



تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

ص ۷۴۷-۷۵۶

ذخیره کربن و رابطه آن با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک کاربری‌های مختلف در منطقه زاگرس شمالی

- ❖ **مجید پاتو***: دانشجوی دکتری علوم جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ❖ **علی صالحی**: دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ❖ **قوام‌الدین زاهدی امیری**: استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **عباس بانج شفیعی**: استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

تحقیق حاضر با هدف برآورد مقادیر وزنی ذخیره کربن و ارتباط آن با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در چهار کاربری (بکر، حفاظتی، بهره‌برداری و باغی) در منطقه زاگرس شمالی در استان آذربایجان غربی انجام گرفت. در هر کاربری در داخل واحدهای همسان ۳۰ قطعه نمونه مشخص شد و در هر یک از آنها نمونه‌برداری از خاک انجام گرفت و سپس مهم‌ترین خصوصیات خاک شامل کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، بافت، رطوبت اشباع، درصد تخلخل، اسیدیته، هدایت الکتریکی، ازت کل، آهک، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول در آزمایشگاه تعیین شد. نتایج نشان داد کربن ذخیره‌شده در دو عمق ۱۵-۰ و ۵۰-۱۵ سانتی‌متر به ترتیب در کاربری بکر ۹۶/۹۰ و ۱۲۸/۹۲ تن در هکتار، در کاربری حفاظتی ۸۵/۸۲ و ۹۹/۱۷۳ تن در هکتار، در کاربری بهره‌برداری ۲۶/۷۸ و ۱۱۹/۲۶ تن در هکتار و در کاربری باغی ۷۵/۳۴ و ۹۵/۵۸ تن در هکتار است. همچنین نتایج نشان داد که بین مقادیر آهک، شن، سیلت، درصد تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع، پتاسیم، فسفر، هدایت الکتریکی، کربن آلی و C/N، در کاربری‌های مورد مطالعه و در عمق‌های اندازه‌گیری شده با مقدار ذخیره کربن همبستگی وجود دارد و براساس مدل‌های به‌دست‌آمده در کاربری‌های مختلف درصد کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و درصد تخلخل بیشترین تأثیر را در مقدار ذخیره کربن داشته‌اند.

واژگان کلیدی: ترسیب کربن، خاک جنگل، زاگرس شمالی، کاربری زمین.

مقدمه

افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن که حاصل سوزاندن سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و جنگل‌زدایی است، تأثیرات چشمگیری بر تغییرات اقلیمی در جهان داشته و از موضوعات مهمی است که امروزه به آن پرداخته می‌شود. ترسیب کربن در خاک، برای ایجاد تعادل در فراوانی گازهای گلخانه‌ای جو زمین است [۱] و اهمیت خاک به‌عنوان منبع ذخیره کربن روزبه‌روز آشکارتر می‌شود.

بیش از ۷۰ درصد کربن آلی در خاک اکوسیستم‌های جنگلی قرار دارد و حدود ۴۳ درصد از کل کربن اکوسیستم جنگلی تا عمق ۱ متری خاک جنگلی ذخیره شده است [۱]. زاهدی در مطالعه‌ای در ناحیه جنگلی بلژیک، میزان ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی را بسیار مهم دانست و تغییرات کربن را در عمق ۵۰-۱۰۰ سانتی متری خاک، حداکثر؛ و از ۱۰۰-۵۰ سانتی متری حداقل اعلام کرد [۲]. بردبار و همکاران پتانسیل ذخیره کربن در خاک جنگلکاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis*) و آکاسیا (*Acacia salicina*) را در مناطق غربی استان فارس بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که *E. camadulensis* در رویشگاه نسبتاً حاصلخیز سالانه ۷/۸ تن در هکتار، در رویشگاه سالانه ۱/۱ تن در هکتار و *A. salicina* در رویشگاه ضعیف سالانه ۱/۵ تن در هکتار کربن ذخیره کرده است [۳]. باده یان و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر آمیختگی گونه‌ها بر میزان ترسیب کربن خاک و ارتباط آن با pH و مقدار کربن موجود در خاک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در لایه‌های آلی و معدنی خاک در توده خالص راش بیشتر از توده آمیخته

بوده است [۴]. خادمی و همکاران با بررسی تأثیر جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط در ذخیره کربن و جذب CO₂ در جنگل‌های اندبیل خلخال نشان دادند که توده جنگلی سالانه به‌طور متوسط ۱/۵۱ تن در هکتار از طریق بیومس و ۰/۱ تن در هکتار در خاک کربن ذخیره می‌کند. بر این اساس جذب سالانه CO₂ در هر هکتار به‌طور متوسط ۵/۹۴ مگاگرم (۵/۵۲ مگاگرم از طریق بیومس و ۰/۴۲ مگاگرم از طریق خاک) است [۵]. در بررسی اثر جنگلکاری بر مقدار ذخیره کربن خاک در پارک چیتگر تهران به این نتیجه دست یافتند که ترسیب کربن در خاک توده اقایا (*Robinia pseudoacacia*) ۷۸/۱۹ تن در هکتار، در توده کاج تهران (*Pinus eldarica*) ۵۷ تن در هکتار و در اراضی بایر ۸ تن در هکتار است [۶]. شی جی در تحقیقی به بررسی اثر گونه‌های جنگلکاری شده بر ذخیره کربن خاک پرداخت و با اندازه‌گیری کربن خاک به این نتیجه رسید که میزان کربن در آن منطقه در عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی متری خاک به ترتیب ۴۲/۰۵ و ۳۰/۰۷ گرم در متر مربع است [۷].

