



تغییرات مقدار چگالی، زی توده، ذخیره کربن و نیتروژن چوب خشک‌دارهای راش و ممرز بر حسب درجات مختلف پوسیدگی در جنگل خیرود نوشهر

افسانه خلیلی^۱، اسداله متاجی^{۲*}، خسرو ثاقب طالبی^۳ و سیدمحمد حجتی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۳ استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

^۴ دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸)

چکیده

خشک‌دارها نقش‌های ساختاری و بیوژئوشیمیایی مهمی در فرایندهای اکوسیستم جنگلی ایفا می‌کنند. هدف پژوهش حاضر، تعیین مقدار چگالی چوب و زی توده خشک‌دارهای راش و ممرز و رابطه آن بر حسب درجات مختلف پوسیدگی و کلاسه‌های قطری مختلف در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود شهرستان نوشهر در استان مازندران است. ابتدا از خشک‌دارها (با قطر میانه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر) در سطحی معادل ۵۰ هکتار به صورت صددرصد آماربرداری شد. سپس برای تعیین چگالی چوب، از هر خشک‌دار سه نمونه مکعبی (نزدیک به مغز، نزدیک به پوست و بین مغز و پوست) به ابعاد ۲ × ۲ × ۲ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از تعیین انواع چگالی (چگالی تر، خشک و بحرانی) در محیط آزمایشگاه، نمونه‌ها آسیاب شدند و با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی، کربن و نیتروژن خشک‌دارها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که انواع چگالی چوب خشک‌دارها با افزایش درجه پوسیدگی کاهش پیدا می‌کنند. همچنین چگالی خشک از کلاسه کم‌قطر به قطور خشک‌دارها به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. نتایج مربوط به زی توده نشان داد که با افزایش درجه پوسیدگی، مقدار زی توده افزایش پیدا می‌کند. از نظر کلاسه‌های قطری نیز با افزایش قطر خشک‌دارها، زی توده روند افزایشی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش درجه پوسیدگی و کلاسه‌های قطری خشک‌دارها، ذخیره کربن آنها افزایش پیدا می‌کند، اما در مورد ذخیره نیتروژن به‌علت نبود تفاوت معنی‌دار، الگوی خاصی مشاهده نشد. بر این اساس وجود خشک‌دارهای قطور به‌عنوان منبع ذخیره کربن در جنگل اهمیت زیادی دارد و حفظ آنها به‌منظور مدیریت همگام با طبیعت ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه، تعادل کربن، چگالی خشک، خیرود، کلاسه قطری.

مقدمه

فیزیولوژیکی درخت، وظایف اکولوژیکی آن پایان نمی‌یابد (Alidadi et al., 2014)، بلکه در هر اکوسیستم جنگلی، درختان زنده و خشک‌دارها با یکدیگر ارتباط دارند. دلیل برقراری تنوع نیز وجود

یکی از اصول جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت، حفظ خشک‌دارهای موجود در اکوسیستم‌های جنگلی است (Lassauze et al., 2011). با پایان یافتن عمر

(Dudley et al., 2004) و اهمیت زیادی در کیفیت رویشگاه برای پایداری ارگانسیم‌ها (Gould et al., 2008)، ساختار و فرایندهای بیوژئوشیمیایی اکوسیستم‌های جنگلی دارند (Cousins et al., 2015). گذشته از نقش خشک‌دارها در پایداری تنوع زیستی (Koster et al., 2015)، زی توده آنها نیز اهمیت دارد. جنگل‌ها حاوی منبع عظیمی از کربن هستند که بر تعادل کربن جهانی تأثیر می‌گذارند (UN, 1992). زی توده رو و زیر زمینی درختان و درختچه‌ها، خشک‌دارها، لاشبرگ و خاک پنج منبع مهم کربن در اکوسیستم‌های خشکی هستند (Kimberley et al., 2016). جنگل‌های جهان حاوی حدود ۶۰۶ گیگاتن زی توده زنده و ۵۹ گیگاتن خشک‌دار هستند (FAO, 2020). خشک‌دارهای قطور تأثیر زیادی در ذخیره کربن دارند و مدت زمان طولانی به پایداری ذخیره کربن در اکوسیستم‌های طبیعی کمک می‌کنند (Olajuyigbe et al., 2011). مقدار نیتروژن در خشک‌دارهای قطور و مسن در هر مرحله از تجزیه کاهش پیدا می‌کند و خشک‌دارهای قطور و مسن منبعی از نیتروژن هستند (Bantle et al., 2014). از طرف دیگر، در جنگل‌های شمالگانی، غلظت نیتروژن در خشک‌دارها با افزایش کلاسه‌های پوسیدگی و تخریب افزایش نشان می‌دهد (Koster et al., 2015). مقدار ذخیره کربن در خشک‌دارها برحسب نوع گونه و کلاسه‌های مختلف قطری متفاوت است (Cosmo et al., 2013). با افزایش درجه پوسیدگی، غلظت کربن در خشک‌دارهای سرپا افزایش نشان می‌دهد (Cousins et al., 2015). درجه پوسیدگی و قطر خشک‌دارهای راش و ممرز مهم‌ترین عوامل اثرگذار در تبدیل خشک‌دارهای سرپا به افتاده‌اند (Sefidi & Marvie Mohajer, 2010). بررسی پویایی پوسیدگی خشک‌دارهای راش و ممرز در جنگل آمیخته راش نشان می‌دهد که با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی چوب خشک‌دارهای راش و ممرز

ارگانسیم‌های مختلف در اکوسیستم جنگل است؛ به طوری که با مرگ یک درخت، اکوسیستم جنگل همچنان می‌تواند باقی بماند (Shorohova & Kapitsa, 2015; Koster et al., 2015). در چشم‌اندازی کلی، خشک‌دارها به همه مواد چوبی مرده یا در حال پوسیدن در اکوسیستم جنگل شامل ساقه و شاخه‌های آن، شاخ‌وبرگ و ریشه‌ها گفته می‌شود، بنابراین هم شامل اندام‌های روی زمینی و هم اندام‌های زیر زمینی می‌شود (Harmon & Sexton, 1995). خشک‌دارها بخش ساختاری و چندکارکردی اکوسیستم‌های جنگلی هستند و اهمیت اساسی در کارکرد اکوسیستم دارند و نیز بر فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی تأثیر می‌گذارند (Paletto & Tosi, 2010). خشک‌دارهای افتاده و سرپا، زیستگاه اساسی انواع جانوران مهره‌دار و بی‌مهره، پرندگان و قارچ‌های ساپروفیتی هستند (Humphrey et al., 2004) که در درجات مختلف پوسیدگی این تراکم زیستگاهی وجود دارند (Vrška et al., 2015). خشک‌دارها پس از فرایند پوسیدن نیز بخش مهمی از خاک‌های جنگلی را تشکیل می‌دهند و تأثیر مستقیم بر ذخیره مواد مغذی در رویشگاه دارند. به عبارت دیگر، خشک‌دارها تنها آشیان نیستند، بلکه دامنه پیچیده‌ای از ریزآشیان‌های مختلف‌اند که منبع اصلی مواد آلی خاک (Kwak et al., 2015; Dudley et al., 2004) را تشکیل می‌دهند. سطوح مواد مغذی اطراف خشک‌دارها زیادند و از این رو بر پوشش گیاهی اطراف تأثیر می‌گذارند (Kirby et al., 1998). از طرف دیگر، خشک‌دارها سبب افزایش تنوع گیاهی و جانوری در اکوسیستم جنگل می‌شوند. از این رو خشک‌دارها شاخصی مؤثر و ضروری در چرخه مواد غذایی، ذخیره کربن در بلندمدت، تجدید حیات جنگل و حفظ تولید و پایداری اکوسیستم‌های جنگلی می‌شوند (Aticie et al., 2008). خشک‌دارها جنگل را پایدار نگه می‌دارند و تولیدات آن را تقویت و حفظ می‌کنند

موقعیت خشک‌داری‌های منطقه از روش فاصله-آزیموت (Meour, 1993) استفاده شد. ابتدا مختصات سه نقطه روی جاده جنگلی مشخص و مختصات آنها با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی^۱ با دقت زیاد ثبت و به‌عنوان نقطه‌های شاخص در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری (Vertex III) فاصله و آزیموت همه خشک‌داریها نسبت به این نقاط یادداشت شد. در مرحله بعد با استفاده از روابط ریاضی، موقعیت مکانی این نقاط برحسب طول و عرض جغرافیایی به دست آمد. درجه پوسیدگی خشک‌داریها (افتاده و سرپا) با استفاده از روش پیشنهادی (Christensen & Vesterdal, 2003) در شش درجه پوسیدگی تعیین شد.

