin, J.M. 2010. Modeling decay rates of dead wood in a neotropical forest. *Oecologia*. 164: 243-251.
- Janisch, J.E. Harmon, M.E. Chen, H. Fasth, B. Sexton, J. 2005. Decomposition of coarse woody debris originating by clearcutting of an old-growth conifer forest. *Ecoscience*. 12(2): 151-160.
- Jomura, M. Kominami, Y. Dannoura, M. Kanazawa, Y. 2008. Spatial variation in respiration from coarse woody debris in a temperate secondary broad-leaved forest in Japan. *Forest Ecology and Management*. 255: 149-155.
- Kennedy, P.G. Quinn, T. 2001. Understory plant establishment on old-growth stumps and the forest floor in western Washington. *Forest Ecology and Management*. 154: 193-200.
- Liua, W. Schaefer, D. Qiao, L. Liu, X. 2013. What controls the variability of wood-decay rates? *Forest Ecology and Management*. 310: 623-631.
- Mackensen, J. 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.
- Müller, S.U. 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.
- Parviainen, J. Västilä, S. 2011. State of Finland's Forests. Based on the Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management. Ministry on Agriculture and Forestry and Finnish Forest Research Institute. 99 p.
- Pouska, V. Svoboda, M.A.L. 2010. The diversity of wood-decaying fungi in relation to changing site conditions in an old-growth mountain spruce forest, centraleurope. *European Journal of Forest Research*. 129: 219-231.
- Russell, M.B. Woodall, C.W. D'Amato, A.W. Fraver, S. Bradford, J.B. 2014. Technical note: Linking climate change and downed woody debris decomposition across forests of the eastern United States. *Biogeosciences*. 11: 6417-6425.
- Santiago, J.M. Amanda, D.R. 2005. Dead trees as resources for Forest Wildlife. Extension fact sheet. *Ohio State University Express*. 12 p.

- Schäfer, M. 2002. Zersetzung der sturmgeworfenen Buchenstaemme im Naturwaldreservat Weiherkopf seit 1990. *Mitt Hess Landesforstverw.* 38:49-60.
- Sefidi, K. Esfandiary Darabad, F. Azarian, M. 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. *Forest.* 9: 658-665.
- Sefidi, K. Etemad, V. 2015. Dead wood characteristics influencing macro fungi species abundance and diversity in Caspian natural beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests. *Forest Systems*, 24(2). <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2015242-06039>.
- Sefidi, K. Etemad, V. 2014. The amount and quality of dead trees in a mixed beech forest with different management histories in northern Iran, *Biodiversitas.* 15(2): 162-168.
- Sefidi, K., MarvieMohadjer, M.R. Mosandl, R. 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. 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.
- Tobin, B. Black, K. McGurdy, L. Nieuwenhuis, M. 2007. Estimates of decorates of components of coarse woody debris in thinned Sitka spruce stands. *Forestry.* 80: 455-469.
- Yan, E. Wang, X. Huang, J. Zeng, R. 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.
- 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.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*, Ed 4. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.