

تأثیر خشک‌دارها بر تغییرات کربن آلی خاک معدنی جنگل‌های اوری (*Quercus macranthera*) شمال کشورعلی اصغر واحدی<sup>۱\*</sup>، مجتبی محمودی<sup>۲</sup>، کرملی ذبیحی<sup>۳</sup>، محمد متینی‌زاده<sup>۴</sup>، مجتبی ایمانی راستابی<sup>۵</sup>

۱- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (as.vahedi@areeo.ac.ir)

۲- دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (m.mahmoudip@areeo.ac.ir)

۳- مربی پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (karamali.zabihi@yahoo.com)

۴- دانشیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (mohamadmatiniazadeh@yahoo.com)

۵- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. (m\_imani\_m@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳

## چکیده

هدف اصلی این پژوهش تعیین مقدار اثرگذاری خشک‌دارها بر تغییرات مقادیر کربن آلی خاک معدنی زیر بستر آنهاست. این پژوهش در قطعات نمونه دائمی ۴۰۰ مترمربعی انجام شد. در داخل هر قطعه نمونه در بستر زیرین خشک‌دارهای با ارتفاع بیش از ۱/۵ متر و قطر برابر سینه یا قطر میانی بیش از ۷/۵ سانتی متر، تجمعات آلی حاصل از پوسیدگی بافت‌های چوبی برداشت شده و بعد از کنار زدن لایه آلی مذکور، لایه معدنی خاک تا عمق ۱۰ سانتی متر نمونه برداری و به محیط آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون کروسکال‌والیس نشان داد که مقادیر کربن آلی خاک بستر زیرین خشک‌دارهای گونه‌های مختلف با انواع فرم و درجات مختلف پوسیدگی دارای تغییرات معنی داری است. به تبع آن، نتایج آزمون ناپارامتریک پرمانوآ دوطرفه نیز نشان داد که اثرهای متقابل فرم، گونه و پوسیدگی خشک‌دارها در رویشگاه‌های مورد پژوهش به صورت جفتی بر مقادیر کربن آلی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها معنی دار نبود. نتایج آزمون اسپیرمن نیز نشان داد که مقادیر کربن آلی، عناصر غذایی و ماده آلی بین زیربستر آلی و لایه معدنی خاک خشک‌دارها دارای تغییرات مستقلی از یکدیگر بود ( $P > 0/05$ ) و بین مقادیر کربن آلی و مقدار نیتروژن کل در لایه معدنی خاک ارتباط معنی داری مشاهده شد ( $P < 0/01$ ).

واژه‌های کلیدی: ارتفاعات بالابند، تجمعات آلی، جنگل‌های هیرکانی، خشک‌دارهای اوری، عناصر غذایی

(Blonska et al., 2019; Magnússon et al., 2016). از

طرفی با احتساب این موضوع که لایه‌های معدنی خاک بسته به مقدار رطوبت، عناصر غذایی موجود و جمعیت میکروبی دارای مقدار متفاوتی از حبس و انتشار کربن در قالب تنفس هستند (Hojati et al., 2022)، حضور خشک‌دارها در این رابطه بر مقدار تعادل و روند چرخه کربن دارای تأثیرات عدیده‌ای خواهد بود. بنابراین یکی از ویژگی‌های بارز خشک‌دارها در جنگل‌های طبیعی تأثیر بر مقدار تغییرات کربن آلی لایه‌های معدنی خاک زیرین آنهاست.

خاک‌های بوم‌سازگان‌های جنگلی سهم زیادی از مقادیر کربن آلی را نسبت به دیگر حوضچه‌های کربن به خود اختصاص داده و بدین ترتیب نقش بسیار برجسته‌ای را در زمینه چرخه جهانی کربن ایفا می‌کند (Rawat et al., 2022). در واقع می‌توان عنوان کرد که کربن آلی خاک در ترکیبات پیچیده مواد آلی خاک نهفته شده و بر اثر تنفس، مقدار رطوبت، حرارت و دیگر عوامل محیطی و زیستی با چرخه عناصر غذایی خاک دارای ارتباط متقابل بوده و در صورت تغییر در مقدار اولیه، به کندی به سطح تعادل جدید می‌رسد (Moslehi et al., 2018). با استناد به این موضوع، تغییرات بسیار جزئی در مقادیر کربن آلی خاک جنگل‌ها اثرهای جدی در روند چرخه جهانی کربن و افزایش گرمایش زمین داشته (Li et al., 2013; Malla et al., 2022) و همچنین منجر به تغییرات بارزی بر روند زیستی خاک و استقرار زی‌توده گیاهی خواهد شد. با توجه به این‌که خشک‌دارها یکی از منابع تأمین کربن آلی و عناصر غذایی خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی معرفی می‌شوند، پرسش اصلی پژوهش کنونی در این رابطه این است که خشک‌دارهای جنگل‌های طبیعی بر مبنای چه الگویی و چگونه بر مقدار تغییرات کربن آلی لایه معدنی خاک تأثیرگذار بوده و آیا تغییرات عنصر مذکور ارتباط

یکی از دغدغه‌هایی که در کمیسیون‌های دستگاه‌های مدیریتی و اجرایی مبتنی بر قانون پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور مطرح شده است، معرفی طرح جایگزین مصوبه قانونی تنفس (استراحت) جنگل‌های هیرکانی از تصمیم‌گیری‌ها در رابطه با مقدار حجم خروج خشک‌دارها از جنگل‌های مزبور است. از طرفی یکی از اصول مهم جنگل‌شناسی همگام با طبیعت نیز تأکید بر حفظ انباشت و پراکندگی خشک‌دارها در جنگل‌های طبیعی است (Marvie Mohadjer, 2005). ابهام اصلی در این زمینه است که خشک‌دارهای موجود با احتساب انواع درجه‌های پوسیدگی از گونه‌های مختلف درختان صرف‌نظر از تئوری‌های آکادمیک چه نقشی را در بستر جنگل‌ها بازی کرده و خروج نابه‌جای آن‌ها چه اختلالی در روند خودتنظیمی جنگل‌های شمال کشور ایجاد می‌کند. از میان دیدگاه‌های مختلف جنگل‌شناسی و رویدادهای مختلف بوم‌شناختی در رابطه با اهمیت حضور خشک‌دارها در جنگل‌های هیرکانی، این پژوهش به بررسی نقش حضور خشک‌دارها در رابطه با تغییرات مقادیر کربن آلی و ارتباط آن با عناصر غذایی در لایه معدنی خاک بستر زیرین آن‌ها در جنگل‌های اوری شمال کشور پرداخته است. در واقع بنا به مقدار پوسیدگی، خشک‌دارها در بوم‌سازگان‌های جنگلی علاوه بر مخازن اصلی کربن به‌عنوان منابع انتشار کربن نیز قلمداد می‌شوند (Sarvazad et al., 2022). یکی از بدیهیاتی که در رابطه با خشک‌دارها وجود دارد روند پوسیدگی بافت‌های چوبی آن‌ها مبتنی بر فعل و انفعالات فیزیکی - شیمیایی و پدیده‌های آبشویی و فعالیت‌های مرتبط با انواع جمعیت میکروبی و ریزموجودات (میکروارگانیسم‌ها) بوده که سبب رهاسازی مقادیر زیادی از کربن آلی در قالب انتشار به اتمسفر و یا جابه‌جایی به لایه‌های معدنی خاک می‌شود

کل (N) و فسفر قابل جذب (P) در لایه‌های آلی و معدنی زیرین خشک‌دارها باشد. به‌عنوان مثال et al. (2020) Wu گزارش دادند که افزایش نیتروژن و فسفر در خاک به‌طور هم‌زمان (N+P) سبب افزایش فعالیت ریزموجودات و به‌تبع آن منجر به افزایش فرآیند تنفس و آزادسازی مقادیر کربن حبس شده در لایه‌های آلی و معدنی خاک می‌شود. اگر چه در این رابطه برخی دیگر از پژوهش‌ها گزارش داده‌اند که افزایش هم‌زمان مقدار N+P سبب محدودیت فعالیت‌های ریزموجودات شده که در نهایت فرآیند تنفس کند و مقدار آزادسازی کربن حاصل از تجزیه فیزیکی یا شیمیایی خشک‌دارها نیز کمتر خواهد شد (Chen et al., 2005; Nottingham et al., 2018). البته (Fallahchai et al., 2018) پژوهش خود در رابطه با اثرگذاری درجات پوسیدگی خشک‌دارهای سفیدپلت اذعان داشتند که افزایش پوسیدگی درختان گونه مذکور منجر به افزایش مقادیر نیتروژن کل و فسفر خاک شده و به‌همین ترتیب مقادیر کربن آلی خاک در بخش زیرین خشک‌دارهای گونه مذکور افزایش یافت. شایان ذکر است که پژوهش‌های مختلفی در زمینه پویایی و روند پوسیدگی خشک‌دارها در جنگل‌های هیرکانی انجام شده است. در این زمینه (Alidadi et al., 2014) در رابطه با روند پویایی خشک‌دارهای راش و ممرز در جنگل‌های شمال نرخ زمانی را برای پوسیدگی ۹۵ درصد از جرم خشک‌دار راش و ممرز در طبیعت به‌ترتیب ۳۰ و ۱۶ سال معرفی کردند. یا در این رابطه (Sefidi et al., 2016) عنوان کردند که نرخ پوسیدگی درختان راش در هر سال ۰/۰۱ درصد تا ۰/۰۷ درصد بوده و مجموع مدت زمان استقرار خشک‌دار در چهار مرحله پوسیدگی به‌ترتیب ۲، ۱۷، ۱۲ و ۶ سال و در مجموع ۳۶ سال است. (Rahanjam et al., 2017) نیز در پژوهش موردی خود در جنگل‌های

