تغییرات ذخایر وزنی حوض کربن آلی خاک در ارتباط با تنوع زیستی گیاهی (مطالعه موردی: جنگل‌های آمیخته راش گلندرود نور)

علی اصغر واحدی[۱*]، اسداله متاجی[۱] و جواد اسحاقی راد[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۳۰)

چکیده

ذخایر حوض کربن آلی خاک جنگل نقش بسیار مهمی در چرخه جهانی کربن و کاهش تغییرات اقلیمی دارد. لذا تعیین ارتباط و هم‌بستگی بین عوامل مختلف، از جمله تنوع زیستی گیاهی و مقادیر وزنی حوض کربن آلی خاک گامی مؤثر در پیش‌بینی تغییرات آن محسوب می‌گردد. از این رو تحقیق حاضر در قطعه شاهد با مساحت ۳۸ هکتار در جنگل آمیخته راش گلندرود نور صورت گرفت. در پلات‌هایی با مساحت ۴۰۰ m^2 به‌صورت سیستماتیک با فاصله ثابت ۱۰۰ متر از یکدیگر، کلیه پوشش‌های درختی و در میکروپلات‌هایی با مساحت ۱ m^2 در مرکز و چهارگوشه پلات اصلی، کلیه پوشش‌های علفی برای محاسبه شاخص‌های تنوع شانون وینر(H')، یکنواختی پایلو (J')، غنای گونه‌ای(SR)، غلبه گونه‌ای (D)، فراوانی (Abundance) و مقدار اهمیت گونه‌ای (SIV) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. در مرکز هر میکروپلات پس از کنار زدن کامل لایه لاشبرگی نمونه‌های خاک از عمق‌های مختلف (۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر) برداشت شدند. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که ذخایر وزنی حوض کربن آلی خاک در عمق دوم نسبت به سایر اعماق خاک به‌صورت معنی‌داری، بیشتر است. نتایج ضریب هم‌بستگی پیرسون نشان داد که از بین کلیه شاخص‌های تنوع زیستی درختی، فقط بین فراوانی لایه درختی و ذخایر کربن آلی در عمق اول خاک هم‌بستگی معنی‌دار مثبت وجود دارد. هم‌چنین بین شاخص‌های یکنواختی پایلو، غلبه گونه‌ای پوشش‌های علفی و وزن حوض کربن آلی در عمق سوم خاک، وزن کل حوض کربن آلی خاک؛ به‌ترتیب هم‌بستگی معنی‌دار وجود داشت. البته بین شاخص غلبه گونه‌ای و کلیه مخازن آلی کربن خاک در اعماق مذکور رابطه عکس وجود داشت. هم‌چنین بین شاخص تنوع شانون وینر پوشش علفی و وزن حوض کربن آلی عمق سوم خاک، وزن کل حوض کربن آلی خاک هم‌بستگی معنی‌دار قوی و مثبت وجود داشت. بر خلاف نتایج به‌دست آمده، شاخص اهمیت گونه‌ای و غنای گونه‌ای پوشش گیاهی با تغییرات ذخایر وزنی حوض کربن آلی خاک در کلیه سطوح معرفی شده ارتباط معنی‌دار نداشت که این رویداد نشان می‌دهد تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه مستقل از ارتباط با مقادیر شاخص‌های اهمیت گونه‌ای و غنای گونه‌ای پوشش درختی و علفی می باشد.

واژه‌های کلیدی: حوض کربن آلی خاک، تنوع گونه‌ای، پوشش درختی و علفی، جنگل آمیخته راش، گلندرود نور

۱. گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۲. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ali.vahedi60@gmail.com

مقدمه

ذخایر کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی به‌دلیل تأثیرگذاری در میزان تولیدات و بیوماس جنگل به‌عنوان فاکتور تأثیرگذار در چرخه جهانی کربن و کاهش تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین رویدادهای زیست محیطی عصر حاضر محسوب می گردد (۲۴). در اکوسیستم‌های جنگلی عوامل مختلفی بر میزان ذخایر وزنی کربن در واحد سطح در قالب حوض کربن آلی خاک تأثیر گذارند که یکی از مهم‌ترین عوامل مذکور تغییرات پوشش‌های گیاهی جنگل می‌باشد (۱۶). در تحقیق حاضر، تغییرات پوشش‌های گیاهی در قالب تنوع‌گونه‌ای گیاهی موردبررسی قرار می‌گیرد چرا که جیمنز و همکاران (۱۸) اذعان دارند که تنوع گونه‌ای گیاهی در شکل‌های مختلف رویشی اعم از درختان و پوشش‌های زیرین جنگل می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان ذخایر کربن آلی خاک باشد. به‌دنبال این موضوع می‌توان به مطالعه هلینگزورث و همکاران (۱۶) در ۳۲ رویشگاه مختلف در بخش‌های شمالی آمریکا در آلاسکا اشاره کرد که نتیجه گرفتند که ترکیب و تنوع‌گونه‌ای پوشش‌های گیاهی (درختی، درختچه‌ای و علفی) می‌تواند یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین و پیش‌بینی میزان تغییرات ذخایر کربن آلی خاک مطرح گردند. پوشش‌های گیاهی جنگل به‌طرق گوناگون می‌توانند در میزان ذخایر کربن آلی خاک تأثیرگذار باشند. درختان و درختچه‌ها می‌توانند از طریق ریشه‌دوانی در خاک، ایجاد انواع لاشبرگ‌های موجود در کف جنگل با کیفیت‌های متفاوت، تبادلات عناصر غذایی مختلف بین خاک و اندام‌های گیاهی و میزان فضای به اشتراک گذاشته در خصوص تاج پوشش بر روی کلیه خصوصیات خاک از جمله ذخایر کربن آلی خاک تأثیرات مختلف داشته باشند (۱۶). البته باید در نظر داشت که ارزش‌های مختلف به‌دست‌آمده از شاخص‌های رایج تنوع گونه‌ای گیاهی بیانگر شرایط رویشگاهی از جمله شرایط ادافیکی گونه‌های گیاهی یا توده‌هایی می‌باشند که جایگاه غالب را دارند (۱۵). برای مثال فراوانی نسبی تیپ‌های گیاهی غالب در اکوسیستم‌های جنگلی می‌تواند یکی از عوامل اصلی و تعیین کننده پویایی(Carbon dynamic) و چرخه تبادلی کربن (Carbon turnover cycle) در خاک باشد (۱۷).