درجه پوسیدگی ۱: پوست سالم بوده و فقط در قسمت‌های کوچکی از بین رفته است، شاخه‌ها وجود دارند، جسم سخت (مانند چاقو) فقط تا عمق ۱ تا ۲ میلی‌متر در چوب نفوذ می‌کند.

درجه پوسیدگی ۲: تکه‌های پوست بیش از ۵۰ درصد تنه را پوشانده یا کمتر از ۵۰ درصد پوست از بین رفته است، جسم سخت (چاقو) تا عمق ۱ سانتی‌متری داخل چوب نفوذ می‌کند، سطح صاف و سالم است.

درجه پوسیدگی ۳: پوست و شاخه‌ها از دست رفته‌اند و چوب در حال نرم شدن است، جسم سخت (چاقو) تا عمق ۱ تا ۵ سانتی‌متر در داخل چوب فرو می‌رود، سطح چوب صاف است و در برخی قسمت‌ها شکاف‌هایی وجود دارد.

درجه پوسیدگی ۴: پوست و شاخه‌ها از دست رفته‌اند، نرم‌شدگی پوست مشهود است، جسم سخت (چاقو) بیشتر از ۵ سانتی‌متر داخل چوب نفوذ می‌کند، شکاف‌های بزرگی در چوب وجود دارد و قسمت‌های کوچکی از آن از دست رفته است.

درجه پوسیدگی ۵: پوست و شاخه‌ها از بین رفته‌اند، چوب نرم شده است، چاقو تا عمق بیش از ۵ سانتی‌متر در داخل چوب فرو می‌رود، تکه‌های بزرگی

کاهش پیدا می‌کند (Alidadi et al., 2014). چگالی چوب از مهم‌ترین ویژگی‌های اکولوژیکی و تکنولوژیکی درخت (Chave et al., 2009) و همچنین بازگوکننده مقدار زی توده در واحد حجم اجزای مختلف آن است و از این رو، برای برآورد زی توده روی زمینی در جنگل استفاده می‌شود (Henry et al., 2010). با توجه به اهمیت خشک‌داریها در جنگل و نقش آنها در اکوسیستم‌های طبیعی، هدف مطالعه حاضر تعیین مقدار انواع چگالی، زی توده، ذخیره کربن و نیتروژن چوب خشک‌داریهای راش و ممرز برحسب درجات مختلف پوسیدگی در کلاسه‌های مختلف قطری است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

تحقیق حاضر در منطقه‌ای به مساحت ۵۰ هکتار (پارسل‌های ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۱۶ و ۳۲۴) از بخش گرازین جنگل طبیعی آموزشی و پژوهشی خیرود شهرستان نوشهر در استان مازندران انجام گرفت. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالانه ۱۳۰۰ میلی‌متر و اقلیم مرطوب است (Etemad, 2002). دامنه ارتفاعی منطقه از ۱۱۵۰ تا ۱۳۵۰ متر از سطح دریا متغیر است. جهت عمومی منطقه شمالی-جنوبی با دامنه شیب بین صفر تا ۵۰ درصد و الگوی ساختاری توده‌ها دانه‌زاد ناهمسال نامنظم با تیپ غالب راش-ممرز و تاج‌پوشش حدود ۹۰ درصد است که دارای زادآوری متوسطی است (Etemad, 2002).

شیوه اجرای پژوهش

در این مطالعه، آماربرداری از خشک‌داریهای قطور با قطر میانه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر به صورت صددرصد در سطح ۵۰ هکتار انجام گرفت. در مورد خشک‌داریهای سرپا، نوع گونه و قطر برابرسینه و در خصوص خشک‌داریهای افتاده نیز نوع گونه، قطر میانی (سانتی‌متر) و طول (متر) آنها ثبت شد. برای تعیین

$$D_c = \frac{m_o}{v_u} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، m_o وزن خشک چوب (گرم) و v_u حجم چوب اشباع از آب و رطوبت (سانتی متر مکعب) است.

برای اندازه گیری عناصر غذایی خشک دارها، از کنده یا قسمت انتهایی تنه خشک دارها (راش و ممرز) در هر کلاسه قطری (از هر کلاسه؛ ۴ نمونه راش و ۴ نمونه ممرز) و هر درجه پوسیدگی (از هر درجه پوسیدگی: چهار نمونه راش و چهار نمونه ممرز با این تفاوت که خشک دار ممرز با درجه پوسیدگی یک در منطقه وجود نداشت) نمونه برداری شد (در مجموع ۶۰ نمونه) و نمونه ها درون کیسه های مخصوص قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. برای تعیین موجودی کربن زی توده خشک دارها، نمونه های مربوط به هر خشک دار در درجات پوسیدگی و کلاسه های قطری مختلف آسیاب شده و در داخل بوتله های چینی^۱ که از قبل وزن شده بود درون کوره الکتریکی^۲ در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن بوتله های چینی و خاکستر شدن نمونه های درون آنها، دوباره توزین صورت گرفت و سپس با در دست داشتن وزن اولیه و وزن خاکسترهای ایجاد شده از تبدیل ماده آلی به کربن آلی، در نهایت درصد کربن برای هر نمونه براساس رابطه های ۳ و ۴ محاسبه شد (Allen et al., 1986).

$$Ash(\%) = \frac{(w_3 - w_1)}{(w_2 - w_1)} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$C(\%) = (100 - Ash) \times 0.58 \quad (\text{رابطه ۴})$$

(Considering 58% carbon in ash - free litter material)

در این رابطه، w_1 وزن بوتله های چینی، w_2 وزن نمونه های خشک شده در آون به همراه بوتله های چینی

از چوب از دست رفته و به شکل نامنظم درآمده است. درجه پوسیدگی ۶: پوست و شاخه ها از دست رفته اند، چوب نرم شده است، کالبد درخت از بین رفته و فقط تکه های چوب باقی مانده و به شکل نامنظم درآمده و با خاک پوشانده شده است.

برای تعیین چگالی چوب برحسب درجه پوسیدگی، از هر خشک دار با درجه پوسیدگی مشخص، سه نمونه نزدیک به مغز چوب (A)، نزدیک به پوست (B) و بین مغز و پوست چوب (C) به صورت مکعب هایی به ابعاد $2 \times 2 \times 2$ سانتی متر برداشت شد (Aryaie Monfared et al., 2012). برای تعیین چگالی چوب از نظر کلاسه های قطری، سه کلاسه کم قطر ($32/5 - 7/5$ سانتی متر)، میان قطر ($57/5 - 32/5$ سانتی متر) و قطور (بیشتر از $57/5$ سانتی متر) (Sagheb-Talebi & Schutz, 2002) در نظر گرفته و از هر کدام نمونه های A، B و C برداشت شد. برای حفظ رطوبت، نمونه ها درون کیسه های مخصوص قرار داده و برای تجزیه و تحلیل نهایی به آزمایشگاه منتقل شد. در محیط آزمایشگاه، حجم تر نمونه های مکعبی با استفاده از رابطه ریاضی حجم مکعب محاسبه شد و سپس وزن تر نمونه ها با ترازوی دیجیتالی با دقت $0/001$ گرم اندازه گیری شد و چگالی تر (D_w) نمونه ها با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد. در ادامه برای به دست آوردن چگالی خشک (D_d)، نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای 103 ± 2 درجه سانتی گراد در آون قرار گرفتند (Kollman & Cote, 1968) و پس از خشک شدن، وزن و حجم خشک هر یک از نمونه ها اندازه گیری شد.

$$D = \frac{m}{v} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه، m وزن خشک یا تر نمونه چوب (گرم) و v حجم تر نمونه چوب (سانتی متر مکعب) است (Paletto & Tosi, 2010).

برای به دست آوردن چگالی بحرانی (D_c) چوب از رابطه ۲ استفاده شد.

¹-Crucible

²-Electric furnace

کلاسه‌های قطری مختلف از تحلیل واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد و همه آزمون‌های آماری در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اطمینان انجام گرفت.

نتایج

- چگالی چوب خشک‌دارها در درجات مختلف

پوسیدگی

به‌طور کلی با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی چوب کل خشک‌دارها کاهش پیدا می‌کند. نتایج تجزیه واریانس یکطرفه نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($p < 0/05$) بین میانگین مقادیر چگالی تر (نزدیک به پوست) چوب همه خشک‌دارها (راش و ممرز) در درجات مختلف پوسیدگی وجود دارد (جدول ۱). در ادامه، خروجی مربوط به آزمون تعقیبی دانکن نشان داد که میانگین مقدار چگالی تر (نزدیک به پوست) چوب کل خشک‌دارها در درجه پوسیدگی ۲ (۰/۷۶۴) به‌طور معنی‌داری بیشتر از درجه پوسیدگی ۵ (۰/۴۹۶) است. بین میانگین مقدار چگالی تر چوب کل خشک‌دارها در درجات پوسیدگی ۳ (۰/۶۴۲) و ۴ (۰/۶۴۶) و نیز بین این دو مقدار و مقادیر درجات پوسیدگی ۲ و ۵ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۱).

