

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

**اثر خشک‌دارهای افتاده راش
بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی**

نگارش:

علی اصغر واحدی، محمد متینی‌زاده، خسرو ثاقب‌طالبی، کرمعلی ذبیحی،
سیداحسان ساداتی، مسعود نظیفی، عزت‌اله خطیب‌نیا

۱۴۰۴

ISBN : 978-964-473-627-8



9 789644 736278

عنوان طرح منتج به نشریه فنی	شماره مصوب
پروژه ملی سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران (فاز اول)	۰۰۰۵۳۳-۰۰۰۲۳-۰۴۱-۰۹-۶۰-۰۱



عنوان نشریه: اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین در جنگل‌های هیرکانی
نگارش:

علی اصغر واحدی - استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

محمد متینی‌زاده
خسرو ثاقب‌طالبی
کرمعلی ذبیحی
مسعود نظیفی
سیداحسان ساداتی
عزت‌اله خطیب‌نیا

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

صفحه‌آرا: مریم نوبخت

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی/ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران.
نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

سندوق پستی: ۱۳۱۸۵-۱۱۶ **تلفن:** ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱ **وبسایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

سال انتشار: ۱۴۰۴

این نشریه به شماره ۶۸۱۰۷ در تاریخ ۱۴۰۴/۰۷/۱۶ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

❖ مخاطبان نشریه:

- کارشناسان جنگل‌داری و مدیریت جنگل اداره کل‌های منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌های شمالی کشور
- محققان معین و مروجان مرتبط با علوم جنگل در استان‌های شمالی کشور
- استادان دانشگاه‌ها و دانشجوهایی رشته‌های منابع طبیعی

❖ شما با مطالعه این نشریه با موارد زیر آشنا می‌شوید:

- نحوه لایه‌برداری و نمونه‌برداری از خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای افتاده درختان راش
- ارزیابی روند تغییرات ذخایر کربن و مقادیر هدررفت آن در خاک‌های بستر زیرین خشک‌دارها
- استدلال جنگل‌شناسی، بوم‌شناسی و زیست‌شناسی در رابطه با نحوه انتشار و ترسیب کربن آلی خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها

فهرست

۱.....	چکیده.....
۲.....	ضرورت ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگل.....
۳.....	ظرفیت مخازن کربن آلی در جنگل‌های هیرکانی.....
۴.....	خشک‌دارها به‌عنوان مخازن کربن یا منابع انتشار کربن.....
۶.....	نمونه‌برداری و روش جمع‌آوری داده‌ها.....
۱۱.....	پردازش آزمایشگاهی.....
۱۲.....	تحلیل داده‌ها.....
۱۳.....	نتایج.....
۲۳.....	پیشنهادهای قابل استفاده در روند مدیریت.....
۲۴.....	منابع.....

چکیده

یکی از مهمترین چالش‌هایی که همچنان در دستگاه‌های اجرایی و متولی جنگل‌ها مطرح است، حضور یا عدم حضور (بهره‌برداری) خشک‌دارهای قطور درختان صنعتی در جنگل‌های شمال کشور است. به‌طور معمول در مورد خشک‌دارهای افتاده یک نظریه و دیدگاه رایج مبتنی بر این موضوع وجود دارد که حاصل‌خیزی خاک به لحاظ غنای مواد غذایی و افزایش ورودی کربن آلی با حضور و پراکنش آنها رابطه مستقیمی دارد. به‌طور رایج برای ارزیابی اثر خشک‌دارها بر تغییرات کربن آلی خاک معدنی از بستر زیرین آنها تا عمق ۱۵ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد. همچنین در فواصلی از خشک‌دارها در بستر زیرین لاشبرگ‌ها جایی که خشک‌دارها حضور نداشتند نیز نمونه‌برداری خاک تا عمق موردنظر انجام گردید. عمق مربوطه به دلیل تبیین اثرگذاری بارز خشک‌دارها مدنظر قرار می‌گیرد. زیرا در این زمینه مهمترین فرضیه این است که خشک‌دارها پس از گذر زمان به‌صورت پویا از منشأ ورودی و مخازن کربن تبدیل به منابع انتشار کربن می‌شود. با استناد به این فرضیه این امکان نیز وجود دارد که خشک‌دارها به‌ویژه در مراحل گذر پوسیدگی تأثیر بارزی بر افزایش موجودی کربن خاک نداشته باشد و یا اینکه حتی روند انتشار کربن در خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای با پوسیدگی پیشرفته بیشتر باشد. یادآوری می‌شود که برای حذف اثرهای حاشیه‌ای نمونه‌برداری‌های توصیفی مذکور در شرایط فیزیوگرافی کاملاً مشابه انجام شود تا تأثیر تغییرات دما، میزان بارندگی، آبشویی، نقل و انتقال مواد آلی در لایه‌های آلی و معدنی خاک ثابت در نظر گرفته شود. بر همین مبنا، با دستیابی به نتایج صحیح می‌توان در مدیریت مبتنی بر افزایش ترسیب کربن در حوزه‌های جنگل‌های طبیعی شمال کشور تصمیم‌گیری درست و به‌جایی در مورد حضور یا بهره‌برداری خشک‌دارهای تازه افتاده اتخاذ نمود.

ضرورت ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگل

یکی از مهمترین دغدغه‌های عصر حاضر که کلیه رویکردها و سیاست‌های جهانی را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است، پدیده گرمایش زمین و متعاقب آن تغییرات اقلیم است. بدیهی است که در این رابطه انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله افزایش روزافزون میزان غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری از اصلی‌ترین علت بروز این سناریوی بحران‌زای جهانی می‌باشد. با توجه به استقبال جامعه جهانی در سال‌های اخیر در قالب شیوه‌نامه‌ها، معاهدات و توافقات بین‌المللی برای رویارویی با بحران‌های محیط‌زیستی حاصل از تغییرات اقلیم، مدیریت بوم‌سازگان‌های جنگلی بر مبنای توسعه هر چه بیشتر به‌منظور افزایش مقادیر ترسیب کربن به‌طور جدی مدنظر قرار گرفته است (Dutca et al. 2020). در واقع از آنجایی‌که جنگل‌ها به‌عنوان یکی از ذخایر بزرگ کربن، یک‌سوم از انتشار گازهای گلخانه‌ای را جذب و در خود ذخیره می‌کنند، از این‌رو طراحی استاندارد جهانی در رابطه با کسب اطلاعات دقیق برای پایش میزان تغییرات موجودی کربن بوم‌سازگان‌های جنگلی در زیست‌بوم‌های مختلف یکی از مهمترین راهکارهای اساسی در مراوده‌های جهانی برای عملکرد بهینه به‌منظور مقابله با تغییرات اقلیم محسوب می‌شود (Dutca et al. 2020; Molina-Valero et al. 2021).

با توجه به تفاسیر ذکرشده و نشست سران ملل، از جمله نشست‌های اخیر پاریس و لندن برای رویارویی با چالش تغییرات اقلیم؛ یکی از مواردی که بر آن تأکید می‌شود این است که مدیریت مبتنی بر افزایش ترسیب کربن و جلوگیری از هدررفت آن در حوضچه‌های مختلف کربن باید یکی از شاخص‌های اصلی در روند مدیریت بهینه بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب شود (IPCC, 2022).

سران کشورها در راستای رویارویی با گرمایش جهانی (و تغییرات اقلیم) طی ۳۰ سال گذشته تاکنون تأکید بر افزایش ترسیب کربن با جنگل‌کاری‌ها و افزایش میزان زراعت چوب در

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۳ در جنگل‌های هیرکانی

اراضی غیر جنگلی، حفظ و توسعه جنگل‌های طبیعی داشتند (IPCC, 2022). از سویی، همین سبب شده برخی از نهادهای اقتصادی از جمله تجارت کربن در عرصه‌های بین‌المللی بیش از پیش برجسته شده و در زمینه ارزآوری، روند تولیدات و حتی سهام بورس نقش بسیار زیادی ایفا نماید.