همچنین مطالعات مختلف نشان داده است که تغییر کاربری زمین ممکن است عامل مهمی در تغییرات میزان ذخیره کربن در خاک باشد. مرینو و همکاران در استرالیا به بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف در میزان کربن در عمق‌های مختلف پرداختند. آنان اراضی کشاورزی را دارای کمترین ذخیره کربن آلی (۳/۳ گرم در کیلوگرم خاک) و عرصه‌های مرتعی را دارای بیشترین مقدار (۵/۶ گرم در کیلوگرم خاک) معرفی کردند. آنان همچنین بیشترین تغییرات کربن را در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک در بین کاربری‌های مختلف اعلام کردند و سطح اختلاف ذخیره کربن در کاربری‌های

جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی قرار دارد و مساحت آن ۲۷۳۰/۹۵ هکتار است. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سردشت (نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه)، متوسط بارندگی سالیانه ۹۶۵/۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد است. منطقه در شیب‌های زیاد واقع و سنگ بستر آن اغلب از سنگ‌های آهکی تشکیل شده است و خاک آن کم‌عمق و دارای فرسایش سطحی است [۹]. براساس اهداف تحقیق پس از پیمایش منطقه و استفاده از اطلاعات موجود، چهار کاربری متفاوت زمین به شرح زیر شناسایی و انتخاب شد:

- الف) عرصه جنگلی بکر و کمتر دست‌خورده به مساحت ۶/۴۱ هکتار (منطقه بکر)؛
- ب) منطقه بهره‌برداری رایج (گلازنی، چوب سوخت و چرای دام) به مساحت ۲۰۱۹/۵۷ هکتار (منطقه بهره‌برداری)؛
- ج) منطقه حفاظتی (عرصه کوهستانی و پرشیب) به مساحت ۳۱۵/۶۸ هکتار (منطقه حفاظتی)؛
- د) عرصه تغییر کاربری داده‌شده برای فعالیت‌های باغی به مساحت ۳۸۹/۲۹ هکتار (منطقه باغی).

روش نمونه‌برداری

ابتدا در هر چهار کاربری نقشه واحدهای شکل زمین تهیه و سپس در داخل واحدهای همسان ۳۰ قطعه نمونه با ابعاد ۲۵×۲۵ متر به روش تصادفی، به‌منظور اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌های مورد نظر مشخص شد. در هریک از قطعه نمونه‌ها ابتدا پنج پروفیل به عمق ۵۰ سانتی‌متر (پس از کنار زدن لاشبرگ و

مختلف را در عمق بیش از ۶۰ سانتی‌متری خاک معنی‌دار نمی‌دانند [۸].

جنگل‌های زاگرس یکی از اکوسیستم‌های مهم جنگلی در ایران است که می‌تواند منبع مهمی برای ذخیره کربن در منطقه و حتی کشورهای همجوار باشد. اگرچه کاربری‌های مختلفی در این مناطق جنگلی به وجود آمده است، به نظر می‌رسد این جنگل‌ها همچنان می‌تواند با مدیریت درست، تأثیری اساسی در ذخیره کربن و به تبع آن در تعدیل تغییرات اقلیمی داشته باشند. براساس بررسی‌ها، اگرچه جنگل‌های زاگرس شمالی از مناطق منحصربه‌فرد و تأثیرگذار در اکوسیستم منطقه زاگرس هستند، مطالعه جامعی درباره تأثیر این جنگل‌ها در میزان ذخیره کربن خاک صورت نگرفته است. این تحقیق در نظر دارد میزان ذخیره کربن در خاک چهار کاربری بکر، حفاظتی، بهره‌برداری و باغی را که از کاربری‌های معمول این مناطق اند و همچنین ارتباط ذخیره کربن با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از کاربری‌های یادشده واقع در جنگل‌های شهر میرآباد از توابع شهرستان سردشت استان آذربایجان غربی را بررسی کند. با اجرای این تحقیق می‌توان در وهله نخست، تفاوت مدیریت‌های مختلف اراضی را در زمینه ذخیره کربن اعلام کرد و در نهایت با توجه به نگرش جهانی به ارزش‌های متعدد ذخیره کربن در دنیا، به اهمیت محیط زیستی این جنگل‌ها بیش از پیش پی برد.

مواد و روش‌ها

محدوده تحقیق در شرق رودخانه زاب کوچک شهر میرآباد از توابع شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی واقع شده است. منطقه در محدوده طول

درصد کربن آلی در عمق مشخصی از خاک، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e ضخامت خاک برحسب سانتی‌متر است.

روش آماری

در ابتدا داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره شد. سپس به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس آنها با آزمون لون بررسی شد. برای مقایسه خصوصیات خاک در کاربری‌های مختلف از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) استفاده شد و مقایسه چندگانه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت. برای مشخص کردن همبستگی بین ذخیره کربن آلی خاک با سایر خصوصیات خاک از همبستگی خطی پیرسون استفاده شد. تعیین مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان ترسیب کربن نیز با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام انجام پذیرفت. آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار spss نسخه ۲۲ صورت گرفت.

