بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/ صفحات ۲۵ تا ۴۲

روند تغییرات ذخایر کربن خاک در تیپ‌های مختلف توده‌های درختان در جنگل‌های شفارود گیلان

علی‌اصغر واحدی[۱*]، شهریار صبح‌زاهدی[۲]، مسعود علیدوست[۳] و محمد متینی‌زاده[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴)

چکیده

هدف پژوهش حاضر تبیین روند نوسانات ذخایر کربن آلی خاک معدنی در تیپ‌های مختلف توده‌های درختان بر حسب گرادیان ارتفاعی و عوامل تأثیرگذار است. آماربرداری تصادفی با پیاده‌سازی چهار قطعه‌نمونه با ابعاد ۴۰۰ متر مربع در تیپ‌های مختلف طراحی شد. نمونه‌برداری خاک در مرکز و چهارگوشه هر قطعه‌نمونه به‌صورت ترکیبی تا عمق ۱۵ سانتیمتر انجام شد. ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان به‌همراه مشخصات فیزیوگرافی زمین در هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج تحلیل آنوزیم یک‌طرفه حاکی از عدم تشابه ذخایر کربن آلی خاک بین توده‌های خالص و آمیخته راش ($R \cong ۰/۵$) و عدم اختلاف معنی‌دار بین سایر توده‌ها بود. نتایج آزمون پرمانوآ دوطرفه نیز نشان داد که میزان ذخایر کربن آلی خاک مستقل از اثرات جهات دامنه و گرادیان ارتفاعی است. براساس نتایج حاصل از آزمون سیمپر، روند تغییرات فاکتور کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به یکدیگر در بین توده‌ها و گرادیان ارتفاعی وارونه بوده ولی در مقایسه جفتی بین توده‌ها تقارنی مشاهده نشد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان نمود که نوسانات کربن آلی خاک در تیپ‌های مزبور مستقل از گرادیان ارتفاعی بوده و نوع تیپ، عوامل زیست‌فیزیکی و فراوانی نسبی انواع گونه‌های درختان در تغییرپذیری موجودی کربن آلی خاک توده‌های مورد پژوهش سهم بارزی نداشت.

واژه‌های کلیدی: تیپ‌های جنگلی، سهم عدم تشابه، شاخص بری – کورتیس، گرادیان ارتفاع، موجودی کربن آلی خاک

۱. استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

۲ و ۳. پژوهشگر بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۴. دانشیار بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: as.vahedi@areeo.ac.ir

مقدمه

لایه‌های مختلف خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌عنوان اصلی‌ترین و بزرگ‌ترین مخازن کربن آلی در زیست‌بوم‌های خشکی محسوب شده و تقریباً ۷۰ درصد از کل موجودی کربن خاک کره زمین را به خود اختصاص می‌دهد (۱۰ و ۱۵). به همین دلیل تغییرات بسیار جزئی در موجودی کربن خاک جنگل‌ها اثرات جدی در روند چرخه جهانی کربن و افزایش گرمایش زمین و همچنین تأثیرات آشکار بر روند زیستی خاک و استقرار زی‌توده گیاهی خواهد داشت (۱۴ و ۱۵). آنچه که در بوم‌سازگان‌های جنگلی مشهود است اثرات مستقیم گونه‌ای انواع تیپ توده‌های درختان بر میزان ذخایر کربن آلی لایه‌های مختلف خاک‌های معدنی است. پژوهش‌های متعددی به این نتیجه رسیدند که در بسیاری از زیست‌بوم‌های مختلف مقادیر موجودی کربن آلی خاک معدنی بوم‌سازگان‌های جنگلی تحت تأثیر تیپ‌های مختلف گونه‌ای درختان بوده به‌طوری که در هر یک از تیپ توده‌های درختان مبتنی بر ویژگی‌های زیست – فیزیکی درختان و سایر پوشش‌های گیاهی میزان ذخایر کربن خاک دارای تغییرات معنی‌داری است (۱۵، ۵، ۱۸، ۲۰ و ۲۳). یکی از بارزترین دلایل تغییرات موجودی کربن آلی خاک‌های معدنی در تیپ‌های مختلف توده‌های درختان، تجمعات آلی حاصل از لاشبرگ‌ها، بقایای اجزاء چوبی حاصل از تغییرات فیزیولوژی و مورفولوژی درختان در بستر خاک، شبکه‌های ریشه‌ای نفوذپذیر در لایه‌های خاک، ترشحات و آنزیم‌های مرتبط با شبکه‌های ریشه‌ای و سرانجام کلیه فعالیت‌های زیستی و میکروبی مرتبط با هر یک از عوامل مذکوراست (۱،۱۰، ۱۹ و ۲۰). هر یک از تیپ توده‌های درختان علاه بر ترکیب مختلف گونه‌ای درختان دارای ساختار و ویژگی‌های مختلف زیست–فیزیکی بوده که همین امر منجر به تأثیرات مختلفی بر الگوی مکانی و میزان ذخایر کربن آلی خاک‌های معدنی در بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌شود. به‌عنوان مثال زین و همکاران (۲۷) در پژوهشی گزارش دادند که با افزایش سطح تاج‌پوشش توده‌های درختان دمای محیط زیرسطح تاج‌پوشش کاهش یافته و به همین ترتیب فعالیت تنفس میکروبی کمتر شده و همین امر سبب کاهش انتشار کربن به اتمسفر و حبس بیشتر آن در خاک می‌شود. بدین ترتیب تبیین روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک بوم‌سازگان‌های جنگل و عوامل تأثیرگذار بر میزان آن می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب برای بهبود مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی با هدف افزایش تولید زی‌توده کلان و کاهش معضلات تغییرات اقلیم محسوب شود.

در جنگل‌های هیرکانی واقع در شمال کشور انواع تیپ توده‌های درختان وجود دارد که بر حسب مطالعات جامعه‌شناسی گیاهی در تقسیم‌بندی‌های متنوع جوامع گیاهی دارای پراکنش‌های متفاوتی هستند. آنچه که در جنگل‌های هیرکانی به‌وضوح قابل مشاهده است تغییرات تیپ توده‌های درختان در راستای گرادیان ارتفاع از سطح دریا است. تغییرات ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان شاخص محرز تغییرات درجه حرارت به‌نوعی محدودکننده گسترش رویشگاه‌های برخی از جوامع گیاهی در جنگل‌های هیرکانی محسوب شده که در این میان به‌عنوان مثال می‌توان به جوامع مختلف راش (*Fagus orientalis* L.) اشاره کرد که معمولاً در دامنه ارتفاع ۱۵۰۰–۷۰۰ متر از سطح دریا دارای پراکنش قابل ملاحظه‌ای بوده و در ارتفاعات پایین‌بند دارای محدودیت پراکنش است (۹). بنابراین می‌توان دریافت که همبستگی زیادی بین تغییرات ارتفاع از سطح دریا و پراکنش انواع مختلف تیپ توده‌های درختان در جنگل‌های شمال کشور وجود دارد. بسیاری از مستندات علمی تأکید نموده‌اند که تغییرات ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مهمترین عامل در رابطه با نوسانات موجودی کربن آلی خاک‌های معدنی در بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب می‌شود (۵،۱۸، ۱۹ و۲۳). در این میان مالا و همکاران (۱۵) اذعان نمودند که معمولاً با افزایش ارتفاع از سطح دریا به دلیل کاهش دما و فعالیت‌های میکروبی و تنفس، ذخایر کربن آلی به‌مراتب نسبت به ارتفاعات پایین‌دست دارای روند صعودی است. البته شایان ذکر است که پویایی مقادیر موجودی کربن آلی خاک در راستای گرادیان ارتفاعی خود

حاصل برهم‌کنش اقلیم، پوشش گیاهی و تیپ خاک است و ارتفاع از سطح دریا به‌تنهایی نمی‌تواند یک عامل تعیین‌کننده در رابطه با نوسانات میزان ذخایر کربن آلی لایه‌های معدنی خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب شود (۷، ۱۳ و ۱۵). در برخی از پژوهش‌های انجام شده در زیست‌بوم‌های مختلف بین مقادیر موجودی کربن آلی خاک و افزایش ارتفاع از سطح دریا رابطه معکوسی وجود داشته (۴ و ۱۹) و یا حتی تغییرات ذخایر کربن آلی خاک مستقل از تغییرات گرادیان ارتفاع از سطح دریا بوده است (۲۳). بر این مبنا می‌توان عنوان نمود که گرادیان ارتفاع از سطح دریا سبب تغییرات تیپ توده‌های گیاهی و تفاوت در ویژگی‌های زیست–فیزیکی اشکوب‌های تأثیرگذار بر میزان کربن آلی خاک شده و برآیند این پدیده‌های بوم‌شناختی منجر به انواع الگوی اثرگذار بر میزان موجودی کربن خاک‌های معدنی می‌شود (۱۶).