و W_3 وزن خاکستر و بوته‌های چینی است. در نهایت موجودی کربن زی توده براساس هکتار به‌دست آمد. با در دست داشتن مقادیر موجودی کربن به‌دست آمده، محاسبات تعیین موجودی کربن خشک‌دارها انجام گرفت. در نهایت مقادیر به‌دست آمده زی توده در پلات‌های نمونه‌گیری به واحد تن در هکتار ($t \cdot ha^{-1}$) تبدیل شد. همچنین مقدار نیتروژن نمونه‌های چوبی خشک‌دارها در درجات پوسیدگی و کلاسه‌های قطری مختلف با استفاده از روش تیتراسیون بعد از مراحل هضم و تقطیر در سیستم کجلدال اندازه‌گیری شد (Gubena & Soromessa, 2017; Alvarez-DaÁvila et al., 2017). در نهایت برای به‌دست آوردن مقدار ذخیره کربن و نیتروژن در خشک‌دارها و براساس درجات پوسیدگی و کلاسه‌های قطری مختلف، درصد هر کدام از این عناصر در زی توده مربوط ضرب شد.

روش تحلیل

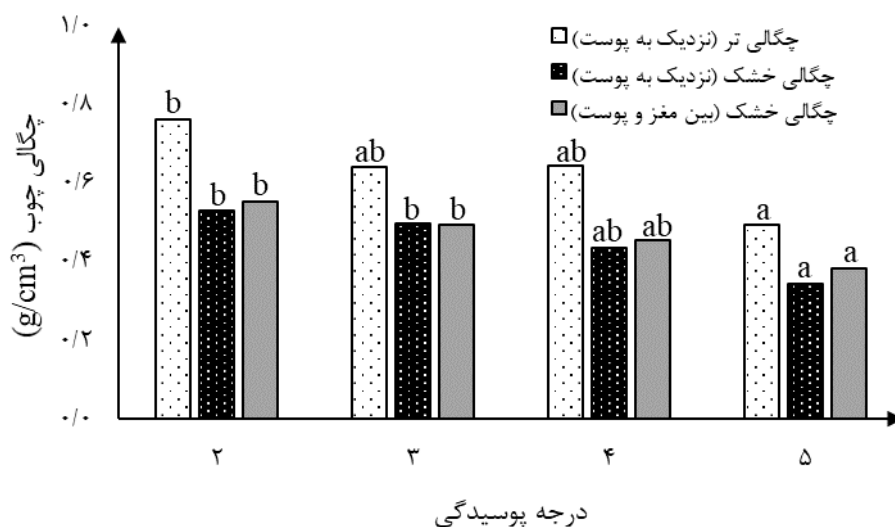
بررسی نرمال بودن داده‌ها و برابری واریانس به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و لون در نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. در ادامه برای مشخص کردن تفاوت‌های معنی‌دار بین مقادیر انواع چگالی چوب خشک‌دارها، مقدار زی توده، درصد کربن و نیتروژن و همچنین ذخیره کربن و نیتروژن در درجات پوسیدگی و

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس یکطرفه میانگین چگالی چوب خشک‌دارها در درجات مختلف پوسیدگی

نوع چگالی چوب	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
چگالی تر (نزدیک به پوست)	بین گروه‌ها	۳	۰/۴۱۵	۰/۱۳۸	۴/۰۷۵	۰/۰۱۲
	داخل گروه‌ها	۴۵	۱/۵۲۸	۰/۰۳۴		
	کل	۴۸	۱/۹۴۳			
چگالی خشک (نزدیک به پوست)	بین گروه‌ها	۳	۰/۲۴۰	۰/۰۸۰	۴/۶۳۶	۰/۰۰۷
	داخل گروه‌ها	۴۵	۰/۷۷۸	۰/۰۱۷		
	کل	۴۸	۱/۰۱۸			
چگالی خشک (بین مغز و پوست)	بین گروه‌ها	۳	۰/۱۸۱	۰/۰۶۰	۳/۷۹۲	۰/۰۱۷
	داخل گروه‌ها	۴۵	۰/۷۱۸	۰/۰۱۶		
	کل	۴۸	۰/۸۹۹			

به‌طور کلی با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی خشک (بین مغز و پوست) چوب کل خشک‌دارها کاهش پیدا می‌کند. نتایج نشان داد بین میانگین مقادیر چگالی خشک (بین مغز و پوست) چوب کل خشک‌دارها (راش و ممرز) در درجات مختلف پوسیدگی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). در ادامه نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین مقدار چگالی خشک (بین مغز و پوست) درجه پوسیدگی ۵ (۰/۳۸۳) به‌طور معنی‌داری کمتر از درجات پوسیدگی ۳ (۰/۴۹۵) و ۲ (۰/۵۵۵) است (شکل ۱). بین درجات پوسیدگی ۴، ۳ و ۲ نیز تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بین درجه پوسیدگی ۵ و ۴ (۰/۴۵۴) نیز تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

به‌طور کلی با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی خشک چوب کل خشک‌دارها کاهش پیدا می‌کند. مقایسه میانگین مقادیر چگالی خشک (نزدیک به پوست) چوب کل خشک‌دارها (راش و ممرز) در درجات مختلف پوسیدگی نیز تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). در ادامه نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین مقدار چگالی خشک (نزدیک به پوست) درجه پوسیدگی ۵ (۰/۳۴۶) به‌طور معنی‌داری نسبت به درجات پوسیدگی ۳ (۰/۴۹۸) و ۲ (۰/۵۳۲) کمتر است (شکل ۱). همچنین میانگین مقدار درجه پوسیدگی ۵ نسبت به درجه پوسیدگی ۴ (۰/۴۳۶) کمتر است، ولی تفاوت معنی‌داری ندارد. بین میانگین مقدار چگالی خشک (نزدیک به پوست) درجات پوسیدگی ۴، ۳ و ۲ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین مقادیر انواع چگالی چوب کل خشک‌دارها در درجات مختلف پوسیدگی

خشک (نزدیک به مغز) خشک‌دارهای راش در کلاسه کم‌قطر (۰/۵۱۴) به‌طور معنی‌داری بیشتر از کلاسه‌های قطور (۰/۳۶۲) است، ولی با کلاسه میان‌قطر (۰/۴۰۲) تفاوت معنی‌داری ندارد (شکل ۲). در ادامه نتایج نشان داد که میانگین چگالی خشک (نزدیک به مغز) خشک‌دارهای راش افتاده در کلاسه‌های قطری مختلف

چگالی چوب خشک‌دارها در کلاسه‌های مختلف قطری

نتایج نشان داد که میانگین چگالی خشک (نزدیک به مغز) خشک‌دارهای راش و راش افتاده در کلاسه‌های قطری مختلف دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج آزمون دانکن هم نشان داد که میانگین چگالی

(۰/۵۴۰) به طور معنی داری بیشتر از کلاسه قطور
(۰/۳۱۵) است، ولی تفاوت معنی داری با کلاسه
میان قطر (۰/۴۴۴) ندارد (شکل ۲).

دارای اختلاف معنی داری است (جدول ۲). نتایج آزمون
دانکن نشان داد که میانگین چگالی خشک (نزدیک به
مغز) خشک داره‌های راش افتاده در کلاسه کم قطر

جدول ۲- تجزیه واریانس یکطرفه چگالی خشک (نزدیک به مغز) خشک داره‌های راش و راش افتاده در کلاسه‌های قطری مختلف

نوع چگالی چوب	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
چگالی خشک (نزدیک به مغز)	بین گروه‌ها	۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۹	۴/۲۳۰	۰/۰۲۰
	داخل گروه‌ها	۲۳	۰/۲۶۵	۰/۰۱۲		
	کل	۲۵	۰/۳۶۲			
خشک داره‌های راش	بین گروه‌ها	۲	۰/۰۸۷	۰/۰۴۴	۵/۳۳۳	۰/۰۲۰
	داخل گروه‌ها	۱۰	۰/۰۸۲	۰/۰۰۸		
	کل	۱۲	۰/۱۶۹			



شکل ۲- مقایسه میانگین مقادیر انواع چگالی چوب خشک داره‌ها در کلاسه‌های قطری مختلف

آن در کل خشک داره‌ها تفاوت معنی داری دارد (جدول
۳). میانگین زی توده خشک داره‌های راش در درجات
پوسیدگی ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۰/۷۵۵، ۰/۵۸۲،
۰/۳۶۶، ۰/۹۰۶، ۰/۳۹۸ و ۱/۴۴۴ تن در هکتار
برای خشک داره‌های گونه ممرز این مقادیر به ترتیب
۲/۸۰۰ و ۱/۲۲۶ تن در هکتار به دست آمد. همچنین

- مقدار زی توده، کربن و نیتروژن به تفکیک
درجات پوسیدگی و کلاسه‌های قطری
بر اساس آنالیز واریانس یکطرفه زی توده
خشک داره‌ها در درجات مختلف پوسیدگی، میانگین
مقدار زی توده خشک داره‌های راش و ممرز در درجات
مختلف پوسیدگی تفاوت معنی داری ندارند، ولی مقدار

بین درجات ۴ و ۵ نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار زی‌توده در درجه پوسیدگی ۵ مشاهده شد (شکل ۳).