بنابراین مدنظر قرار دادن روند ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی یک ضرورت در اجرای انواع اصول و فنون جنگل‌شناسی و جنگل‌داری است که اکثر بیشتر کشورها در زیست‌بوم‌های مختلف با توجه به ظرفیت‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی خود باید آن را در محاسبات و مؤلفه‌های مدیریتی خود لحاظ نمایند.

ظرفیت مخازن کربن آلی در جنگل‌های هیرکانی

جنگل‌های هیرکانی با اهمیت بوم‌شناسی بسیار زیاد و قدمت باستانی نسبت به جنگل‌های سایر زیست‌بوم‌های زمین به‌عنوان یکی از ذخایر کربن جهان معرفی شده است (Vahedi, 2016). مستندات زیادی در رابطه با تغییرات موجودی کربن در برخی از حوضچه‌های کربن آلی از جمله لایه‌های معدنی خاک و بایومس (زی‌توده) روی زمینی و زیرزمینی در جنگل‌های مزبور وجود دارد. در بسیاری از مستندات علمی و گزارش‌های موجود میزان ذخایر کربن در حوضچه‌های مختلف و اثرهای موجود در رابطه با روند تغییرات آن مورد ارزیابی قرار گرفته که در این زمینه عوامل مختلفی از قبیل فاکتورهای زیستی در خاک، پارامترهای اقلیمی و ترکیب گونه‌ای درختان از جمله مواردی هستند که در مورد میزان ذخایر کربن آلی تأثیرگذار هستند. در مورد ظرفیت بالقوه کربن آلی در انواع حوضچه‌های کربن آلی جنگل‌های هیرکانی تاکنون نتایج جامعی وجود ندارد. ولی به‌طور میانگین براساس مستندات موجود مقدار کل ذخایر کربن در هکتار برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک و زی‌توده هوایی به‌ترتیب ۲۸۳ و بیش از ۷۵۰ تن

در هکتار تخمین زده می‌شود (محمودی و طالقانی، ۱۳۸۶؛ واحدی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Vahedi, 2016). بنابراین جنگل‌های هیرکانی یکی از مخازن بزرگ ذخایر کربن آلی در مقیاس ملی محسوب می‌شود. در واقع با توجه به اهمیت روزافزون ذخایر کربن آلی در بوم‌سازگان‌های جنگلی، این التزام بوجود می‌آید که بخشی از روند مدیریتی جنگل‌های هیرکانی به‌ویژه در طرح‌های جایگزین باید در رابطه با حفظ و یا افزایش ظرفیت مخازن کربن آلی در حوضچه‌های مختلف جنگل‌های مزبور باشد.

خشک‌دارها به‌عنوان مخازن کربن یا منابع انتشار کربن

بدیهی‌است که حوضچه‌های کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی شامل پوشش‌های گیاهی ازجمله درختان سرپا، پوشش‌های مرده ازجمله انواع خشک‌دارها یا پوشش لاشبرگی کف جنگل و لایه‌های آلی و معدنی خاک است. البته قابل انتظار است که پوشش درختان و لایه‌های معدنی خاک دارای بیشترین ظرفیت جذب کربن اتمسفری بوده و به‌عنوان بزرگ‌ترین مخازن کربن آلی تلقی شود. در این رابطه لایه‌های معدنی خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی نسبت به دیگر حوضچه‌های کربن ازجمله انواع مختلف پوشش‌های گیاهی و لایه‌های آلی بستر جنگل سهم بیشتری از ذخایر کربن آلی را دارند و ظرفیت زیاده‌تری برای اندوخته مستمر کربن اتمسفری را به خود اختصاص می‌دهند (Blaško et al., 2022; Wu et al., 2022). ناگفته نماند که پوشش‌های درختان به‌عنوان اجزای اصلی بوم‌سازگان‌های جنگلی با توجه به انواع تراکم، سن و ابعاد هندسی هم‌تراز با خاک‌های معدنی می‌توانند به‌عنوان اصلی‌ترین منابع جذب و ذخایر بزرگ کربن اتمسفری محسوب شوند (واحدی و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از مواردی را که می‌توان بدان اشاره نمود اثرهای متقابل خشک‌دارهای قطور و لایه‌های آلی و معدنی بستر زیرین آنها است که میزان عناصر غذایی، کربن آلی و برخی از

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۵

در جنگل‌های هیرکانی

خصوصیات فیزیکی خاک می‌تواند تحت تأثیر حضور خشک‌دارها دستخوش تغییرات مختلفی قرار گیرد. یکی از دغدغه‌هایی که در کمیسیون‌های دستگاه‌های مدیریتی و اجرایی مبتنی بر قانون پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور مطرح شده است، معرفی طرح جایگزین مصوبه قانونی تنفس (استراحت) جنگل‌های هیرکانی و تصمیم‌گیری در رابطه با میزان حجم خروج خشک‌دارها از این جنگل‌هاست. از سویی، یکی از اصول مهم جنگل‌شناسی همگام با طبیعت نیز تأکید بر حفظ انباشت و پراکندگی خشک‌دارها در جنگل‌های طبیعی است (مروی‌مهاجر، ۱۳۸۴). ابهام اصلی که در این زمینه وجود دارد این است که خشک‌دارهای موجود با احتساب انواع درجه‌های پوسیدگی از گونه‌های مختلف درختان صرف‌نظر از تئوری‌های کلاسیک و آکادمیک چه نقشی را در بستر جنگل‌ها بازی کرده و خروج آنها چه اختلالی در روند خودتنظیمی جنگل‌های شمال کشور ایجاد می‌کند. برای اینکه اثر حضور خشک‌دارها بر بستر معدنی خاک به‌صورت ملموس‌تر نمودارسازی شود، بهتر است اثر خشک‌دارهای قطور افتاده مورد ارزیابی قرار گیرد.

یکی از موارد کلیدی که می‌توان بدان اشاره نمود این است که خشک‌دارهای افتاده در بوم‌سازگان‌های جنگلی علاوه بر مخازن اصلی کربن به عنوان منابع انتشار کربن نیز قلمداد می‌شوند (Suzuki et al., 2019). Yuan و همکاران (۲۰۱۸) به این نکته اشاره نمودند که ۷۰ درصد از موجودی کربن خشک‌دارهای افتاده پس از گذر زمان توسط فرایند تنفس وارد اتمسفر می‌شود. در حالی که Blonska و همکاران (۲۰۱۹) این ادعا را مطرح نمودند که بیشترین میزان کربن آلی موجود در خشک‌دارها به همراه عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب بر اثر فرایندهای آبشویی و جابجایی (Translocation) وارد لایه‌های آلی و معدنی خاک شده و در این لایه‌ها محبوس می‌شود. از سوی دیگر، با احتساب این موضوع که لایه‌های معدنی خاک با توجه به مقدار رطوبت، عناصر غذایی موجود و جمعیت میکروبی دارای مقدار

۶ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین در جنگل‌های هیرکانی

متفاوتی از حبس و انتشار کربن است (Hojati *et al.*, 2022)، انتظار می‌رود حضور خشک‌دارها در این رابطه بر مقدار تعادل و روند چرخه کربن خاک دارای تأثیرات عدیده‌ای باشد. با توجه به اینکه خشک‌دارها یکی از منابع تأمین کربن آلی و عناصر غذایی خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی هستند، پرسش اصلی این است که خشک‌دارهای جنگل‌های طبیعی بر مبنای چه الگویی و چگونه بر مقدار تغییرات کربن آلی لایه معدنی خاک تأثیرگذار است؟