پژوهش حاضر در حوزه‌های غرب جنگل‌های گیلان در راستای گرادیان ارتفاع از سطح دریا در تیپ‌های مختلفی از توده‌های درختان انجام شده است. مبتنی بر کلیه تفاسیر عنوان شده هدف اصلی پژوهش این است که تغییرات موجودی کربن آلی خاک در راستای تغییرات ارتفاع از سطح دریا با احتساب انواع تیپ‌های مختلف درختان نمودارسازی شود. متعاقب آن، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است که آیا تفاوت در کلیه ویژگی‌های توده‌های درختان در روند تغییرات متغیرهای هدف مورد اشاره نقش بارزی ایفا می‌کند یا خیر.

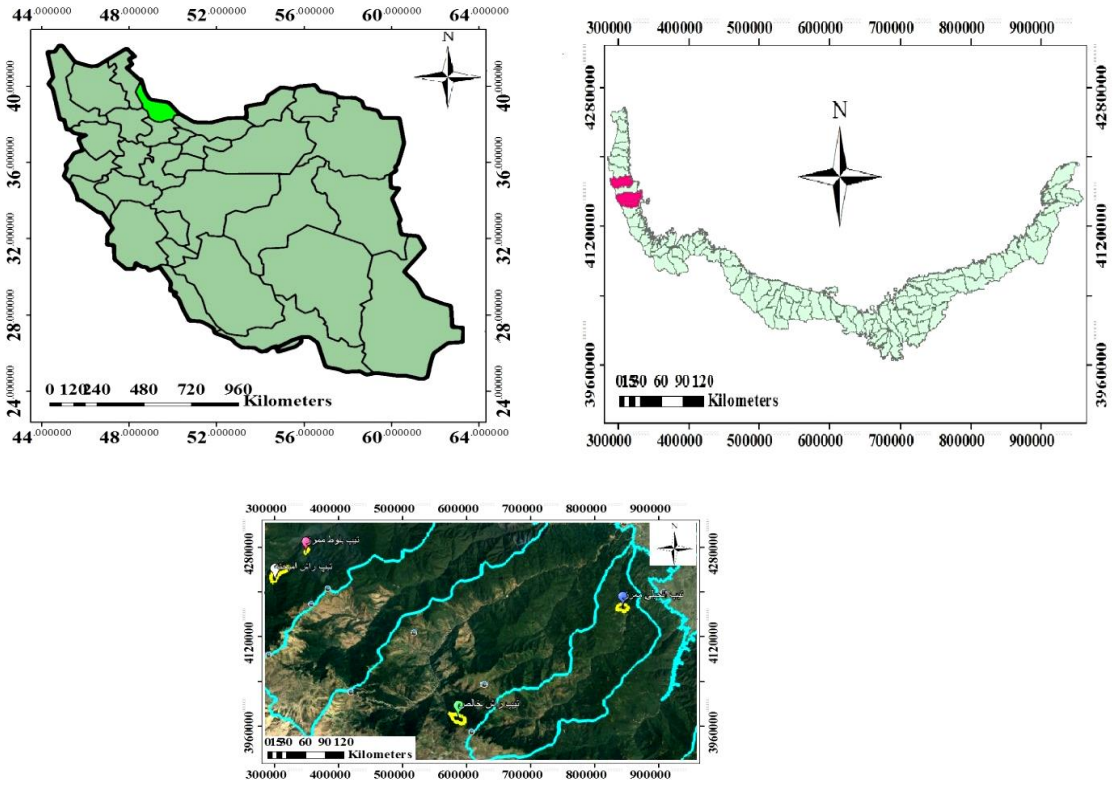
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و تیپ‌های گیاهی

پژوهش حاضر در چهار توده طبیعی با تیپ‌های مختلف شامل انجیلی – ممرز (*Parrotia persica- Carpinus betulus*)، بلوط– ممرز (*Quercus castaneifolia- Carpinus betulus*) ، راش – ممرز یا راش آمیخته (*Fagus orientalis-Carpinus betulus*) و راش خالص (*Fagus orientalis*) در جنگل‌های شفارود گیلان انجام شد. توده انجیلی– ممرز در پارسل ۷۲۶ سری ۷ اورما در حوزه ۱۰ چفرود انتخاب شد. محدوده سری مذکور حومه شهرستان رضوانشهر است. مساحت کل سری بالغ بر ۱۵۷۸ هکتار بوده و دامنه ارتفاع در سری مذکور بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت کل پارسل ۷۲۶ در این سری تقریباً ۳۰/۹ هکتار و میانگین ارتفاع در آن ۳۶۷ متر از سطح دریا است. توده بلوط – ممرز در پارسل ۲۰۴ سری ۲ سیف‌خاله واقع در حوزه ۷ ناو اسالم انتخاب شد. مساحت کل سری ۳۵۸۸/۲ هکتار است. مساحت پارسل توده منتخب ۷۴/۹ هکتار و میانگین ارتفاع از سطح دریا در آن تقریباً ۶۰۰ متر است. توده راش آمیخته در پارسل ۳۲۰ سری ۳ دریابن واقع در حوزه ۷ ناو اسالم انتخاب شد. محدوده ارتفاع سری بین ۴۵۰ تا ۲۱۵۰ متر از سطح دریا و مساحت کل آن ۳۷۷۰/۴ هکتار می‌باشد. مساحت پارسل توده منتخب ۴۲/۵ هکتار و میانگین ارتفاع از سطح دریا در آن تقریباً ۱۰۶۰ متر می‌باشد. در نهایت در سری ۹ به‌نام رزه واقع در حوزه ۹ شفارود توده خالص راش در پارسل ۹۳۶ انتخاب شد. مساحت کل سری ۲۴۰۲ هکتار است. محدوده ارتفاع از سطح دریا در این سری بین ۸۵۰ تا ۲۰۵۰ متر متغیر است. سطح پارسل مزبور ۷۲/۲۵ هکتار بوده و میانگین ارتفاع از سطح دریا در آن تقریباً ۱۱۵۵ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه، توده‌های مورد پژوهش و قطعات نمونه را در جنگل شفارود نمایش می‌دهد.

جمع‌آوری داده‌ها

برای اجرای پژوهش حاضر تعداد ۴ قطعه نمونه با سطح ۴۰۰ مترمربع (۲۰×۲۰ مترمربع) مبتنی بر طرح آماری کاملاً تصادفی در هر یک از توده‌های منتخب در جنگل‌های مورد پژوهش جانمایی شد. در هر یک از قطعات نمونه، قطربرابرسینه بر حسب سانتی‌متر، ارتفاع کل بر حسب متر، قطر بزرگ و قطر کوچک تاج هر یک از درختان بر حسب متر اندازه‌گیری شد. متعاقباً ویژگی‌های فیزیوگرافی زمین اعم از شیب، جهات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا نیز در مرکز هر قطعه نمونه



(الف)

(ب)

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب: روی نقشه ایران، استان گیلان و حوزه‌های مورد مطالعه (الف)؛ موقعیت توده‌ها و قطعات نمونه در چهار تیپ مورد پژوهش (ب)

ثبت شد. قبل از نمونه‌برداری خاک، لایه لاشبرگی بر روی بستر خاک کاملاً کنار زده شد. نمونه‌های خاک در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری تحت عنوان لایه زیرسطحی خاک در مرکز و چهار گوشه هر قطعه نمونه به‌صورت ترکیبی برداشت شدند (۳).

بـرای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌های مختلف خاک مربوط بـه هـر محل نمونه‌برداری با یکدیگر مخلوط شـده و بـه آزمایـشگاه منتقـل شدند. نمونه‌های خاک قبل از انتقال به داخل محیط آزمایـشگاه در هوای آزاد کاملاً خشک و پس از خاک‌کوبی از الک‌هـای ۲ میلـیمتـری عبـور داده شـدند. متعاقباً ناخالصی‌های خاک اعم از سنگریزه‌ها، خرده چوبها و ریشه‌های بزرگتر از ۲ میلیمتر جدا شده و کلیه مواد ریـز کمتـر از ۲ میلـیمتـر جـزء پردازش آزمایشگاهی خاک قرار گرفتند.

تحلیل داده‌ها

برای محاسبه درصد کربن آلی خاک از روش رایج والکلی بلک و برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک از یک سیلندر با حجم ثابت استفاده شد. با استفاده از رابطه زیر میزان ذخایر کربن آلی لایه زیرسطحی خاک (Soil Organic Carcon, SOC) محاسبه شد (۲۶).

$$SOC = \sum_{i=1}^{n} C_i \times D_i \times (\rho_i - R_i) \qquad (۱)$$

C_i درصد کربن آلی مربوط به لایه نمونه‌برداری خاک، D_i ضخامت لایه نمونه‌برداری خاک بر حسب سانتیمتر، P_i و R_i به ترتیب وزن مخصوص ظاهری لایه خاک و سنگریزه‌های (و ریز چوب‌های) بیش از ۲ میلیمتر در مقیاس حجمی ثابت بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب و SOC ذخیره (موجودی) کربن آلی خاک بر حسب گرم بر سانتیمتر مربع معرفی شده‌اند.