جنگل‌های هیرکانی جزء جنگل‌های کهن دنیا محسوب می‌شوند که از نظر تعداد و تنوع فلور گیاهی نسبت به جنگل‌های مشابه خود از نظر سیمای ظاهری در جهان بسیار غنی‌تر می‌باشند (۷). جنگل‌های آمیخته راش یکی از مهم‌ترین جوامع گیاهی در جنگل‌های مذکور محسوب می شود که به‌دلیل داشتن ترکیب‌های گیاهی پویا و متنوع در لایه‌های مختلف گیاهی می توانند سهم عمده‌ای را در ذخایر کربن آلی خاک داشته باشند. ازاین‌رو تحقیق حاضر در یکی از جنگل‌های آمیخته راش در محدوده جنگل‌های گلندرود نور صورت پذیرفت. شایان ذکر است که نوع گونه‌های گیاهی و یا تیپ جنگلی می تواند معرف میزان ذخایر کربن آلی خاک باشد (۱۷). به‌عنوان مثال جندل و همکاران (۱۷) عنوان می کنند که جنگل‌های کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) معرف خاک‌های کم‌عمق با حداقل میزان کربن آلی خاک می باشند ولی در قبال آن جنگل‌های با حضور گونه راش (*Fagus sylvatica* L.) دارای خاک‌های حاصلخیز با میزان بیشتری از ذخایر آلی کربن خاک می باشند. اما در عین‌حال، کربی و پتوین (۲۱) با بررسی تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در بین گونه های مختلف درختان در جنگل‌های تروپیکال نتیجه گرفتند که به‌دلیل تغییرپذیری زیادی که در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک وجود دارد بین غناء گونه‌ای پوشش درختی و ذخایر کربن خاک ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. کانتارلو و همکاران (۱۳) در رابطه با مطالعه تأثیرات تغییر کاربری اراضی در منطقه جنوب غربی انگلستان گزارش دادند که با استراتژی افزایش تنوع زیستی گیاهی و تغییر در ترکیب و توزیع پوشش‌های گیاهی در زمین‌های زراعی و مراتع و تبدیل تدریجی آنها به اکوسیستم‌های جنگلی پهن‌برگ، مقادیر موجودی کربن خاک به حداکثر میزان خود می‌رسد.

در داخل کشور پژوهشی در مورد موضوع تحقیق حاضر در رویشگاه‌های جنگلی صورت نگرفته است. ولی در این راستا

می‌توان به مطالعه محمودی طالقانی و همکاران (۶) در رابطه با بررسی ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت در شمال کشور اشاره کرد که گزارش دادند، آمیختگی گونه‌ای درختان منجر به تیپ‌های مختلف می‌گردد که همین امر باعث افزایش ظرفیت ترسیب کربن خاک می‌شود. اندازه گیری وزنی ذخایر حوض کربن آلی خاک به‌دلیل تغییرات الگوی مکانی آن و کند بودن مراحل تجمع کربن آلی جهت ذخیره شدن در خاک و هم‌چنین به‌دلیل این‌که روند ذخیره شدن و سطح حوض کربن آلی در عمق‌های مختلف خاک دارای تفاوت‌های قابل ملاحظه ای می باشد، بسیار طاقت‌فرسا، هزینه‌بر و در برخی شرایط ناممکن می باشد (۱۷، ۲۴). لذا تحقیق حاضر با اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی و میزان هم‌بستگی آن با وزن ذخایر حوض کربن آلی خاک در سطوح مختلف، در پی این است که تنوع زیستی گیاهی تا چه اندازه می‌تواند مبین و معرف (شاخص) تغییرات ذخایر کربن آلی خاک باشد.

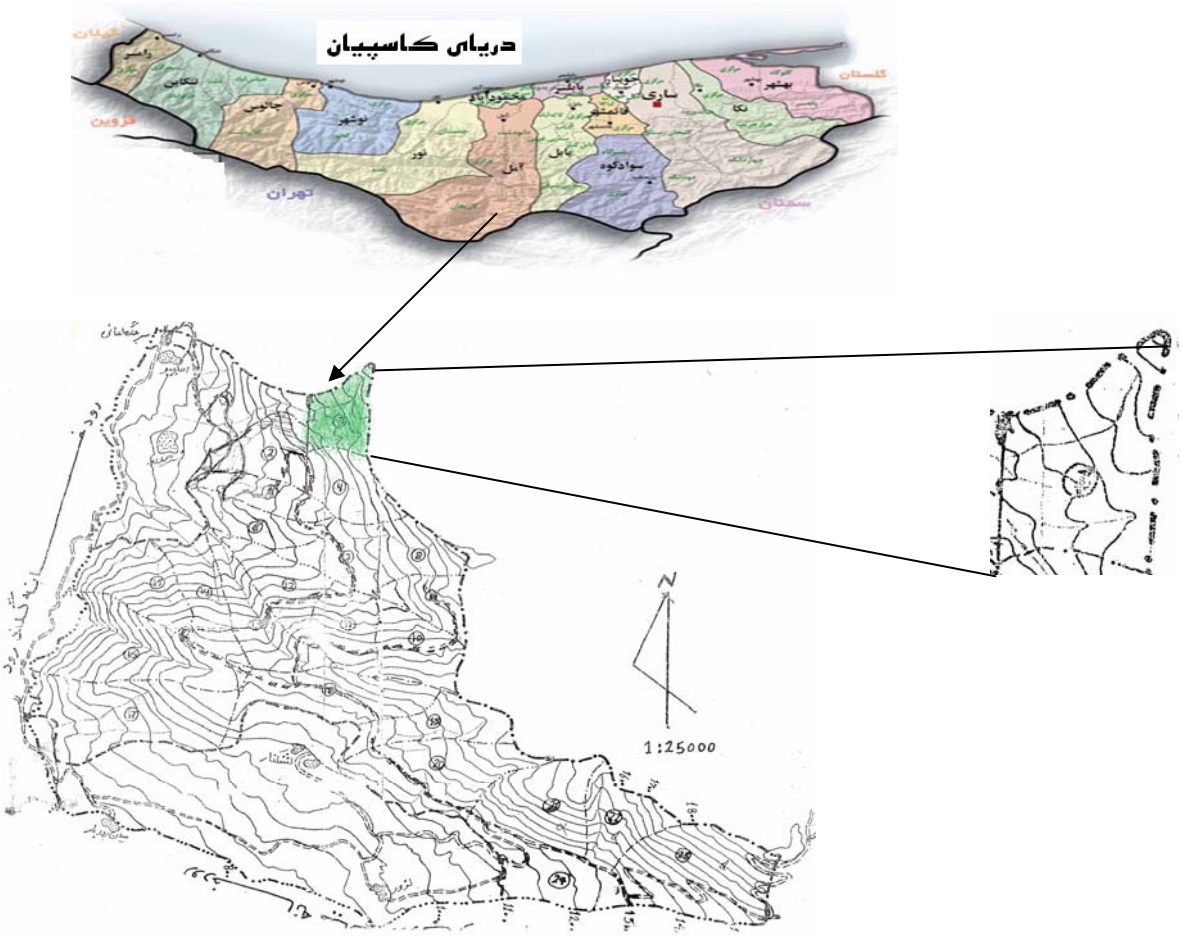
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