نتایج و بحث

مطابق جدول ۱ در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در کاربری بکر؛ ازت کل، فسفر قابل جذب، کربن آلی، هدایت الکتریکی، نسبت کربن به ازت، شن و کربن ذخیره‌شده اختلاف معنی‌داری با سایر کاربری‌ها داشتند و بیشترین مقدار را نشان دادند. در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری نیز آهک، اسیدیت، سیلت در کاربری حفاظتی، درصد تخلخل در کاربری باغی و درصد اشباع و جرم مخصوص ظاهری در کاربری بهره‌برداری اختلاف معنی‌دار داشتند و بیشترین مقدار را دارا بودند. در عمق ۴۰-۱۵ سانتی‌متر؛ فسفر،

پوشش گیاهی) در چهار گوشه و مرکز قطعه نمونه حفر شد. نمونه‌برداری از دو عمق ۱۵-۰ و ۱۵-۵۰ سانتی‌متری انجام گرفت. برای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌برداری به‌صورت ترکیبی صورت گرفت، به این صورت که نمونه‌های خاک از چهار گوشه و مرکز قطعه نمونه برداشت و سپس با هم مخلوط شد و در نهایت یک نمونه برای هر عمق به‌دست آمد [۲].

روش آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک هر قطعه نمونه در هوای آزاد خشک شد و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها و سنگ ریزه‌ها سپس خاک را از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد [۱۰]؛ سپس آزمایش‌های زیر انجام گرفت. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری بایکاس، درصد رطوبت اشباع از طریق اختلاف وزن گل اشباع و گل خشک، و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه اندازه‌گیری شد [۱۱]. اسیدیت خاک به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکترونیکی و هدایت الکتریکی خاک با دستگاه EC سنج الکترونیکی قرائت شد [۱۲]. ازت کل خاک با استفاده از دستگاه کج‌لدال تعیین، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک، آهک از روش تیتراسیون [۱۲] فسفر قابل جذب از روش اولسون [۸] و پتاسیم محلول با عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با دستگاه فلیم فتومتری [۱۳] تعیین شد.

پس از اندازه‌گیری درصد کربن آلی به تفکیک هر لایه، مقدار ذخیره کربن آلی با مقیاس گرم در متر مربع از طریق فرمول زیر محاسبه شد [۲].

$$Cc(g/m^2) = 10000 \times C(\%) \times Bd(g/cm^2) \times e(cm) \quad (1)$$

Cc وزن کربن ذخیره‌شده در سطح ۱ متر مربع، C

به ازت، اسیدیته، سیلت، کربن ذخیره‌شده در کاربری حفاظتی؛ رس در کاربری بهره‌برداری و نسبت کربن به ازت در کاربری باغی بیشترین مقدار را داشتند.

پتاسیم، درصد اشباع، هدایت الکتریکی، نسبت کربن به ازت، شن و جرم مخصوص ظاهری در کاربری بکر؛ آهک، ازت کل، پتاسیم کربن آلی، نسبت کربن

جدول ۱. میانگین (± انحراف معیار) ویژگی‌های خاک در دو عمق مختلف در کاربری‌های مختلف منطقه تحقیق