معنی‌داری با مقدار عناصر غذایی موجود در لایه‌های آلی و معدنی زیرین خشک‌دارها دارد یا خیر؟. نتایج پژوهش‌های بسیاری حاکی از آن بوده که خشک‌دارها دارای اثرهای به‌سزایی بر مقدار تغییرات کربن آلی و به‌تبع آن پویایی چرخه عناصر غذایی خاک بوده و به‌نوعی منجر به افزایش حاصل‌خیزی خاک می‌شوند (Olajuyigbe et al., 2011; Moghimian et al., 2017; Garrett et al., 2019; Pastore et al., 2019; Harmon et al., 2020; Wu et al., 2020). در این خصوص (Wambsganss et al., 2017) عنوان کردند که در حین پوسیدگی و تجزیه خشک‌دارها جمعیت وسیعی از ریزموجودات یا حتی موجودات بزرگ‌تر ذرات آلی را به‌طور عمودی در خاک نفوذ داده و به‌نوعی سبب عمق‌پذیر یافتن ذرات آلی خاک و ورود هر چه بیشتر کربن در لایه‌های معدنی خاک می‌شود. با توجه به اینکه خشک‌دارها به‌هنگام تجزیه در روند پوسیدگی، عناصری همچون کربن، نیتروژن و فسفر را رهاسازی می‌کنند، از این‌رو مقدار حاصل‌خیزی رویی خاک دارای همبستگی به‌سزایی با حضور خشک‌دارها است (Herrmann et al., 2015; Moghimian et al., 2020). همچنین با احتساب این موضوع که تغییرات کربن آلی دارای برهم‌کنش متقابل با تغییرات عناصر غذایی خاک (نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب) بوده و همین امر منجر به پایداری روند زیستی و رژیم غذایی خاک‌های جنگلی می‌شود (Kooch et al., 2021; Wu et al., 2020; Dai et al., 2022)، از این‌رو قابل انتظار است که ارتباط متقابل مذکور به‌سبب افزایش مواد آلی حاصل از روند تجزیه و پوسیدگی خشک‌دارها دست‌خوش تغییرات متفاوتی باشد.

برهم‌کنش کربن آلی خاک تحت تأثیر حضور خشک‌دارها و روند تجزیه آن‌ها می‌تواند در ارتباط با برخی از عناصر غذایی مانند افزایش یا کاهش نیتروژن

و تجاری در توده‌های مورد پژوهش است. از آنجایی که مدیریت جنگل‌های اوری در طرح‌های جنگلداری شمال کشور به صورت حفاظتی است، ارزیابی و بررسی اثرهای خشک‌داری‌های پراکنده در توده‌های جنگل‌های مزبور در رابطه با مقادیر کربن آلی و برهم‌کنش آن با دیگر عناصر غذایی با استناد به شرایط خاص رویشگاهی موجود در این جنگل‌ها می‌تواند اطلاعات درخور توجهی را آشکار کند. در واقع جنگل‌های اوری به عنوان جنگل‌های طبیعی منحصر به فرد در جنگل‌های هیرکانی محسوب شده ولی به دلیل استقرار در ارتفاعات بالابند دسترسی بخش حفاظتی دستگاه‌های اجرایی به آن دشوار بوده و از این رو در اغلب مواقع خروج غیرقانونی خشک‌داری‌های سرپا و افتاده از این جنگل‌ها به خصوص توسط دامداران و بومی‌های ییلاق‌های جنگل‌های اطراف بیشتر به چشم می‌خورد. با احتساب این موضوع در این پژوهش سعی شد بر اساس واقعیات موجود و بر مبنای پراکندگی انواع خشک‌داری در جنگل‌های مورد پژوهش نتایج تحلیلی به وضوح تبیین شده تا به صورت فنی بیش از پیش نقش حضور خشک‌داری‌ها به صورت برجسته نمایه شود. با مدنظر قرار دادن همه این تفاسیر فرضیه اصلی پژوهش حاضر این است که هر چقدر درجه پوسیدگی درختان خشک‌دار بیشتر باشد تجمعات آلی حاصل از روند پوسیدگی آن‌ها به عنوان زیربستر آلی دارای انباشتگی و ضخامت بیشتری است. به تبع انتظار می‌رود که مقادیر کربن آلی در ارتباط با مقدار مواد آلی و عناصر غذایی موجود در زیربستر آلی به لایه معدنی خاک بستر زیرین خشک‌داری‌ها نفوذ قابل توجهی داشته باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### عرصه پژوهش

هیرکانی گزارش دادند یک پنجم کل حجم خشک‌داری‌های جنگل مورد بررسی سرپا بوده و بقیه خشک‌داری‌ها افتاده بود. از طرفی نتایج ایشان نشان داد که به طور تقریب نیمی از خشک‌داری‌ها معمولاً در مراحل ابتدایی پوسیدگی (درجه ۲) قرار دارد. با این تفاسیر بر حسب این که خشک‌داری‌های تغییرات و نوسانات مختلفی در رابطه با روند پوسیدگی و نرخ تجزیه هستند، رویکرد این پژوهش شفاف‌سازی اثرهای خشک‌داری بر مقدار کربن آلی خاک معدنی زیرین آن‌ها با احتساب آزادسازی مقادیر نیتروژن کل و دیگر عناصر غذایی بر مبنای درجات پوسیدگی آن‌ها است. در واقع با توجه به ماهیت اثرهای مورد اشاره، با بررسی ارتباط بین مقادیر عناصر غذایی و کربن آلی در خاک‌های معدنی زیرین خشک‌داری‌های مزبور می‌توان دریافت که تغییرات عناصر غذایی خاک چه تأثیری بر مقدار تغییرات کربن آلی خاک خواهد داشت.

این پژوهش در رویشگاه‌های طبیعی اوری (*Quercus macranthera* C.A. May) واقع در ارتفاعات بالابند جنگل‌های شمال کشور انجام شد. جنگل‌های مذکور دارای نقش حیاتی، حمایتی و زیست‌محیطی در حفاظت خاک و منابع آب بوده و به نوعی پایداری این جنگل‌ها ضامن زنده‌مانی و بقای جنگل‌های پایین دست شمال کشور محسوب می‌شود (Mahdiani et al., 2012). به طور معمول درختان اوری در برخی از رویشگاه‌ها به ندرت به صورت خالص و در بیشتر رویشگاه‌های خود به همراه درختان لور (*Carpinus orientalis* L.) و درختان راش (*Fagus orientalis* L.) بین دامنه ارتفاعی ۱۷۰۰ تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا دارای پراکنش است. یکی از دلایل اصلی اجرای این پژوهش در رویشگاه‌های مذکور حاکمیت شرایط خاص آب و هوایی، روند کند تجزیه بقایای زی توده و انتشار کربن، و حداقل دست‌خوردگی صنعتی

برای اجرای این پژوهش سه رویشگاه توده‌های درختان اوری جنگل‌های شمال کشور شامل جنگل پانومه‌سر لایویج نور، جنگل کلنگای نکاء و جنگل توسکستان گرگان در ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا مدنظر قرار گرفت. اجرای پژوهش در رویشگاه‌های مذکور در قطعات دائمی مربوط به پروژه ملی سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران مصوب کمیته علمی - فنی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع و کمیسیون هماهنگی پژوهش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی انجام شد.

پژوهش در جنگل پانومه‌سر لایویج در قطعه ۱۰۸ سری یک طرح جنگلداری لایویج در حوزه آبخیز ۴۹ انجام شد. مساحت کل پارسل منتخب ۹۰ هکتار، جهات عمومی شمالی و شمال شرقی و همچنین شیب دامنه در آن اغلب تا ۴۰ درصد و میانگین ارتفاع از سطح دریا نیز در آن به‌طور تقریبی ۲۲۰۰ متر است. درختان گونه غالب در پارسل مذکور بیشتر راش بوده که گونه‌های همراه آن ممرز (*Carpinus betulus* L.)، افراپلت (*Acer velutinum* Bioss)، افراشیردار (*Acer Sorbus torminalis*)، بارانک (*cappadocicum* Gled. L.) و در برخی از مناطق آن درختان اوری به‌همراه لور دارای تراکم قابل ملاحظه‌ای است.