تحقیق موردنظر در قطعه شاهد سری ۳ جنگل‌های گلندرود نور واقع در حوزه آبخیز ۴۸ جنگل‌های شمال ایران صورت گرفته است (شکل ۱). محدوده این رویشگاه، معروف به سری سه سرگلند در بین عرض جغرافیایی ″۳۰ ′۲۷ °۳۶ ، ″۱۵ ′۳۲ °۳۶ و طول جغرافیایی ″۲۵ ′۵۳ °۵۱، ″۲۵ ′۵۷ °۵۱ قرار دارد. مساحت قطعه مورد مطالعه ۳۸ هکتار است که به‌عنوان پارسل ۳ سری ۳ گلندرود نور محسوب می گردد. محدوده ارتفاع در قطعه مورد مطالعه ۹۶۰ تا ۱۳۴۰ متر از سطح دریا می باشد. رویشگاه مورد مطالعه از جمله جنگل‌های آمیخته راش می باشد که در آن گونه راش (*Fagus orientalis* Lipskey) به‌صورت آمیخته با بلوط (*Quercus castanifolia* C.A. May)، ممرز (*Carpinus betulus* Lipskey.)، پلت (*Acer velutinum* Bioss) و سایر گونه‌های درختی پراکنش دارد (جدول ۱). هم‌چنین سنگ مادری آهک- مارن بوده و تیپ خاک نیز قهوه ای جنگلی تا راندزین می باشد (۳). برای دریافت اطلاعات مربوط به هواشناسی منطقه موردنظر، به‌طور مستقیم از جدیدترین اطلاعات به‌دست آمده در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی که واقع در شهرستان نوشهر می باشد استفاده شد. آمار دریافتی طی ۳۰ سال گذشته نشان داد که میانگین حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب در اواسط مرداد ماه تا اواخر شهریور به میزان ۲۸/۸ و در ماه بهمن به‌میزان ۳/۹ درجه سانتی‌گراد می باشد. متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۹۳/۵ میلی‌متر می‌باشد که میانگین حداقل بارندگی در مرداد ماه و میانگین حداکثر بارندگی در اواخر آبان ماه تا اوایل آذر ماه، گزارش شده است.

روش تحقیق

در این تحقیق جهت برداشت پوشش‌های درختی سطح پلات با توجه به سطح نهایی تعیین شده در جنگل‌های معتدله، ۴۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد (۲، ۵ و ۱۲) و درختان با قطر بزرگ‌تر از ۸ سانتی‌متر برداشت گردیدند. تعداد ۳۸ پلات به‌طور سیستماتیک با فاصله ۱۰۰ متر در سطح منطقه مورد مطالعه پیاده شدند تا کلیه تغییرات به‌صورت ثابت موردبررسی قرار گیرند (۲۸). سطح پلات برداشت پوشش‌های علفی یک مترمربع ($1\times1\ m^2$) در نظر گرفته شد که در مرکز و چهار گوشه هر پلات اصلی در جهات مختلف پیاده گردید (۱۵). در مرکز هریک از میکرو پلات‌ها پس از کنار زدن کامل لایه لاشبرگی نمونه‌های خاک از عمق‌های مختلف (۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر) برداشت شدند (۱، ۶، ۱۲ و ۲۹). البته برای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌های مختلف خاک مربوط به هر عمق با یک‌دیگر مخلوط شده و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک قبل از انتقال به داخل محیط آزمایشگاه در هوای آزاد کاملا خشک گردیده و پس از خرد شدن کامل از الک‌های ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در این میان کلیه ناخالصی‌های خاک اعم از سنگ‌ریزه‌ها، خرده‌چوبها و ریشه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر جدا شدند و کلیه مواد از جمله ریشه‌ها، سنگریزه‌ها و کلیه مواد ریز کمتر از ۲ میلی‌متر جزء آنالیز



شکل۱. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی سری سرگلند نور و پارسل هدف (قطعه شاهد) مورد مطالعه

جدول ۱ . ترکیب گونه‌های درختی و میانگین درصد پوشش آنها در قطعات نمونه

گونه های درختی	درصد پوشش (میانگین ± اشتباه معیار)
Acer velutinum Boiss.	۳۹/۳۷±۱۹/۴۳
Quercus castaneifolia C.A. May	۳۸/۴۰ ± ۱۱/۱
Carpinus betulus L.	۶۶/۶۹ ± ۱۲/۰۴
Tilia platyphyllus L.	۲۰/۴۸ ± ۱۱/۹۱
Alnus subcordata C.A. May	۱۶/۳۴ ± ۹/۱۱
Acer cappadocicum Gled.	۵/۰۵ ± ۳/۵۷
Prunus avium	۳/۳۹ ±۱/۹۷
Carpinus schuschaensis	۹/۵۶ ± ۵/۴۱
Fagus orientalis L.	۷۶/۲۷ ± ۱۹/۷۲
Sorbus torminalis	۷/۴۹ ± ۴/۱۴
Zelkova carprinifolia	۱۴/۸۲ ± ۶/۴۲
Parrotia persica (DC.) C. A. May.	۱۷/۹۴ ± ۳/۹۶
Fraxinus excelsior L.	۱۴/۴۸ ± ۵/۳۲
Diospyros lotus L.	۲/۵۸ ± ۱/۰۶

آزمایشگاهی خاک قرار گرفتند (۲۶). در روش‌های آزمایشگاهی برای محاسبه وزن مخصوص خاک به‌روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و برای تعیین درصد کربن آلی از روش والکی و بلاک استفاده شد (۱۱).