به‌دست آمد. در مورد کل خشک‌دارها، مقادیر میانگین زی‌توده درجات پوسیدگی ۲ (۰/۵۲۲)، ۳ (۰/۸۹۶) و ۴ (۱/۱۰۳) تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، ولی درجه ۲ و ۳ با درجه ۵ (۲/۲۷۸) تفاوت معنی‌داری داشتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس یکطرفه زی‌توده خشک‌دارها (راش و ممرز) در درجات پوسیدگی مختلف

نوع چگالی چوب	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
زی‌توده کل خشک‌دارها	بین گروه‌ها	۳	۲۰/۹۵۵	۶/۹۸۵	۲/۸۶۹	۰/۰۴۰
	داخل گروه‌ها	۴۵	۱۰۹/۵۴۸	۲/۴۳۴		
	کل	۴۸	۱۳۰/۵۰۳			
زی‌توده خشک‌دار راش	بین گروه‌ها	۳	۲۲/۹۱۵	۷/۶۳۸	۲/۳۸۸	۰/۰۹۰
	داخل گروه‌ها	۲۴	۷۶/۷۵۹	۳/۱۹۸		
	کل	۲۷	۹۹/۶۷۴			
زی‌توده خشک‌دار ممرز	بین گروه‌ها	۳	۴/۲۲۸	۱/۴۰۹	۰/۹۸۲	۰/۴۰۰
	داخل گروه‌ها	۱۷	۲۴/۴۰۷	۱/۴۳۶		
	کل	۲۰	۲۸/۶۳۵			



شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار زی‌توده کل خشک‌دارها در درجات مختلف پوسیدگی

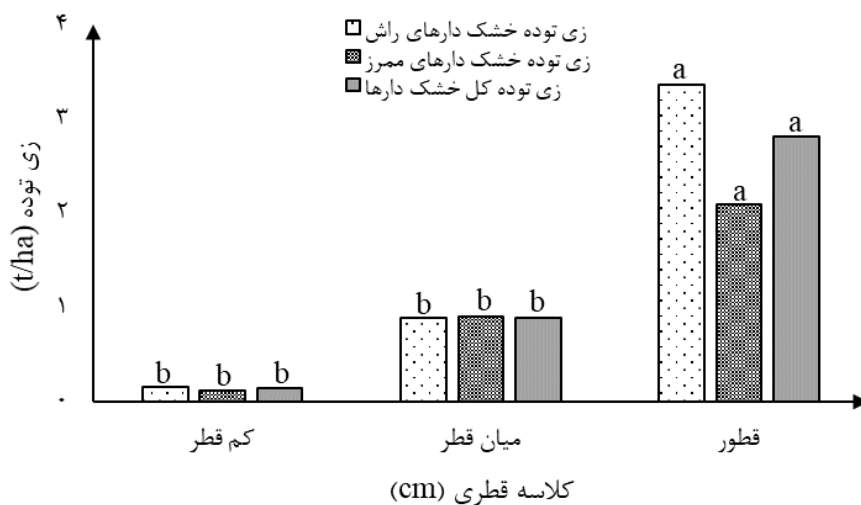
خشک‌دارها در کلاس‌های مختلف قطری تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). در ادامه آزمون تعقیبی دانکن نشان داد که میانگین مقدار زی‌توده خشک‌دارهای راش، ممرز و کل خشک‌دارها در

مقدار زی‌توده خشک‌دارها براساس کلاس‌های قطری نیز بررسی شد. به‌طور کلی با افزایش کلاس قطری، مقدار زی‌توده نیز افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که بین میانگین مقدار زی‌توده

کلاسه‌های کم قطر (۰/۱۳۷، ۰/۱۱۳، ۰/۱۵۶) و میان قطر (۰/۱۳۷، ۰/۱۱۳، ۰/۱۵۶) قطور (۳/۳۶۶، ۲/۰۹۱، ۲/۸۰۸) دارد (شکل ۴).
 (۰/۸۹۲، ۰/۸۹۸، ۰/۸۹۴) تفاوت معنی داری با کلاسه

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس یکطرفه زی توده خشک دارها (راش و ممرز) در کلاسه‌های قطری مختلف

نوع چگالی چوب	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
زی توده کل خشک دارها	بین گروهها	۲	۶۳/۰۵۴	۳۱/۵۲۷	۲۱/۵۰۲	۰.۰۰۰
	داخل گروهها	۴۶	۶۷/۴۴۸	۱/۴۶۶		
	کل	۴۸	۱۳۰/۵۰۳			
زی توده خشک دار راش	بین گروهها	۲	۵۲/۵۸۹	۲۶/۲۹۴	۱۳/۹۶۱	۰.۰۰۰
	داخل گروهها	۲۵	۴۷/۰۸۵	۱/۸۸۳		
	کل	۲۷	۹۹/۶۷۴			
زی توده خشک دار ممرز	بین گروهها	۲	۱۴/۶۸۴	۷/۳۴۲	۹/۴۷۲	۰/۰۰۲
	داخل گروهها	۱۸	۱۳/۹۵۲	۰/۷۷۵		
	کل	۲۰	۲۸/۶۳۵			



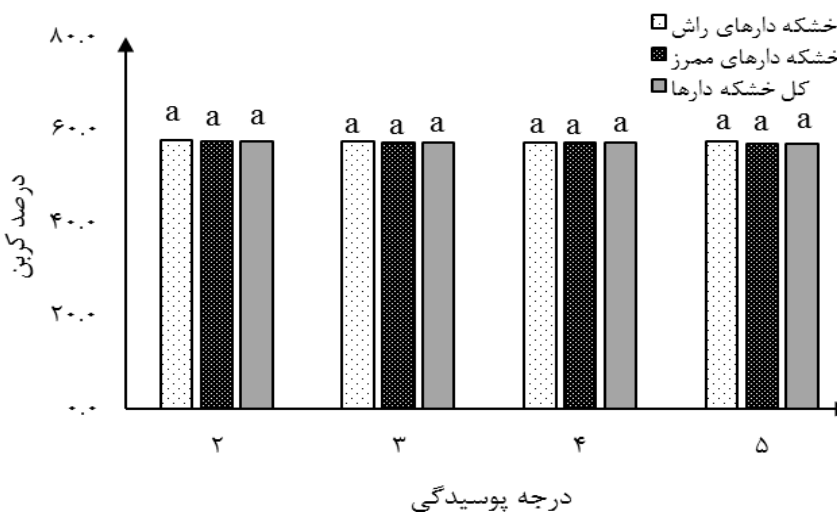
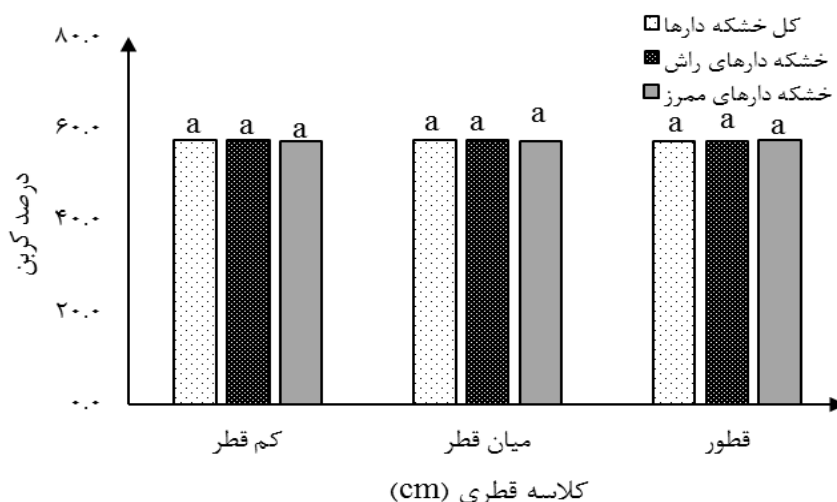
شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار زی توده کل خشک دارها، خشک دارهای راش و خشک دارهای ممرز در کلاسه‌های مختلف قطری