اجرای پژوهش در جنگل نکا در پارسل ۲۸ سری ۲ بخش ۲ هفت‌خال انجام شد. ترکیب گونه‌ای در پارسل مورد نظر اغلب شامل درختان گونه اوری بیشتر به‌همراه لور و با پراکنش راش، افراپلت، گیلاس و حشی (*Prunus avium* L.) و دیگر گونه‌های درختان است. شیب‌های دامنه در بسیاری از مناطق تا ۴۰ درصد، جهت‌های دامنه در پارسل مذکور بیشتر شرقی و جنوبی بوده و میانگین ارتفاع از سطح دریا نیز در آن به‌طور تقریبی ۲۱۵۰ متر است.

اجرای پژوهش در جنگل توسکستان در پارسل حفاظتی سری نومل انجام شده است. کل سری ۹۰۴۳ هکتار و پارسل حفاظتی آن ۲۸۳۰ هکتار است. ترکیب گونه‌ای توده‌های درختان اغلب شامل گونه اوری همراه با درختان گونه لور بوده و میانگین ارتفاع از سطح دریا در آن ۲۳۰۰ متر است. پارسل مذکور دارای شیب‌های مختلف بوده که بیشینه سهم شیب‌های دامنه تا ۴۰ درصد و همچنین جهت‌های دامنه نیز در آن اغلب شمال‌غربی است.

#### جمع‌آوری داده‌ها

بر اساس پروتکل کاربردی مدون در پروژه ملی مصوب سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در سطح هر یک از توده‌های طبیعی اوری در رویشگاه‌های مورد بررسی، تمام خشک‌دارهای سرپا و افتاده که طول یا ارتفاع آن‌ها بیش از ۱/۵ متر و قطر برابر سینه یا قطر میانی آن‌ها بیش از ۷/۵ سانتی‌متر بود (Harmon et al., 2008) به‌طور صددرصد با استفاده از دستگاه موقعیت-یاب جغرافیایی (جی‌پی‌اس) ثبت شد. از بین تمامی مختصات ثبت شده به‌طور تصادفی بر حسب مرکزیت مختصات مزبور، چهار قطعه‌نمونه با ابعاد ۴۰۰ مترمربع در هر یک از توده‌های مورد پژوهش پیاده شد. در داخل هر قطعه‌نمونه کلیه ویژگی‌های خشک‌دارها شامل طول پایه‌های افتاده یا ارتفاع پایه‌های سرپا و به‌ترتیب آن قطر متوسط میانی و یا قطر برابر سینه، نوع گونه، درجه پوسیدگی و فرم خشک‌دارها (افتاده یا سرپا) اندازه‌گیری و ثبت شد. ثبت درجه پوسیدگی خشک‌دارها مبتنی بر پنج طبقه تعریف شده در جنگل‌های زیست‌بوم‌های مختلف انجام شد (Schmid et al., 2016; Moreira et al., 2019; Suzuki et al., 2019). در طبقه اول پوسیدگی، بافت چوبی به‌صورت به‌طور کامل جامد، مستحکم و دارای پوست بوده و همچنین دارای برگ یا حتی شاخه‌های ریز است که به بخش اصلی (یا

عناصر مورد پژوهش در لایه‌های آلی و معدنی خاک ثابت در نظر گرفته شود.

#### تحلیل داده‌ها

پس از انجام پیش‌پردازش‌های رایج آزمایشگاهی از قبیل خشک کردن، الک کردن و در نهایت پس از کوبیدگی کامل نمونه‌ها مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب در تجمعات آلی و لایه معدنی خاک نمونه‌برداری شده به ترتیب با استفاده از روش‌های والکلی بلاک، کجلدال، اولسن و عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با فلیم فتومتر اندازه‌گیری شدند.

از تحلیل ساده شاخص گونه‌ای (Simple indicator species analysis) برای معرفی گونه‌های شاخص خشک‌دارها به منظور تمایز معنی‌داری مقادیر مشخصه‌های خشک‌دارهای مزبور و همچنین مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی خاک معدنی بستر زیرین آن‌ها استفاده شد. برای بررسی نرمالیته داده‌ها از آزمون شاپیروویلیک استفاده شد. بر حسب عدم توزیع نرمال داده‌ها، با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن به همراه آزمون مقاوم‌سازی (Bootstrap) معنی‌داری ارتباط بین کلیه عناصر مورد پژوهش در لایه‌های آلی و معدنی خاک ارزیابی شد. برای بررسی معنی‌داری تغییرات کربن آلی و عناصر غذایی در زیربستر آلی و معدنی خشک‌دارها در توده‌های مورد پژوهش از آزمون کروسکال‌والیس استفاده شد. همچنین با احتساب ماهیت داده‌ها، حجم نمونه‌ها و عدم همگنی واریانس ماتریس داده‌ها از آزمون پرمانوآ دو طرفه (Two-way PERMANOVA) مبتنی بر فاصله اقلیدسی برای بررسی معنی‌داری اثرهای متقابل مؤلفه‌های عامل بر مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی استفاده شد.

#### نتایج

محوری) چوب ضمیمه است. از طرفی تخریب یا تجزیه قابل ملاحظه‌ای نیز در چوب دیده نمی‌شود. در طبقه دوم پوسیدگی همان ویژگی‌های طبقه اول مطرح خواهد بود اما فقط برگ و شاخه‌های ریز منشعب از محور اصلی چوب در این طبقه پوسیدگی وجود ندارد. در حقیقت در این طبقه، چوب فاقد برگ و شاخه‌های ریز است. در طبقه سوم، همانند طبقه دوم علاوه بر آن که بخش محوری چوب فاقد برگ و شاخه‌های ریز بوده، پوست چوب نیز دارای پوسیدگی عدیده بوده و در برخی موارد محور چوب بدون پوست است. ولیکن چوب بدون حفره و پوسیدگی بوده و استحکام اولیه خود را همچنان حفظ کرده است. ویژگی‌های طبقه چهارم این است که بخش‌های بیرونی و نرم چوب دارای حفره‌های متعدد و پوسیدگی بوده که به‌طور معمول با فشار زیاد قابلیت فرورفتگی در آن وجود داشته و با یک ضربه محکم امکان تخریب بافت چوبی در آن وجود خواهد داشت. ویژگی طبقه پنجم نیز این است که بافت چوبی به‌طور کامل پوسیده بوده، ترد و شکننده است و به‌راحتی قابل فرورفتن، تکه‌تکه شدن و یا پودر شدن است. پس از تعیین درجات پوسیدگی، حتی‌الامکان در زیر خشک‌دارها و یا حیطة تماس آن‌ها با بستر خاک معدنی، ابتدا از بخش‌های مختلف ضخامت تجمعات آلی حاصل از پوسیدگی بافت‌های مختلف چوبی برداشت و نمونه‌برداری شد و بعد از کنار زدن لایه آلی مذکور، لایه معدنی خاک تا عمق ۱۰ سانتی‌متر نیز نمونه‌برداری و برای پردازش شیمیایی به محیط آزمایشگاه منتقل شد (Wambsganss et al., 2017; Blonska et al., 2019). دامنه ارتفاع از سطح دریا و شیب برای انجام نمونه‌برداری در تمام رویشگاه‌ها شبیه بوده است. در واقع نمونه‌برداری‌های انجام‌شده در زیر خشک‌دارهای واقع در اراضی مسطح انجام شده است تا بدین ترتیب اثرهای آبشویی و نقل و انتقال

فراوانی نسبی گونه‌های درختان در توده‌های مورد پژوهش مقادیر مختلفی را نشان داده است. نتایج نشان داد که فراوانی نسبی گونه اوری در رویشگاه توسکستان، پانومه‌سر و کلنگا به ترتیب ۹۴ درصد، ۶۳ درصد و ۲۹ درصد است (جدول ۱).

جدول ۱- درصد فراوانی نسبی گونه‌های درختان توده‌های اوری جنگل‌های مورد پژوهش

Table 1. Relative frequency percent of trees species for Caucasian oak in the study forests

بارانک	گیلاس وحشی	راش	لور	اوری	
Chequers	Wild cherry	Oriental beech	Oriental hornbeam	Caucasian oak	
-	-	-	6	94	توسکستان Tuskestan
8	-	9	20	63	پانومه‌سر Panomesar
-	4	26	41	29	کلنگا Kolanga

گونه‌های درختان در جدول ذیل نشان داده شد (جدول ۲). از طرفی انواع درجه پوسیدگی و فرم هر یک از خشک‌دارهای گونه‌های مختلف درختان در هر توده دارای تغییرات مختلفی بوده که در جدول ۲ مشهود است.