با توجه به عدم امکان برازش توزیع داده‌ها مبتنی بر حجم نمونه‌ها در هر تیمار، از آزمون‌های ناپارامتریک برای تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد. از آزمون تشابه آنوزیم یک‌طرفه (One-way ANOSIM) برای ارزیابی میزان تشابه و همگنی متغیر هدف (ذخایر کربن آلی خاک) در بین تیپ‌های مورد پژوهش بر مبنای فواصل اندازه‌گیری و تبدیل آن به رتبه (Rank) با استفاده از شاخص تشابه بری- کورتیس (Bray-Curtis) استفاده شد. یکی از ویژگی‌های تحلیل ناپارامتریک آنوزیم این است که عدم تشابه معنی‌دار را بین گروه‌های مختلف بر مبنای مقدار قابل ملاحظه‌ای از شاخص جایگشت رگرسیون ارائه می‌دهد (۲۱). مزیت تحلیلی این نوع ارزیابی امکان مقایسه جفتی بین توده‌ها است که حداقل اختلاف و عدم تشابه بین گروه‌ها را به‌صورت جفتی تبیین می‌نماید (۲۱). طبق رابطه ۲ در تحلیل آنوزیم مقادیر R بر حسب تعداد جایگشت (Permutation) در هر یک از تیمارهای مورد پژوهش در صورتی که نزدیک به ۱ باشد نشان‌دهنده تشابه زیاد درون‌گروهی و تفاوت زیاد بین توده‌ها بوده و هر چه قدر مقدار عددی آن به سمت ۱- سوق یابد نشان‌دهنده تشابه هرچه بیشتر بین توده‌ها است. همچنین مقدار عددی با میل به عدد صفر نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف بین‌گروهی و درون‌گروهی متغیر پاسخ در توده‌های مزبور است (۲۱). رابطه ۲ نمودار ضریب رگرسیون (R) مرتبط با اختلاف‌های برون‌گروهی را نشان می‌دهد.

$$R \rightarrow \begin{Bmatrix} 1 \leftrightarrow & \text{dissimilarity} \\ 0 \leftrightarrow & \text{Non}-\text{significance} \\ -1 \leftrightarrow & \text{Similarity} \end{Bmatrix} \qquad (۲)$$

از آزمون پرمانوآ دوطرفه (Two-way PERMANOVA) در قالب تحلیل جایگشتی ناپارامتریک واریانس به‌عنوان آزمون مکمل آنوزیم برای بررسی معنی‌داری تغییرات متغیرهای هدف در بین تیمارهای مورد پژوهش استفاده شد. با توجه به ماهیت آزمون پرمانوآ دوطرفه اثرات برهم‌کنش متغیرهای عامل در میزان معنی‌داری تغییرات پاسخ در بین تیمارهای مختلف به‌وضوح قابل تبیین و تفسیر است (۲۱). متعاقباً آزمون سیمپر (SIMPER) برای تعیین میزان شاخص عدم تشابه و درصد سهم هر یک از متغیرهای هدف در تشابه یا عدم تشابه و روند تغییرات متغیرهای پاسخ در بین توده‌های مختلف به‌کار گرفته شد. برای انجام کلیه تحلیل‌های مذکور از نرم‌افزار $Past_{4.09}$ و نرم‌افزار $SPSS_{23.0}$ استفاده شد.

نتایج

در جدول ۱ میانگین ویژگی‌های توصیفی کلیه متغیرهای اندازه‌گیری شده در توده‌های مورد پژوهش نمایش داده شده

جدول ۱. میانگین ± اشتباه‌معیار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در توده‌های مورد پژوهش

	درصد کربن	جرم مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌متر مکعب)	ذخایر کربن آلی خاک (تن/هکتار)	شیب (درصد)	جهات دامنه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	ارتفاع کل (متر)	سطح تاج پوشش (متر مربع/قطعه نمونه)	تراکم (تعداد/قطعه نمونه)	فراوانی نسبی درختان ممرز
انجیلی – ممرز	۱/۱ ± ۳/۶	۰/۰۷ ± ۱/۶	۲۵/۲ ± ۸۷/۴	۸/۳ ± ۳۸/۳۳	SE	۱۲/۳ ± ۳۸۷	۲/۸ ± ۲۷/۵	۰/۷± ۱۳/۴	۲/۷± ۲۸/۳	۴/۳± ۱۵/۳	۴/۶± ۳۵/۲
بلوط – ممرز	۰/۳ ± ۲/۳	۰/۰۳ ± ۱/۹	۱۲/۶ ± ۷۱/۲۳	۳/۸ ± ۵۳/۲	SE	۲/۸ ± ۶۶۲/۶	۳/۸ ± ۳۳/۲	۱/۳ ± ۱۲/۶	۶/۴± ۲۸/۶	۳/۶± ۱۴/۶	۷/۶± ۲۲/۲
راش آمیخته	۰/۰۹ ± ۱/۹	۰/۱۵ ± ۱/۷	۳/۵ ± ۴۹/۷۱	۲/۵ ± ۳۵/۷	NE	۳/۲± ۱۰۷۰/۴	۹/۱± ۶۷/۴	۱/۷± ۱۴/۳	۵/۱ ±۵۸/۴	۲/۱ ± ۹/۳	۶/۸± ۶۸/۳
راش خالص	۰/۱۶ ⊥ ۳/۳	۰/۰۹ ⊥ ۱/۴	۷/۵ ⊥ ۷۰/۹۲	۳/۴ ⊥ ۳۳/۳	NW	۲/۷ ⊥ ۱۱۵۲	۵/۶ ⊥ ۴۰/۲	۲/۷⊥ ۱۵/۴	۸/۱ ⊥ ۳۷/۶	۴/۸⊥ ۱۸/۳	۰/۴⊥ ۱/۶

است. جهات دامنه در هر توده مبتنی بر بیشترین تکرار عنوان شده است (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، میزان ذخایر کربن آلی خاک در توده انجیلی – ممرز و توده راش آمیخته به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عددی را نشان می‌دهد.

برونداد حاصل از آزمون یک‌طرفه آنوزیم در رابطه با روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و ذخایر کربن آلی خاک معدنی در عمق مدنظر در بین توده‌های مورد پژوهش نتایج مختلفی را نشان داد (جدول ۲). مطابق جدول ۲ مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک تا عمق ۱۵ سانتیمتری در بین تیپ‌های مختلف توده‌های درختان بر حسب مقدار عددی شیب رگرسیون (R ≅ ۰/۴) دارای تغییرات معنی‌داری است (P < ۰/۰۵). در صورتی‌که درصد کربن آلی خاک عمق مزبور بر حسب مقدار ضریب رگرسیون و سطح معنی‌داری به‌دست آمده در بین توده‌های مورد پژوهش دارای اختلاف معنی‌داری نبوده است (جدول ۲). به‌همین ترتیب با توجه به جدول ۲ جالب توجه بوده است که ذخایر کربن آلی خاک چه در بین توده‌ها و چه در داخل هر یک از توده‌ها بین قطعات نمونه بر حسب معیارهای مورد اشاره و شاخص بری – کورتیس دارای تغییرات معنی‌داری نبوده است (P > ۰/۰۵). در رابطه با تغییرات موجود در انواع تیپ توده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر صرفنظر از تغییرات گرادیان ارتفاع از سطح دریا نتایج حاکی از آن است که بین کلیه مؤلفه‌های زیست–فیزیکی و ویژگی‌های فیزیوگرافی، فقط تغییرات قطربرابرسینه پایه‌های درختان و جهات دامنه بین توده‌های مختلف دارای عدم تشابه معنی‌دار بوده است (جدول ۲). در این رابطه مقادیر عددی رگرسیون جهات دامنه ۰/۶۷ و قطربرابرسینه ۰/۳۳ بوده است (جدول ۲). از میان گونه‌های مختلف در تیپ‌های مورد بررسی، درختان گونه ممرز در بین تمام توده‌های درختان در راستای تغییرات گرادیان ارتفاع از سطح دریا دارای حضور و پراکنش عدیده بوده و مقادیر متفاوتی از فراوانی نسبی را به‌خود اختصاص داد. در صورتی‌که سایر گونه‌ها در اشکوب اصلی و یا در قالب درختان همراه در برخی از تیپ‌های درختان حضوری نداشتند. با این حال نتایج تحلیلی آزمون آنوزیم یک‌طرفه با توجه به مقدار عددی شیب رگرسیون (R= ۰/۱۳) نشان داد که تغییرات فراوانی نسبی درختان گونه ممرز در بین تیپ‌های مختلف توده‌های درختان دارای عدم تشابه معنی‌دار نیست (جدول ۲).

جدول ۳ مقادیر عددی ضریب رگرسیون را بر مبنای شاخص بری – کورتیس برای مقایسه جفتی میزان تشابه یا عدم تشابه هر یک از مؤلفه‌های اندازه‌گیری در هر یک از توده‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج مرنبط با تغییرات ذخایر کربن خاک در بین تیپ‌های مختلف نشان می‌دهد که متغیر مزبور در بین تیپ‌های راش – ممرز و راش خالص دارای عدم تشابه قابل توجهی بوده ولی در بین سایر تیپ‌های مورد پژوهش در راستای گرادیان ارتفاع از سطح دریا دارای عدم تشابه قابل ملاحظه‌ای نیست (جدول ۳). به‌همین ترتیب روند تشابه یا عدم تشابه بر مبنای ضریب رگرسیون ارائه شده در جدول ۳ برای کلیه متغیرهای اندازه‌گیری شده قابل مشاهده است.