نمونه‌برداری و روش جمع‌آوری داده‌ها

برای سنجش و پایش اثر خشک‌دارهای افتاده بر بستر خاک جنگل‌های هیرکانی، لازم است ابتدا قطعه نمونه‌های دائمی که به نوعی معرف رویشگاه هستند، در رویشگاه‌های مورد نظر انتخاب و مشخص شوند. سطح قطعه دائمی در پروژه‌های پایش معمولاً یک هکتار در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد مطابق شکل ۱ باید تمام خشک‌دارهای افتاده موجود که طول یا ارتفاع آنها بیش از ۱/۵ متر و قطر برابر سینه یا قطر میانی آنها بیش از ۷/۵ سانتی‌متر است در قطعه دائمی مزبور مدنظر قرار گیرد (Harmon *et al.*, 2007). تمام خشک‌دارهای مذکور باید به‌طور صددرصد با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی (جی‌پی‌اس) ثبت شوند.

سپس بر مبنای کلیه مختصات ثبت شده چهار قطعه‌نمونه با ابعاد ۴۰۰ مترمربع در عرصه پیاده شد (Harmon *et al.*, 2007). در داخل هر قطعه‌نمونه کلیه ویژگی‌های خشک‌دارها شامل طول پایه‌های افتاده و به‌ترتیب آن قطر متوسط میانی و یا قطر برابر سینه، نوع گونه و درجه پوسیدگی اندازه‌گیری و ثبت شد. ثبت درجه پوسیدگی خشک‌دارها مبتنی بر پنج رده تعریف شده در جنگل‌های زیست‌بوم‌های مختلف انجام شد (Harmon *et al.*, 1986; Schmid *et al.*, 2016; Suzuki *et al.*, 2019; Moreira *et al.*, 2016).

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۷

در جنگل‌های هیرکانی

پنج رده مزبور به شرح ذیل است:

- ✓ رده اول شامل درختان تازه افتاده است که هیچ علائم پوسیدگی در آن مشاهده نمی‌شود. در واقع درخت در برخی موارد دارای برگ‌های خشکیده، ریزشاخه‌ها و شاخه‌های جانبی است و به نوعی ویژگی‌های درختان سالم سرپا را دارد.
- ✓ در این رده، درختان افتاده یا بخش‌های افتاده از درختان سرپا دارای شاخه و ریزشاخه‌های فرعی نبوده، پوست و راستای بدنه تنه در آستانه پوسیدگی است.
- ✓ در رده سوم پایه‌های افتاده درختان دارای شاخه و ریزشاخه نبوده و علاوه بر آن پوست تنه کاملاً تجزیه شده و از بین رفته و در برخی موارد در داخل تنه درختان حفره‌ها و شکاف‌هایی نیز قابل مشاهده است.
- ✓ در این رده خشک‌دار افتاده وارد مرحله پوسیدگی پیشرفته شده، تنه‌ها کاملاً شکاف‌خورده، بخش‌های زیادی از تنه مورد آماج آفات و حشرات بوده و قارچ‌زدگی در راستای تنه درختان وجود دارد. در بیشتر موارد بخش‌هایی از تنه با اندکی لمس نمودن دارای انعطاف‌پذیری بوده و بافت‌های بیرونی چوب در حال تجزیه و پوسیدگی است.
- ✓ در رده پنجم پوسیدگی، در بخش‌های وسیعی از تنه افتاده درختان شکاف‌های زیاد و گسترده‌ای مشاهده می‌شود. بخش‌هایی از تنه در آستانه اضمحلال و پودری شدن هستند و با اندکی لمس یا لگدکوب کردن بافت‌های چوبی به آسانی شکسته یا پودر می‌شوند.

در داخل قطعات دائمی، حتی‌الامکان در زیر خشک‌دارها و یا محل تماس آنها با بستر خاک معدنی، ابتدا تجمعات آلی حاصل از پوسیدگی بافت‌های مختلف چوبی کنار زده می‌شود و با استفاده از ابزارآلات مناسب مانند اگر یا بیلچه باغبانی لایه معدنی خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متر

۸ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین در جنگل‌های هیرکانی

نمونه‌برداری شده (شکل ۳) و برای پردازش شیمیایی به محیط آزمایشگاه منتقل می‌شود. بخشی از نمونه‌های خاک برای انجام پردازش آزمایشگاهی انتشار کربن در محیط یخچال نگهداری می‌شود. در هر مورد نمونه‌برداری خاک با استفاده از سیلندرهایی فلزی، نمونه‌های خاک به‌صورت مجزا برداشت شده و در داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و برای تعیین وزن مخصوص ظاهری به آزمایشگاه منتقل می‌گردد.

باید به این نکته نیز توجه نمود که هریک از کیسه‌های پلاستیکی دارای برچسب مشخص با ذکر جزئیات لازم از قبیل رویشگاه، نوع خشک‌دار و عمق نمونه باشد. البته به‌طور مجزا از طریق سیلندرهایی مخصوص جمع‌آوری خاک، نمونه‌های مربوطه به عنوان نمونه‌های دست‌نخورده به‌طور مجزا با برچسب مشخص برای اندازه‌گیری وزن مخصوص به آزمایشگاه انتقال داده می‌شود. لازم است دامنه ارتفاع از سطح دریا و شیب برای انجام نمونه‌برداری در تمام رویشگاه‌ها کاملاً شبیه هم باشد.

در واقع نمونه‌برداری‌های انجام شده باید در زیر خشک‌دارهای واقع در اراضی مسطح انجام شود تا بدین ترتیب اثرهای آبشویی و نقل و انتقال در لایه‌های آلی و معدنی خاک ثابت در نظر گرفته شود. در توده‌هایی که خشک‌دار موجود نیست، باید ۴ قطعه نمونه با سطح ۴۰۰ مترمربع (۲۰ × ۲۰ مترمربع) به‌طور تصادفی جانمایی شود. لایه لاشبرگی کف جنگل نیز در بستر هر قطعه نمونه در ابعاد سطحی ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مربع برداشت می‌شود. در ادامه با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن تر آن در عرصه اندازه‌گیری می‌شود. در زیر لایه لاشبرگی نیز نمونه‌برداری خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متر انجام شده (شکل ۴) و نمونه‌ها برای اندازه‌گیری وزن مخصوص و درصد کربن آلی به آزمایشگاه انتقال می‌یابد.

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۹
در جنگل‌های هیرکانی



شکل (۱) قسمتی از تنه افتاده درختان راش در جنگل خیرود



شکل (۲) تکه‌برداری چوب از خشک‌دار افتاده راش در جنگل خیرود

۱۰ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی



شکل ۳) نمونه‌برداری خاک معدنی زیر خشک‌دار افتاده در جنگل خیرود



شکل ۴) نمونه‌برداری خاک معدنی زیر لایه لاشبرگی در جنگل خیرودکنار

پردازش آزمایشگاهی

پس از انجام پیش‌پردازش‌های رایج آزمایشگاهی از قبیل خشک کردن، کوبیدگی کامل نمونه‌های خاک و الک کردن، مقادیر کربن آلی خاک به روش والکلی بلاک اندازه‌گیری شد. روند خشک کردن نمونه‌ها در فضای آزاد و خارج از محل تابش مستقیم خورشید می‌باشد. باید توجه نمود که نمونه‌های خاک در معرض حرارت مستقیم همانند سیستم‌های گرمایشی قرار نگیرد. برای غربال کردن نمونه‌های خاک از الک‌های با قطر ۲ میلی‌متری استفاده می‌شود. لایه لاشبرگی نیز در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و پس از آن وزن خشک آنها نیز اندازه‌گیری گردید (Romashkin *et al.* 2021). بخشی از نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند.