به‌منظور تعیین ذخیره وزنی حوض کربن آلی خاک از رابطه $SOC_P = [\%C] \times [BD] \times [LD]$ استفاده شد (۱۸، ۲۱ و۲۶). در این رابطه، SOC_P، %C، BD و LD به‌ترتیب وزن حوض کربن آلی خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع (g/cm^2)، درصد کربن خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) و عمق خاک بر حسب سانتی‌متر (cm) می باشد.

کمیت‌های اندازه گیری شده پوشش درختی در هر یک از قطعات نمونه شامل قطر بزرگ تاج، قطر کوچک تاج برای محاسبه سطح تاج پوشش و فراوانی پایه‌های موجود بود. برای محاسبه سطح تاج پوشش، با توجه به فرم نامشخص سطح پوششی درختان اندازه‌گیری شده در هر یک از پلات‌های مدنظر از رابطه زیر استفاده شد (۸):

$$A = \pi /۴ \times (d_۱ + d_۲ /۲)^۲$$

در این رابطه: A سطح تاج پوشش بر حسب متر مربع (m^2)، $d_۱$ و $d_۲$ به‌ترتیب قطر بزرگ تاج و قطر کوچک تاج بر حسب متر (m) می‌باشند. برای پوشش علفی نیز میانگین فراوانی و سطح درصد پوشش به‌دست آمده از میکروپلات‌ها در سطح کل پلات مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای نمایش شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی، از رایج‌ترین شاخص‌ها استفاده شد. شاخص‌های مورد استفاده عبارت‌اند از ۱- فراوانی Abundance که محاسبه آن برای پوشش درختی به‌صورت عینی یعنی برآورد دقیق پوشش تاجی و برای پوشش علفی به‌دلیل سهولت در کار به‌صورت ذهنی (تخمینی) صورت گرفت (۲، ۲۳). ۲- تنوع شانون وینر H' که برای محاسبه آن از کمیت فراوانی نسبی گونه‌ای استفاده شد (۲، ۴، ۲۵ و ۲۷). ۳- شاخص غنای گونه‌ای SR که برای محاسبه آن از شمارش تعداد گونه‌ها استفاده شد (۲، ۲۷). ۴- یکنواختی پایلو J' که برای محاسبه آن از نسبت تابع شانون به حداکثر مقدار برآورد شده آن استفاده می‌شود (۴،۲، ۲۵ و ۲۷). ۵- غلبه گونه‌ای D که از طریق مجموع مربعات فراوانی گونه‌ای مورد محاسبه قرار می گیرد (۲، ۲۵). ۶- مقدار اهمیت گونه‌ایSIV که مجموع فراوانی نسبی، تراکم نسبی و چیرگی نسبی می‌باشد (۴).

کلیه داده‌های به‌دست آمده در طی مراحل ذکر شده پس از ورود در نرم افزار SPSS 17.0 توسط آزمون Kolmogorov-Sminov مورد آزمون نرمالیته قرار گرفتند و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون Levene مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه وزن حوض کربن آلی عمق‌های مختلف خاک از آزمون واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد و متعاقبا برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. جهت تعیین هم‌بستگی بین شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی و مقادیر وزنی حوض کربن آلی خاک از ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده گردید.

نتایج

جدول ۱ و ۲ ترکیب گونه‌های درختی و علفی و میانگین درصد پوشش هر یک از گونه‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. با توجه به عدم حضور قابل‌توجه پوشش درختچه‌ای در منطقه مورد مطالعه از ارائه آن خودداری گردید. طبق نتایج به‌دست‌آمده، حداکثر پوشش گیاهی متعلق به گونه‌های درختی راش، ممرز، پلت و بلندمازو می‌باشد و از بین گونه‌های علفی نیز جگن (کارکس) حداکثر پوشش را نسبت به بقیه گونه‌های گیاهان علفی به خود اختصاص داد.

جدول ۳ نتایج آزمون ANOVA مربوط به پارامترهای محاسباتی وزن حوض کربن آلی خاک و مقادیر وزنی ذخایر حوض کربن آلی را در عمق‌های مختلف خاک نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در جدول مذکور فقط وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) در عمق‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با یک‌دیگر نشان ندادند ($P > 0.05$). نتایج حاصل از آزمون توکی نشان داد که میانگین درصد کربن