عمق (سانتی‌متر)	بکر	حفاظتی	بهره‌برداری	باغی	-
۰-۱۵	۲/۳۵ ± (۰/۱۷۲) b	۹/۲۷ ± (۱/۶۴) a	۲/۱۹ ± (۳/۵۷) b	۴/۱۶ ± (۱/۲۴) b	آهک (درصد)
۱۵-۵۰	۱/۷۲ ± (۰/۱۸۳) b	۱۵/۰۰ ± (۲/۳۳) a	۱/۹۴ ± (۰/۳۷۶) b	۲/۴۶ ± (۰/۶۹۹) b	
۰-۱۵	-۰/۲۵۷ ± (۰/۰۰۸) a	-۰/۲۵۶ ± (۰/۰۰۵) a	-۰/۲۳۶ ± (۰/۰۰۹) a	-۰/۱۴۴ ± (۰/۰۱۱) b	ازت کل
۱۵-۵۰	-۰/۱۴۱ ± (۰/۰۱۲) b	-۰/۲۰۳ ± (۰/۰۱۱) a	-۰/۱۹۶ ± (۰/۰۱۱) b	-۰/۰۷۱ ± (۰/۰۰۸) c	
۰-۱۵	۳۵/۱۴ ± (۶/۰۶) a	۱۰/۱۴ ± (۱/۸۶) b	۱۵/۷۶ ± (۲/۲۰) b	۱۵/۴۰ ± (۱/۷۴) b	فسفر قابل جذب (پی . پی . ام)
۱۵-۵۰	۱۳/۹۰ ± (۰/۹۲۳) a	۴/۸۷ ± (۰/۷۴۸) c	۷/۵۹ ± (۰/۹۹۸) b	۷/۶۶ ± (۰/۸۷۵) b	
۰-۱۵	۲۶۴/۹۳ ± (۱۳/۵۸) b	۲۳۱/۸۰ ± (۱۱/۸۹) b	۳۲۵/۵۰ ± (۲۰/۳۹) a	۱۹۶/۱۶ ± (۱۸/۲۶) c	پتاسیم محلول (پی . پی . ام)
۱۵-۵۰	۱۴۲/۱۶ ± (۱۳/۴۲) a	۱۴۱/۳۳ ± (۱۰/۱۶) a	۱۷۴/۱۶ ± (۱۴/۱۸) a	۱۴۰/۹۰ ± (۱۵/۲۶) a	
۰-۱۵	۵۵/۶۶ ± (۱/۴۴) a	۵۷/۴۰ ± (۰/۹۸۵) a	۴۹/۲۰ ± (۱/۲۸) a	۴۳/۴۶ ± (۰/۹۳۵) a	رطوبت اشباع (درصد)
۱۵-۵۰	۳۶/۷۰ ± (۰/۵۹۹) a	۵۱/۸۶ ± (۰/۸۰۶) b	۴۵/۸۶ ± (۰/۸۶۷) c	۴۱/۱۰ ± (۰/۸۸۸) d	
۰-۱۵	۳/۳۶ ± (۰/۱۳۶) a	۳/۱۹ ± (۰/۰۹۳) a	۲/۷۴ ± (۰/۱۴۴) b	۱/۴۶ ± (۰/۱۳۵) c	کربن آلی (درصد)
۱۵-۵۰	۱/۳۷ ± (۰/۱۳۶) b	۲/۱۵ ± (۰/۱۴۶) a	۱/۳۷ ± (۰/۱۲۰) b	-۰/۶۴۳ ± (۰/۰۷۷) c	
۰-۱۵	-۰/۷۷۳ ± (۰/۰۳۷) a	-۰/۶۶۰ ± (۰/۰۲۱) b	-۰/۶۰ ± (۰/۰۲۱) b	-۰/۶۴۳ ± (۰/۰۲۲) b	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۱۵-۵۰	-۰/۶۵۰ ± (۰/۰۳۹) a	-۰/۵۶۰ ± (۰/۰۲۲) b	-۰/۴۶ ± (۰/۰۲۱) b	-۰/۹۴۶ ± (۰/۰۲۱) b	
۰-۱۵	۱۳/۰۹ ± (۰/۴۵۰) a	۱۲/۴۱ ± (۰/۲۲۰) ab	۱۱/۵۳ ± (۰/۲۷۵) b	۹/۹۴ ± (۰/۴۸۵) c	نسبت کربن به ازت
۱۵-۵۰	۹/۷۳ ± (۰/۲۸۷) ab	۱۰/۷۳ ± (۰/۲۳۹) a	۹/۱۱ ± (۰/۱۸۶) b	۹/۶۷ ± (۰/۵۵۸) ab	
۰-۱۵	۶/۸۲ ± (۰/۰۵۰) b	۷/۳۶ ± (۰/۰۵۵) a	۶/۸۳ ± (۰/۰۶۳) b	۷/۲۱ ± (۰/۲۳۱) a	pH
۱۵-۵۰	۶/۶۰ ± (۰/۰۵۲) c	۷/۵۳ ± (۰/۰۳۹) a	۶/۷۵ ± (۰/۱۰۶) c	۷/۲۶ ± (۰/۰۶) b	
۰-۱۵	۱۷/۸۰ ± (۰/۶۱۲) b	۲۳/۸۰ ± (۱/۰۶) a	۲۶/۸۰ ± (۱/۳۷) a	۲۵/۳۶ ± (۱/۶۲) a	رس (درصد)
۱۵-۵۰	۱۶/۹۰ ± (۱/۰۶۰) c	۲۴/۷۳ ± (۰/۹۲۹) b	۳۰/۷۰ ± (۱/۹۷) a	۲۶/۲۳ ± (۲/۴۳) ab	
۰-۱۵	۴۹/۱۳ ± (۰/۹۷۷) a	۲۶/۲۸ ± (۱/۴۵) c	۳۱/۸۶ ± (۲/۱۷) c	۳۷/۳۳ ± (۲/۵۱) b	شن (درصد)
۱۵-۵۰	۵۶/۲۰ ± (۱/۸۸) a	۲۸/۵۰ ± (۱/۵۴) c	۳۱/۲۰ ± (۲/۱۹) c	۳۹/۳۰ ± (۳/۲۳) b	
۰-۱۵	۳۳/۰۶ ± (۰/۶۳۰) b	۴۸/۳۳ ± (۱/۱۷) a	۴۱/۲۶ ± (۱/۴۰) b	۳۷/۲۶ ± (۱/۵۹) c	سیلت (درصد)
۱۵-۵۰	۲۶/۸۶ ± (۱/۱۸) c	۴۶/۸۰ ± (۱/۳۱) a	۳۸/۱۰ ± (۱/۴۱) b	۱۳/۱۳ ± (۱/۵۸) b	
۰-۱۵	۳۱/۸۲ ± (۱/۵۴) c	۳۴/۸۴ ± (۰/۵۷۰) b	۳۰/۱۸ ± (۰/۶۲۰) c	۳۹/۲۷ ± (۰/۲۳۱) a	تخلخل (درصد)
۱۵-۵۰	۲۶/۸۰ ± (۱/۰۵) c	۳۸/۹۹ ± (۰/۵۷۴) a	۳۴/۱۸ ± (۰/۶۱۹) b	۳۲/۳۷ ± (۰/۸۸۶) b	
۰-۱۵	۱/۷۴۰ ± (۰/۰۳۷) b	۱/۷۲ ± (۰/۰۱۵) b	۱/۸۵۰ ± (۰/۰۱۶) a	۱/۶۳ ± (۰/۰۳۷) c	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۱۵-۵۰	۱/۸۸ ± (۰/۰۲۳) a	۱/۶۱ ± (۰/۰۱۵) c	۱/۷۴ ± (۰/۰۱۶) b	۱/۷۹ ± (۰/۰۲۳) b	
۰-۱۵	۹۰/۹۶ ± (۴/۲۲) a	۸۲/۸۵ ± (۲/۶۰) ab	۷۵/۲۶ ± (۴/۱۶) b	۳۴/۷۵ ± (۳/۲۱) c	کربن ذخیره شده (تن در هکتار)
۱۵-۵۰	۱۲۸/۹۲ ± (۸۲/۵۸) b	۱۷۳/۹۹ ± (۱۱/۹۷) a	۱۱۹/۲۶ ± (۱۰/۳۶) b	۵۸/۹۵ ± (۷/۴۱) c	