شکل ۵ بخشی از روند پردازش آزمایشگاهی خاک در آزمایشگاه را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک، ابتدا ۵۰ گرم خاک مرطوب تازه به ظروف دربسته منتقل شده، سپس با اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ نرمال سود به صورت جداگانه در ظروف حاوی خاک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگهداری می‌شوند. در پایان مقدار CO_2 آزاد شده به روش تیتراسیون سود باقی مانده با اسید ۰/۲۵ نرمال اندازه‌گیری و میزان CO_2 -C برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک محاسبه می‌شود (Anderson, 1982; Vance *et al.*, 1987).

۱۲ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی



شکل ۵) پردازش‌های شیمیایی خاک در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مازندران

تحلیل داده‌ها

برای تعیین چگالی خشک چوب‌ها از نسبت جرم خشک به حجم تر و برای محاسبه وزن خشک کل لاشبرگ‌ها در هر زیرقطعه نمونه از حاصلضرب وزن کل به نسبت جرم خشک به جرم تر نمونه‌ها استفاده شد. میزان موجودی کربن لایه معدنی خاک از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Vahedi, 2017).

رابطه (۱)

$$SOC = C\% \times D \times \rho$$

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۱۳

در جنگل‌های هیرکانی

در رابطه (۱)، SOC میزان موجودی کربن خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمربع، C: فاکتور کربن برحسب درصد، D: عمق خاک برحسب سانتی‌متر و P: وزن مخصوص خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمربع است. به همین منوال میزان انتشار کربن خاک در واحد سطح از طریق رابطه ۲ محاسبه شد. در این رابطه SR میزان تنفس خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمربع در یک روز و R: درصد انتشار دی‌اکسیدکربن محسوب می‌شود.

رابطه (۲)

$$SR = R_S (CO_2\%) \times D \times \rho$$

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون‌های شاپیروویلک و لون، نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها ارزیابی شده و از آزمون t مستقل برای ارزیابی تغییرات مقادیر موجودی کربن در زیر خشک‌دارها و زیر لایه لاشبرگی استفاده می‌شود. آزمون تجزیه واریانس نیز برای ارزیابی متغیرهای هدف در انواع تیمارهای مختلف در هر رویشگاه و توده‌های جنگلی مورد پژوهش به‌کار می‌رود. برای انجام تحلیل داده‌ها می‌توان از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده نمود.

نتایج

طی پژوهشی در جنگل خیرودکنار نوشهر در منطقه میان‌بند مشخصات مربوط به خشک‌دارها، پوشش لاشبرگی و خاک‌های محل تحت تأثیر حوضچه‌های مزبور در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده می‌شود. نتایج موردی ارائه شده در این نشریه گزیده‌ای از یافته‌های پروژه سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران است که در بخش ذیل ارائه می‌شود. در جدول ۱، میانگین، خطای استاندارد، ناهمگنی واریانس و دامنه تغییرات کلیه ویژگی‌های خشک‌دارها اعم از قطر میانی (D_m)، طول افتاده (L)، مساحت اشغال (S_{Log})،

۱۴ / اثر خشک‌داری افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی

چگالی خشک (WD)، ضریب کربن حبس شده (C_w)، ضریب کربن رها شده (C_{OR})، زی‌توده (Biomass) و موجودی کربن (CS_{Log}) نشان داده شد. همچنین برای لاشبرگ‌های توده‌های آمیخته و خالص راش به‌طور کلی درصد کربن حبس شده (C_L)، درصد کربن آزاد شده (C_{LR})، زی‌توده (Biomass)، موجودی کربن (CS_L) و میزان انتشار کربن یا تنفس (C_{RL}) در جدول ۱ نشان داده شد.

جدول ۱) شاخص‌های آماری ویژگی‌های خشک‌دارها و لایه لاشبرگی
قطعات دائمی میان‌بند جنگل خیرود

دامنه تغییرات	ضریب تغییرات %	میانگین ($\pm$ اشتباه معیار)		
۱۰/۵ - ۸۵/۸	۷۱/۱	$34/3 \pm 5/7$	D_m (cm)	خشک‌داری افتاده
۲/۵ - ۱۴/۳	۴۸/۹	$9/1 \pm 1/0.5$	L (m)	
۱/۳ - ۴۰/۲	۸۸/۷	$11/3 \pm 2/2$	S_{log} (m ²)	
۰/۳۱ - ۰/۸۷	۳۰/۵	$0/59 \pm 0/0.4$	WD (g.cm ⁻³)	
۲۴/۹ - ۵۷/۷	۱۳/۲	$54/3 \pm 1/6$	C_w %	
۰/۵۶ - ۶/۹	۷۶/۳	$2/0.5 \pm 0/6$	C_{OR} (mg co ₂ .kg ⁻¹)	
۰/۰۴ - ۳/۶	۸۸/۳	$0/5 \pm 0/2$	Biomass (ton.plot ⁻¹)	
۰/۰۱ - ۲/۰۹	۸۲/۶	$0/2 \pm 0/1$	CS_{Log} (ton.plot ⁻¹)	لایه لاشبرگی
۳۹/۲ - ۵۰/۲	۱۱/۸	$43/6 \pm 1/7$	C_L %	
۱/۲ - ۶/۲	۴۴/۴	$3/6 \pm 0/51$	C_{LR} (mg co ₂ .kg ⁻¹)	
۱۹۶/۸ - ۹۹۶/۵	۴۸/۲	$603/2 \pm 98/8$	Biomass (g.plot ⁻¹)	
۹۲/۸ - ۴۴۴/۶	۴۹/۶	$243/3 \pm 58/7$	CS_L (g.plot ⁻¹)	
۲/۴ - ۷/۳	۴۷/۲	$3/6 \pm 0/0.7$	CR_L (g.plot ⁻¹)	

به همین منوال در جدول ۲، آماره‌های میانگین، ضریب تغییرات و دامنه تغییرات برای کلیه مشخصات خاک اعم از فاکتور کربن حبس شده (CS)، فاکتور کربن آزاد شده (RS)، وزن

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۱۵
در جنگل‌های هیرکانی

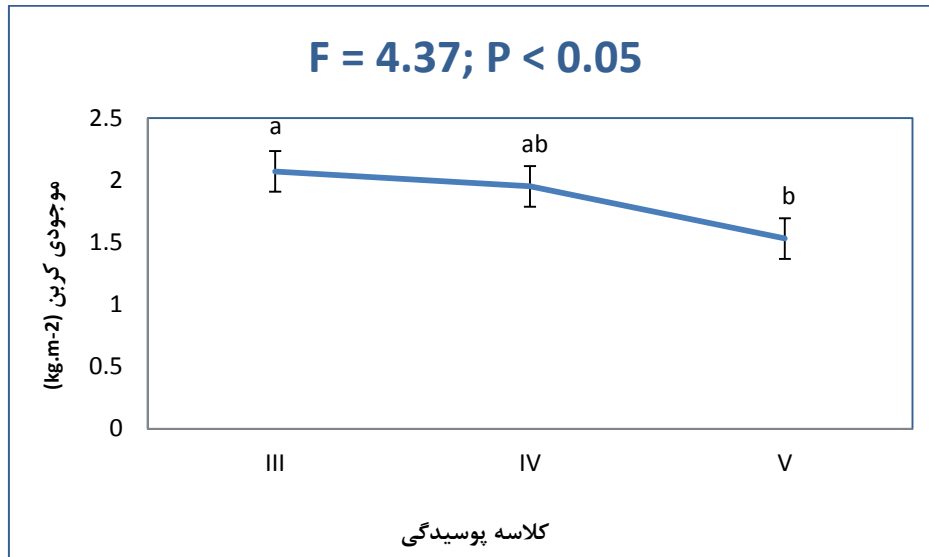
مخصوص ظاهری (PS)، موجودی کربن (SOC storage) و میزان تنفس (SOC release) در زیر خشک‌دارهای نمونه‌برداری شده و در زیر لایه لاشبرگی در نقاط شاهد نشان داده می‌شود.