جدول۲. ترکیب گونه‌های علفی و میانگین درصد پوشش آنها در قطعات نمونه

گونه‌های علفی	درصد پوشش (میانگین ± اشتباه معیار)
Sambucus Ebulus L.	۸/۰۸ ± ۲/۵
Cyclamen goum Miller.	۱۸/۵۹ ± ۲/۴
Sanicula europaea L.	۱۲/۱۸ ± ۳/۳۰
Mentha longifolia (L.) Huds	۲/۵ ± ۱/۳
Asperula odorata (L.) Scop	۵/۰۸ ± ۱/۲
Euphorbia amygdaloides L.	۱۲/۶۴ ± ۴/۴
Laser trilobium	۲/۲۴ ± ۱/۰۵
Pteris cretica L.	۵/۵ ± ۲/۰۶
Rubus persicus Boiss.	۱۳/۴۰ ± ۳/۸۱
Vicia sativa	۵/۰۴ ± ۱/۶
Urtica dioica L	۸/۰۸ ± ۲/۹
Viola odorata L .	۱۴/۶۴ ± ۲/۷
Erythronium denis-canis L.	۱/۷۶ ± ۰/۹۹
Scilla greilhuberi Speta.	۰/۵۲ ± ۰/۴۸
Polygala anatolya L.	۷/۴±۱/۹
Ruscus hyrcanus Woron.	۱۰/۲۰ ± ۴/۱۶
Mercurialis perennis L.	۲/۷۲ ± ۱/۲۷
Fragoria vesca L.	۷/۶۹ ± ۲/۹۲
Primula heterochroma Stapf.	۷/۱۳ ± ۱/۵۲
Cardamine bolbifera L.	۲/۴۴ ± ۱/۲۳
plantago lonceolata L.	۲/۹۵ ± ۱/۲۶
Galium setaceum L.	۲/۴۱ ± ۰/۹۰
Petroselinum sativum Hill.	۳/۱۲ ± ۱/۰۲
Danae racemosa (L.)Moench	۰/۹۳ ± ۰/۴۹
Carex divulsa L	۴/۷۴ ± ۱/۷۷
Carex sylvatica Huds .	۳۱/۴۶ ± ۴/۱۸
Oplismenus undulatifolius P. Beauv.	۴/۱۶ ± ۱/۵۹
Ungernia flava L.	۸/۳۲ ± ۳/۰۸
Ungernia trisfaera L.	۵/۴ ± ۲/۳
Pimpinella affinis Ledeb	۷/۶۴ ± ۳/۳۷
Epimedium pinnatum L.	۱۶/۳۶ ± ۲/۹۳
Hedera pastuchovii Worn Ex.Grossh.	۱۴/۴۶ ± ۳/۸۷

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک در عمق‌های مختلف

	کربن آلی٪	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	وزن حوض کربن آلی ($t.ha^{-1}$)
مقدار F محاسباتی	۱۵۶/۹۵۲	۰/۶۳۲	۳۷/۷۷۹
مقدار P	۰/۰۰۰**	۰/۵۳۵ ns	۰/۰۰۰**

** و ns: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد و عدم معنی‌داری است

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین آزمون توکی مربوط به ویژگی‌های خاک در عمق‌های مختلف خاک

	کربن آلی٪	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	وزن حوض کربن آلی ($t.ha^{-1}$)
عمق اول (۱۰cm-۰)	۱/۲۷ [a]	۱/۴۷ [a]	۱۸۸/۲۶ [b]
عمق دوم (۳۰cm-۱۰)	۰/۷۹ [b]	۱/۴۷ [a]	۲۳۴/۳۲ [a]
عمق سوم (۵۰cm- ۳۰)	۰/۴۱ [c]	۱/۴۴ [a]	۱۲۱/۲۸ [c]

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد در عمق‌های مختلف خاک می‌باشد.

جدول ۵. میانگین (± خطای معیار) شاخص‌های تنوع زیستی پوشش‌های درختی و علفی در منطقه مورد مطالعه

	Abundance	H'	SR	J'	D	SIV
پوشش درختی	۷۸/۲۳ ± ۷/۱۰	۱/۱۵ ±۰/۰۸	۴/۹۲ ±۰/۳۳	۰/۷۳ ±۰/۰۳	۰/۴۱ ±۰/۰۳	۴/۴۵ ±۰/۱۳
پوشش علفی	۳۵/۱۳ ± ۲ /۰	۱/۹۱ ±۰/۰۴	۱۰/۷۶ ±۰/۳۷	۰/۸۰ ±۰/۰۱	۰/۲۱ ±۰/۰۱	۳/۷۱ ±۰/۱۶

Abundance: شاخص فراوانی، H': شاخص تنوع شانون ، SR: شاخص غناء گونه‌ای، J': شاخص یکنواختی پایلو، D: شاخص غلبه گونه‌ای سیمپسون، SIV: شاخص اهمیت گونه‌ای

آلی(Carbon concentration) در عمق اول نسبت به سایر لایه‌های معدنی خاک، دارای مقدار بیشتری است و با افزایش عمق میزان آن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. درصورتی‌که میانگین ذخیره وزنی حوض کربن آلی در عمق دوم خاک نسبت به سایر اعماق به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای دارای مقدار وزنی بیشتر و عمق سوم، دارای کمترین مقدار می‌باشد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که میانگین کل مقدار وزنی حوض کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه ۵۴۳/۸۷ ± ۲۲/۰۷ $t.ha^{-1}$ می‌باشد.

جدول ۵ میانگین شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی در اشکوب درختی و علفی را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. مطابق جدول مربوطه شاخص مقدار اهمیت گونه‌ای (SIV) و فراوانی (Abundance) لایه درختی ارزش عددی بیشتری را در مقایسه با پوشش‌های علفی نشان می‌دهد درصورتی‌که دیگر شاخص‌های ارائه شده تنوع زیستی پوشش علفی مقادیر بیشتری را نسبت به شاخص‌های پوشش درختی نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از آزمون هم‌بستگی پیرسون نشان داد که بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختی و ذخایر وزنی کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف، هم‌بستگی معنی‌داری وجود ندارد و تنها بین فراوانی لایه درختی منطقه موردمطالعه و ذخایر کربن آلی خاک در عمق اول هم‌بستگی مثبت ($P < 0.01$) وجود دارد (جدول ۶).

نتایج حاصل از آزمون هم‌بستگی پیرسون بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای درختی و ذخایر وزنی کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف نشان داد که مقادیر وزنی ذخایر کربن آلی در عمق سوم خاک (۵۰ cm- ۳۰) با شاخص تنوع گونه‌ای شانون وینر (H') و یکنواختی پایلو هم‌بستگی مثبت و قوی ($P < 0.01$) و با شاخص غلبه گونه‌ای (D) هم‌بستگی منفی و قوی دارد. به‌همین‌نحو، کل ذخایر کربن آلی خاک که مجموع ذخایر کربن آلی به‌دست آمده از ۳ عمق مختلف خاک می‌باشد با شاخص‌های مذکور هم‌بستگی معنی‌دار نشان داد (جدول ۷).