در جدول ۲ ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خشک-دارهای توده‌های مورد پژوهش در رویشگاه‌های مختلف نشان داده شده است. نتایج مرتبط با میانگین قطربرابرسینه یا قطر میانی و میانگین طول یا ارتفاع تمامی خشک‌دارهای توده‌های مورد پژوهش به تفکیک

جدول ۲- میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) متغیرهای زیست‌فیزیکی اندازه‌گیری شده خشک‌دارهای جنگل‌های مورد پژوهش

Table 2. Mean ( $\pm$  Standard deviation) of biophysical variables measured to coarse woody debris in the studied forests

درجه پوسیدگی	فرم	طول / ارتفاع (متر)	قطربرابرسینه / قطر میانی (سانتی‌متر)	رویشگاه	
Decay	Form	Length/ Height (m)	Breast height diameter/Middle diameter (cm)	Site	
3-4	افتاده Log	8.3 $\pm$ 1.2	83.21 $\pm$ 11.23	توسکستان Tuskestan	اوری Caucasian oak
3-5	افتاده Log	3.3 $\pm$ 0.48	26.6 $\pm$ 12.3	پانومه‌سر Panomesar	
4-5	افتاده Log	7.8 $\pm$ 4.3	44.3 $\pm$ 22.8	کلنگا Kolanga	
-	-	-	-	توسکستان Tuskestan	لور Oriental hornbeam
-	-	-	-	پانومه‌سر Panomesar	
3-4	سرپا Snag	7.2 $\pm$ 1.8	40.03 $\pm$ 21.2	کلنگا Kolanga	

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

درجه پوسیدگی Decay	فرم Form	طول / ارتفاع (متر) Length/ Height (m)	قطر برابر سینه / قطر میانی (سانتی متر) Breast height diameter/Middle diameter (cm)	رویشگاه Site
-	-	-	-	توسکستان Tuskestan
-	-	-	-	پانومه سر Panomesar
3	سرپا Snag	8.8 ± 3.02	59.6 ± 4.5	کلنگا Kolanga

در شکل ۱ نتایج تحلیل شاخص گونه‌ای خشک‌دارها در رویشگاه‌های مورد پژوهش در رابطه با مشخصه‌های خشک‌دارها و مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی لایه معدنی خاک بستر زیرین آن‌ها آورده شد. نتایج نشان داد که از بین رویشگاه‌های مختلف، گونه‌های شاخص خشک‌دارها در رابطه با مشخصه‌ها و مقدار مقادیر کربن آلی بستر زیرین در رویشگاه کلنگا بارز است. در واقع مقادیر کربن آلی خاک معدنی زیربستر خشک‌دار گونه لور در رویشگاه کلنگا به‌طور معنی‌داری بیشتر است ( $P < 0/05$ ). گونه شاخص خشک‌دار در رابطه با درجه پوسیدگی و طول یا ارتفاع خشک‌دارهای موجود در رویشگاه کلنگای نکا در شکل ۱ نشان داده شده است. بر مبنای شکل ۱ مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها در مقایسه با یکدیگر معنی‌دار نبوده و در این رابطه گونه شاخص قابل معرفی نیست.

نتایج آزمون کروسکال والیس مطابق جدول ۳ نشان داد که مقادیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب و مقدار ماده آلی تجمعات آلی زیرین خشک‌دارهای گونه‌های مختلف بین رویشگاه‌های مورد پژوهش دارای تغییرات معنی‌داری است ( $P < 0/05$ ). همچنین نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی، فسفر و ماده آلی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای مختلف در رویشگاه‌های مورد پژوهش دارای تفاوت معنی‌داری است (جدول ۳). در این راستا مقادیر میانگین رتبه حاصل از اجرای آزمون مزبور حاکی از آن است که کربن آلی، ماده آلی و عناصر غذایی موجود در تجمعات آلی زیرین خشک‌دارهای اوری در رویشگاه توسکستان نسبت به دیگر موارد دارای حداقل مقدار است (جدول ۳). به همین ترتیب نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مقادیر کربن آلی، ماده آلی و فسفر قابل جذب لایه معدنی خاک زیرین خشک‌دارهای لور در کلنگا و اوری در توسکستان بیشترین مقادیر را به‌خود اختصاص داده است.



جدول ۳- نتایج تغییرات کربن آلی و عناصر غذایی تجمعات آلی و لایه معدنی خاک زیرین خشک‌دارهای گونه‌های مختلف در جنگل‌های مورد پژوهش

Table 3. The results of variations in organic carbon and nutrients within organic layer and soil mineral layer underneath different species of CWD in the study sites

میانگین رتبه Mean Rank						مربع کای (X <sup>2</sup> )	اوری - توسکستان Caucasian oak- Tuskestan	راش - کلنگا Oriental beech- Kolanga	اوری - کلنگا Caucasian oak- Kolanga	لور - کلنگا Oriental hornbeam- Kolanga	اوری - پانومه‌سر Caucasian oak- Panomehsar			
						کربن آلی OC <sub>1</sub>	بستر آلی زیرین خشک‌دارها Organic layer underneath the coarse woody debris	9.38	9.33	13.83	7.67	2	9.07 *	
								نیتروژن N <sub>1</sub>	10.63	9.67	9	10.33	2.17	6.81 <sup>ns</sup>
									فسفر P <sub>1</sub>	7.63	10.83	8.17	14	2.17
								پتاسیم K <sub>1</sub>		8.53	7.33	8.67	15	3
									ماده آلی OM <sub>1</sub>	4.75	12	11.67	12.33	3
						کربن آلی OC <sub>2</sub>	خاک معدنی زیرین خشک‌دارها Mineral soil underneath the coarse woody debris	3.25		14	7.67	6.33	13.37	12.27 *
								نیتروژن N <sub>2</sub>	3.75	13.67	9	9	8.67	12.27 <sup>ns</sup>
									فسفر P <sub>2</sub>	5.88	6.6	4.83	11	15
								پتاسیم K <sub>2</sub>		5.75	8.67	6	9	14
									ماده آلی OM <sub>2</sub>	3.75	9.33	11	5	15

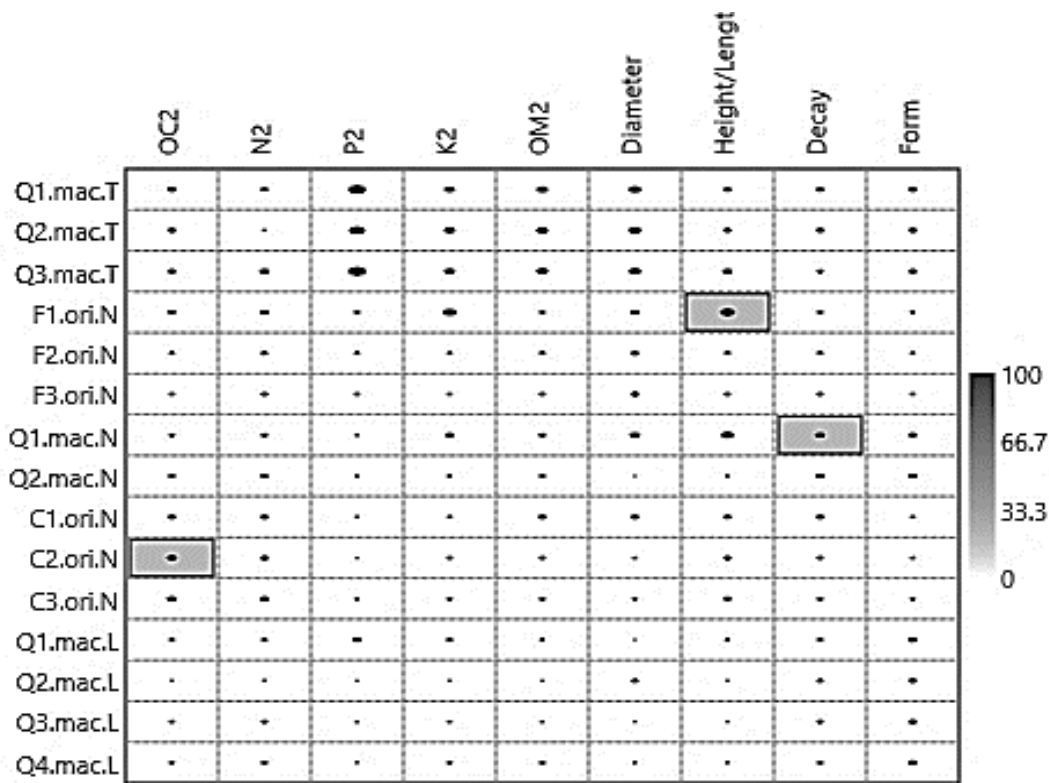
ns, \*\*, \* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری، Rep: تکرار

\*, \*\*, significant at p<0.05 and p<0.01 respectively. ns: non-significant, Rep: Repetition

بارزی بر معنی‌داری تغییرات عناصر تجمعات آلی و لایه معدنی خاک بستر زیرین انواع خشک‌دارها ندارد (0/05 > P). با توجه به آنچه که در جدول ۴ نشان داده شد فقط اثر متقابل نوع گونه و فرم خشک‌دارها در مقدار

نتایج آزمون پرمانوناً دوطرفه مبتنی بر شاخص فاصله اقلیدسی مطابق جدول ۴ بیان‌گر این است که اثرهای متقابل مؤلفه‌های عامل، اعم از رویشگاه‌های مورد پژوهش، گونه‌های هر یک از خشک‌دارها، درجه پوسیدگی و فرم خشک‌دارها (افتاده یا سرپا) نقش

پتاسیم قابل جذب تجمعات آلی زیر خشک‌دارها اثرگذار بود ( $P < 0/05$ ).