جدول ۲) شاخص‌های آماری ویژگی‌های خاک زیر خشک‌دارها و خاک زیر لایه لاشبرگ
قطعات دائمی میان‌بند جنگل خیرود

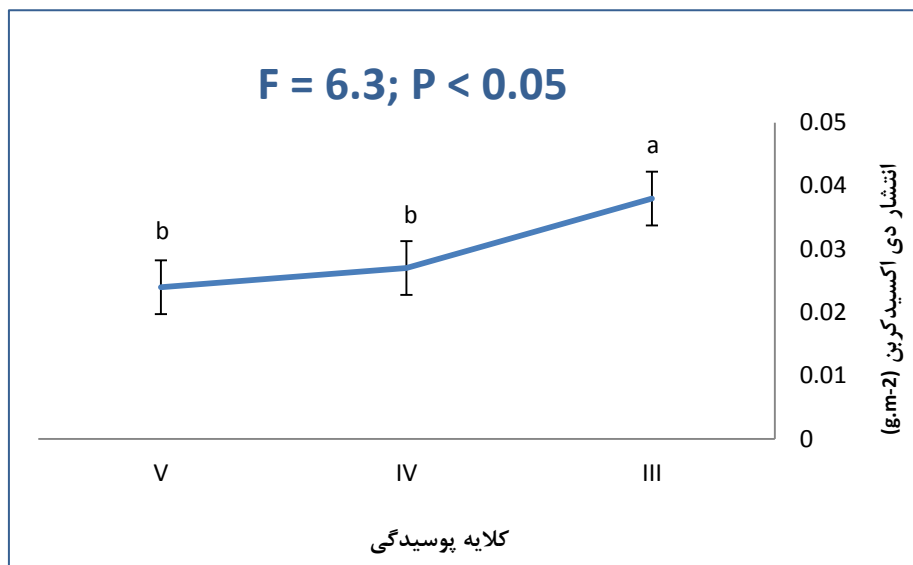
دامنه تغییرات	ضریب تغییرات %	میانگین (± اشتباه معیار)		
۲/۴ - ۳/۲	۱۵/۱	۲/۹ ± ۰/۲	C _s %	زیر خشک‌دارهای افتاده
۰/۳۳ - ۰/۹۵	۴۳/۴	۰/۵۷ ± ۰/۱	R _s (mg co2.kg ⁻¹)	
۰/۶۸ - ۱/۲	۱۸/۶	۱/۲ ± ۰/۰۸	P _s (g.cm ⁻³)	
۱/۶ - ۳/۸	۲۸/۷	۳/۶ ± ۰/۳	SOC storage (kg.m ²)	
۰/۰۲ - ۰/۱	۳۳/۳	۰/۰۶ ± ۰/۰۱	SOC release (g.m ²)	
۲/۴ - ۳/۷	۱۷/۶	۲/۸ ± ۰/۲	C _s %	زیر لایه لاشبرگی
۰/۱۱ - ۰/۷۷	۱۳/۳	۰/۲۵ ± ۰/۱	R _s (mg co2.kg ⁻¹)	
۰/۸۸ - ۱/۶	۲۵/۴	۱/۱ ± ۰/۱	P _s (g.cm ⁻³)	
۲/۲ - ۳/۹	۲۳/۴	۳/۲ ± ۰/۳	SOC storage (kg.m ²)	
۰/۰۱ - ۰/۰۷	۷۳/۱	۰/۰۲ ± ۰/۰۰۸	SOC release (g.m ²)	

در رابطه با تغییرات موجودی کربن خاک معدنی در عمق ۱۵ سانتی‌متری بستر زیرین خشک‌دارهای افتاده راش، نتایج حاصل از اجرای آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که در زیر خشک‌دارهای راش با درجه پوسیدگی کمتر میزان موجودی کربن خاک به‌طور معنی‌داری بیشتر است (شکل ۶). از سویی، نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون تجزیه واریانس و آزمون دانکن نشان داد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک معدنی در بستر زیرین خشک‌دارهای با درجه III نیز دارای مقادیر بیشتری است و بین خشک‌دارهای با درجه پوسیدگی IV و V اختلاف معنی‌داری در این زمینه مشاهده نشد (شکل ۷).

۱۶ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی



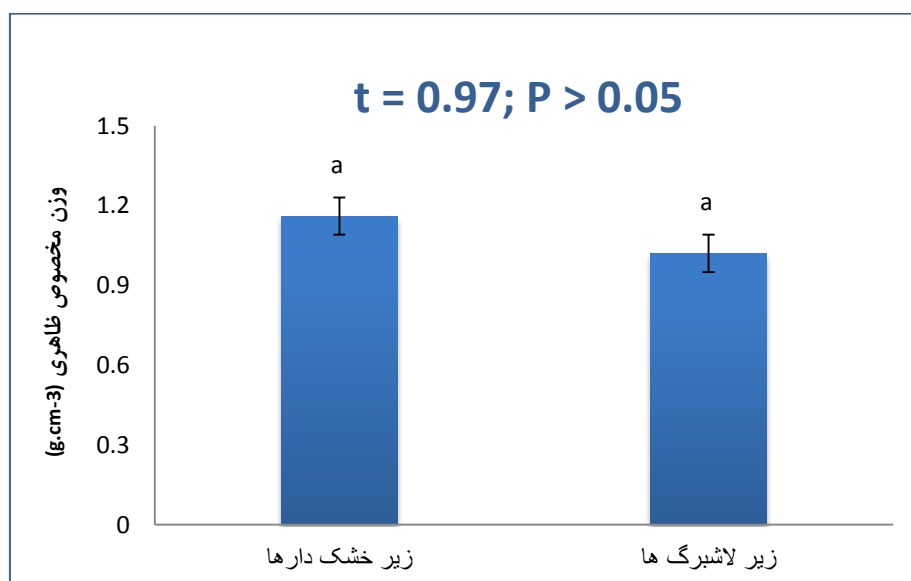
شکل ۶) تغییرات مقادیر موجودی کربن خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای راش در توده آمیخته و خالص راش جنگل خیرودکنار



شکل ۷) تغییرات مقادیر انتشار کربن خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای راش در توده آمیخته و خالص راش جنگل خیرودکنار