کل خشک دارها در سه کلاسه کم قطر، میان قطر و قطور به ترتیب ۵۷/۵، ۵۷/۴ و ۵۷/۳ به دست آمد. برای خشک دارهای راش نیز درصد کربن برای سه کلاسه قطری به ترتیب ۵۷/۵، ۵۷/۴ و ۵۷/۲ به دست آمد. درصد کربن خشک دارهای ممرز در سه کلاسه کم قطر، میان قطر و قطور به ترتیب ۵۷/۴، ۵۷/۴ و ۵۷/۵ به دست

تحلیل واریانس یکطرفه مقدار کربن کل خشک دارها، خشک دارهای راش و ممرز نشان داد که تفاوت معنی داری ($p > 0/05$) بین کلاسه‌های قطری از نظر درصد کربن وجود ندارد. در شکل ۵ میانگین مقدار درصد کربن انواع خشک دارها در سه کلاسه کم قطر، میان قطر و قطور ارائه شده است. درصد کربن

۴، ۵ و به ترتیب ۵۷/۵، ۵۷/۴، ۵۷/۳ و ۵۷/۲ است. این مقادیر برای خشک‌دارهای راش نیز به ترتیب ۵۷/۷، ۵۷/۶، ۵۷/۲ و ۵۷/۴ به دست آمد. میانگین درصد کربن خشک‌دارهای ممرز در درجات پوسیدگی مذکور به ترتیب ۵۷/۴، ۵۷/۳، ۵۷/۱ و ۵۷ است. به طور کلی می‌توان بیان داشت که با افزایش درجات پوسیدگی درصد کربن کاهش می‌یابد (شکل ۵).

آمد. به طور کلی مشاهده می‌شود که درصد کربن خشک‌دارها با افزایش کلاسه‌های قطری کاهش می‌یابد. همچنین تحلیل واریانس یکطرفه درصد کربن کل خشک‌دارها، خشک‌دارهای راش و ممرز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین درجات مختلف پوسیدگی از نظر درصد کربن وجود ندارد. در شکل ۵ میانگین درصد کربن کل خشک‌دارها در درجات پوسیدگی ۲،



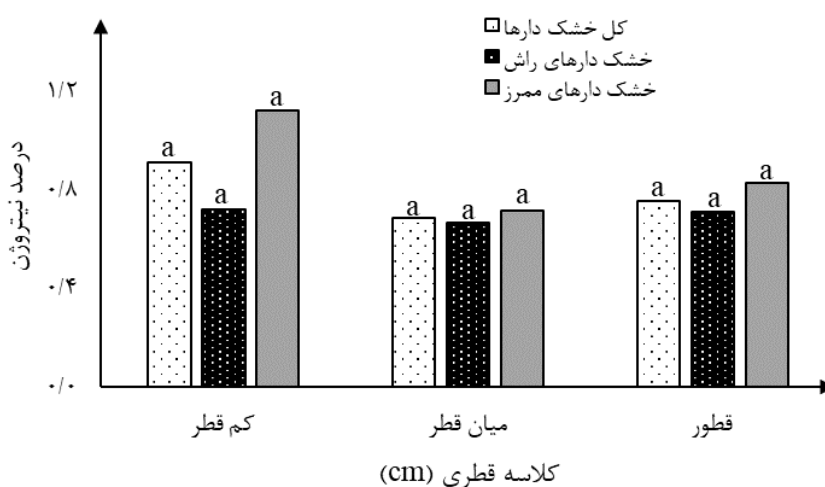
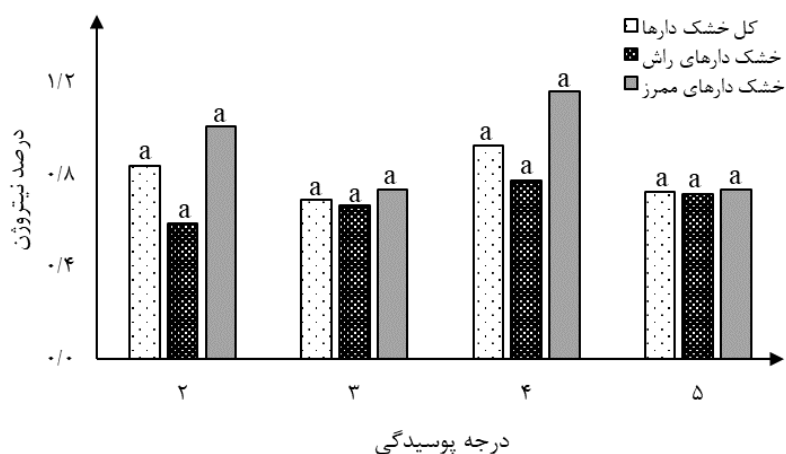
شکل ۵- میانگین مقدار درصد کربن خشک‌دارها در سه کلاسه قطری و درجات مختلف پوسیدگی

کلاسه‌های قطری از نظر درصد نیتروژن وجود ندارد. در شکل ۶ میانگین مقدار درصد نیتروژن انواع خشک‌دارها در سه کلاسه کم‌قطر، میان‌قطر و قطور

تحلیل واریانس یکطرفه مقدار نیتروژن کل خشک‌دارها، خشک‌دارهای راش و خشک‌دارهای ممرز نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($p > 0.05$) بین

پوسیدگی از نظر درصد نیتروژن وجود ندارد. براساس شکل ۶، میانگین مقدار درصد نیتروژن کل خشک دارها در درجات پوسیدگی ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۰/۸۴۳، ۰/۶۹۵، ۰/۹۲۷ و ۰/۷۲۶ و برای خشک دارهای راش به ترتیب ۰/۵۹۰، ۰/۶۶۸، ۰/۷۷۸ و ۰/۷۱۸ است. میانگین درصد نیتروژن خشک دارهای ممرز در درجات پوسیدگی مذکور به ترتیب ۱/۰۱۱، ۰/۷۳۸، ۱/۱۶۶ و ۰/۷۴۰ است. به طور کلی می توان گفت از درجه پوسیدگی ۲ تا ۴، درصد نیتروژن افزایش پیدا می کند، ولی در درجه پوسیدگی ۵ این مقدار کاهش می یابد (شکل ۶).

آورده شده است. درصد نیتروژن کل خشک دارها در سه کلاسه کم قطر، میان قطر و قطور به ترتیب ۰/۹۱۳، ۰/۶۹۰ و ۰/۷۵۶ به دست آمد. برای خشک دارهای راش درصد نیتروژن برای سه کلاسه کم قطر، میان قطر و قطور به ترتیب ۰/۷۲۴، ۰/۶۶۸ و ۰/۷۱۴ و برای خشک دارهای ممرز به ترتیب ۱/۱۲۳، ۰/۷۱۷ و ۰/۸۳۲ به دست آمد. به طور کلی مشاهده می شود که درصد نیتروژن کلاسه کم قطر بیشتر از دو کلاسه دیگر است. همچنین تحلیل واریانس یکطرفه درصد نیتروژن کل خشک دارها، خشک دارهای راش و ممرز نشان داد که تفاوت معنی داری بین درجات مختلف

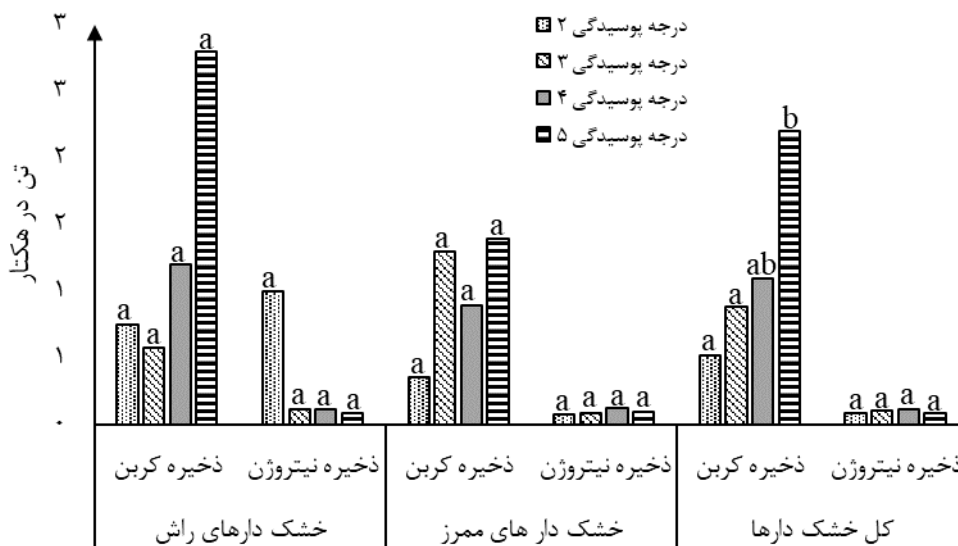


شکل ۶- میانگین مقدار درصد نیتروژن خشک دارها در سه کلاسه قطری و درجات مختلف پوسیدگی

ندارد. در مورد ذخیره کربن خشک‌دارهای راش و ممرز نیز درجه پوسیدگی ۵ تفاوت معنی‌داری با دیگر درجات پوسیدگی دارد. به‌طور کلی با افزایش درجه پوسیدگی، ذخیره کربن خشک‌دارها افزایش پیدا می‌کند. در مورد ذخیره نیتروژن تنها درجه پوسیدگی ۲ تفاوت معنی‌داری با دیگر درجات پوسیدگی دارد، ولی در مورد ذخیره نیتروژن دیگر درجات پوسیدگی، به‌دلیل روند معنی‌دار آماری نمی‌توان الگوی خاصی را بیان کرد.