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $\alpha=0.05$ است.

تخلخل خاک، درصد اشباع خاک و جرم مخصوص ظاهری در سطح $P < 0/01$ در کاربری‌های بررسی شده و در عمق‌های اندازه‌گیری شده با مقدار ذخیره کربن همبستگی وجود دارد. با توجه به نتایج معادلات رگرسیون گام‌به‌گام بهترین مدل‌های تخمین مقدار کربن ذخیره شده به شرح جدول ۳ است.

برای بررسی ویژگی‌های خاکی که در مقدار ذخیره کربن خاک تأثیر دارند، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و نتایج مطابق جدول ۲ نشان داد که بین محتوای آهک، شن، سیلت، پتاسیم، فسفر، جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و درصد رطوبت اشباع در سطح $P < 0/05$ و بین کربن آلی، پتاسیم محلول، فسفر قابل جذب، نسبت کربن به ازت، درصد

جدول ۲. ضرایب همبستگی پیرسون بین مقدار ذخیره کربن خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف منطقه تحقیق

کاربری	بکر		حفاظتی		بهره‌برداری		باغی		عمق (سانتی‌متر) ویژگی‌های خاک
	+۱۵	۱۵-۵۰	+۱۵	۱۵-۵۰	+۱۵	۱۵-۵۰	+۱۵	۱۵-۵۰	
آهک (درصد)	۰/۰۹۶	* ۰/۲۸۶	-۰/۲۰۰	۰/۰۰۵	-۰/۰۶۷	-۰/۲۱۸	-۰/۱۲۴	-۰/۱۴۴	
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۰۲۹	۰/۲۵۹	** ۰/۴۹۹	* ۰/۴۲۳	-۰/۲۷۵	-۰/۰۳۵	-۰/۱۰۱	-۰/۳۵۱	
رس (درصد)	۰/۰۷۸	۰/۲۰۱	-۰/۰۹۲	-۰/۱۱۵	۰/۰۸۹	-۰/۰۶۲	۰/۰۶۱	۰/۰۵۳	
نسبت کربن به ازت	۰/۱۶۹	** ۰/۵۳۵	** ۰/۷۳۱	** ۰/۶۶۵	۰/۳۳۵	** ۰/۶۰۵	** ۰/۵۲۵	-۰/۲۳۳	
کربن آلی (درصد)	۰/۹۸۴	** ۰/۸۶۷	** ۰/۹۹۰	** ۰/۹۵۶	** ۰/۹۹۴	** ۰/۹۵۹	** ۰/۹۷۴	** ۰/۹۹۷	
پتاسیم محلول (پی.پی.ام)	۰/۲۲۲	* ۰/۴۳۶	** ۰/۴۸۳	۰/۳۱۹	** ۰/۶۳۵	** ۰/۵۱۷	** ۰/۵۰۸	۰/۲۷۴	
ازت کل	** ۰/۹۵۸	** ۰/۶۳۶	** ۰/۹۵۷	** ۰/۸۲۹	** ۰/۹۶۳	** ۰/۸۸۹	** ۰/۸۵۲	** ۰/۹۸۷	
فسفر قابل جذب (پی.پی.ام)	۰/۱۷۴	-۰/۱۱۸	-۰/۰۱۶	۰/۰۶۷	** ۰/۴۴۴	* ۰/۳۶۵	* ۰/۴۱۴	۰/۰۹۱	
pH	۰/۱۱۳	۰/۲۲۸	۰/۱۹۹	-۰/۳۰۰	-۰/۰۶۳	-۰/۲۵۰	-۰/۰۲۶	۰/۰۰۱	
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	-۰/۰۲۸	-۰/۳۸۲	-۰/۱۵۰	* -۰/۴۳۸	۰/۰۹۲	-۰/۱۰۲	-۰/۱۳۷	** -۰/۴۷۵	
تخلخل (درصد)	-۰/۰۱۲	-۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	-۰/۴۲۸	-۰/۰۹۲	-۰/۱۰۲	-۰/۲۲۵	** ۰/۴۷۴	
شن (درصد)	۰/۰۸۵	-۰/۲۳۴	۰/۱۷۸	* ۰/۳۶۹	-۰/۰۲۷	-۰/۰۵۵	-۰/۰۳۷	-۰/۱۳۹	
سیلت (درصد)	-۰/۲۰۳	۰/۱۶۷	-۰/۱۵۴	-۰/۳۳۸	-۰/۰۸۳	-۰/۱۲۷	* ۰/۳۷۰	۰/۲۰۹	
رطوبت اشباع (درصد)	* ۰/۴۱۵	** ۰/۵۲۹	** ۰/۷۴۶	۰/۴۹۰	* ۰/۴۰۳	** ۰/۴۸۶	* ۰/۳۳۲	۰/۲۹۸	