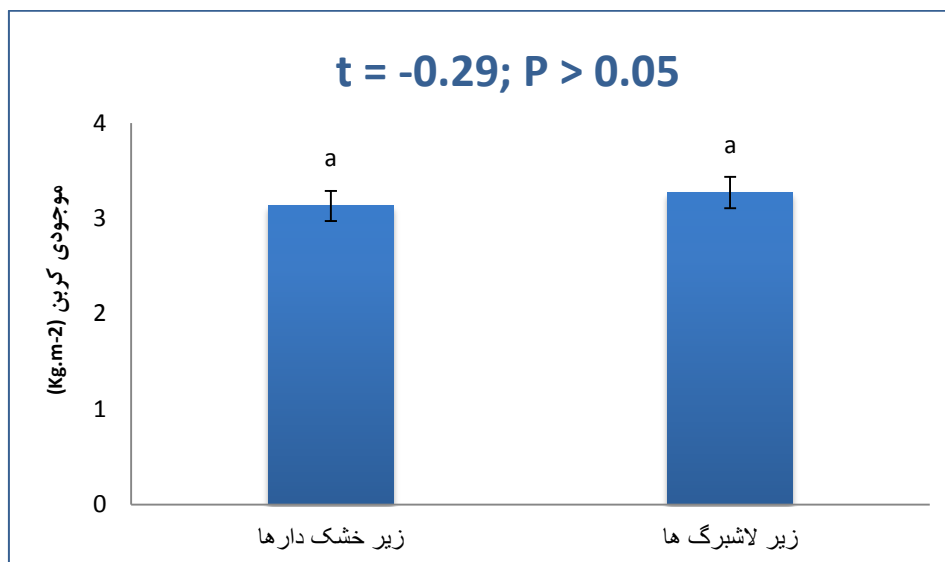
اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۱۷
در جنگل‌های هیرکانی

مطابق شکل ۸، نتایج آزمون t مستقل نشان داد که تغییرات چگالی خاک در زیر خشک‌دارها با احتساب انواع درجه پوسیدگی و زیر لایه لاشبرگی در توده‌های مورد پایش به‌طور کلی دارای اختلاف معنی‌داری نیست. همچنین نتایج نشان داد که میزان موجودی کربن خاک در بستر زیرین خشک‌دارها و در زیر لایه لاشبرگی توده‌های قطعات نمونه دائمی دارای تغییرات معنی‌دار نیست (شکل ۹). از سویی، نتایج نشان داد که مقادیر تنفس خاک معدنی بین بستر زیرین خشک‌دارهای افتاده راش و لایه لاشبرگی بدون حضور خشک‌دارها دارای اختلاف معنی‌داری است. در این راستا نتایج مربوط به اختلاف میانگین آزمون t نشان داد که مقادیر انتشار دی‌اکسید کربن خاک معدنی در بستر زیرین خشک‌دارها دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک معدنی زیرین لایه لاشبرگی است (شکل ۱۰).

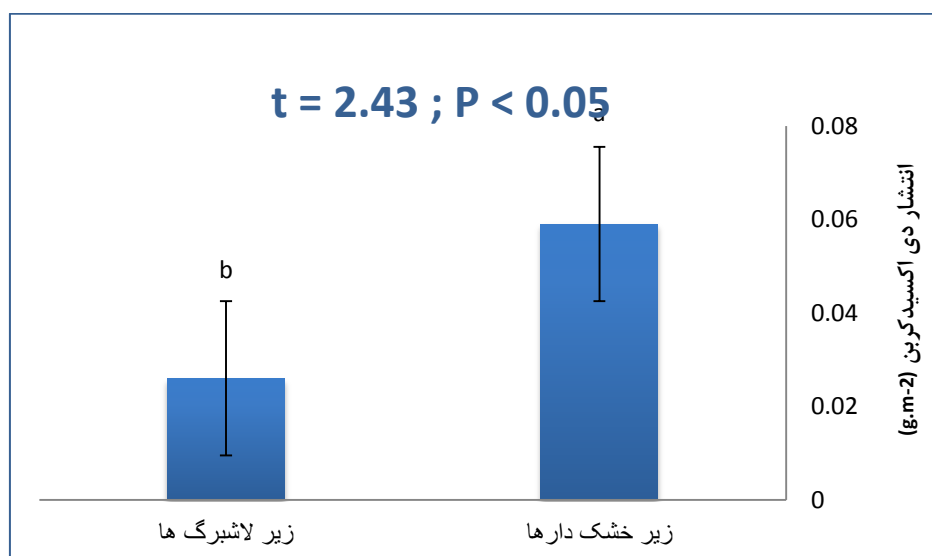


شکل ۸) تغییرات وزن مخصوص ظاهری خاک معدنی زیر خشک‌دارهای راش و زیر لایه لاشبرگی در توده‌های مورد پژوهش جنگل خیرودکنار

۱۸ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین
در جنگل‌های هیرکانی



شکل ۹) تغییرات موجودی کربن خاک معدنی زیر خشک‌دارهای راش و زیر لایه لاشبرگی در توده‌های مورد پژوهش جنگل خیرودکنار



شکل ۱۰) تغییرات میزان انتشار کربن خاک معدنی زیر خشک‌دارهای راش و زیر لایه لاشبرگی در توده‌های مورد پژوهش جنگل خیرودکنار

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۱۹

در جنگل‌های هیرکانی

مشاهدات حاصل از این پژوهش نشان داد که خشک‌دارهای راش افتاده با سه رده پوسیدگی (III, IV, V) در قطعات مزبور حضور داشته و بر همین اساس روند تغییرات متغیر پاسخ در بستر زیرین خشک‌دارهای مزبور و به تناسب در زیر بسترهایی که فاقد حضور خشک‌دارها بودند مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان فاکتور کربن تشکیل دهنده بافت‌های چوبی خشک‌دارهای افتاده در رده‌های مختلف پوسیدگی دارای تغییرات معنی‌داری نبود. این بدین معنی است که ترکیبات سلولزی، لیگنینی و سایر بافت‌های تشکیل دهنده چوب‌های خشک‌دارهای مزبور با توجه به اینکه از یک گونه بوده، به مراتب دارای ترکیبات آلی مشابهی است و فقط آنچه که بدیهی است تغییرات میزان موجودی کربن در هریک از خشک‌دارها به لحاظ درجه پوسیدگی و ابعاد بیوفیزیکی آن است. به همین منوال نتایج حکایت از آن داشت که زی‌توده و متعاقباً موجودی کربن خشک‌دارهای موجود در قطعه دائمی تیپ خالص راش مقادیر بیشتری نسبت به متغیرهای مزبور در قطعه دائمی راش آمیخته داشته باشد. به هر حال، این موضوع می‌تواند دالّ بر این موضوع باشد که خشک‌دارهای موجود در قطعه دائمی راش خالص دارای ابعاد بیوفیزیکی بیشتری بوده و به همین دلیل میزان زی‌توده و موجودی کربن خشک‌دارهای این توده بیش از خشک‌دارهای موجود در قطعه دائمی راش آمیخته است.

از نکات جالب توجه در رابطه با نتایج پژوهش جاری می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ✓ الف. مقادیر موجودی کربن خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دار با رده پوسیدگی درجه کمتر بیش از میزان موجودی کربن خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای با درجه پوسیدگی پیشرفته بود. در واقع نتایج به‌دست آمده نشان داد که روند تغییرات

ویژگی‌های کربن اعم از میزان حبس و رهاسازی کربن آلی در خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای پوسیده‌تر کمتر از خشک‌دارهای با درجه پوسیدگی کمتر است.

✓ در این پژوهش نشان داده شد که تغییرات وزن مخصوص ظاهری خاک بستر زیرین انواع خشک‌دارهای موجود و خاک معدنی بستر زیرین لاشبرگ‌ها در جایی که خشک‌دارها حضور نداشت دارای اختلاف عدیده‌ای نیست. به‌همین دلیل می‌توان بیان نمود با احتساب اینکه در این پژوهش نمونه‌برداری لایه‌های خاک معدنی از عمق ثابتی انجام شده؛ از این‌رو آنچه که می‌تواند در روند تغییرات ذخایر و آزادسازی مقادیر کربن آلی خاک معدنی زیربسترهای مزبور نقش اساسی داشته باشد تغییرات در مقادیر فاکتور کربن آلی موجود در خاک‌های مورد بررسی است.