شکل ۲ تفاوت معنی‌دار بین توده‌های مختلف و همچنین میزان تشابه (یا عدم تشابه) هر یک از تیپ توده‌های مزبور را در قالب اختلاف‌های درون‌گروهی نشان می‌دهد. شکل ۲ حاصل تحلیل هم‌زمان کلیه مؤلفه‌های اندازه‌گیری و مقادیر موجودی کربن آلی مورد پژوهش توسط تحلیل آنوزیم چندمتغیره است. نتایج حاصله بر حسب تعداد ۹۹۹۹ جایگشت نشان داد که میانگین رتبه بین گروهی و درون‌گروهی به‌ترتیب تقریباً ۳۹/۱۷ و ۸/۰۷ بوده و در این میان شاخص R مقدار عددی ۰/۹۴ را نشان داد. در این رابطه نتایج نشان داد که توده‌های مورد پژوهش به‌طور معنی‌داری نسبت به هم غیرمشابه هستند. نتایج تحلیل مزبور، مقدار شاخص R را در تمام موارد بین توده‌ها عدد ۱ نشان داد.

جدول ۴ اثرات متقابل جهات دامنه را برای تغییرات ذخایر کربن خاک با استفاده از آزمون پرمانوآ دوطرفه نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در توده‌های مورد پژوهش اثرات متقابل جهات

جدول ۲. نتایج کلی تحلیل آنوزیم یک‌طرفه در رابطه با کلیه متغیرهای اندازه‌گیری و محاسباتی توده‌های مورد پژوهش

	تعداد جایگشت	میانگین رتبه درون‌گروهی	میانگین رتبه بین‌گروهی	ضریب رگرسیون	معنی‌داری عدم تشابه
درصد کربن آلی	۹۹۹۹	۲۶/۵۴	۳۵/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۶۲^{ns}
جرم مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌مترمکعب)	۹۹۹۹	۲۳/۰۸	۳۵/۸۱	۰/۳۸	۰/۰۲۱*
ذخایر کربن آلی خاک (تن/هکتار)	۹۹۹۹	۳۳/۹۲	۳۳/۴۱	-۰/۰۱۵	۰/۴۸ ^{ns}
شیب ٪	۹۹۹۹	۲۷/۰۴	۳۴/۹۴	۰/۲۳	۰/۱۲^{ns}
جهات دامنه	۹۹۹۹	۱۵/۲۵	۳۷/۵۶	۰/۶۷	۰/۰۰۲۴**
ارتفاع از سطح دریا	۹۹۹۹	۷/۷۵	۳۹/۲۲	۰/۹۵	۰/۰۰۰۱**
قطربرابرسینه (سانتی‌متر)	۹۹۹۹	۲۴/۵۸	۳۵/۴۸	۰/۳۳	۰/۰۳*
ارتفاع کل (متر)	۹۹۹۹	۲۹/۸۳	۳۴/۳۱	۰/۱۳	۰/۱۵^{ns}
سطح تاج پوشش (متر مربع/قطعه نمونه)	۹۹۹۹	۲۷/۷۵	۳۴/۷۸	۰/۲۱	۰/۱۴^{ns}
تراکم (تعداد/قطعه نمونه)	۹۹۹۹	۳۲/۴۶	۳۳/۷۳	۰/۰۳	۰/۳۸^{ns}
فراوانی نسبی درختان ممرز	۹۹۹۹	۲۹/۷۸	۳۴/۳۲	۰/۱۳	۰/۱۷ ^{ns}

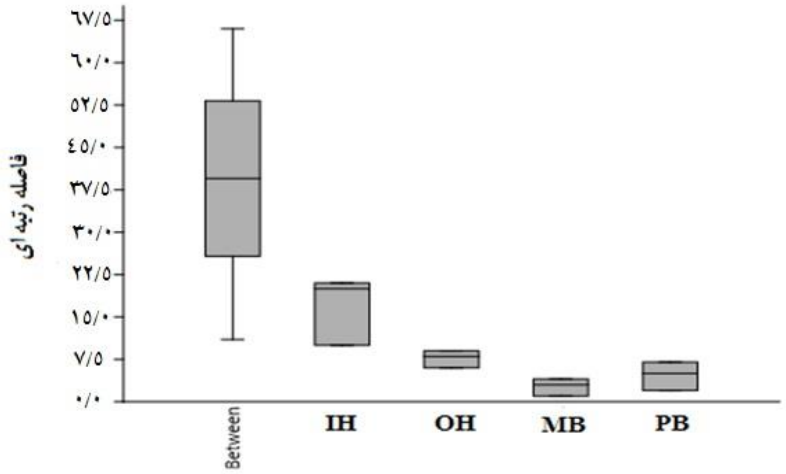
ns، * و ** به‌ترتیب به معنای عدم معنی‌داری ۰/۰۵ < P، معنی‌داری در سطوح ۰/۰۵ > P و ۰/۰۱ > P است.

دامنه و تیپ توده بر میزان موجودی کربن آلی خاک معنی‌دار نبوده است. در واقع می‌توان اذعان نمود که تغییرات موجودی کربن آلی خاک در تیپ‌های مختف توده‌های مورد پژوهش مستقل از تغییرات جهات دامنه بوده است. البته با استناد به جدول ۴ اثرات متقابل جهات دامنه و نوع تیپ توده‌های درختان در مقایسه جفتی فقط بین توده‌هایی که به‌لحاظ تغییرات جهات دامنه دارای عدم تشابه بودند ارائه شده است.

نتایج آزمون سیمپر بر مبنای مقدار عددی میانگین شاخص عدم تشابه و درصد سهم هر یک از کمیت‌های اندازه‌گیری توده‌های مورد هدف در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق جدول ۵ ارتفاع از سطح دریا دارای بیشترین میانگین شاخص عدم تشابه و به تبع آن بیشترین درصد سهم در میزان تفاوت و عدم تشابه معنی‌داری توده‌های مورد پژوهش بوده است. به‌مراتب بدیهی بوده است که هر چقدر اختلاف ارتفاع از سطح دریا بین تیپ توده‌های مورد پژوهش بیشتر بوده عامل مذکور به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی در تفاوت کلی بین تیپ‌های مذکور مدنظر قرار گیرد. نتایج حاصل از آزمون مزبور نشان داد که فراوانی درختان ممرز و راش در ترکیب گونه‌ای توده‌های راش خالص و آمیخته در مجموع تقریباً ۴۵ درصد از سهم عدم تشابه توده‌های مزبور را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵). ولی با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ و ۵ نمی‌توان اذعان نمود که فراوانی گونه‌های مذکور در توده‌های خالص و آمیخته راش عامل اختلاف تغیرات ذخایر کربن آلی خاک محسوب شود. در سایر موارد متغیرهای دیگر هر کدام مقادیر عددی مختلفی را در رابطه با میانگین شاخص عدم تشابه و سهم تأثیرگذاری در عدم تشابه توده‌های مورد پژوهش نشان می‌دهد (جدول ۵). در جدول ۵ کلیه ویژگی‌های مربوط به تفکیک تیپ‌های مختلف توده درختان در ارزیابی آزمون سیمپر مدنظر قرار داده شده و از ارائه میانگین شاخص و درصد سهم عدم تشابه سایر ویژگی‌ها صرفنظر شد. ویژگی ارتفاع به دلیل حداقل مقدار میانگین شاخص و درصد سهم عدم تشابه به میزان هزارم درصد از لیست سایر ویژگی‌ها حذف شده و از ارائه مقادیر آن در جدول ۵ صرفنظر شد.