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول ۳. روابط رگرسیونی استخراج شده از آزمون رگرسیون گام‌به‌گام

کاربری	عمق به سانتی‌متر	مدل	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری
بکر	۰-۱۵	$Cc = 28/64 Co - 1/34 Rb + 37/15$	۰/۹۸۷	C ۰/۰۰
	۱۵-۵۰	$Cc = 92/23 Co - 1/84 Rb + 55/16$	۰/۹۹۲	c ۰/۰۰
حفاظتی	۰-۱۵	$Cc = 25/50 Co + 50/57 Rs - 85/91$	۰/۹۹۸	f ۰/۰۰
	۱۵-۵۰	$Cc = 80/65 Co - 10/25 Rb + 172/93$	۰/۹۹۸	f ۰/۰۰
بهره‌برداری	۰-۱۵	$-106/26 Cc = 28/30 Co + 56/14 Rs$	۰/۹۶۷	f ۰/۰۰
	۱۵-۵۰	$Cc = 87/10 Co - 65/93 Rs + 15/38$	۰/۹۹۸	f ۰/۰۰
باغی	۰-۱۵	$Cc = 23/48 Co - 0/59 Rb + 23/76$	۰/۹۹۸	c ۰/۰۰
	۱۵-۵۰	$Cc = 92/70 Co - 0/58 Rb + 17/66$	۰/۹۹۸	c ۰/۰۰

آبشویی) است [۱]. در کاربری‌های بکر و حفاظتی، تعادل بهتری بین نهاده‌ها و ستاده‌ها وجود دارد و این مسئله بیشتر از حیث مقدار بقایای موجودات وارد شده به خاک و نیز کاهش فرسایش و آبشویی خاک در این مناطق توجیه‌پذیر است؛ زیرا وقتی پوشش گیاهی و ظرفیت تولیدی اراضی جنگلی تحت تأثیر کاربری‌های نادرست قرار نگیرد، مقدار مواد آلی خاک تغییر چندانی نمی‌کند. در نقطه مقابل، به نظر می‌رسد یکی از دلایل مهم کاهش ذخیره کربن در مناطق باغی و بهره‌برداری شده، تخلیه کربن خاک در اثر مدیریت و کاربری نادرست و در نهایت تخریب خاک است [۱]. در تحقیقی، مقدار کربن آلی را در مناطق قرق جنگل‌های زاگرس مرکزی بیشتر از مناطق تخریب شده و تحت بهره‌برداری عادی اعلام کردند و دلیل اصلی آن را بیشتر بودن بقایای گیاهی و تخریب کمتر خاک در مناطق کمتر تخریب شده دانستند [۱۶]. این محققان همبستگی قوی بین مقدار کربن آلی خاک و درصد تاج پوشش به دست آوردند که نشان‌دهنده تأثیر میزان تاج پوشش و به تبع آن بازگشت لاشبرگ گیاهی بر مقدار کربن آلی خاک و در نهایت ذخیره کربن آلی خاک است.

تحقیق حاضر نشان داد که خصوصیات فیزیکی خاک شامل عمق خاک، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک بر مقدار ذخیره کربن خاک تأثیر می‌گذارد. بین جرم مخصوص ظاهری و درصد کربن آلی خاک رابطه‌ای متقابل وجود دارد، به طوری که افزایش مقدار ماده آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری را کاهش و درصد منافذ و میزان نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد و به این طریق ممکن است سبب کاهش رواناب شود؛ در نهایت کاهش رواناب، هدر

c: پیش‌بینی مقدار ثابت کربن آلی خاک با جرم مخصوص ظاهری خاک؛

f: پیش‌بینی مقدار ثابت کربن آلی خاک با درصد تخلخل خاک؛

Co: درصد کربن آلی؛

Rb: جرم مخصوص ظاهری؛

Rs: درصد تخلخل.

بر اساس جدول ۳، در کاربری‌های بکر در هر دو عمق، در کاربری حفاظتی در عمق ۵۰-۱۵ سانتی‌متر و در کاربری باغی در هر دو عمق، متغیرهای مستقل کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری بیشترین تأثیر را در برآورد مقدار ذخیره کربن داشتند، اما در کاربری حفاظتی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری و بهره‌برداری در هر دو عمق، متغیر درصد تخلخل و درصد کربن آلی تأثیر تعیین‌کننده در برآورد مقدار ذخیره کربن خاک داشتند.