✓ می‌توان بیان نمود که یکی از مهمترین دلایلی که می‌تواند در رابطه با میزان موجودی کربن آلی و از سویی میزان انتشار کربن آلی در خاک‌های معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای با پوسیدگی کمتر نقش اساسی داشته باشد افزایش فعالیت تنفسی و میزان شکستگی پیوندهای آلی ترکیبات آلی (کربن‌دار) است. در واقع به این دلیل که با افزایش میزان جابجایی کربن به خاک معدنی روند تثبیت مواد آلی و زمان حبس مقادیر کربن آلی در خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای سالم‌تر کمتر است، از این‌رو روند تغییرات میزان ذخایر و انتشار کربن آلی خاک‌های معدنی در بستر زیرین این خشک‌دارها به مراتب بیش از خشک‌دارهای با پوسیدگی پیشرفته است (Lourenço *et al.*, 2015; Rungwattana *et al.*, 2018; Blonska *et al.*, 2019).

✓ ناگفته نماند که در نتایج اولیه این پژوهش نیز مشهود بود که فاکتور کربن لایه آلی حاصل از تجزیه خشک‌دارها در زیر خشک‌دارهای با پوسیدگی درجه III به‌طور

اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین / ۲۱

در جنگل‌های هیرکانی

معنی‌داری مقادیر کمتری را نسبت به خشک‌دارهای با درجه پوسیدگی پیشرفته نشان می‌دهد. این روند بیانگر این موضوع است که روند تجزیه مواد آلی حاصل از پوسیدگی خشک‌دارها در زیر خشک‌دارهای با رده پوسیدگی درجه III سریعتر از مواد آلی بستر زیرین خشک‌دارهای با رده‌های پوسیدگی IV و V است. بنابراین قابل انتظار است که روند جابجایی مقادیر کربن از مواد آلی مزبور به خاک معدنی در زیر درختان کمتر پوسیده بیشتر باشد و از سویی تثبیت ماده آلی نیز در خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارهای رده پوسیدگی مزبور کمتر باشد. بر خلاف این مورد، در زیر خشک‌دارهای خیلی پوسیده، روند جابجایی کربن کمتر بوده و به نوعی تثبیت ماده آلی محبوس در خاک معدنی در مقابل تجزیه، تنفس و انتشار کربن بیشتر است. به همین دلیل است که میزان کربن مواد آلی زیرین خشک‌دارهای پوسیده‌تر بیشتر است.

✓ یکی دیگر از دستاوردهای پژوهش جاری این بود که میزان ذخایر کربن خاک معدنی بستر زیرین خشک‌دارها و بستر زیرین لایه لاشبرگی نسبت به یکدیگر دارای تغییرات معنی‌داری نیست. این بدین معنی است که بر خلاف تصور و فرضیات موجود، خشک‌دارها دارای اثرهای قابل توجهی بر میزان ذخایر کربن خاک معدنی بستر زیرین خود نیستند. به عبارت دیگر می‌توان به نوعی بیان نمود که اثرهای خشک‌دارهای راش بر میزان موجودی کربن آلی خاک معدنی مشابه اثرهای لاشبرگ‌ها بر میزان متغیر پاسخ مزبور در خاک معدنی است.

با توجه به اینکه طرح جمع‌آوری و خروج درختان شکسته افتاده از جنگل‌های شمال همچنان ممنوع بوده و به مرحله اجرایی نرسیده است، می‌توان نتایج به‌دست آمده در این

۲۲ / اثر خشک‌دارهای افتاده راش بر پویایی کربن خاک بستر زیرین در جنگل‌های هیرکانی

پژوهش را در رابطه با خشک‌دارهای افتاده درختان راش مدنظر قرار داد. در واقع چون درختان و یا بخش‌هایی از تنه‌های قطور افتاده که در مراحل ابتدایی پوسیدگی قرار می‌گیرند، به مرور زمان پس از گذر چند سال از مخازن کربن به منابع انتشار و هدررفت کربن تبدیل می‌شوند. در رابطه با درختان قطور راش افتاده که وارد پوسیدگی پیشرفته می‌شوند، چون تغییرات کربن آلی به‌طور محسوس در بستر زیرین آنها قابل مشاهده نیست، از این‌رو انتظار این است که این درختان و چوب‌های قطور افتاده، قبل از ورود به مرحله پوسیدگی از جنگل خارج شوند. نتایج پژوهش‌های متعدد از جمله واحدی (۱۳۹۶) بیان کرد که درصد فاکتور کربن آلی درختان راش جنگل‌های شمال کشور ۵۷ درصد بوده و بقیه عناصر تشکیل دهنده بافت‌های چوبی شامل اکسیژن و هیدروژن (مقادیر آب و میزان رطوبت) است. در این مورد کمتر از یک درصد از عناصر تشکیل دهنده بافت‌های چوبی درختان جنگلی به‌طور کلی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و غیره است (Jones, 2014). بر همین اساس بر مبنای یک محاسبه تحلیلی ساده می‌توان دریافت که اگر درخت راش تازه افتاده با قطر میانی تقریباً ۸۰ سانتی‌متر و طول ۳۰ متر وزن تقریبی ۱۲ تن داشته باشد، به‌طور تقریبی ۸ تا ۶ تن از آن شامل مقادیر زی‌توده (بایومس یا وزن خشک) آن بوده و ۵/۸ تا ۳/۴ تن آن نیز مربوط به میزان موجودی کربن آن است. از سویی، میزان تمام عناصر غذایی موجود در بافت‌های چوبی آن نیز در مجموع ۸۰ تا ۶۰ کیلوگرم می‌باشد که در مقایسه با مقادیر موجودی کربن بسیار ناچیز است. بر این مبنای می‌توان اظهار داشت که بر خلاف تصور، خشک‌دارهای قطور پس از گذار زمان نمی‌تواند منابع ورودی کربن آلی و یا حتی عناصر غذایی خاک محسوب شود.

پیشنهاد‌های قابل استفاده در روند مدیریت

- در راستای اجرای این پژوهش و دستاوردهای آن می‌توان پیشنهاد‌های ذیل را در رابطه با مدیریت بهینه و تدوین طرح جایگزین تنفس در راشستان‌های شمال کشور مدنظر قرار داد:
- ✓ پایش دوره‌ای تغییرات موجودی کربن و انتشار آن در بستر زیرین خشک‌دارها و لاشبرگ‌های بستر جنگل؛
 - ✓ استفاده از مدل‌های تحلیلی و هوشمند برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی ظرفیت مقادیر ترسیب کربن و هدررفت آن در بستر زیرین خشک‌دارها و لاشبرگ‌ها؛
 - ✓ ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر در روند تجزیه خشک‌دارها و میزان هدررفت کربن آلی از آنها و خاک معدنی بستر زیرین در رویشگاه‌های مختلف هیرکانی؛
 - ✓ پیشنهاد موردی برای احتمال افزایش ضریب خروج خشک‌دارهای راش قبل از ورود به مرحله پوسیدگی در تدوین طرح‌های جایگزین تنفس