جدول ۳. نتایج تحلیل تشابه جفتی آزمون آنوزیم در رابطه با تغییرات بین تیپ توده‌های مورد پژوهش

		انجیلی – ممرز	بلوط – ممرز	راش امیخته	راش خالص
درصد کربن	انجیلی – ممرز	--	۰/۶۸	۰/۰۹	۰/۳۱
	بلوط – ممرز	۰/۶۸	--	۰/۵۹	۰/۱۹
	راش آمیخته	۰/۰۹	۰/۵۹	--	۰/۱۰
	راش خالص	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۱۰	--
فسفر	انجیلی – ممرز	--	۰/۸۸	-۰/۰۷	-۰/۰۳
	بلوط – ممرز	۰/۸۸	--	۰/۳۳	۰/۹۸
	راش آمیخته	-۰/۰۷	۰/۳۳	--	۰/۱۱
	راش خالص	-۰/۰۳	۰/۹۸	۰/۱۱	--
ذخایر کربن خاک	انجیلی – ممرز	--	-۰/۲۵	۰/۱۱	-۰/۱۸
	بلوط – ممرز	-۰/۲۵	--	۰/۰۳	-۰/۱۸
	راش آمیخته	۰/۱۱	۰/۰۳	--	۰/۴۸
	راش خالص	-۰/۱۸	-۰/۱۸	۰/۴۸	--
جهت	انجیلی – ممرز	--	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۷۷
	بلوط – ممرز	۰/۰۰	--	۱	۱
	راش آمیخته	۰/۳۳	۱	--	۱
	راش خالص	۰/۷۷	۱	۱	--
ارتفاع از سطح دریا	انجیلی – ممرز	--	۱	۱	۱
	بلوط – ممرز	۱۱	--	۱	۱
	راش آمیخته	۱	۱	--	۰/۹۲
	راش خالص	۱	۱	۰/۹۲	--
قطر برابر سینه	انجیلی – ممرز	--	-۰/۰۷	۰/۹۲	۰/۲۵
	بلوط – ممرز	-۰/۰۷	--	۰/۵۸	۰/۰۰
	راش آمیخته	۰/۹۲	۰/۵۸	--	۰/۴۸
	راش خالص	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۴۸	--
ارتفاع	انجیلی – ممرز	--	۰/۰۰	۰/۳۷	۰/۲۵
	بلوط – ممرز	۰/۰۰	--	۰/۴۴	۰/۰۰
	راش آمیخته	۰/۳۷	۰/۴۴	--	-۰/۰۳
	راش خالص	۰/۲۵	۰/۰۰	-۰/۰۳	--
درصد شیب	انجیلی – ممرز	--	۰/۲۷	-۰/۱۱	-۰/۱۴
	بلوط – ممرز	۰/۲۷	--	۰/۹۲	۰/۴۸
	راش آمیخته	-۰/۱۱	۰/۹۲	--	۰/۰۷
	راش خالص	-۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۰۷	--
سطح پوشش	انجیلی – ممرز	--	-۰/۳۳	۰/۸۱	-۰/۲۵
	بلوط – ممرز	-۰/۳۳	--	۰/۷۴	-۰/۲۵
	راش آمیخته	۰/۸۱	۰/۷۴	--	۰/۴۰
	راش خالص	-۰/۲۵	-۰/۲۵	۰/۴۰	--
فراوانی	انجیلی – ممرز	--	۰/۹۱	۰/۴۰	۰/۹۸
	بلوط – ممرز	۰/۹۱	--	۰/۱۹	۰/۶۱
	راش آمیخته	۰/۴۰	۰/۱۹	--	۰/۰۹
	راش خالص	۰/۹۸	۰/۶۱	۰/۰۹	--
فراوانی نسبی ممرز	انجیلی – ممرز	--	-۰/۲۲	۰/۴۴	-۰/۰۷
	بلوط – ممرز	-۰/۲۲	--	۰/۴۴	-۰/۰۷
	راش آمیخته	۰/۴۴	۰/۴۴	--	۰/۵۵
	راش خالص	-۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۵۵	--



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای میزان همگنی درون‌گروهی هر یک از توده‌های مورد پژوهش (IH: تیپ انجیلی – ممرز، OH: تیپ بلوط – ممرز، MB: تیپ راش – ممرز، PB: تیپ راش خالص، between: بین تیپ‌ها)

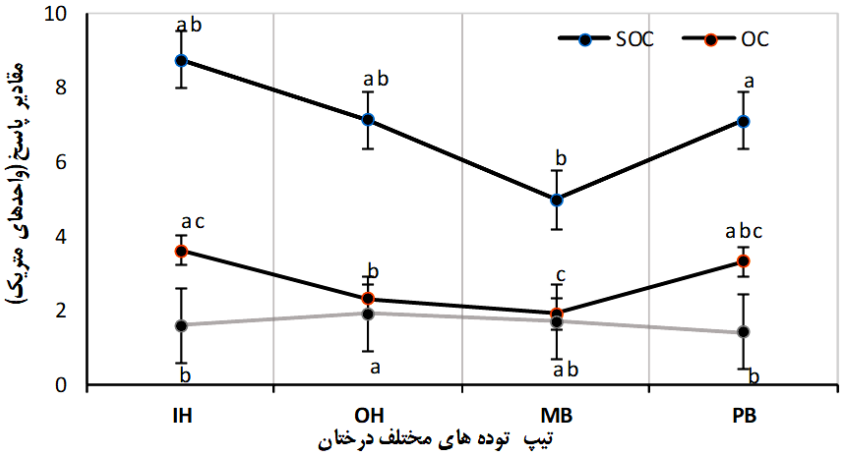
جدول ۴. نتایج آزمون پرمانوآ دوطرفه در رابطه با تغییرات موجودی کربن آلی بین تیپ توده‌های مورد پژوهش

	تعداد جایگشت	میانگین مربعات	F شبه آماره	سطح معنی‌داری
توده‌های بلوط – ممرز و راش خالص	تیپ توده‌ها	۰/۰۰۹	۰/۴۴	۰/۵۱^{ns}
	جهات دامنه	۰/۰۰۹	۰/۴۴	۰/۵۱^{ns}
	تیپ توده‌ها × جهات دامنه	۰/۰۰۹	-۰/۴۴	۰/۵۹^{ns}
	باقی‌مانده‌ها	۰/۰۲۱	--	--
توده‌های بلوط – ممرز و راش آمیخته	تیپ توده‌ها	۰/۰۳۱	۱/۷۲	۰/۰۹۸^{ns}
	جهات دامنه	۰/۰۳۱	۱/۷۲	۰/۰۹۸^{ns}
	تیپ توده‌ها × جهات دامنه	-۰/۰۳۱	-۱/۷۲	۰/۹۶^{ns}
	باقی‌مانده‌ها	۰/۰۱۸	--	--
توده‌های راش خالص و راش آمیخته	تیپ توده‌ها	۰/۰۳۱	۲/۵۷	۰/۱۱^{ns}
	جهات دامنه	۰/۰۳۱	۲/۵۷	۰/۱۱^{ns}
	تیپ توده‌ها × جهات دامنه	-۰/۰۳۱	-۲/۵۷	۰/۹۸^{ns}
	باقی‌مانده‌ها	۰/۰۱۲	--	--

روند تغییرات ذخایر کربن خاک و مؤلفه‌های محاسباتی آن از جمله درصد فاکتور کربن و جرم مخصوص خاک در توده‌های مورد پژوهش در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۳). مبتنی بر برونداد آزمون سیمپر و شکل ۳ نتایج نشان داد که روند تغییرات جرم مخصوص خاک و درصد فاکتور کربن خاک غیر متقارن بوده و در این میان میزان روند تغییرات ذخایر کربن خاک بین توده‌های مختلف در امتداد گرادیان ارتفاعی غیرمعنادار بوده است. نتایج حاکی از آن است که میزان ذخایر کربن خاک تنها بین توده‌های آمیخته و خالص راش غیرمشابه بوده است که در این راستا مقادیر متغیر مزبور در توده خالص راش نسبت به توده آمیخته راش بیشتر بوده است (شکل ۳).

جدول ۵. نتایج آزمون سیمپر در رابطه با درصد سهم هر یک از متغیرهای عامل در رابطه با عدم تشابه تیپ توده‌های مورد پژوهش

	ارتفاع از سطح دریا	فراوانی نسبی انجیلی	فراوانی نسبی شیردار	فراوانی نسبی بلندمازو	فراوانی نسبی معمرز	فراوانی نسبی راش	سطح تاج پوشش	قطر برابرسینه	تراکم	موجودی کربن آلی
	(متر)	(درصد)						(سانتی متر)	(تعداد/قطعه نمونه)	(کیلوگرم/مترمربع)
توده‌های بلوط – ممرز و	۲۱/۲۹	۰	۱/۸۹	۰/۹۱	۰/۶۳	۵/۲۴	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۰۷۶
توده راش خالص	۶۷/۷۱	۰	۶/۰۳	۲/۹۱	۲/۰۶	۱۳/۴۹	۱/۹۲	۱/۷۲	۱/۰۲	۰/۲۴
توده‌های بلوط – ممرز و	۱۷/۸۹	۰	۱/۹۴	۰/۹۴	۲/۴۶	۰/۹۳	۱/۵۷	۱/۵۳	۰/۲۷	۰/۰۹۶
توده راش آمیخته	۶۲/۰۳	۰	۶/۷۰	۳/۲۵	۸/۵۶	۳/۲۳	۵/۴۶	۵/۲۳	۰/۹۶	۰/۳۳
توده‌های راش خالص و	۳/۲۲	۰	۰	۰	۲/۵۱	۲/۷۸	۰/۹۹	۱/۰۱	۰/۳۶	۰/۰۷۶
راش آمیخته	۲۸/۲۷	۰	۰	۰	۲۲/۰۳	۲۴/۳۷	۸/۷۲	۸/۸۸	۳/۱۵	۰/۶۶
توده‌های انجیلی – ممرز و	۱۸/۳۳	۳/۳۸	۲/۸۹	۱/۴	۱/۲۱	۰	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۲۲
بلوط – ممرز	۵۷/۲۵	۱۰/۵۶	۹/۰۳	۴/۳۵	۳/۷۷	۰	۲/۲۹	۲/۳۵	۱/۳۷	۰/۷۲
توده‌های انجیلی – ممرز و	۳۴/۵	۲/۵۹	۰	۰	۲/۴۱	۱/۰۶	۱/۸۸	۲/۰۰۴	۰/۳۷	۰/۱۹
راش آمیخته	۷۳/۹۳	۵/۵۵	۰	۰	۵/۱۶	۲/۲۷	۳/۹۹	۴/۲۹	۰/۸۱	۰/۴۳
توده‌های انجیلی – ممرز و	۳۷/۸۷	۲/۵۱	۰	۰	۱/۱۲	۵/۸۲	۰/۷۲	۰/۶۱	۰/۳۸	۰/۱۵
راش خالص	۷۵/۶۸	۵/۰۲	۰	۰	۲/۲۵	۱۰/۹۲	۱/۴۴	۱/۲۱	۰/۷۷	۰/۳۱