بحث و نتیجه‌گیری

از آن‌جایی‌که رودریگز و همکاران (۲۷) در رابطه با مطالعه تنوع زیستی گیاهی در جنگل‌های آمیخته بلوط، کلیه شاخص‌های ارائه شده چه در قالب درختی و چه در قالب پوشش‌های علفی را به‌عنوان پتانسیل طبیعی و روند تأثیرگذار نوع مدیریتی در منطقه مورد مطالعه خودشان معرفی کردند، از این‌رو شاخص‌های تنوع‌زیستی ارائه شده در قالب رویش درختی و علفی در منطقه مورد مطالعه حاضر، می‌تواند یکی از ویژگی‌های

جدول ۶. نتایج حاصل از آزمون هم‌بستگی پیرسون بین مقادیر وزنی ذخایر کربن آلی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی پوشش درختی.

	Abundance	H'	SR	J'	D	SIV
ذخایر وزنی کربن آلی عمق اول (۰–۱۰cm)	۰/۵۹**	۰/۱۴ns	۰/۰۶۳ns	۰/۱۷ns	−۰/۱۲ns	۰/۰۳ns
ذخایر وزنی کربن آلی عمق دوم (۱۰–۳۰cm)	۰/۲۵ns	۰/۰۷ns	۰/۰۳ns	۰/۱۰ns	−۰/۰۲ns	−۰/۰۴ns
ذخایر وزنی کربن آلی عمق سوم (۳۰ –۵۰cm)	۰/۲۴ns	۰/۱۳ns	−۰/۰۴ns	۰/۰۹ns	−۰/۱۷ns	−۰/۰۱ns
کل ذخایر وزنی کربن آلی خاک	۰/۳۷ns	۰/۱۳ns	۰/۰۶ns	۰/۱۷ns	۰/۱۳ns	−۰/۰۱ns

ns :P > 0.05 ، ** : P < 0.01

جدول ۷. نتایج حاصل از آزمون هم‌بستگی پیرسون بین مقادیر وزنی ذخایر کربن آلی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی.

	Abundance	H'	SR	J'	D	SIV
ذخایر وزنی کربن آلی عمق اول (۰ –۱۰cm)	−۰/۲۴ns	۰/۳۳ns	۰/۱۴ns	۰/۲۴ns	−۰/۲۸ns	−۰/۰۷ns
ذخایر وزنی کربن آلی عمق دوم (۱۰ –۳۰cm)	−۰/۲۲ns	۰/۲۹ns	۰/۱۳ns	۰/۰۷ns	−۰/۲۷ns	−۰/۰۶ns
ذخایر وزنی کربن آلی عمق سوم (۳۰ –۵۰cm)	−۰/۳۳ns	۰/۶۲**	۰/۲۳ns	۰/۵۱**	−۰/۵۷**	−۰/۱۱ns
کل ذخایر وزنی کربن آلی خاک	−۰/۳۳ns	۰/۵۲**	۰/۲۱ns	۰/۴۷*	۰/۴۷*	−۰/۱۱ns

ns :P > 0.05 ، ** : P < 0.01، * :P < 0.05

بارز جنگل‌های آمیخته راش در جنگل‌های هیرکانی معرفی شود. ذخایر کربن آلی در سطوح مختلف حوضچه‌های(Carbon sink) خاک و در نهایت در سطح حوض کربن خاک(Carbon pool) علاوه بر این که در هریک از عمق‌های مختلف خاک، دارای ساختار مولکولی پیچیده ای هستند، دارای زمان چرخه تبادلی خیلی زیادی هستند که میزان تبادل و تغییرات آنها به‌همین ساختار و زنجیره مولکولی آن نیز بستگی دارد (۲۴). لذا تغییرات در میزان ذخایر کربن آلی در سطوح مختلف حوض کربن آلی خاک و افزایش یا کاهش آن به دلایل اشاره شده، می‌تواند تحت تأثیر مستقیم تنوع زیستی گیاهی قرار نگیرد. همان‌طورکه مشاهده شد، مقادیر وزنی ذخایر حوض کربن آلی خاک در سطوح مختلف باهیچ یک از شاخص‌های تنوع زیستی لایه درختی هم‌بستگی معنی‌داری نداشت که بر این اساس می‌توان گفت که ظاهرا تغییرات وزنی ذخایر کربن آلی خاک مستقل از تغییرات تنوع زیستی درختی در منطقه موردمطالعه می باشد. البته نتایج نشان داد که فراوانی پوشش درختی دارای هم‌بستگی مثبت با ذخایر کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه می باشد. افزایش درصد پوششی لایه درختی مسلماً باعث افزایش حجم لاشبرگ‌ها، خرده‌چوب‌ها و سایر مواد آلی حاصله از درختان می گردد. با توجه به ترکیب پوشش درختی غالب منطقه مورد مطالعه، حجم لاشبرگی منطقه سرسخت(litter recalcitrant)، چرمی شکل (لاشبرگ‌های حاصل از راش و بلوط) و دیرتجزیه پذیر(slow decomposition rate) می‌باشد. بسیاری از مطالعات در بازه‌های زمانی بلند مدت به این نتیجه رسیدند که بیشتر کربن حاصل از تجزیه لاشبرگ‌ها و مواد آلی سخت کف جنگل به لایه‌های سطحی خاک منتقل می شوند (۱۴، ۲۰ و ۲۶). که احتمالاً به‌همین‌دلیل بین فراوانی درختی و تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در عمق اول خاک هم‌بستگی معنی‌داری وجود دارد. دلیل اثبات این موضوع می‌تواند افزایش معنی‌دار محتوی کربن (٪) در عمق اول خاک نسبت به دیگر اعماق خاک باشد. البته همان‌طورکه در نتایج مشاهده شد، بین عمق دوم خاک علی رغم حداکثر ذخایر وزنی کربن؛ و شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی (درختی و علفی) هیچ نوع هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده نشد. خیلی از مطالعات ذکرشده بر این امر تاکید دارند که پس از پروسه‌های طولانی‌تر، کربن تجزیه شده از مواد آلی و سخت کف جنگل (از جمله