شکل ۱- نتایج تحلیل شاخص گونه‌ای برای ارزیابی مشخصه‌های خشک‌دارها و مقدار مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها در رویشگاه‌های مورد پژوهش ( $OM_2$ : ماده آلی خاک،  $OC_2$ : کربن آلی خاک،  $N_2$ : نیتروژن کل خاک،  $P_2$ : فسفر قابل جذب خاک،  $K_2$ : پتاسیم قابل جذب خاک؛  $Q.mac.L$ : اوری رویشگاه پانومه‌سر،  $Q.mac.N$ : اوری رویشگاه کلنگا،  $Q.mac.T$ : اوری رویشگاه توسکستان،  $F.ori.N$ : راش رویشگاه کلنگا،  $C.ori.N$ : لور رویشگاه کلنگا).

Figure 1. Results of Indicator Species Analysis for investigating CWDs attributes and soil mineral layer organic carbon and nutrients amount underneath the CWDs within the study sites ( $OM_2$ : Soil organic matter,  $OC_2$ : Soil organic carbon,  $N_2$ : Soil nitrogen,  $P_2$ : Soil available phosphorus,  $K_2$ : Soil available potassium;  $Q.mac.L$ : Caucasian oak CWD in the Panomesar,  $Q.mac.N$ : Caucasian oak CWD in the Kolanga,  $Q.mac.T$ : caucasian oak CWD in Tuskestan,  $F.ori.N$ : Beech CWD in Kolanga,  $C.ori.N$ : Oriental hornbeam CWD in Kolanga)

خروجی حاصل از آزمون مذکور نشان داد که فقط تغییرات مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل در لایه معدنی خاک بستر زیرین خشک‌دارها دارای همبستگی معنی‌داری است (جدول ۵).

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن با احتساب آزمون مقاومت‌سازی نشان داد که مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب بین تجمعات آلی و لایه معدنی خاک دارای ارتباط معنی‌داری نیست (جدول ۵).

جدول ۴- نتایج آزمون پرمانوا دوطرفه در رابطه با اثرهای متقابل عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کربن آلی و عناصر غذایی خاک در توده‌های مورد پژوهش

Table 3. The results of two-way PERMANOVA test in association with interactions of influencing factors on variations of organic carbon and nutrients in the study stands

لایه معدنی خاک				لایه آلی					
Mineral layer				Organic layer					
سطح معنی‌داری P (same)	شبه آماره F Pseudo- F	میانگین مربعات Mean squares	تعداد جایگشت Permutation	سطح معنی‌داری P (same)	شبه آماره F Pseudo- F	میانگین مربعات Mean squares	تعداد جایگشت Permutation		
0.97 <sup>ns</sup>	-0.39	-0.52	9999	0.27 <sup>ns</sup>	0.06	0.31	9999	OC	رویشگاه × گونه Sites × Species
0.98 <sup>ns</sup>	-0.51	-0.001	9999	0.63 <sup>ns</sup>	-0.12	-0.002	9999	N	
0.68 <sup>ns</sup>	-0.05	-0.00002	9999	0.43 <sup>ns</sup>	0.014	0.00002	9999	P	
0.66 <sup>ns</sup>	-0.02	-0.00004	9999	0.91 <sup>ns</sup>	-0.63	0.001	9999	K	
0.94 <sup>ns</sup>	-0.24	-0.49	9999	0.72 <sup>ns</sup>	-0.19	-0.95	9999	OC	رویشگاه × پوسیدگی Sites × Decay
0.76 <sup>ns</sup>	-0.06	-0.0001	9999	0.52 <sup>ns</sup>	0.003	0.09	9999	N	
0.91 <sup>ns</sup>	-0.48	-0.0002	9999	0.65 <sup>ns</sup>	-0.06	-0.001	9999	P	
0.17 <sup>ns</sup>	0.09	0.0001	9999	0.11 <sup>ns</sup>	0.35	0.0007	9999	K	
0.95 <sup>ns</sup>	-1.17	-1.05	9999	0.33 <sup>ns</sup>	0.22	0.12	9999	OC	رویشگاه × فرم Sites × Form
0.98 <sup>ns</sup>	-2.16	-0.002	9999	0.37 <sup>ns</sup>	0.09	0.0007	9999	N	
0.69 <sup>ns</sup>	-0.25	-0.0004	9999	0.29 <sup>ns</sup>	0.28	0.0002	9999	P	
0.67 <sup>ns</sup>	-0.07	-0.00008	9999	0.61 <sup>ns</sup>	-0.15	-0.0003	9999	K	
0.09 <sup>ns</sup>	0.43	0.46	9999	0.88 <sup>ns</sup>	-0.11	-0.09	9999	OC	گونه × پوسیدگی Species × Decay
0.25 <sup>ns</sup>	0.19	0.0004	9999	0.53 <sup>ns</sup>	0.18	0.001	9999	N	
0.38 <sup>ns</sup>	0.07	0.0001	9999	0.82 <sup>ns</sup>	-0.04	-0.0006	9999	P	
0.41 <sup>ns</sup>	0.11	0.0002	9999	0.98 <sup>ns</sup>	-1.002	0.0007	9999	K	
0.91 <sup>ns</sup>	-1.002	-1.43	9999	0.72 <sup>ns</sup>	-0.34	-0.33	9999	OC	گونه × فرم Species × Form
0.95 <sup>ns</sup>	-1.78	-0.003	9999	0.03 <sup>*</sup>	-0.003	-0.00004	9999	N	
0.22 <sup>ns</sup>	-0.06	-0.00007	9999	0.08 <sup>ns</sup>	-0.004	-0.00008	9999	P	
0.36 <sup>ns</sup>	-0.07	-0.009	9999	0.85 <sup>ns</sup>	-0.69	-0.0005	9999	K	
0.22 <sup>ns</sup>	0.81	0.71	9999	0.94 <sup>ns</sup>	-0.29	-0.14	9999	OC	پوسیدگی × فرم Decay × Form
0.24 <sup>ns</sup>	0.72	0.0008	9999	0.81 <sup>ns</sup>	0.01	0.08	9999	N	
0.35 <sup>ns</sup>	0.39	0.00003	9999	0.84 <sup>ns</sup>	0.005	0.00005	9999	P	
0.27 <sup>ns</sup>	0.68	0.0007	9999	0.41 <sup>ns</sup>	0.76	0.001	9999	K	

ns, \*\*, \* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری. Rep: تکرار

\*, \*\*, significant at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  respectively. ns: non-significant, Rep: Repetition

## بحث

بودند مقادیر کمتری از کربن آلی و عناصر غذایی را دارا بود. در واقع مبتنی بر فرضیات موجود در پژوهش حاضر این انتظار وجود داشت که با انباشت هرچه بیشتر زیربستر آلی حاصل از روند مختلف پوسیدگی خشک-دارها مقادیر عناصر غذایی و کربن آلی موجود در لایه معدنی خاک نیز به مراتب بیشتر باشد. در این رابطه Blonska et al. (2019) بیان کردند که معمولاً تجمعات آلی بزرگ (ماکرو) زیر خشک‌دارها؛ حاصل از تجزیه فیزیکی خشک‌دارها بوده که بر اثر وارفتگی و

بر مبنای نتایج مرتبط با میانگین رتبه حاصل از آزمون کروسکال‌والیس یافته‌ها حاکی از آن است که در لایه معدنی خاک زیرین خشک‌دارهای اوری رویشگاه توسکستان که انباشتگی آلی آن‌ها کمتر بود، مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب دارای مقادیر قابل توجهی بود. به همین ترتیب جالب توجه بود که لایه معدنی خاک بستر زیرین خشک‌دارهای اوری در رویشگاه پانومه‌سر که دارای تجمعات آلی بیشتری

کرد که در بستر زیرین خشک‌دارهایی که دارای تجمعات آلی کمتری بوده، روند تجزیه آن‌ها با شدت بیشتری انجام شده و بر این مبنا عناصر آزادسازی شده در آن‌ها بیشتر بوده و به همین دلیل لایه معدنی خاک زیرین آن‌ها دارای مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی بیشتری است. شایان ذکر است که افزایش متوسط درجه حرارت رویشگاه و طول دوره رویشی طولانی‌تر منجر به افزایش بخش سبک تجمعات آلی و به راحتی تجزیه پذیر در بخش‌های زیرین خشک‌دارها در روند مختلف پوسیدگی می‌شود که به تبع آزادسازی عناصر محبوس در لایه آلی نیز بیشتر شده و همین امر منجر به افزایش مقادیر کربن و عناصر غذایی لایه معدنی خاک می‌شود (Blonska et al., 2019).