شکل ۳. روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و ذخایر کربن آلی خاک توده‌های مورد پژوهش (IH: تیپ انجیلی – ممرز، OH: تیپ بلوط – ممرز، MB: تیپ راش – ممرز، PB: تیپ راش خالص؛ P: جرم مخصوص ظاهری خاک، OC: درصد کربن آلی خاک، SOC: ذخیره کربن خاک)

بحث و نتیجه‌گیری

از آن‌جایی که حجم نمونه‌ها در عملیات نمونه‌برداری خاک با توجه به اسلوب معرفی شده در روش تحقیق اندک بوده و همچنین با توجه به این‌که در اجرای تحلیل‌های آماری مبتنی بر حجم نمونه‌های کم امکان خطای نوع اول (I) یا خطای نوع دوم (II) نیز وجود دارد و علاوه بر آن با احتساب این‌که در تحلیل‌های ناپارامتریک نیز آزمون مقاوم‌سازی (Bootstrap) کارآیی ندارد، از این‌رو در تحلیل‌های تشابه علاوه بر سطح معنی‌داری، بیشتر شاخص رگرسیون R مبنای ارزیابی روند تغییرات قرار گرفت. بر همین مبنا نتایج پژوهش در گام اول نشان داد که درصد کربن آلی خاک معدنی توده بلوط – ممرز در مقایسه با توده‌های انجیلی – ممرز و راش آمیخته غیرمشابه بوده ولی سایر توده‌ها در قیاس با یکدیگر نسبت به میزان تغییرات کربن آلی خاک دارای اختلاف معنی‌داری نبودند. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک عمق مورد مطالعه در مقایسه جفتی تیپ توده‌های بلوط – ممرز و انجیلی – ممرز و همچنین در مقایسه جفتی تیپ‌های بلوط – ممرز و راش خالص به‌ترتیب با مقدار عددی ضریب رگرسیون ۰/۸۸ و ۰/۹۸ دارای بیشترین اختلاف نسبت به‌یکدیگر هستند. جالب توجه است که بر اساس مقادیر ضریب رگرسیون R در جدول ۳، نمی‌توان تغییرات درصد کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک عمق مدنظر را به تشابه یا عدم تشابه مؤلفه‌های زیست–فیزیکی و ویژگی‌های فیزیوگرافی در توده‌های مذکور ربط داد. در واقع تغییرات غیرمشابه یا حتی مقادیر مشابه متغیرهای پاسخ مورد اشاره در بین توده‌های مورد پژوهش مستقل از تغییرات مؤلفه‌های عامل بوده است. البته علت تغییرات متغیرهای پاسخ مورد اشاره (درصد کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری) در توده‌های مزبور می‌تواند منوط به وقوع انواع آشفتگی‌های طبیعی جنگل، الگوی مکانی فاکتور کربن آلی در لایه‌های زیرسطحی خاک، انباشت و تراکم خشک‌دارهای بستر جنگل و فرآیندهای پیچیده الکولوژیکی در رابطه با تغییرات کربن آلی خاک و روند اسفنجی شدن یا متراکم شدن خاک‌های معدنی و تأثیرات آن بر جرم مخصوص ظاهری خاک باشد. بر خلاف نتایج کلیه پژوهش‌های صورت گرفته که مؤکداً عنوان نموده‌اند اختلاف ترکیب گونه‌ای و نوع تیپ توده‌های درختان در بوم‌سازگان‌های جنگل یکی از مهمترین عامل در رابطه با روند تغییرات کربن آلی خاک‌های زیرسطحی معدنی است (۱۹، ۲۰ و ۲۱)، نتایج این پژوهش نشان داد که درصد کربن آلی و در نهایت میزان ذخایر کربن آلی خاک در تیپ‌های مختلف درختان با احتساب گرادیان ارتفاعی تغییرات معنی‌داری

نداشته‌است. در این راستا فقط مقادیر ذخایر کربن آلی خاک بین تیپ آمیخته راش (راش – ممرز) و توده خالص راش متفاوت از یکدیگر است. البته با توجه به مقدار عددی شاخص رگرسیون ۴۸ درصد، می‌توان دریافت که تغییرات موجودی کربن آلی خاک بین توده‌های مزبور تفاوت زیادی با یکدیگر ندارد. از طرفی نتایج مرتبط با تغییرات کمیت قطربرابرسینه پایه‌های درختان در تیپ‌های مختلف نشان داد که ویژگی‌های ساختاری قطربرابرسینه توده آمیخته راش با توده انجیلی – ممرز (R= ۰/۹۲) و همچنین با توده بلوط – ممرز (R= ۰/۵۸) به‌ترتیب دارای بیشترین عدم تشابه بوده است (جدول ۳). البته نتایج مذکور نشان داد که عدم تشابه تغییرات ویژگی قطربرابرسینه بین توده راش آمیخته و راش خالص نیز تقریباً قابل ملاحظه است. به‌همین منوال مقایسه جفتی تغییرات مربوط به میزان تاج‌پوشش، تراکم پایه‌های درختان و فراوانی نسبی درختان ممرز بین توده‌های مورد پژوهش در جدول ۳ قابل مشاهده است. ولی همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بین تغییرات و عدم تشابه مقادیر موجودی کربن آلی در مقایسه جفتی انواع تیپ توده‌های درختان و کمیت‌های اندازه‌گیری شده نمی‌توان هیچ تقارنی برقرار نمود (جدول ۳). به‌عنوان مثال نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات مقادیر قطربرابرسینه بین توده‌های خالص و آمیخته راش مورد پژوهش همانند مقدار شاخص مربوط به مقادیر موجودی کربن آلی بین توده‌های مزبور دارای عدم تشابه قابل ملاحظه‌ای است. ولیکن نتایج جدول مزبور نشان داد که این اختلاف ویژگی (قطربرابرسینه) درختان بین تیپ‌های راش آمیخته و انجیلی – ممرز به‌مراتب زیادتر بوده اما مقادیر موجودی کربن آلی بین تیپ‌های مورد اشاره دارای عدم تشابه نمی‌باشند.

با استناد به نتایج جدول ۳ و تغییرات معنی‌دار جهات دامنه در بین اغلب توده‌های مورد پژوهش می‌توان اذعان داشت که عامل جهت دارای اثرات بارزی بر میزان موجودی کربن باشد (۱۲). مرتبط با این نتایج دردانه و همکاران (۸) در پژوهشی در جنگل‌های زاگرس به این نتیجه دست یافتند که در جهات شرقی دامنه مقادیر ذخایر کربن خاک نسبت به سایر جهات بیشتر بوده است و دلیل آن را نیز افزایش تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌های موجود در این جهات عنوان نموده‌اند. جالب توجه این است که در سایر واحدهای فیزیوگرافی تغییرات معنی‌داری در رابطه با مقادیر ذخایر کربن خاک در پژوهش آنها مشاهده نشد. از طرفی جزدائمی و همکارن (۱۱) مقادیر ذخایر کربن آلی خاک‌های زیرسطحی لایه آلی در جنگل‌های ارسباران را منوط به تغییرات ارتفاع از سطح دریا عنوان نموده و بیان داشتند که با ارتفاع از سطح دریا ذخایر کربن آلی خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان اثرات متقابل ارتفاع از سطح دریا و جهات دامنه را در رابطه با تغییرات ذخایر کربن آلی خاک به‌عنوان عامل تعیین‌کننده عنوان نمود. با استناد به پژوهش‌های مختلف می‌توان عنوان نمود که بسیاری از عوامل زیستی و غیرزیستی در بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌توانند دارای اثرات بارزی بر تغییرات میزان موجودی کربن آلی خاک باشند. در این رابطه سلیمانی و همکاران (۲۰) گونه‌های مختلف درختان در محدوده‌های جنگلکاری، پاستور و همکاران (۱۷) انباشت انواع مختلفی از ریزچوب‌های گونه‌های مختلف کف جنگل، دارنوآ و همکاران (۶) الگوی مکانی پایه‌های درختان با احتساب کلیه ویژگی‌های ساختاری توده‌ها و متعاقباً زین و همکاران (۲۷) اثرات جانبی گستردگی تاج درختان را از جمله عوامل مؤثر بر میزان موجودی کربن آلی خاک معرفی نموده‌اند. با این تفاسیر، نتایج این پژوهش نشان داد که هیچ یک از عوامل زیست–فیزیکی و توپوگرافی متغیر در توده‌های مختلف به‌عنوان فاکتور بارز و تأثیرگذار در تغییرات موجودی کربن آلی خاک سهم ویژه‌ای نداشتند.