لاشبرگ‌های چرمی شکل در منطقه مورد مطالعه) پس از ورود به لایه‌های سطحی خاک توسط پدیده جابه‌جایی وارد لایه‌های معدنی در عمق‌های پایین‌تر خاک شده که متعاقبا باعث افزایش میزان ذخیره کربن خاک در لایه های معدنی می‌شوند (۱۴، ۲۰ و ۲۶). هم‌چنین، افزایش بارندگی و پدیده آبشویی مواد آلی کف جنگل و یا ترکیبات کربن لایه‌های سطحی خاک را به عمق‌های معدنی خاک انتقال می‌دهد (۲۲). البته عوامل فیزیوگرافی از جمله شیب دامنه‌های منطقه مورد مطالعه می تواند در تسریع این رویداد تأثیر بسزایی داشته باشند. علاوه بر این موارد، واحدی (۹) عنوان کرد که بافت خاک جنگل‌های آمیخته راش گلندرود اغلب رسی- سیلتی می باشد و محتوی رس در عمق‌های ثانویه خاک (cm ۳۰- ۱۰) نسبت به سایر اعماق دارای اختلاف بیشتری است. جیمنز و همکاران (۱۸) پیشنهاد می کنند که خاک‌های با بافت رسی – سیلتی و به‌خصوص خاک‌هایی که دارای درصد رس بیشتری هستند به‌دلیل چسبندگی ذرات خاک، حجم هدررفت کربن در طی تبادلات کربن کم‌تر است که این موضوع باعث افزایش هرچه بیشتر ذخایر کربن آلی خاک می‌شود. بنابر استدلال‌های صورت‌گرفته می‌توان ازدیاد ذخایر وزنی کربن آلی در عمق ثانویه خاک نسبت به سایر اعماق را به دلایل فوق الذکر ارتباط داد. جندل و همکاران (۱۷) گزارش می‌دهند که نقش درختان غالب، به‌خصوص در جنگل‌های آمیخته راش (*Fagus sylvatica* L.) در میزان ذخایر کربن آلی خاک می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد؛ به این‌نحوکه گونه‌های درختی غالب عمدتا علاوه بر افزایش قابل توجه از حجم مواد آلی کف جنگل و افزودن کربن به لایه‌های سطحی خاک، دارای ریشه‌دوانی عمیق با سطوحی بسیار وسیع می‌باشند که بدین‌ترتیب به‌طور فزاینده باعث ایجاد تغییر در میزان ذخایر حوض کربن آلی خاک به‌خصوص در لایه‌های معدنی می‌شوند.

از بین کلیه شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی، شاخص غلبه گونه‌ای(D) هرچند با لایه‌های فوقانی (عمق اول و عمق دوم) خاک هم‌بستگی معنی‌داری نداشت ولی با ذخایر وزنی کربن آلی عمق سوم خاک و کل ذخایر وزنی کربن آلی خاک هم‌بستگی منفی از خود نشان داد. این هم‌بستگی وارونه می‌تواند به‌دلیل غالبیت پوشش برخی از گونه‌های علفی باشد که دارای نقش عمده‌ای در تجزیه مواد آلی حاصله از اجزاء نباتات و افزایش فعالیت‌های تغذیه‌ای(trophic dynamics) هستند (۱۶ و ۲۷). از طرفی پوشش مذکور احتمالاً در محدوده خاک‌های نمونه‌برداری شده، دارای سیستم ریشه‌دوانی گسترده هستند که باطبع سبب کمک‌رسانی به فرآیند هرچه بیشتر تنفس درخاک می‌شوند (۱۶ و ۲۷). تمام این خصوصیات می‌تواند منجر به کاهش مخازن کربن آلی خاک و عامل ارتباط وارونه بین شاخص غلبه و ذخایر وزنی کربن آلی خاک باشد. همان‌طورکه در نتایج مشاهده شد، هم‌بستگی معنی‌دار مثبت بین تنوع گونه‌ایشانون، شاخص یکنواختی پایلو و ذخایر کربن آلی در عمق تحتانی (cm ۵۰-۳۰) و کل ذخایر کربن خاک وجود دارد. این امر بدین معنی است که ترکیب و تنوع گونه‌ای علفی و توزیع گونه‌ای علفی می تواند به‌طور فزاینده باعث افزایش ذخایر حوض کربن آلی خاک شود. آئرتز و چاپین (۱۰) عنوان می کنند که در جنگل های پهن برگ معمولا پوشش‌های کف جنگل پیش از آشکوب فوقانی از نور خورشید، به طرق گوناگون برای شکوفایی و رشد استفاده می کنند که از این طریق با افزایش روند فتوسنتز باعث افزایش محتوی کربن به خاک می شوند که در این راستا افزایش تنوع گونه‌ای، توزیع و نحوه پراکنش فلور علفی در کف جنگل باعث ازدیاد و استفاده بهینه از خاصیت پرتوافکنی شده که بالطبع باعث افزایش سطح حوض کربن آلی خاک می‌شوند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تغییرات وزنی حوض کربن آلی خاک در سطوح مختلف (عمق‌های متفاوت و مجموع وزنی عمق‌های مورد بررسی) در منطقه موردمطالعه، مستقل از ارتباط با تنوع زیستی پوشش درختی از جمله تنوع، غنا، یکنواختی و اهمیت گونه‌ای می‌باشد. در خصوص این امر، کربی و پتوین (۲۱) عنوان کردند که عدم ارتباط بین تنوع زیستی گیاهی و حوض کربن آلی خاک می‌تواند به‌دلیل تغییر

پذیری زیاد مقادیر کربن ترسیب شده در یک رویشگاه باشد. البته ناگفته نماند تنوع زیستی‌گیاهی از جمله غنای گونه‌ای در میزان دستیابی آب در خاک، کیفیت و کمیت لاشبرگی، ترکیب تراوش مواد مترشحه از ریشه‌ها، ریشه دوانی و توزیع محتوی کربن در عمق‌های مختلف خاک و در نهایت در رابطه با تغییرات وزنی حوض کربن آلی خاک، تأثیرگذار است (۲۱). براساس موارد مطرح شده، در مورد ارتباط بین تغییرات ذخایر وزنی کربن آلی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت که ساختار بسیار پیچیده و غیریکنواخت در رابطه با میزان ذخایر کربن در خاک وجود دارد. این امر می‌تواند به‌دلیل تأثیر گذاری شرایط فیزیکی زمین، فعالیت‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها در کلیه سطوح خاک و آنزیم‌های مترشحه از آنها در خاک، شرایط تحولی پروسه افزایشی کربن در حوض کربن آلی در لایه‌های مختلف خاک، آشفتگی‌های موجود درخاک، کلیه ترکیبات شیمیایی و ساختار مولکولی ترکیبات آلی از جمله ترکیبات کربن‌دار و حتی تغییرات تناوبی در شرایط جوی، تأثیرات بارزی در میزان ذخایر کربن آلی خاک داشته باشد. این تأثیرات می‌تواند روند صعودی و یا روند نزولی داشته باشند که در تحقیقات آتی این موضوعات، مورد پیشنهاد قرار می‌گیرند.