متلاشی شدن بافت‌های چوبی در بستر زیرین آن‌ها دارای انباشتگی مختلفی است. با توجه به این مورد، از آن‌جایی که این تجمعات جزء سنگین مواد آلی (Heavy fraction) خشک‌دارها محسوب شده و نسبت به تجزیه شدن، اضمحلال و رهاسازی عناصر غذایی و کربن آلی بسیار مقاوم هستند؛ از این رو بدیهی است که لایه معدنی خاک زیرین تجمعات آلی مزبور از جهت ورودی و دریافت عناصر غذایی و مقادیر کربن آلی با روند کمتری مواجه باشد. البته (Magnússon et al., 2016) نیز گزارش دادند که رهاسازی عناصر غذایی موجود در تجمعات آلی حاصل از پوسیدگی خشک‌دارها و انتقال آن‌ها به لایه‌های معدنی خاک بیشتر از طریق فعل و انفعالات شیمیایی، بخشی از فعالیت‌های میکروبی و پدیده آبشویی انجام می‌شود. بدین ترتیب می‌توان عنوان

جدول ۵- نتایج آزمون همبستگی متقابل بین کربن آلی و دیگر عناصر غذایی لایه آلی و خاک معدنی زیر خشک‌دارهای توده-

های مورد پژوهش

Table 5. Results of correlation analysis between organic carbon and nutrients in organic surface and mineral soil layer underneath the coarse woody debris within the study stands

لایه معدنی خاک Mineral layer					لایه آلی Organic layer					کربن آلی OC <sub>1</sub>	
ماده آلی OM <sub>2</sub>	پتاسیم K <sub>2</sub>	فسفر P <sub>2</sub>	نیتروژن N <sub>2</sub>	کربن آلی OC <sub>2</sub>	ماده آلی OM <sub>1</sub>	پتاسیم K <sub>1</sub>	فسفر P <sub>1</sub>	نیتروژن N <sub>1</sub>			
-0.26 <sup>ns</sup>	-0.53 <sup>ns</sup>	-0.36 <sup>ns</sup>	-0.09 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	-	کربن آلی OC <sub>1</sub>	لایه آلی Organic layer
-0.54 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	-0.21 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>*</sup>	0.56 <sup>ns</sup>	-	Rep	نیتروژن N <sub>1</sub>	
-0.33 <sup>ns</sup>	-0.21 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.11 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.63 <sup>*</sup>	-	Rep	Rep	فسفر P <sub>1</sub>	
-0.52 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	-0.27 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	-	Rep	Rep	Rep	پتاسیم K <sub>1</sub>	
0.17 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	-	Rep	Rep	Rep	Rep	ماده آلی OM <sub>1</sub>	
0.56 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>**</sup>	-	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	کربن آلی OC <sub>2</sub>	لایه معدنی خاک Mineral layer
0.54 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	-	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	نیتروژن N <sub>2</sub>	
0.15 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>*</sup>	-	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	فسفر P <sub>2</sub>	
0.39 <sup>ns</sup>	-	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	پتاسیم K <sub>2</sub>	
-	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	Rep	ماده آلی OM <sub>2</sub>	

\*، \*\*، ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌داری. Rep: تکرار

\*، \*\*significant at p<0.05 and p<0.01 respectively. ns: non-significant, Rep: Repetition

سنگین حاصل از تجزیه خشک‌دارها می‌شود (Moroni et al., 2015). علاوه بر آن رویشگاه‌هایی که دارای برودت دمایی بیشتری هستند، تجمعات آلی حاصل از تجزیه کند خشک‌دارها طی زمان طولانی در بستر رویی خاک انباشته شده و به دلیل مقاومت زیاد این تجمعات در مقابل تجزیه در اغلب مواقع حتی در لایه‌های معدنی خاک مدفون می‌شوند (Moroni et al., 2015). با احتساب این‌که جنگل‌های اوری در رویشگاه‌های مورد پژوهش در ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا استقرار داشته و شرایط دمایی سرد و مرطوب از ویژگی‌های بارز جنگل‌های مزبور است دلایل مطروحه در رابطه با تغییرات مقادیر کربن آلی و عناصر غذایی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها در رویشگاه‌های مورد بررسی می‌تواند به طور متقن قابل استناد باشد.

با استناد به نتایج حاصل از آزمون همبستگی اسپیرمن در پژوهش حاضر می‌توان اذعان کرد که تغییرات مقادیر عناصر هدف در لایه آلی و لایه معدنی زیرین خشک‌دارها مستقل از یکدیگر بوده و دارای ارتباط معنی‌داری نیست. (Chen et al., 2005) و (Nottingham 2018) در پژوهش خود نشان دادند که ارتباط صعودی معنی‌داری بین نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در لایه‌های آلی خاک سبب محدودیت فعالیت ریزموجودات شده که در نهایت روند تجزیه مواد آلی مذکور نیز تقریباً متوقف و همین امر منجر به ابقای حبس مقادیر کربن آلی در لایه مورد اشاره می‌شود. البته در نتایجی متناقض با مطلب فوق‌الذکر، (Wu et al., 2020) گزارش دادند که افزایش نیتروژن و فسفر به‌طور هم‌زمان سبب افزایش فعالیت میکروبی و به‌تبع آن منجر به افزایش فرآیند تنفس شده و از این‌رو مقدار کربن حبس شده و عناصر غذایی خاک از حوضچه‌های آلی طی فرآیند آزادسازی به‌طور کلی یا انتشار یافته و یا به لایه‌های معدنی خاک انتقال می‌یابند. نتایج این پژوهش

(Gómez-Brandón et al., 2017) و (Bardelli et al., 2017) طی پژوهش‌هایی عنوان کردند که دمای محیطی رویشگاه در بوم‌سازگان‌های جنگلی دارای ارتباط مستقیم با جمعیت و ترکیب گونه‌ای ریزموجودات (میکروارگانیزم‌ها) هم در خشک‌دارها و هم در لایه معدنی خاک است. افزایش درجه حرارت با مقدار رطوبت کافی موجود در بستر خشک‌دارها به نوعی منجر به افزایش فعالیت ریزموجودات مذکور شده و همین امر سبب نرخ صعودی تجزیه خشک‌دارها و تغییرات فیزیکی - شیمیایی مواد آلی حاصل از آن‌ها و رهاسازی عناصر غذایی و کربن آلی از آن‌ها می‌شود. یکی دیگر از مهم‌ترین عامل‌هایی که بر نرخ پوسیدگی خشک‌دارها و انباشتگی هر چه بیشتر بخش سبک مواد آلی حاصل از تجزیه آن‌ها و به‌تبع آن در نقل و انتقال عناصر غذایی و کربن آلی به حوضچه‌های مختلف مانند لایه‌های معدنی خاک مؤثر است مقدار کربن و نیتروژن موجود در ترکیبات سلولزی و لیگنینی خشک‌دارها و لایه‌های آلی حاصل از آن‌هاست (Bardelli et al., 2017; Gomez-Brandón et al., 2017). در واقع با افزایش درجه حرارت، مقدار کمتر کربن آلی و مقدار بیشتر نیتروژن (حداقل مقدار C/N) در بافت‌های چوبی و تجمعات آلی خشک‌دارها، لایه‌های آلی سبک دارای انباشتگی بیشتری شده و با نرخ افزایشی تجزیه آن‌ها و رهاسازی عناصر غذایی و کربن آلی، دریافت ورودی لایه معدنی خاک نسبت به عناصر مزبور بیشتر می‌شود (Bardelli et al., 2017; Gomez-Brandón et al., 2017). از طرف دیگر شرایط سرد و مرطوب رویشگاهی سبب ایجاد شرایط غیرهوازی در محیط اطراف خشک‌دارها شده و همین امر سبب کاهش فعالیت ریزموجودات و کاهش فعل و انفعالات فیزیکی - شیمیایی و به‌تبع سبب کاهش روند پوسیدگی خشک‌دارها و انباشت هر چه بیشتر تجمعات آلی

پژوهش حاضر در چندین رویشگاه اوری، انتظار این است که اثرهای منحصر تک عامله نمی‌تواند در رابطه با آثار حاصل از خشک‌دارها بر مقدار عناصر غذایی و کربن آلی لایه‌های آلی و معدنی خاک توجیه منطقی داشته باشد. از این‌رو اثرهای متقابل عوامل مختلف به‌صورت جفتی بر مقدار تغییرات عناصر هدف در لایه‌های آلی و معدنی زیرین خشک‌دارها مورد تحلیل قرار گرفت. برآیند آزمون تحلیلی طبق نتایج ارائه شده نشان داد که اثرهای متقابل عواملی اعم از نوع گونه، رویشگاه، درجه پوسیدگی و فرم خشک‌دارهای موجود در هر رویشگاه بر تغییرات مقادیر عناصر مورد پژوهش معنی‌دار نبوده است. فقط نتایج حاصل نشان داد که اثرهای متقابل نوع گونه و فرم خشک‌دار دارای اثرهای متقابل معنی‌داری بر مقدار نیتروژن کل تجمعات آلی زیر خشک‌دارها بوده ولی در دیگر موارد اثرهای معنی‌داری در این زمینه مشاهده نشد. (Blonska et al., 2017) گزارش دادند که فعالیت‌های آنزیمی خاک و تجمعات کربن لایه‌های آلی خشک‌دارها تحت تأثیر فرم، گونه و درجه پوسیدگی خشک‌دارها هستند. در این پژوهش مبتنی بر آزمون پرمانوآ دوطرفه نشان داده شد که درجه پوسیدگی دارای اثرهای غیرمعنی‌دار در رابطه با تغییرات مقادیر عناصر غذایی و کربن آلی خاک است. علاوه بر آن نتایج حاصل از تحلیل شاخص گونه‌ای نیز نشان داد که مقادیر کربن آلی خاک معدنی زیربستر خشک‌دار گونه شاخص صرفنظر از تأثیرات بارز پوسیدگی و یا دیگر مشخصه‌ها همچون طول یا ارتفاع و قطر میانی به‌طور معنی‌داری دارای حداکثر مقدار خود بوده است. به‌عبارتی دیگر، خشک‌دارهای گونه‌های شاخص با حداکثر درجه پوسیدگی و یا طول بیشتر دارای مقدار کربن آلی زیادتری در خاک معدنی زیربستر آلی خود نبوده است. بدین‌ترتیب مبتنی بر نتایج آزمون کروسکال‌والیس و پرمانوآ دوطرفه در رابطه با تغییرات