همان‌طور که نتایج آزمون سیمپر نشان می‌دهد مقادیر موجودی کربن آلی خاک از جمله متغیرهایی بوده است که در مقایسه جفتی بین توده‌های مورد پژوهش حداقل میانگین شاخص عدم تشابه و به‌مراتب حداقل درصد سهم عدم تشابه را به خود اختصاص داده است. روند تغییرات بر حسب شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر موجودی کربن آلی خاک در بین

توده‌های مورد پژوهش در راستای گرادیان ارتفاعی تا نقطه عطف مربوط به توده آمیخته راش روند نزولی دارد. ولی مبتنی بر نتایج تحلیلی به‌دست آمده در نتایج فوق‌الذکر روند مزبور دارای تغییرات معنی‌دار نیست. منحنی شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر موجودی کربن آلی خاک فقط بین توده آمیخته و خالص راش در راستای گرادیان ارتفاعی به‌طور معنی‌داری دارای روند صعودی است. مطابق برخی از مستندات اگر چه تغییرات اقلیمی و شرایط آب و هوایی، میزان رطوبت خاک، بافت خاک و دمای سطح محیطی خاک تأثیرات بارزی را بر روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی ایفا می‌نماید (۱۸ و ۱۹)، ولی در پژوهش حاضر با احتساب انواع تیپ‌های مختلف و گرادیان ارتفاعی تغییرات بارزی در رابطه با مقادیر موجودی کربن آلی خاک مشاهده نشد. به‌عبارت دیگر مبتنی بر تغییرات نوع تیپ و گرادیان ارتفاع از سطح دریا، کاملاً بدیهی است که شرایط آب و هوایی و دمای محیط خاک در ارتفاعات مختلف متفاوت باشد. اما با استناد به نتایج حاضر می‌توان دریافت که پارامترهای اقلیمی مزبور در رابطه با تغییرات کربن آلی خاک در گرادیان ارتفاعی عوامل مؤثری محسوب نمی‌شوند. شایان ذکر است که چودن و همکاران (۵) اذعان نمودند که افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک توده‌های جنگل می‌تواند به‌عنوان یک معرف تعیین‌کننده در رابطه با ظرفیت کربن آلی خاک محسوب شود. با افزایش وزن مخصوص ظاهری که خود نشان از کوبیدگی و کاهش خلل و فرج خاک بوده، نفوذ مقادیر کربن آلی حاصل از تجزیه فیزیکی و آبشویی لایه‌های لاشبرگی، تجمعات آلی و ریزچوب‌ها به لایه‌های معدنی خاک به‌سختی و کندی انجام می‌گیرد. از طرفی از آنجا که وو و همکاران (۲۵) نیز ماهیت اصلی انتقال مقادیر کربن آلی را ذاتاً کند معرفی می‌کند، افزایش مخصوص وزن ظاهری خاک یکی از عوامل کاهش مقادیر کربن آلی خاک محسوب می‌شود. البته در جنگل‌های مورد پژوهش سبقه‌های مدیریتی و همچنین چرای دام نیز در گذشته وجود داشته که بررسی آثار به‌جا گذاشته از آنها می‌تواند به درک بهتری از روند تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک کمک نماید. با این تفاسیر می‌توان عنوان نمود که بین روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری و مقادیر کربن آلی خاک روند وارونه وجود شته باشد. شکل ۳ نیز نشان می‌دهد که بین روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری و مقادیر کربن آلی خاک تقریباً روند وارونه‌ای وجود دارد. البته در نتایج پژوهش حاضر به‌خصوص با استناد به مقادیر شاخص R در جدول ۳ نمی‌توان به‌صورت متقن بین مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک و تغییرات درصد کربن آلی خاک روندی مرتبط را تفسیر نمود. بنابراین استدلال پژوهش‌های فوق‌الذکر نمی‌تواند با قاطعیت برای دستاورد پژوهش حاضر تعمیم داده شود. واحدی و همکاران (۲۴) در مقایسه مقادیر موجودی کربن آلی خاک داخل جنگل طبیعی در توده‌های تیپ افراپلت- انجیلی و زمین شالیزار مجاور به این نتیجه رسیدند که مقادیر موجودی کربن آلی خاک معدنی در بین توده‌های تیپ مذکور و زمین شالیزار اختلاف معنی‌داری نداشته که در این راستا یکی از عمده دلایل اصلی عدم این تغییرات را میزان شدت نور دریافتی به سطح خاک، پایداری فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و همچنین روند بسیار کند هدررفت کربن از خاکدانه‌ها معرفی نموده‌اند. این‌که در پژوهش حاضر در توده خالص و آمیخته راش به‌دلیل نوع و ترکیب گونه‌ای درختان، شدت نور دریافتی ممکن است یکی از عوامل تأثیرگذار در رابطه با تغییرات موجودی کربن آلی خاک باشد مستلزم انجام پژوهش و اندازه‌گیری در این زمینه است. تاروس و نادیر (۲۲) نیز عنوان نمودند که در اثر آشفتگی‌هایی که در توده‌های جنگل اتفاق می‌افتد به دلیل تغییر در ساختار و تنوع زیستی گیاهی و ادافیکی هدررفت کربن خاک نیز بیشتر شده و همین امر منجر به کاهش ذخایر کربن آلی خاک می‌شود. اما اینکه در توده‌های مورد پژوهش در هر یک از گرادیان ارتفاعی چه آشفتگی‌هایی و در چه مقیاسی اتفاق افتاده و این آشفتگی‌ها به چه مقدار بر شدت نور دریافتی به سطح زمین تأثیرگذار بوده اطلاعات دقیقی در دست نیست. از این‌رو می‌توان عنوان نمود که سبقه آشفتگی‌ها و رویدادهای طبیعی و غیرطبیعی که در

طول تاریخ استقرار این توده‌ها اتفاق افتاده می‌تواند یکی از دلایل روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در توده‌های مزبور باشد. ناگفته نماند که مقادیر کربن آلی خاک در بوم‌سازگان‌های جنگل دارای تغییرپذیری بسیار زیادی می‌باشد و الگوی مکانی تغییرات آن در واقع منوط به تنوع زیستی گیاهی، ویژگی‌های زیستی خاک، شرایط اقلیمی خرد، ویژگی‌های زمین‌شناختی و سایر عوامل تأثیرگذار در این زمینه است (۲ و ۱۶). علاوه بر کلیه موارد عنوان شده، تغییرپذیری مقادیر کربن آلی خاک و تفاوت در الگوی مکانی آن در هر یک از توده‌های مذکور می‌تواند یکی دیگر از مهمترین عوامل در رابطه با عدم تشابه میزان موجودی کربن آلی در داخل توده‌ها باشد. البته نتایج تحلیل آنوزیم نشان داد که تغییرپذیری فاکتور کربن آلی خاک نمی‌تواند در بین توده‌ها بسیار بارز باشد ولیکن الگوی مکانی کربن آلی خاک می‌تواند در این رابطه تأثیرگذار باشد که از این حیث مستلزم بررسی است.