مقدار ذخیره کربن و نیتروژن چوب خشک‌دارها به تفکیک درجات پوسیدگی و کلاسه‌های قطری

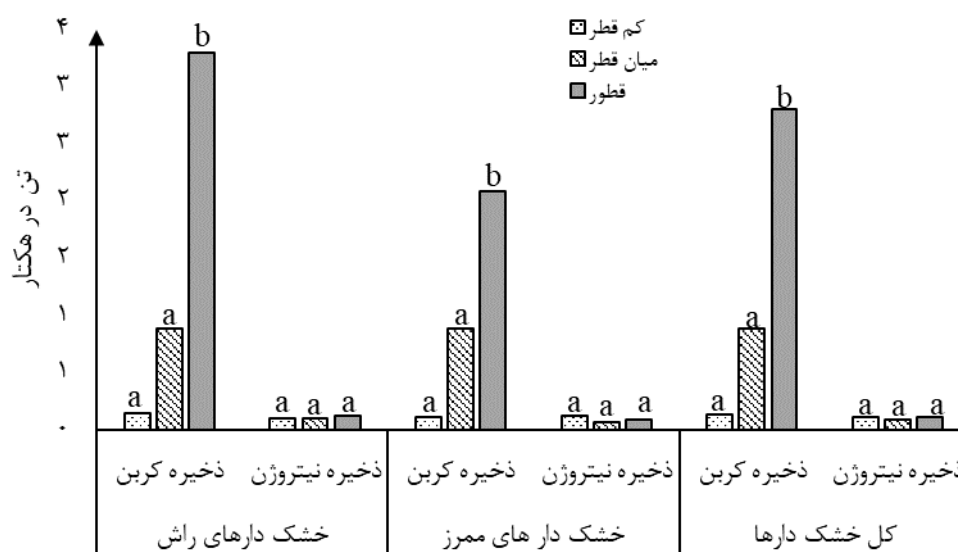
نتایج مربوط به مقدار ذخیره عناصر کربن و نیتروژن در درجات مختلف پوسیدگی خشک‌دارهای راش، ممرز و کل خشک‌دارها در شکل ۹ ارائه شده است. بین ذخیره کربن خشک‌دارها در درجات مختلف پوسیدگی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. ذخیره کربن درجه پوسیدگی ۵ (۲/۲ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری با درجات پوسیدگی ۲ (۰/۵۲) و ۳ (۰/۸۹) دارد، ولی با درجه ۴ (۱/۱) تفاوت معنی



شکل ۹- مقدار ذخیره عناصر کربن و نیتروژن خشک‌دارهای راش، ممرز و کل خشک‌دارها در درجات مختلف پوسیدگی

مقادیر ذخیره کربن خشک‌دارها در کلاسه‌های قطری تفاوت معنی‌داری دارد و به‌عبارتی، در هر سه نوع خشک‌دار، تفاوت کلاسه قطری با دو کلاسه دیگر معنی‌دار است. به‌طور کلی می‌توان گفت که با افزایش کلاسه‌های قطری خشک‌دارها، ذخیره کربن آنها نیز افزایش پیدا می‌کند.

در شکل ۱۰ مقدار ذخیره عناصر کربن و نیتروژن خشک‌دارهای راش، ممرز و کل خشک‌دارها در کلاسه‌های مختلف قطری ارائه شده است. براساس نتایج این جدول، مقادیر ذخیره نیتروژن خشک‌دارهای راش، ممرز و کل خشک‌دارها در کلاس‌های مختلف قطری تفاوت معنی‌داری ندارند. اما



شکل ۱۰- مقدار ذخیره عناصر کربن و نیتروژن خشک دارهای راش، ممرز و کل خشک دارها در کلاسه های مختلف قطری

Chowdhury et al. (2013) نشان می دهد که در مناطق معتدله، چگالی چوب درختان کم قطر، کمتر از درختان قطور است. البته باید توجه داشت که این نتایج در مورد درختان زنده به دست آمده است که ساختار و ترکیب چوب آنها با خشک دارها متفاوت است. از طرف دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش قطر خشک دارها، مقدار زی توده در واحد سطح افزایش پیدا می کند. در تحقیق حاضر، با افزایش درجه پوسیدگی، مقدار انواع چگالی چوب خشک دارها کاهش یافت. تحقیق Alidadi et al. (2014) در جنگل آمیخته راش و ممرز نیز نشان می دهد که با افزایش درجه پوسیدگی خشک دارها چگالی آنها کاهش پیدا می کند. همچنین یافته های Tobin (2006) و Yatskov (2003) نیز مؤید کاهش چگالی چوب با افزایش درجه پوسیدگی است. تغییرات مربوط به انواع چگالی چوب در درجات مختلف پوسیدگی ممکن است ناشی از فعالیت قارچ های تجزیه کننده چوب باشد (Swift, 1977). همچنین افزایش مقدار ذخیره کربن با افزایش پوسیدگی ممکن است به علت فعالیت قارچ های عامل پوسیدگی قهوه ای باشد که همی سلولز و

بحث

در تحقیق حاضر، انواع چگالی خشک دارهای راش و ممرز در درجات مختلف پوسیدگی و کلاسه های قطری بررسی شد. با توجه به نتایج، مقادیر مختلف چگالی خشک بین خشک دارهای راش و ممرز با درجات پوسیدگی و کلاسه های قطری مختلف دارای اختلاف معنی داری است که البته این موضوع ممکن است ناشی از تأثیرات ژنتیکی (Alidadi et al., 2014)، فیزیولوژیکی و رقابت های اکولوژیکی یا ناشی از اثر مراحل تحولی و آشفستگی های رخ داده در جنگل تحت بررسی باشد. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که چگالی خشک چوب ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند اقلیم، رشد متوسط، مواد غذایی مورد نیاز و حتی تحت تأثیر فاکتورهای خاک قرار گیرد (Mani & Parthasarathy, 2007). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش قطر خشک دارها، چگالی چوب کاهش پیدا می کند (شکل ۴). براساس بررسی Ramanantoandro et al. (2016) متغیر قطر درخت تأثیر معنی داری بر چگالی چوب ندارد، ولی نتایج بررسی Woodcock & Shier (2003) و

چوب کاهش می‌یابد، در حالی که مقدار کربن بافت چوبی روند افزایشی دارد (Cousins et al., 2015). نتایج تحقیق Woodall et al. (2013) نیز بیانگر آن است که با افزایش درجه پوسیدگی مقدار زی‌توده خشک‌دار روند افزایشی نشان می‌دهد. گونه‌های درختی با چگالی کمتر به‌طور چشمگیری سریع‌تر از گونه‌های با چگالی بیشتر می‌پوسند. نکته مهم این است که با توجه به نتایج پیش رو می‌توان بیان کرد که در درجات پوسیدگی شدید همیشه با کاهش چگالی مواجه خواهیم شد (Harmon et al., 1995). در کل تغییرات چگالی به کلاسه‌های پوسیدگی و کربن وابسته است (Vanderwel et al., 2006). با توجه به نتایج، با افزایش کلاسه‌های قطری، چگالی و ذخیره کربن خشک‌دارها کاهش نشان می‌دهد. بنابراین کاهش چگالی در کلاسه‌های قطری زیاد، نشان‌دهنده روند سریع تجزیه و انتقال عناصر غذایی به خاک است. اما متوسط چگالی خشک‌دار ممرز با افزایش کلاسه‌های قطری افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه ممرز سریع‌تر از راش روند پوسیدگی را در کلاسه‌های کم‌قطر و میان‌قطر طی می‌کند، در کلاسه‌های قطری زیاد، افزایش چگالی وجود دارد. در تحقیق حاضر، نتایج نشان داد که روند معنی‌داری بین درصد نیتروژن انواع خشک‌دارها در سه کلاسه قطری و چهار درجه پوسیدگی وجود ندارد. در مورد مقدار ذخیره کربن خشک‌دارها در درجات پوسیدگی و کلاسه‌های قطری مختلف نیز روند معنی‌داری مشاهده نشد. از نظر کلاسه‌های قطری، درصد نیتروژن کلاسه کم‌قطر بیشتر از دو کلاسه دیگر و کلاسه قطور بیشتر از کلاسه میان‌قطر مشاهده شد. پژوهش‌های دیگر محققان نشان می‌دهد که با افزایش قطر خشک‌دارها، مقدار نیتروژن آنها افزایش پیدا می‌کند (Ganjegunte et al., 2004; Noh et al., 2017). در پژوهش حاضر این روند افزایشی از کلاسه میان‌قطر به قطور مشاهده شد. از طرف دیگر، طبق نتایج محققان دیگر، با افزایش درجه پوسیدگی