منابع مورد استفاده

۱. اسحاقی راد، ج.، ق. زاهدی امیری، م. مروی مهاجر و ا. متاجی. ۱۳۸۸. ارتباط بین پوشش‌های رستنی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جوامع راش (مطالعه موردی: جنگل آموزشی پژوهشی حیرود کنار نوشهر). فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۷(۲): ۱۸۷-۱۷۴.

۲. اسماعیل زاده، ا. و س.م. حسینی. ۱۳۸۶. رابطه بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی با شاخص‌های تنوع زیستی گیاهی در ذخیره گاه سرخدار افراتخته. محیط‌شناسی ۳۳(۴۳): ۳۰-۲۱.

۳. بی نام، ۱۳۸۷. طرح جنگلداری سری سه گلندرود (تجدید نظر دوم). اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، نوشهر.

۴. پوربابایی، ح. و خ. دادو. ۱۳۸۴. تنوع‌گونه‌ای گیاهان چوبی در جنگل‌های سری یک کلاردشت، مازندران. مجله زیست شناسی ایران ۱۸(۴).

۵. متاجی، ا.، ق. زاهدی امیری و ی. عصری. ۱۳۸۸. آنالیز پوشش گیاهی بر اساس جوامع و ارتباط آن با شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک در جنگل‌های طبیعی. فصلنامه جنگل و صنوبر ایران ۱۷(۱): ۹۸-۸۵.

۶. محمودی طالقانی، ع. ا.، ق، زاهدی امیری، ا. عادلی و خ. ثاقب طالبی. ۱۳۸۶. برآورد ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی: جنگل گلبند در شمال کشور). فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۵(۳): ۲۵۲-۲۴۱.

۷. مروی مهاجر، م. ۱۳۸۴. جنگل شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ ص.

۸. نمیرانیان، م. ۱۳۸۹. اندازه‌گیری درخت و زیست‌سنجی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۴ ص.

۹. واحدی، ع. ۱۳۹۱. ارتباط بین تنوع زیستی گیاهی و میزان ترسیب کربن در جنگل‌های طبیعی شمال ایران (مطالعه موردی جنگل گلندرود نور). رساله دکتری جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ۱۲۷ صفحه.

10. Aerts, R. and F. S. Chapin. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: *a Re-evaluation of Processes and Patterns*. *Advances Ecological Research* 30:1–67.

11. Allison, L. E. 1975. Organic carbon. PP. 1367-1378. *In:* Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Part 2. Madison, WI.

12. Barnes, B.V., D. R. Zak, S. R. Denton and S. H. Spurr. 1998. Forest Ecology. John Wiley and Sons Inc. 773 pp.

13. Cantarello, E., A. C. Newton and R. A. Hill. 2011. Potential effects of future land-use change on regional carbon stocks in the UK. *Environmental Science & Policy* 14: 40-52.

14. DeGryze, S., J. Six, K. Paustian, S. J. Morris, E. A. Paul and R. Merckx. 2004. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. *Global Change Biology* 10:1120–1132.
15. Fonseca, W., J. M. B. Benayas and F. E. Alice. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262:1400–1408.
16. Hollingsworth, T. N., E. A. G. Schuur, F. S. Schuur and M. D. Walker. 2008. Plant community composition as a predictor of regional soil carbon storage in Alaskan boreal black spruce Ecosystems. *Ecosystems* DOI: 10.1007/s10021-008-9147-y.
17. Jandl, R., M. Lindner, L. Vesterdal, B. Bauwens, R. Baritz, F. Hagedorn, D. W. Johnson, K. Minkkinen and K. A. Byrne. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253–268.
18. Jimenez, J. J., R. Lal, H. A. Leblanc and R. O. Russo. 2007. Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica, *Forest Ecology and Management* 241: 134–144
19. Jimenez, J. J., R. Lal, R. O. Russo, H. A. Leblanc. 2008. The soil organic carbon in particle-size separates under different regrowth forest stands of north eastern Costa Rica. *Ecological Engineering* 34: 300–310.
20. Johnson, D., J. Knoepp, W. Swank, J. Shan, L. Morris, D. van Lear and P. Kapeluck. 2002. Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. *Environmental Pollution* 116: 201–208.
21. Kirby, K. R. and C. Potvin. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246: 208–221.
22. Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242–258.
23. Mesdaghi, M. 2002. Vegetation Description and Analysis. Mashhad University Press. (translation), 287 pp.
24. Nave, L. E., E. D. Vance, C. W. Swanston, P. S. Curtis. 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 259: 857–866.
25. Neumann, M. and F. Starlinger. 2001. The signi®cance of different indices for stand structure and diversity in forests, *Forest Ecology and Management* 145 : 91-106.
26. Peichl, M. and M. A. Arain. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of white pine plantations in southern Onfario, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* 140: 51–63.
27. Rodrıguez-Loinaz, G., M. Onaindia, I. Amezaga, I. Mijangos and C. Garbisu. 2008. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 49–60.
28. Rubio, A., R. G. Gaviln, F. Montes, A. Gutiérrez-Girón, E. T. Daz-Pines and E. Mezquida. 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: Can they really be useful? *Ecological Indicators* 11: 545–556.
29. Zhu, B., X. Wang, W. 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 Plant Research* 123:439–452.