منابع

- محمودی طالقانی، ع. ا.، زاهدی امیری، ق.، عادل، ا. و ثاقب‌طالبی، خ.، ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گلبدن در شمال کشور). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱۵(۳): ۲۴۱-۲۵۲.
- مروی مهاجر، م.، ۱۳۸۴. جنگل‌شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۴۱۰.
- واحدی، ع. ا.، صبح زاهدی، ش.، علیدوست، م.، متینی‌زاده، م.، ۱۴۰۲. روند تغییرات ذخایر کربن خاک در تیپ‌های مختلف توده‌های درختان در جنگل‌های سفارود گیلان. بوم‌شناسی کاربردی، ۱: ۲۵-۴۲.
- واحدی، ع. ا.، ۱۳۹۶. اندازه‌گیری و مدل‌سازی آلومتری ترسیب کربن تنه تجاری درختان در جنگل آمیخته راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky). پژوهش‌های گیاهی، ۳: ۷۰۱-۷۱۲.
- واحدی، ع. ا.، متاجی، ا.، ۱۳۹۵. تغییرات ذخایر حوضچه‌های کربن آلی کف جنگل‌های آمیخته راش شرقی در ارتباط با تنوع زیستی گیاهی و عوامل فیزیوگرافی. مجله جنگل ایران، ۴: ۴۵۹-۴۷۵.
- واحدی، ع. ا.، متاجی، ا.، حجتی، س. م.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی مخزن کربن آلی خاک در رابطه با ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک در جنگل گلندرود در شمال ایران. نشریه پژوهش‌های خاک. ۱: ۵۳-۶۲.
- Anderson, J. P. E., 1982. Soil respiration: 831-871. In: Page, A.L. and Miller, R.H. (Eds.). Methods of soil analysis, Part2: Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Bani, A., Pioli, S., Ventura, M., Panzacchi, P., Borruso, L., Tognetti, R., Tonon, G., Brusetti, L., 2018. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. Appl. Soil Ecol. 126, 75-84.
- Jones, Jr, J.B., 2014. Complete guide for growing plants hydroponically. Anderson, South Carolina, CRC Press, USA.
- Błonska, E., Kacprzyk, M., Spolnik, A., 2017. Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage. Ecol Res. 32, 193-203. DOI 10.1007/s11284-016-1430-3.
- Błonska, E., Lasota, J., Tullus, A., Lutter, R., Ostonen, I., 2019. Impact of deadwood decomposition on soil organic carbon sequestration in Estonian and Polish forests. Ann. For. Sci. 76, 102 <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0889-9>.

- Bütler, R., Patty, L., Le Bayon, R. C., Guenat, C., Schlaepfer, R., 2007. Log decay of *Picea abies* in the Swiss Jura Mountains of central Europe. *Forest Ecol. Manag.* 242, 791-799. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.017>.
- Dutcă, I., Zianis, D., Petrișan, I. C., Bragă, C. I., Ștefan, G., Yuste, J. C., & Petrișan, A. M., 2020. Allometric Biomass Models for European Beech and Silver Fir: Testing Approaches to Minimize the Demand for Site-Specific Biomass Observations. *Forests*, 11(11), 1136.
- Harmon, M.E., Woodall, C.W., Fasth, B., Sexton, J., 2007. Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis. *Northern Research Station*. 84, pp 29.
- Harmon, M.E., Fasth, B.G., Yatskov, M., Kastendick, D., Rock, J., 2020. Release of coarse woody detritus-related carbon: a synthesis across forest biomes. *Carbon Balance Manag.* 15, 1 <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0136-6>.
- Hojati, S.M., Tafazoli, M., Asadian, M., Baluee, A., 2022. Estimation of carbon sequestration and forest soil respiration using machine learning models in Eastern Forests of Mazandaran Province. *Forest Research and Development*. 4, 371-388.
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Kooch, Y., Parsapour, M.K., Egli, M., 2020. Moghimian, N., Forest floor and soil properties in different development stages of Oriental beech forests. *Applied Soil Ecology*. 161, 103823.
- Kooch, Y., Nouraei, A., Wirth, S., 2023. Deadwoods are hotspots for soil functions in old-growth beech forests: monitoring during 15 years after a windthrow event. *Eur. J. For. Res.* 142, 1401–1421. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01598-1>.
- Li, X., Liu, X., Xie, J., Zhang, Q., Yang, Z., Schindlbacher, A., Yang, Y., 2021. Contribution of above ground litterfall and roots to the soil CO₂ efflux of two subtropical *Cunninghamia lanceolata* and *Castanopsis carlesii* forests. *Agric For Meteorol.* 311, 108671 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108671>.
- Lourenço, A., Neiva, D.M., Gominho, J., Marques, A.V., Pereira, H., 2015. Characterization of lignin in heartwood, sapwood and bark from *Tectona grandis* using Py–GC–MS/FID. *Wood Sci. Technol.* 49, 159–175. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0684-6>.
- Moreira, A.B., Gregoire, T.G., Thadeu, Z., do Couto, H., 2019. Wood density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. *Forest Ecosystems*. 18, 1-10.
- Nazari, M., Pausch, J., Bickel, S., Bilyera, N., Rashtbari, M., Razavi, B.S., Zamanian, K., Sharififar, A., Shi, L., Dippold, M.A., Zarebanadkouki, M., 2023. Keeping thinning-derived deadwood logs on forest floor improves soil organic carbon, microbial biomass,

- and enzyme activity in a temperate spruce forest. *Eur. J. For. Res.* 142, 287–300. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01522-z>.
- Ngaba, M. J. Y., Uwiragiye, Y., Zhou, J., 2022. Patterns and controlling factors of soil carbon sequestration in nitrogen-limited and -rich forests in China— a meta-analysis. *PeerJ*. 11, 14694 <http://doi.org/10.7717/peerj.14694>.
- Molina-Valero, JA., Camarero, JJ., Álvarez-González, JG., Cerioni, M., Hevia, A., Sánchez-Salguero, R., Martín-Benito, D., Pérez-Cruzado, C. 2021. Mature forests hold maximum live biomass stocks. *Forest Ecology and Management*, 480:1-20.
- Rungwattana, K., Hietz, P., Larjavaara, M., Larjavaara, M., 2018. Radial variation of wood functional traits reflect size-related adaptations of tree mechanics and hydraulics. *Funct. Ecol.* 32, 260–272. <https://doi.org/10.1111/13652435.12970>.
- Schmid A.V., Vogel, C.S., Liebman, E., Curtis, P.S., Gough, C.M., 2016. Coarse woody debris and the carbon balance of a moderately disturbed forest. *Forest Ecology and Management*. 361, 38–45.
- Suzuki, S.N., Tsunoda, T., Nishimura, N., Morimoto, J., Suzuki, J.I., 2019. Dead wood offsets the reduced live wood carbon stock in forests over 50 years after a stand-replacing wind disturbance. *Forest Ecology and Management*. 432, 94–101.
- Vahedi, A.A., 2016. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass Bioenergy*. 88,66-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.020>.
- Vahedi, A.A., 2017. Monitoring soil carbon pool in the Hyrcanian coastal plain forest of Iran: Artificial neural network application in comparison with developing traditional models. *Catena* 152, 182–189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.022>.
- Vance, W. H., Brookes, P. C., Jenkinson, D. J., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703–707.
- Wambsganss, J., Stutz, K.P., Lang, F., 2017. European beech deadwood can increase soil organic carbon sequestration in forest topsoils. *For. Ecol. Manag.* 405, 200–209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.053>.
- Wang, Q., Yu, Y., He, T., Wang, Y., 2017. Aboveground and belowground litter have equal contributions to soil CO₂ emission: an evidence from a 4-year measurement in a subtropical forest. *Plant Soil* 421, 7–17. DOI:10.1007/s11104-017-3422-7.
- Wu, X., Fu, D., Huang, G., Shang, H., 2022. Distributions and Influencing Factors of Soil Organic Carbon Fractions under Different Vegetation Restoration Conditions in a Subtropical Mountainous Area, SW China. *Forests*, 13, 629. <https://doi.org/10.3390/f13040629>.
- Yuan, J., Cheng, F., Zhu, X., Li, J., Zhang, S., 2018. Respiration of downed logs in pine and oak forests in the Qinling Mountains, China. *Soil Biol. Biochem.* 127, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.012>.