با توجه به اهمیت مقدار ذخیره کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های پیچیده زمین از جمله جنگل‌ها که سبب کاهش انتشار کربن، کاهش گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی می‌شود، برآورد دقیق مقدار ذخیره کربن بسیار ضروری است [۱۴]. ذخیره کربن کل خاک، شامل اجزای فعال (مواد گیاهی تجزیه‌پذیر، مواد گیاهی مقاوم، زیتوده میکروبی و مواد گیاهی هوموسی شده) و غیرفعال کربن خاک است [۱۵] و از مدیریت بوم‌نظام‌ها و نوع کاربری تأثیر می‌پذیرد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، مقدار کل ذخیره کربن خاک در حالت بکر و حفاظتی بیشتر از کاربری‌های بهره‌برداری و باغی در هر دو عمق است. کربن آلی خاک، حاصل تعادل میان نهاده‌ها (بقایای موجودات) و ستاده‌ها (تجزیه میکروبی، آتش‌سوزی، فرسایش و

کربن آلی خاک از عمق مشخصی به پایین به شدت کاهش می‌یابد یا فاقد تغییرات معنی‌دار و مشخص است. برای مثال در جنگل‌های بلژیک، مقدار ذخیره کربن از عمق ۵۰ سانتی‌متر به پایین با کاهش شدید معرفی شد [۲].

براساس مدل برآورد ذخیره کربن، بهترین مدل برای هر کاربری در هر عمق، مدل خطی با ضریب تبیین به دست آمده است (جدول ۳). تغییرات ذخیره کربن در هر کاربری از طریق تغییرات متغیرهای جرم مخصوص ظاهری، درصد تخلخل و درصد کربن آلی خاک در یک رابطه خطی توجیه‌پذیر است. اگرچه جنگل‌زدایی و تغییرات کاربری اراضی ممکن است مقدار کربن آلی سطحی لایه‌های خاک را به سرعت تغییر دهد، در این تحقیق برای عمق ۵۰-۱۵ سانتی‌متری، عوامل ذکر شده بیشترین تأثیر را در مدل برآورد ذخیره کربن داشتند.

برابر نتایج، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در کاربری‌های بررسی شده، اختلافات معنی‌دار کمتری را نسبت به هم نشان می‌دهند. با توجه به اینکه بخشی از تغییرات اسیدیته خاک به سنگ مادری و بخشی دیگر از آن همراه با هدایت الکتریکی به مقدار بارندگی بستگی دارد و با توجه به اینکه مناطق بررسی شده دارای مواد مادری یکسان‌اند و در منطقه آب‌وهوایی یکسان قرار دارند، میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی آنها کمتر تغییر یافته است که با نتایج تحقیقی دیگر [۱۹] همسویی دارد. مقدار ازت کل در قسمت‌های سطحی مناطق بکر و حفاظت‌شده در مقایسه با کاربری‌های بهره‌برداری و باغی به طور معنی‌داری بیشتر است. در مناطق بکر و حفاظتی همگام با افزایش مواد آلی خاک، ازت خاک هم افزایش یافت. با توجه به

رفتن کربن از طریق فرسایش را کاهش می‌دهد [۱۷]. از طرف دیگر براساس مدل‌های برآورد ذخیره کربن، سهم مشخصه‌های جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در تعیین مقدار ذخیره کربن بسیار زیاد است (جدول ۳). در کاربری باغی مقادیر مربوط به جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در مقایسه با کاربری بهره‌برداری کمتر حالت نامطلوب را نشان می‌دهد، به طوری که مقدار جرم مخصوص ظاهری در عمق اول خاک در این کاربری نسبت به کاربری‌های دیگر کمتر و در عوض تخلخل خاک در این عمق و در این کاربری در مقایسه با دیگر کاربری‌ها بیشتر است که ممکن است به دلیل عملیات شخم سالیانه باشد که در اواخر اسفند و اوایل فروردین صورت می‌گیرد. در عین حال براساس نتایج مقدار ذخیره کربن در کاربری باغی نسبت به کاربری‌های دیگر در هر دو عمق کمتر است.

براساس نتایج این تحقیق، مقدار ذخیره کربن در تمام کاربری‌ها در عمق دوم بیشتر از عمق اول بود؛ درحالی که مقدار کربن آلی در تمام کاربری‌ها در عمق اول بیشتر از عمق دوم بود؛ بدین ترتیب انتظار می‌رفت که مقدار ذخیره کربن نیز در عمق اول بیشتر از عمق دوم باشد. به نظر می‌رسد آشفته‌گی‌های ایجادشده در میزان جرم مخصوص ظاهری در عمق دوم در مقایسه با عمق اول عامل این موضوع باشد. در تحقیقی دیگر نیز نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد و در مناطق مختلف جنگل گلبن در شمال کشور، میزان ترسیب کربن در عمق دوم (۳۰-۱۰ سانتی‌متر) بیشتر از عمق اول (۱۰-۰ سانتی‌متر) گزارش شد [۱۸]. در عین حال در بسیاری از تحقیقات در نقاط مختلف دنیا و ایران مشخص شده است که ذخیره

زیادی بر اکسیداسیون کربن سطحی خاک و افزایش انتشار گاز کربنیک و سایر گازها به جو و به تبع آن تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین دارد. در نواحی تغییر کاربری داده شده علاوه بر تخریب پوشش گیاهی، پیامدهای دیگری مانند فرسایش تشدیدشونده خاک و کاهش ذخایر کربن نیز به وقوع خواهد پیوست. بنابراین کاربری زمین تأثیرات چشمگیری بر ذخیره کربنی خاک بر جا می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

فعالیت‌های تخریبی صورت گرفته در قالب قطع و سرشاخه‌زنی درختان و بهره‌برداری‌های رایج تأثیر بسیار تعیین‌کننده‌ای در ایجاد این اختلافات داشته است. تغییرات ایجادشده در خصوصیات خاکی و کاهش چشمگیر و معنی‌دار این خصوصیات جنگل‌های زاگرس ممکن است تأثیر بسزایی در پایداری این اکوسیستم ارزشمند داشته باشد.