نشان داد که نیتروژن و فسفر در لایه آلی و معدنی خاک دارای همبستگی معنی‌داری نبود و از این‌رو استدلال مستندات مذکور نمی‌تواند در رویشگاه‌های مورد پژوهش مورد استناد واقع شود. البته نتایج نشان داد که فقط بین مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل در لایه معدنی خاک زیرین خشک‌دارها ارتباط معنی‌داری وجود داشت. پژوهش‌های بسیاری به این نتیجه دست‌یافتند که کربن آلی و نیتروژن کل در لایه‌های مختلف خاک دارای ارتباط مستقیم با یکدیگر بوده و از شاخص‌های کلیدی کیفیت خاک و مقدار حاصل‌خیزی در بوم‌سازگان جنگلی محسوب می‌شود (Ramesh et al., 2019; Moghimian, Wang et al., 2021; Dai et al., 2020). et al. (2017) در پژوهش خود عنوان کردند که مقدار نیتروژن آزادشده در خاک معدنی از مراحل میانی پوسیدگی تا درجات پیشرفته‌تر خشک‌دارهای افتاده دارای مقدار بیشتری است. بنابراین درختان خشک‌دار پس از تجزیه طولانی مدت می‌توانند به‌عنوان منبع تأمین نیتروژن خاک معدنی محسوب شوند. البته موضوع قابل انتظار این است که معمولاً افزایش نیتروژن کل در خاک حاکی از روند وارونه معدنی‌شدن (Immobilization) و دسترسی هرچه بیشتر جمعیت میکروبی به عناصر غذایی بوده و همین امر منجر به تسریع روند تجزیه مواد آلی مدفون شده در خاک و به‌تبع آن شکستگی ترکیبات آلی و آزادسازی مقادیر کربن در لایه معدنی خاک می‌شود (Taiz and Zeiger, 2013).

نرخ پوسیدگی بین گونه‌های مختلف درختان به دلیل ترکیبات شیمیایی و مقدار مختلف عناصر موجود در آن‌ها دارای تفاوت بارزی است. به‌همین دلیل در حین پوسیدگی و تجزیه شیمیایی انواع مختلف گونه‌های خشک‌دار مقدار متفاوتی از عناصر غذایی رهاسازی می‌شود (Blonska et al., 2019; Olajuyigbe et al. 2011). با توجه به ماهیت اجرای

و برای پوسیدگی ۹۰ درصد آن ۴۹ سال را تخمین زده است. این بدین معنی است که در جنگل‌های راش برای تجزیه و رهاسازی کامل عناصر انباشت آلی حاصل از پوسیدگی گونه راش تقریباً ۳۰ سال زمان باید سپری شود. به همین ترتیب می‌توان در رابطه با خشک‌دارهای اوری که در شرایط دمایی سردتر است و روند تجزیه به مراتب در این رویشگاه‌ها نسبت به ارتفاعات پایین‌تر کندتر بوده این انتظار را داشت که آزادسازی عناصر غذایی حاصل از پوسیدگی و انباشتگی آلی زیر خشک‌دارها احتمالاً در زمان‌های طولانی‌تری اتفاق خواهد افتاد که همین امر حضور مستمر خشک‌دارها را به عنوان منابع تأمین عناصر لایه معدنی خاک بیش از پیش آشکار می‌سازد.

#### سپاسگزاری

این نوشته بخشی از دستاوردهای پروژه ملی مصوب مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران با شماره ۰۱۰۰۰۲۳-۰۰۰۵۳۳-۰۰۰۰۴۱-۰۹-۶۰-۰۱ است. بر این اساس از کلیه دست‌اندرکاران اجرای پروژه مزبور صمیمانه قدردانی می‌شود.

#### References

- Alidadi, F.; Marvie Mohadjer, M. R.; Etemad, V.; Sefidi, K., 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* **2014**, 22 (4), 624-635. (In Persian)
- Bardelli, T.; Gómez-Brandón, M.; Ascher-Jenull, J.; Fornasier, F.; Arfaioli, P.; Francioli, D.; Egli, M.; Sartori, G.; Insam, H.; Pietramellara, G., Effects of slope exposure on soil physico-chemical and microbiological properties along an altitudinal climosequence

کربن آلی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها در رویشگاه‌های مختلف، می‌توان اذعان کرد که پوسیدگی و فرم خشک‌دارها اثرهای بارزی در مقدار تغییرات کربن آلی خاک معدنی مذکور نداشت. با توجه به اینکه بخش‌های مرتبط با تجمعات آلی در زیر اکثر خشک‌دارها جزء سنگین محسوب شده و مقاوم به تجزیه هستند در پروسه انتهایی پوسیدگی فقط بر مقدار انباشتگی قبلی افزوده شده و روند نفوذ و جابه‌جایی عناصر به لایه معدنی خاک در مدت زمان طولانی‌تر اتفاق می‌افتد. این بدین معناست که انباشت آلی خشک‌دارها پس از گذار از یک درجه پوسیدگی متوسط (درجه ۳) به حالت پیشرفته (درجه ۵-۴) ممکن است مدت زمان زیادی طول بکشد تا مورد تجزیه کامل و به دنبال آن سبب افزایش ذخایر عناصر مورد اشاره در لایه معدنی خاک قرار گیرد (Matus, 2021; Shannon et al., 2022). در هر صورت نباید این مورد را نادیده گرفت که روند تجزیه کامل و پوسیدگی کامل اجزاء مختلف خشک‌دارهای گونه‌های مختلف در قالب لایه‌های آلی بستر رویی خاک در دوره‌های زمانی مختلفی انجام می‌شود. به‌عنوان مثال (Sefidi et al. (2016) در راشستان‌های هیرکانی نرخ زمان پوسیدگی ۵۰ درصد از خشک‌دار گونه راش را با ابعاد قطری متوسط، ۲۲ سال

in the Italian Alps. *Science of the Total Environment* **2017**, 575, 1041-1055.

- Błońska, E.; Kacprzyk, M.; Spolnik, A., Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage. *Ecological Research* **2017**, 32, 193-203.
- Błońska, E.; Lasota, J.; Tullus, A.; Lutter, R.; Ostonen, I., Impact of deadwood decomposition on soil organic carbon sequestration in Estonian and Polish forests. *Annals of Forest Science* **2019**, 76 (4), 1-14.
- Chen, X.; Wei, X.; Scherer, R., Influence of wildfire and harvest on biomass, carbon pool, and decomposition of large woody debris in forested streams of southern interior British