سلولز خشک‌دار را مصرف می‌کنند و بافت غنی از کربن یعنی لیگنین را برجا می‌گذارند (Gilbertson, 1980). براساس بررسی Sefidi et al. (2016) در مراحل پیشرفته پوسیدگی به‌علت تجزیه کُند لیگنین در خشک‌دارهای راش، مقدار لیگنین از سلولز و همی سلولز بیشتر است. از آنجا که تغییرات چگالی به کلاسه‌های پوسیدگی وابسته است، در مطالعه حاضر نیز چگالی چوب کل خشک‌دارها با افزایش درجه پوسیدگی کاهش نشان داده که با یافته‌های Cousins et al. (2015) و Vanderwel et al. (2006) تطابق دارد. پژوهش Chao et al. (2008) نیز نشان می‌دهد که با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی چوب کاهش می‌یابد. به‌طور کلی در پهن‌برگان و سوزنی‌برگان افزایش درجه پوسیدگی به‌همراه کاهش چگالی یا تراکم چوب است. این نکته برای برآورد کربن اهمیت دارد. اگر حجم چوب تبدیل شده به زی‌توده کربنی بدون در نظر گرفتن کاهش چگالی با پیشرفت پوسیدگی باشد، مقدار کربن برآوردشده خشک‌دارها بیش‌برآورد می‌شود (Merganic`ová & Merganic`, 2010). به‌عبارت دیگر، اگر برای همه درجات پوسیدگی یک عدد میانگین چگالی در نظر گرفته شود، بسته به ویژگی‌های خاص منطقه جنگلی تحت مطالعه، خطای برآورد منفی یا مثبت ایجاد خواهد شد. زیاد بودن چگالی چوب در درجات پوسیدگی کم ممکن است ناشی از وجود مقاومت به‌نسبت زیاد در برابر تجزیه میکروبی ترکیبات شیمیایی چوب باشد (Kim & Singh, 2000).

همچنین براساس بررسی Harmon et al. (2013) با افزایش روند پوسیدگی، مقدار ذخیره کربن، ۱۰-۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که با افزایش درجه پوسیدگی، ذخیره کربن خشک‌دارها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر نتایج نشان داد که با افزایش قطر خشک‌دارها، ذخیره کربن آنها نیز افزایش نشان می‌دهد. در بسیاری از گونه‌های مناطق معتدله نیز با افزایش درجه پوسیدگی، چگالی

را می توان منبع ذخیره کربن در نظر گرفت، زیرا کربن موجود در آنها طی فرایند تجزیه به آرامی آزاد می شود. از طرف دیگر، ماندن کربن به مدت طولانی در خشک دارها، بر کاهش گرمایش جهانی تأثیر دارد، زیرا مقدار کمتری دی اکسید کربن به جو آزاد می شود. به طور کلی تحقیق حاضر نشان داد که خشک دارهای قطور در جنگل از نظر اکولوژیکی اهمیت بیشتری دارند، زیرا ذخیره کربن بیشتری دارند. از طرف دیگر حذف خشک دارها سبب از بین رفتن زیستگاه گونه های گیاهی و جانوری می شود و بر تنوع این گروه از جانداران اثر منفی دارد. به بیان دیگر، برداشت خشک دارها با درک علمی از فرایندهای طبیعی جنگل یا همان مدیریت همگام با طبیعت در تضاد است.

خشک دارها، مقدار نیتروژن آنها روند افزایشی دارد (Yang et al., 2010; Holub et al., 2001). فعالیت قارچ ها و باکتری های تثبیت کننده نیتروژن و نیز بی تحرکی نیتروژن طی فرایند پوسیدگی خشک دارها ممکن است عامل بروز این روند باشد (Garrett et al., 2008; Fierer et al., 2001).

نتیجه گیری

یکی از پیامدهای افزایش نرخ مرگومیر درختان در توده های جنگلی، زیاد شدن خشک دارهاست که تجزیه این اجزای مهم اکوسیستم های جنگلی بر نرخ انتقال کربن تأثیر می گذارد و فرایندهای بیوژئوشیمیایی را در مقیاس های محلی، منطقه ای و جهانی تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین، خشک دارها

References

- Alidadi, F., Marvie Mohajer, M.R., Etemad, V., & Sefidi, K. (2014). Decay dynamics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) deadwood in mixed beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4), 624-635.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., & Rowland, A.P. (1986). *Chemical Analysis*. In: Moore, P.D. and Chapman, S.B., Eds., *Methods of Plant Ecology*, Blackwell, Oxford, 285-344.
- Álvarez-DaÁvila, E., Cayuela, L., González-Caro, S., Aldana, A.M., Stevenson, P.R., Phillips, O., Cogollo, A., Peñuela, M.C., Hildebrand, P.V., Jiménez, E., Melo, O., Londoño-Vega, A.C., Mendoza, I., VelaÁsquez, O., Fernández, F., Serna, M., VelaÁsquez-Rua, C., Benítez, D., José, M., & Rey-Benayas, J.M. (2017). Forest biomass density across large climate gradients in northern South America is related to water availability but not with temperature. *PLoS ONE*, 12(3), 0171072.
- Aryaie Monfared, M.H., Tavakoli, H., & HosseinKhani, H. (2012). Study of some apparent, anatomical and physical properties of Divdal (*Ammodendron persicum*) wood from Zirkooh-Qhaen. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27(4), 664-67.
- Aticie, E., Colak, A.H., & Rotherham, I.D. (2008). Coarse Dead Wood Volume of Managed Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Stands in Turkey. *Investigación Agraria: Sistemasy Recursos Forestales*, 17(3), 216-227.
- Bantle, A., Borken, W., & Matzner, E. (2014). Dissolved nitrogen release from coarse woody debris of different treespecies in the early phase of decomposition. *Forest Ecology and Management*, 334, 277-283.
- Chao, K.J., Phillips, O.L., & Baker, T.R. (2008). Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 795-805.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., & Zanne, A.E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351-366.

- Chowdhury, Q., Khan, R., & Mehedi, A.H. (2013). Wood density variation in four plantation species growing in Bangladesh. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 10, 32–38.
- Christensen, M., & Vesterdal, L. (2003). Nat-Man WP7 report: prepared by members of Work-package7 in the Nat-Man project (Nature-based Management of beech in Europe) funded by the European Community 5th framework programme. *Nat-Man Working Report*, 25p.
- Cosmo, D.L., Gasparini, P., Paletto, A., & Nocetti, M. (2013). Deadwood basic density values for national-level carbon stock estimates in Italy. *Forest Ecology and Management*, 295, 51–58.
- Cousins, S.J.M., Battles, J.J., Sanders J.E., & York, R.A. (2015). Decay patterns and carbon density of standing dead trees in California mixed conifer forests. *Forest Ecology and Management*, 353, 136–147.
- Dudley, N., Equilibrium., & Vallauri, D. (2004). Deadwood living forests. *WWF Report*, 1-19.
- Etemad, V. (2002). Quantitative and qualitative study of beech tree seeds in forests of Mazandaran province, *PhD thesis Forestry*. Department of natural resources, University of Tehran, 258P.
- FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Rome.
- Fierer, N., Schimel, J.P., Cates, R.G., & Zou, J. (2001). Influence of balsam poplar tannin fractions on carbon and nitrogen dynamics in Alaskan taiga floodplain soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1827–1839.
- Ganjegunte, G.K., Condron, L.M., Clinton, P.W., Davis, M.R., & Mahieu, N. (2004). Decomposition and nutrient release from radiate pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. *Forest Ecology and Management*, 187, 197–211.
- Garrett, L.G., Oliver, G.R., Pearce, S.H., & Davis, M.R. (2008). Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 255, 3839–3845.
- Gilbertson, R.L. (1980). Wood-rotting fungi of North America. *Mycologia*, 72, 1–49.
- Gould, W.A., González, Hudak, A.T., Hollingsworth, T.N., & Hollingsworth, J. (2008). Forest Structure and Downed Woody Debris in Boreal, Temperate, and Tropical Forest Fragments. *Ambio*, 37(7–8), 577–587.
- Gubena, A.F., & Soromessa, T. (2017). Variations in Forest Carbon Stocks Along Environmental Gradients in Egdu Forest of Oromia Region, Ethiopia: Implications for Sustainable Forest Management. *American Journal of Environmental Protection*, 6, 1-8.
- Harmon, M.E., Fath, B., Woodall, C.W., & Sexton, J. (2013). Carbon concentration of standing and downed woody detritus: effects of tree taxa, decay class, position, and tissue type. *Forest Ecology and Management*, 291, 259–267.
- Harmon, M.E., & Sexton, J. (1995). Water balance of conifer logs in early stages of decomposition. *Plant and Soil*, 172, 1141-1521.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., & Saint-Andre, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260, 1375–1388.
- Holub, S.M., Spears, D.H., & Lajtha, K.A. (2001). reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 1894–1902.
- Humphrey, J.W., Sippola, A.L., Lempe ´rie`re, G., Dodelin, B., Alexander, K.N.A., & Butler, J.E. (2004). Deadwood as an indicator of biodiversity in European forests: From theory to operational guidance. In M. Marchetti (Ed.), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe From ideas to operationality*. *EFI Proceedings*, 51, 193-206.
- Kim, Y.S., & Singh, A.P. (2000). Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: a review. *IAWA Journal*, 21(2), 135–155.