با اتکاء به ویژگی‌های تحلیل‌های ناپارامتریک تشابه مبتنی بر شاخص بری – کورتیس از آن‌جایی که حجم نمونه‌ها در هر یک از توده‌ها کم بوده است به جای سطح معنی‌داری، شاخص R به‌عنوان معیار اصلی روند تغییرات متغیرهای هدف مدنظر قرار گرفته شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات وزن مخصوص ظاهری خاک و تغییرات فاکتور کربن خاک تقریباً دارای روند وارونه هستند. اگر چه روند تغییرات آنها بر مبنای عدم تشابه در هر یک از توده‌ها متفاوت از یکدیگر بوده ولی در این روند بین تشابه یا عدم تشابه متغیرهای مذکور در بین توده‌ها تقارنی وجود نداشته است. مبتنی بر نتایج آزمون سیمپر نتایج حاکی از آن است که روند تغییرات موجودی کربن آلی فقط بین توده‌های خالص و آمیخته راش دارای عدم تشابه بوده که البته بر حسب مقدار عددی R، این اختلاف یا عدم تشابه خیلی زیاد نسیت. همچنین از آنجایی که علاوه بر ارتفاع از سطح دریا جهات دامنه نیز در بین توده‌های مورد پژوهش دارای تغییرات عدیده‌ای بوده، برهم‌کنش حاصل از تغییرات تیپ (یا ارتفاع از سطح دریا) و جهات دامنه نیز بر میزان تغییرات موجودی کربن آلی خاک در توده‌های مختلف معنی‌دار نبوده است. مبتنی بر دستاورد پژوهش حاضر عواملی همچون گرادیان ارتفاع از سطح دریا، جهات دامنه و فراوانی نسبی گونه‌های درختان از جمله پایه‌های گونه ممرز بیشترین درصد سهم را در عدم تشابه بین تیپ‌های مختلف از توده‌های درختان مورد پژوهش در جنگل شفارود به خود اختصاص دادند. در صورتی که نتایج حاکی از آن بود که از بین کلیه متغیرهای زیستی اندازه‌گیری شده تغییرات موجودی کربن آلی خاک دارای کمترین درصد سهم در عدم تشابه بین توده‌ها بوده است. به‌عبارتی دیگر تیپ‌های مختلف توده‌های مورد پژوهش در برخی از مؤلفه‌ها دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای بوده ولی این تغییرات تأثیرات بارزی در میزان موجودی کربن آلی خاک توده‌های مزبور نداشته است. این بدین معنی است که بر خلاف فرضیات موجود تغییرات موجودی کربن آلی خاک معدنی توده‌های مورد پژوهش مستقل از تغییرات گرادیان ارتفاعی بوده و اثرات نوع تیپ و فراوانی نسبی انواع گونه‌های درختان نیز نقش بارزی در تغییرپذیری موجودی کربن آلی خاک توده‌های مورد پژوهش نداشته است.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از دستاوردهای پروژه ملّی "سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران (فاز اول)" مصوب مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با کد ۰۰۰۵۳۳- ۰۴۱- ۰۹- ۶۰- ۰ است.

منابع مورد استفاده

1. Atashnama, K., A. Golchin, and A. Mosavi Kopar, 2017. Measurement of changes in labile pools of soil organic

carbon and some soil properties under forest tree species in Northern Iran (Case study: Shalman Seed and Seedling of Forest Tree Species Research Station, Guilan province). *Journal of Water and Soil Conservation* 24(1):103-19. (In Persian).
2. Bai, Y. and Y. Zhou, 2020. The main factors controlling spatial variability of soil organic carbon in a small karst watershed, Guizhou province, China. *Geoderma* 357:113938.
3. Banerjee, S.K. 2014. Forest soil carbon stock along an altitudinal gradient in Darjeeling Himalayan region. *Indian Forester* 140(8):775-9
4. Bangroo, S.A., G.R. Najar, and A. Rasool, 2017. Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range. *Catena* 1(158):8-63.
5. Choden, K., B. Suberi, and P. Chhetri, 2021. Status of soil organic carbon and bulk density variation along the altitudinal gradient in Ngoba community forest under Paro Dzongkhag. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 12(6): 142-154.
6. Darenova, E., M. Cater, and M. Pavelka, 2015. Different harvest intensity and soil CO2 efflux in sessile oak coppice forests. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 9(4):546.
7. Djomo Chimi, C., L. Zapfack, and A.N. Djomo, 2018. Diversity, structure and biomass (above and below) in a semi-deciduous moist forest of East Region of Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 12(3): 60-72.
8. Dordaneh, H., K. Abrari Vajari, and Z.A. Badehian, 2022. The relationship of physiographic factors with woody plants diversity and soil carbon stock in the central Zagros forests (Case study: Hashtadpahlu, Lorestan). *Environmental Sciences* 20(3):71-86. (In Persian).
9. IUFRO, 2004. Improvement and silviculture of beech, In: Proceedings of the 7th International Beech Symposium, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Tehran, Iran.
10. Jandl, R, T. Ledermann, G. Kindermann, and P. Weiss, 2021. Soil Organic carbon stocks in mixed-deciduous and coniferous forests in Austria. *Frontiers in Forests and Global Change* 16(4):688851.
11. Jozdaemi, E., A. Golchin, and K. Moravej, 2022. An investigation on the effect of altitude on soil organic carbon storage and some other soil properties in Arasbaran forests. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 12(3):71-92. (In Persian).
12. Karamian, M., and V. Hoseini, 2015. Effects of aspect and location on organic carbon, total nitrogen and available phosphor in the forest soil (Case Study: Tangdalab in Ilam province). *Soil and Water Sciences* 19(71): 109-116 (In Persian).
13. Karimzadeh, Z., A.A. Soltani Toolarood, and H.S. Arkhazloo, 2022. Assessment of the effect of slope aspect and elevation classes on soil microbial respiration in agriculture, rangeland and forest. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research* 47(3): 231-250 (In Persian).
14. Li, M., X. Zhang, G. Pang, and F. Han, 2013. The estimation of soil organic carbon distribution and storage in a small catchment area of the Loess Plateau. *Catena* 1(101):11-6.
15. Malla, R., P.R. Neupane, and M. Köhl, 2022. Modelling soil organic carbon as a function of topography and stand variables. *Forests* 13(9):1391.
16. Osat, M. and A. Heidari, 2019. Spatial variations of organic and inorganic carbon stocks in some forest and rangeland soils of Northern Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(7):1651-66 (In Persian).
17. Pastore, G., B. Tobin, and M. Nieuwenhuis, 2019. Quantifying carbon and nitrogen losses by respiration and leaching from decomposing woody debris in reforested coniferous stands in Ireland. *Agricultural and Forest Meteorology* 265:195-207.
18. Saimun, M.S., M.R. Karim, F. Sultana, & M.A. Arfin-Khan, 2021. Multiple drivers of tree and soil carbon stock in the tropical forest ecosystems of Bangladesh. *Trees, Forests and People* 1(5):100108.
19. Sheikh, M.A., M. Kumar, N.P. Todaria, &and R. Pandey, 2020. Biomass and soil carbon along altitudinal gradients in temperate Cedrus deodara forests in Central Himalaya, India: Implications for climate change mitigation. *Ecological Indicators* 111:106025.
20. Soleimani, A., S.M. Hosseini, A.R. Massah Bavani, M. Jafari, and R. Francaviglia, 2019. The effects of tree species on soil organic carbon and soil properties in natural forest and plantations of Northern Iran (Case study: Darabkola Forest-Sari). *Journal of Environmental Science and Technology* 21(9):171-84 (In Persian).
21. Somerfield, P.J., K.R. Clarke, and R.N. Gorley, 2021. Analysis of similarities (ANOSIM) for 2-way layouts using a generalised ANOSIM statistic, with comparative notes on permutational multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 46(6):911-26.
22. Tashi, S., B. Singh, C. Keitel, and M. Adams, 2016. Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. *Global change biology*, 22(6):2255-68.
23. Vahedi, A.A. and A. Bijani-Nejad, 2015. Variation within soil organic carbon pool in the forest-paddy field edges (case study: Nour forest park). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 23(1): 60-76 (In Persian).

24. Wu, X., D. Fu, C. Duan, G. Huang, and H. Shang, 2022. Distributions and influencing factors of soil organic carbon fractions under different vegetation restoration conditions in a subtropical mountainous area, SW China. *Forests* 13(4):629.
25. Zhu, B., X. Wang, J. Fang, S. Piao, H. Shen, S. Zhao, and C. Peng, 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Journal of Plant Research* 123:439-52.
26. Zinn, Y.L., A.B. Andrade, M.A. Araujo, and R. Lal, 2018. Soil organic carbon retention more affected by altitude than texture in a forested mountain range in Brazil. *Soil Research* 56(3):284-95.

Soil Carbon Storage Trend in Various Types of Tree Stands in Shafarood Forests, Guilan Province

A.A. Vahedi[1*], S. Sobhzahedi[2], M. Alidoost[3] and M. Matinizadeh[4]

(Received: April 04-2023; Accepted: August 05-2023)

Abstract

The current research aimed to assess the fluctuations of Soil Organic Carbon (SOC) variations in different types of forest stands along the gradient of altitude, and identify the influential factors for the its variations. Based on the random design, four plots with the surface area of 400 m^2 in different stand types were established. Soil sampling up to 15cm depth in center and the corners of the each plots were taken. The biophysical attributes of trees as well as physiographical units were measured and recorded within each plot. The results of one-way ANOSIM analysis indicated the lack of similarity of SOC between pure and mixed beech stands ($R \cong 0.5$) and no significant difference between other stands. The results of the two-way PERMANOVA test also showed that the amount of SOC is independent of the effects of slope and the elevation gradient. The SIMPER test illustrated that the trends of soil organic carbon and soil bulk density were inverse among the stands and the gradient of altitude. However, their trends were not symmetric based on the pairwise comparisons. As a general conclusion, the fluctuations of soil organic carbon in the different types of forest stands are independent of the altitude gradient, stand type and biophysical factors, and the relative abundance of various tree species did not have a significant contribution to the variability of the soil carbon storage of the studied stands.

Keywords: Forest stand types, Dissimilarity contribution, Bray- Curtis index, Altitudinal gradient, Soil carbon stock

1. Assist. Prof., Natural Resources Researches Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
2, 3. Researcher., Natural Resources Researches Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
4. Assoc. Prof. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization, AREEO, Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: as.vahedi@areeo.ac.ir