اینکه یکی از راه‌های اصلی افزایش ازت خاک، تجزیه مواد آلی است، افزایش ازت در مناطق یادشده را می‌توان به افزایش مواد آلی در این مناطق نسبت داد. محققان در پژوهشی در جنگل‌های زاگرس نتایج مشابهی را ذکر کرده‌اند [۱۶]. مقدار فسفر قابل جذب در کاربری‌های حفاظتی، بهره‌برداری و باغی در دو عمق بررسی شده اختلاف آماری معنی‌دار و زیادی ندارند. اما مقدار فسفر قابل جذب کاربری بکر با سه کاربری دیگر در هر دو عمق اختلاف معنی‌داری دارد و از کاربری‌های دیگر بیشتر است [۲۰]. مقدار فسفر خاک را به علت تجمع بیشتر لاشبرگ و افزایش پوشش گیاهی در مناطق بکر و قرق‌شده بیشتر از مناطق غیر قرق و غیر بکر می‌دانند. به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر نیز عوامل یادشده دلیل اصلی افزایش فسفر در منطقه بکر باشند.

تبدیل جنگل‌های بکر و حفاظتی به کاربری‌های باغی و بهره‌برداری بیش از توان اکولوژیکی تأثیر

References

- [1]. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623-1627.
- [2]. Zahedi, G.H. (1998). Relation between Vegetation and Characteristics in a Mixed Hard Wood Stand. Academic Press, Ghent University (Belgium), 319 p.
- [3]. Bordbar, S.K. and Mortazavi, Jahromi, S.M. 2006. Review of potential carbon storage in eucalyptus and acacia afforest in the western province, quarterly research and development, 70: 95-103.
- [4]. Badian, Z. Zahedi, G.H. Zarqhami, N., and Mahajer, M. (2010). Effect of mixed depending on the amount of carbon storage in forest soils (Case study: forest Kheiroudkenar NOSHahr). *Journal Forest and Wood Products*, 35 to 44: (1) 62.
- [5]. Gadami, A., Babai, S. Mataji, A. (2010). Study of biomass and its relationship with soil factors and soil fertility in the forests of oak branches (case study: forest area Andbyl anklets), *Iranian Journal of Forest* 157-56 to 67 (1)
- [6]. Varamesh, S., Hosseini, S.M. and Abdi, N. (2010). Comparison of broad-leaved and needle-leaf species of carbon sequestration in urban forests (case study Cheetgar park Tehran), M.Sc. Thesis, Department of natural resources and marine sciences, University of Moddaress 86p.

- [7]. Shi J., Gui . (2010). Soil carbon change and its affecting factors following afforestation in china. *Landscape and Urban Planning* 98: 75-85.
- [8]. Moreno, G., J.J. Obrador and A. Garcia,. (2007). Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 270–280
- [9]. Company technical engineering Taef saz,. (۲۰۰۵). Forestry Master Plan, a multi-purpose forest Alvatan Sardasht West 500 p.
- [10]. Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Bahadur Rana, E., Bhattarai, S., Raj, Banskota, T., Charmakar, S. and Tamrakar, R. (2010). Asia Network for Sustainable agriculture and bio resources. 16p
- [11]. Jafari Haghghi, M. (2003). *Methods of Soil Analysis*, Nedaye Zoha press, Tehran, 236pp.
- [12]. Ali Ehyaii, M. and BehbahaniZadeh, A. A. (1993). Description on chemical soil analysis methods. Research institute of soil and water, Tehran, 128 pp.
- [13]. Soil Survey Staff., (1984). Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. Soil Survey Investigations Rep. No. 1. USDA-SCS Agricultural Handbook, 436 pp.
- [14]. Mac Dicken, K.G. (1997). A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agro forestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program. pp 91.
- [15]. Jimenez, J.J., Lal, R., Leblanc, H.A., Russo, R.O. (2011). Soil organic carbon pool under native tree plantations in Caribbean lowlands of Costa Rica, *Forest Ecology and Management*, 241, 134–144.
- [16]. Salahi, A. and Noormohammadi, E (2012). Effect of grazed and surface scarification on soil properties and regeneration in central Zagross forests (Case study: Aleshtar city forests) *Journal of forests and wood products*, Vol.65 (.3), 315 -325.
- [17]. Perie C., and Ouimet, R. (2008). Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 88: 315-325.
- [18]. Mohmmodi, A., Zahdiamire, G.H., and Adali, A. (2008). Estimates of carbon sequestration in managed forests (forest garland case study in the north), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 3:241-252.
- [19]. Dormaar, J. F. Adams. B. W. and Willms, W. D. (1997). Impact of rotational grazing on mixed prairie soils and vegetation. *Journal of range management*. Vol. 50(4). 5 pp.
- [20]. Hosseinzadeh, G. Jalilvand, H. and Tamartash, R. (2007). Vegetation covers changes and chemical soil properties in pastures with different grazing intensities. *Iranian journal of range & desert research*. Vol. 14(4). 12 pp.