- Columbia. *Forest Ecology and Management* **2005**, 208 (1-3), 101-114.
- Dai, L.; Ge, J.; Wang, L.; Zhang, Q.; Liang, T.; Bolan, N.; Lischeid, G.; Rinklebe, J., Influence of soil properties, topography, and land cover on soil organic carbon and total nitrogen concentration: A case study in Qinghai-Tibet plateau based on random forest regression and structural equation modeling. *Science of the Total Environment* **2022**, 821, 153440.
- Falahchai, M. M.; Salehi, A.; Shahmaghsoud, M.; Ghorbazzadeh, N.; Hemmaty, V., The effect of distance and decay degree of *Populus caspica* Bornm. dead trees on some soil chemical properties. *Iranian Journal of Forest* **2018**, 10 (2), 197-205. (In Persian)
- Garrett, L. G.; Kimberley, M. O.; Oliver, G. R.; Parks, M.; Pearce, S. H.; Beets, P. N.; Paul, T. S., Decay rates of above-and below-ground coarse woody debris of common tree species in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management* **2019**, 438, 96-102.
- Gómez-Brandón, M.; Ascher-Jenull, J.; Bardelli, T.; Fornasier, F.; Fravolini, G.; Arfaioli, P.; Ceccherini, M. T.; Pietramellara, G.; Lamorski, K.; Sławiński, C., Physico-chemical and microbiological evidence of exposure effects on *Picea abies*—coarse woody debris at different stages of decay. *Forest Ecology and Management* **2017**, 391, 376-389.
- Harmon, M. E.; Fasth, B. G.; Yatskov, M.; Kastendick, D.; Rock, J.; Woodall, C. W., Release of coarse woody detritus-related carbon: a synthesis across forest biomes. *Carbon balance and management* **2020**, 15 (1), 1-21.
- Harmon, M. E.; Woodall, C. W.; Fasth, B.; Sexton, J., Woody detritus density and density reduction factors for tree species in the United States: a synthesis. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NRS-29* **2008**.
- Herrmann, S.; Kahl, T.; Bauhus, J., Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. *Forest Ecosystems* **2015**, 2, 1-14.
- Hojati, S. M.; Tafazoli, M.; Asadian, M.; Baluee, A., Estimation of carbon sequestration and forest soil respiration using machine learning models in Eastern Forests of Mazandaran Province. *Forest Research and Development* **2022**, 8 (4), 371-388. (In Persian).
- Kooch, Y.; Parsapour, M. K.; Egli, M.; Moghimian, N., Forest floor and soil properties in different development stages of Oriental beech forests. *Applied Soil Ecology* **2021**, 161, 103823.
- Li, M.; Zhang, X.; Pang, G.; Han, F., The estimation of soil organic carbon distribution and storage in a small catchment area of the Loess Plateau. *Catena* **2013**, 101, 11-16.
- Magnússon, R. Í.; Tietema, A.; Cornelissen, J. H.; Hefting, M. M.; Kalbitz, K., Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils. *Forest Ecology and Management* **2016**, 377, 1-15.
- Mahdiani, A.R.; Heydari, H.; Rahmani, R.; Azadfar, D.; Structure of Oak (*Quercus macranthera*) Forest Stands in the Golestan Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2012** 2, 23- 42. (In Persian).
- Malla, R.; Neupane, P. R.; Köhl, M., Modelling soil organic carbon as a function of topography and stand variables. *Forests* **2022**, 13 (9), 1391.
- Marvie-Mohadjer, M.R. *Silviculture and forest tending*. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 2005; pp. 378. (In Persian).
- Matus, F. J., Fine silt and clay content is the main factor defining maximal C and N accumulations in soils: a meta-analysis. *Scientific Reports* **2021**, 11 (1), 6438.
- Moghimian, N.; Jalali, S. G.; Kooch, Y.; Ana, R., Downed logs improve soil properties in old-growth temperate forests of northern Iran. *Pedosphere* **2020**, 30 (3), 378-389.
- Moreira, A. B.; Gregoire, T. G.; do Couto, H. T. Z., Wood density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. *Forest Ecosystems* **2019**, 6, 1-10.
- Moroni, S.; Dumont, H.; Trautwein, U.; Niggli, A.; Baeriswyl, F., The need to distinguish between quantity and quality in research on parental involvement: The example of parental help with homework. *The Journal of Educational Research* **2015**, 108 (5), 417-431.
- Moslehi, M.; Habashi, H.; Rahmani, R.; Saghebalebi, K., Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beech-hornbeam stand. *Forest Research and Development* **2018**, 3 (4), 395-342. (In Persian).
- Nottingham, A. T.; Hicks, L. C.; Ccahuana, A. J.; Salinas, N.; Bååth, E.; Meir, P., Nutrient limitations to bacterial and fungal growth



- during cellulose decomposition in tropical forest soils. *Biology and fertility of soils* **2018**, *54*, 219-228.
- Olajuyigbe, S. O.; Tobin, B.; Gardiner, P.; Nieuwenhuis, M., Stocks and decay dynamics of above-and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology and Management* **2011**, *262* (6), 1109-1118.
- Pastore, G.; Tobin, B.; Nieuwenhuis, M., Quantifying carbon and nitrogen losses by respiration and leaching from decomposing woody debris in reforested coniferous stands in Ireland. *Agricultural and Forest Meteorology* **2019**, *265*, 195-207.
- Rahanjam, S.; Marvi Mohadjer, M. R.; Zobeiri, M.; Sefidi, K., Quantitative and qualitative assessment of deadwood in natural stands of Hyrcanian forests (Case study: Gorazbon district of Kheyroud, Nowshahr). *Iranian Journal of forest and poplar Research* **2017**, *25* (4), 656-666. (In Persian).
- Ramesh, T.; Bolan, N. S.; Kirkham, M. B.; Wijesekara, H.; Kanchikerimath, M.; Rao, C. S.; Sandeep, S.; Rinklebe, J.; Ok, Y. S.; Choudhury, B. U., Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in agronomy* **2019**, *156*, 1-107.
- Rawat, S.; Khanduri, V. P.; Singh, B.; Riyal, M. K.; Thakur, T. K.; Kumar, M.; Cabral-Pinto, M. M., Variation in carbon stock and soil properties in different *Quercus leucotrichophora* forests of Garhwal Himalaya. *Catena* **2022**, *213*, 106210.
- Sarvazad, A.; Fallah, A.; Vahedi, A. A., Changes in carbon storage of *Quercus brantii* Lindl in relation to physiographic factors of Zagros forests. *Forest Research and Development* **2022**, *8* (3), 329-341. (In Persian)
- Schmid, A. V.; Vogel, C. S.; Liebman, E.; Curtis, P. S.; Gough, C. M., Coarse woody debris and the carbon balance of a moderately disturbed forest. *Forest Ecology and Management* **2016**, *361*, 38-45.
- Sefidi, K.; Esfandiari, F.; Sharari, M., The decay time and rate determination in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) dead trees in Asalem forests. *Journal of Environmental Studies* **2016**, *42* (3), 551- 563. (In Persian)
- Shannon, V.; Vanguelova, E.; Morison, J.; Shaw, L.; Clark, J., The contribution of deadwood to soil carbon dynamics in contrasting temperate forest ecosystems. *European Journal of Forest Research* **2022**, *141* (2), 241-252.
- Suzuki, S. N.; Tsunoda, T.; Nishimura, N.; Morimoto, J.; Suzuki, J.-I., Dead wood offsets the reduced live wood carbon stock in forests over 50 years after a stand-replacing wind disturbance. *Forest Ecology and Management* **2019**, *432*, 94-101.
- Taiz, L.; Zeiger, E., *Plant Physiology*. 4th edition, 2013; pp. 731 (In Persian).
- Wambsganss, J.; Stutz, K. P.; Lang, F., European beech deadwood can increase soil organic carbon sequestration in forest topsoils. *Forest Ecology and Management* **2017**, *405*, 200-209.
- Wang, B.; Liu, D.; Yang, J.; Zhu, Z.; Darboux, F.; Jiao, J.; An, S., Effects of forest floor characteristics on soil labile carbon as varied by topography and vegetation type in the Chinese Loess Plateau. *Catena* **2021**, *196*, 104825.
- Wu, C.; Zhang, Z.; Shu, C.; Mo, Q.; Wang, H.; Kong, F.; Zhang, Y.; Wang, G. G.; Liu, Y., The response of coarse woody debris decomposition and microbial community to nutrient additions in a subtropical forest. *Forest Ecology and Management* **2020**, *460*, 117799.

## Analyses of coarse woody debris impacts on soil organic carbon variations in the Hyrcanian Caucasian oak (*Quercus macranthera*) forests

Ali Asghar Vahed<sup>\*1</sup>, Mojtaba Mahmoudi<sup>2</sup>, KaramAli Zabihi<sup>3</sup>, Mohammad Matinizadeh<sup>4</sup> and Mojtaba Imani-Rastabi<sup>5</sup>

1- Assistant Professor, Natural resources Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran. (as.vahedi@areeo.ac.ir)

2- Associate Professor Soil and Water Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran (m.mahmoudip@areeo.ac.ir)

3- PhD of Forestry, Natural resources Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran (karamali.zabihi@yahoo.com)

4- Associate Professor, Forest Department, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, I. R. Iran. (mohamadmatinizadeh@yahoo.com)

5- PhD of Forestry, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (m\_imani\_m@yahoo.com)

Received: 12 February 2023

Accepted: 08 May 2023

### Abstract

One of the concerns for the executive organizations to introduce an alternative plan of rest of the Hyrcanian forests is to make decision regarding the exit of coarse woody debris (CWD) volume from the Hyrcanian forests. The research was carried out in the permanent plot with 400 m<sup>2</sup> based on the protocols of the comprehensive research plan enacted by Agricultural research Education and Extension organization in Iran. Within each plot beneath the CWDs over than height of 1.5 m and dimensions of 7.5 cm, the organic accumulations resulted from the decay trend were sampled. Besides, the soils mineral layer up to 10 cm depth were sampled after removing the organic accumulations, and were transported to the laboratory. The results of PCA (Principal Component Analysis) showed that beneath the CWDs including higher organic accumulations, amount of the organic carbon and the nutrients were lower in the substrate soil mineral layer. Furthermore, the results of Spearman test indicated that amounts of organic carbon and nutrients in the organic and substrate mineral layers were independent from each other ( $P > 0.05$ ), and amounts of the organic carbon with Nitrogen were significantly correlated ( $P < 0.01$ ). Also, the results of two-way PERMANOVA test indicated that interactions of form, species and decay of the CWDs in the study sites were not significantly effective on the organic carbon under the CWDs.

**Keywords:** High altitude, Organic accumulations, Hyrcanian forests, Caucasian oak CWDs, Nutrients.

---

\* Corresponding author

Tel: +981144662465