- Kimberley, M.O., Beets, P.N., & Paul, T.S.H. (2016). Comparison of measured and modelled change in coarse woody debris carbon stocks in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management*, 434, 18-28.
- Kirby, K.J., Reid, C.M., Thomes, R.C., & Goldsmith, F.B. (1998). Preliminary estimates of fallen dead wood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. *Journal of Applied Ecology*, 35, 148-155.
- Kollman, F.F.P., & Cote, W.A. (1968). *Principles of wood science and technology*. Solid wood: Springer-Verlag, New York.
- Koster, K., Metslaid, M., Engelhart, J., & Koster, E. (2015). Deadwood basic density, and the concentration of carbon and nitrogen for main tree species in managed hemiboreal forests. *Forest Ecology and Management*, 354, 35-42.
- Kwak, J.H., Changm, S.X., Naeth, M.A., & Schaaf, W. (2015). Coarse Woody Debris Increases Microbial Community Functional Diversity but not Enzyme Activities in Reclaimed Oil Sands Soils. *PLoS ONE*, 10(11), e0143857.
- Lassauce, A., Paillet, Y., Jactel, H., & Bouget, Ch. (2011). Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators*, 11, 1027-1039.
- Mani, S., & Parthasarathy, N. (2007). Tree population and above-ground biomass changes in two disturbed tropical dry evergreen forests of peninsular India. *Tropical Ecology*, 50(2), 249-258.
- Mataji, A., Sagheb-Talebi, Kh., & Eshaghi-Rad, J. (2014). Deadwood assessment in different developmental stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in Caspian forest ecosystems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 1215-1222.
- Meour, M. (1993). Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest science*, 39(4), 756-775.
- Merganičová, K., & Merganič, J. (2010). Coarse woody debris carbon stocks in natural spruce forests of Babia Hora. *Journal of Forest Science*, 56(9), 397-405.
- Noh, N.J., Yoon, T.K., Kim, R.H., Bolton, N.W., Kim, CH., & Son, Y. (2017). Carbon and Nitrogen Accumulation and Decomposition from Coarse Woody Debris in a Naturally Regenerated Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest. *Forests*, 8, 4-13.
- Olajuyigbe, S.O., Tobin, B., Gardiner, P., & Nieuwenhuis, M. (2011). Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology Management*, 262, 1109-1118.
- Paletto, A., & Tosi, V. (2010). Deadwood density variation with decay class in seven tree species of the Italian Alps. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(2), 164-173.
- Ramanantoandro, T., Ramanakoto, M.F., Rajoelison, G.L., Randriamboavonjy, G.C., & Rafidimanantsoa, H.P. (2016). Influence of tree species, tree diameter and soil types on wood density and its radial variation in a mid-altitude rainforest in Madagascar. *Annals of Forest Science*, 73, 1113-1124.
- Sagheb-Talebi, Kh., & Schütz, J-Ph. (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 465-472.
- Sefidi, K., & Marvie Mohajer, 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(1), 7-17.

- Sefidi, K., Esfandiari Darabad, F., & Sharary, M. (2016). The decay time and rate determination in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) dead trees in Asalem forests. *Journal of Environmental Studies*, 42(3), 551-563.
- Shorohova, E., & Kapitsa, E. (2015). Stand and landscape scale variability in the amount and diversity of coarse woody debris in primeval European boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 356, 273-284.
- Swift, M.J. (1977). The ecology of wood decomposition. *Science Progress*, 64, 175-199.
- Tobin, B. (2006). Carbon sequestration in Sitka spruce in Ireland. *Ph.D. thesis*, School of Biology and Environmental Science, University College Dublin, Dublin.
- United Nations. (1992). *United Nations framework convention on climate change*, pp. 25.
- Vanderwel, M.C., Malcolm, J.R., & Smith, S.M. (2006). An integrated model for snag and downed woody debris decay class transitions. *Forest Ecology and Management*, 234(1), 48-59.
- Vrška, T., Pr'ive'tivy', T., Janík, D., Unar, P., Šamonil, P., & Král, K. (2015). Deadwood residence time in alluvial hardwood temperate forests—A key aspect of biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management*, 357, 33-41.
- Woodall, C.W., Waddell, K.L., Oswalt, C.M., & Smith, J.E. (2013). Standing dead tree resources in forests of the United States. In: Potter, Kevin M., Conkling, Barbara L., (Eds.), 2013. Forest Health Monitoring: national status, trends, and analysis 2010. Gen. Tech. Rep. SRS-GTR-176. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service. *Southern Research Station*, 85-94.
- Woodcock, D.W., & Shier, A.D. (2003). Does canopy position affect wood specific gravity in temperate forest trees?. *Annals of Botany*, 91, 529-537.
- Yang, F.F., Li, Y.L., Zhou, G.i., Wenigmann, K.O., Zhang, D.Q., Wenigmann, M., Liu, S.Z., & Zhang, Q.M. (2010). Dynamics of coarse woody debris and decomposition rates in an old-growth forest in lower tropical China. *Forest Ecology and Management*, 259, 1666-1672.
- Yatskov, M., Harmon, M.E., & Krankina, O.N. (2003). A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 1211-1226.



Research Article

Changes in wood density, biomass, and carbon and nitrogen storage of Beech and Hornbeam CWD based on different decay grade in Khairud forest of Nowshahr

A. Khalili¹, A. Mataji^{2*}, Kh. Sagheb Talebi³, S. M. Hodjati⁴

¹Ph.D. Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Professor., Department of Forestry, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³Associate Professor., Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

⁴Associate Professor., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: 16 October 2020, Accepted: 28 November 2020)

Abstract

Coarse woody debris (CWD) play important structural and biogeochemical roles in forest ecosystem processes. The aim of this study was to determine the wood density and biomass of beech and hornbeam and its relationship with different degrees of decay and diameter classes in Khairud educational and research forest, Nowshahr city, Mazandaran province. First, in an area of 50 hectares, CWD (with a median diameter of more than 7.5 cm) were fully survived and inventoried. Then, to determine the wood density of CWD, three cubic samples (close to the pith, close to the bark, and between the pith and bark) with dimensions of $2 \times 2 \times 2$ cm were taken from each CWD and transferred to the laboratory. After determining the types of wood density (wet, dry, and critical density) in the laboratory, the samples were grinded, and using standard laboratory methods, the carbon and nitrogen elements of CWD were measured based on different decay grades and diameter classes. The results showed that the wood density types decrease with an increasing degree of CWD decay grade. Also, the dry wood density of Beech CWD and downed Beech CWD decreases significantly with increasing diameter. The results related to the amount of biomass showed that this value increases with an increasing degree of decay. Based on diameter classes, with an increasing diameter of CWD, the amount of biomass showed an increasing trend. The results also showed that with increasing degree of decay and diameter of CWD, their carbon storage increases. But in the case of nitrogen storage, due to the lack of significant differences, no specific pattern was observed. In general, it can be said that the presence of large CWD in the forest is very important ecologically, because stores more carbon. On the other hand, the preservation of CWD in the forest is in line with close to nature management.

Keywords: dry wood density, diameter class, carbon balance, decomposition, Khairud.

