

مقایسه ذخیره کربن خاک در دو تیپ گیاهی *Salsola rigida* و *Stipa barbata* در منطقه اخترآباد شهریار

ژیلا رنجبری کریمیان^۱، علی طویلی^{۲*}، حسین آذرنیوند^۳، محمد جعفری^۳، محمدعلی زارع چاهوکی^۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^{۲*} دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

پست الکترونیک نویسنده مسئول:

atavili@ut.ac.ir

^۳ استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^۴ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۵

چکیده:

مراعات در حدود نیمی از خشکی‌های جهان را تشکیل می‌دهند و حاوی بیش از یک سوم ذخایر کربن زیست‌کره خاکی می‌باشند؛ در نتیجه، این اراضی قابلیت زیادی برای ذخیره و ترسیب کربن دارند. از سوی دیگر، مقدار ذخیره کربن ناشی از گیاهان مختلف مراتع متفاوت است. در این مطالعه، مقدار ذخیره کربن در خاک دو تیپ مرتعی علفی و بوته‌ای در منطقه اخترآباد شهریار بررسی شد. به منظور انجام تحقیق، دو تیپ تقریباً خالص بوته‌ای (*Salsola rigida*) و علفی (*Stipa barbata*) که تقریباً در مجاورت یکدیگر قرار داشته و از لحاظ خصوصیات توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و اقلیمی (بارش، تبخیر و تفرق و باد) شرایط مشابهی داشتند، انتخاب شدند. منطقه‌ای نیز به عنوان تیمار شاهد (فاقد گونه‌های مورد مطالعه) در حد فاصل دو تیپ مذکور در نظر گرفته شد. سپس به صورت تصادفی اقدام به حفر ۱۵ پروفیل در دو تیپ مورد مطالعه و نیز منطقه شاهد گردید. نمونه‌برداری در هر پروفیل در تیپ‌ها براساس عمق ریشه‌دوانی، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها بین دو تیپ گیاهی و منطقه شاهد از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که تمام خصوصیات فیزیکوشیمیایی (به جز آهک و فسفر) خاک رویشگاه *S.rigida*، *S.barbata* و منطقه شاهد از لحاظ آماری، دارای اختلاف معنی‌دار هستند. مقدار کربن آلی خاک در تیپ گیاهی *S.rigida* (۳۳/۲۵ تن در هکتار) بیشتر از خاک تیپ گیاهی *S.barbata* (۳۰/۴۸ تن در هکتار) و آن هم بیشتر از خاک منطقه شاهد (۲۵/۵۲ تن در هکتار) به دست آمد. اختلاف بین کربن خاک در تیپ سالسولا و استیپا و همچنین استیپا و شاهد معنی‌دار نبود؛ اما بین سالسولا و شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. براساس نتایج این تحقیق مشخص شد که اگرچه مقدار ذخیره کربن در خاک تیپ گیاهی گراسی کمتر از تیپ بوته‌ای بود، علفزارها هم مانند بوته‌زارها قابلیت بالایی در ذخیره کربن دارند.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، گازهای گلخانه‌ای، *Salsola rigida*، *Stipa barbata*، اخترآباد شهریار.

مقدمه

با آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم میلادی و رشد روزافزون تحولات بشری، تغییرات گوناگونی نیز در زندگی انسان‌ها رخ داده است. نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی نظیر زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهایی مانند دی‌اکسید کربن در جو شده است. از طرف دیگر افزایش جمعیت کره زمین باعث تغییر کاربری زمین، تخریب جنگل‌ها، چرای بی‌رویه مراتع، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و تولید ضایعات جامد و مایع شده که تبعات مختلفی از جمله تغییر آب و هوا را به همراه داشته است (لوسیوک و همکاران، ۲۰۰۰). در ۱۵۰ سال اخیر، مقدار دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر، بر اثر فعالیت‌های انسانی از ۲۸۸ قسمت در میلیون در سال ۱۸۵۰ (قبل از انقلاب صنعتی) به ۳۶۷ قسمت در میلیون در سال ۱۹۹۸ رسیده است؛ بنابراین، حدود ۲۲٪ از دی‌اکسید کربن کنونی موجود در اتمسفر، بر اثر مجموعه فعالیت‌های انسانی به وجود آمده است (جنیدی جعفری، ۱۳۸۸). دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای (O_3 , N_2O , CH_4 ...) در لایه تروپوسفر قرار دارند و عامل عمده ایجاد لایه‌ای به نام دام حرارتی زمین محسوب می‌شوند. این لایه تشعشع حرارت‌زای خورشید را از خود عبور می‌دهد؛ ولی پس از برخورد با سطح زمین، از برگشت آن به فضا جلوگیری می‌کند؛ در نتیجه، متوسط گرمای زمین افزایش می‌یابد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در ۵۰ سال آینده، درجه حرارت زمین بر اثر تشدید گازهای گلخانه‌ای حدود ۱/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (اولسون و آردو، ۲۰۰۲). نگرانی‌های ناشی از مقدار کربن وارد شده به جو و آثار آن بر روی اقلیم، روزبه‌روز در حال افزایش است؛ چنان‌که در پی این نگرانی‌ها در سال ۱۹۹۲ تقریباً همه کشورهای دنیا و از جمله ایران، کنوانسیون را تحت عنوان کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد (UNECC) امضا کردند که هدف درازمدت آن بر مبنای یافتن راهکارهایی برای متعادل کردن محتوای گازهای گلخانه‌ای اتمسفر استوار است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷). به‌عنوان اقدامی برای دستیابی به این هدف، کشورهای صنعتی پروتکل کیوتو را در دسامبر ۱۹۹۷ میلادی پذیرفتند (باتجس، ۱۹۹۶). سه راهکار کلی برای مدیریت میزان کربن اتمسفری وجود دارد: ۱. افزایش میزان تجمع کربن توسط ایجاد سینک‌ها (مخازن) به روش

ترسیب کربن؛ ۲. جلوگیری از آزاد شدن کربن از سینک‌ها به اتمسفر به روش حفاظت کربن؛ ۳. کاهش تقاضا برای انرژی فسیلی با به‌کارگیری سایر اشکال انرژی به روش جایگزینی کربن (شومان و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از روش‌های پیشنهاد شده برای کاهش گاز کربنیک هوا، افزایش ذخیره جهانی کربن در خاک‌ها می‌باشد؛ زیرا خاک تقریباً ۷۵ درصد ذخایر کربن در خشکی را دارد (یعنی در حدود ۳ برابر بیشتر از میزان ذخیره کربن در گیاهان و جانوران)؛ بنابراین، خاک‌ها در حفظ توازن چرخه جهانی کربن نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند (مهدوی، ۱۳۸۸). ترسیب کربن عبارت است از توانایی درختان و سایر گیاهان و خاک برای جذب دی‌اکسید کربن از اتمسفر و ذخیره آن به صورت کربن در چوب، ریشه، برگ و خاک (رحیمی، ۲۰۰۴). ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر CO_2 اتمسفری دارد؛ به طوری که تغییرات کم در تراکم کربن خاک، بر اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم CO_2 اتمسفری ایجاد کند. همچنین کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب، اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد (توکلی و همکاران، ۲۰۰۸).

مراتع حدود ۴۷٪ از خشکی‌های کره زمین را شامل می‌شود. اگرچه بیوماس مراتع در مقایسه با جنگل‌ها ناچیز است، به دلیل وسعت بیشتر مراتع در مقایسه با جنگل‌ها از دیدگاه ترسیب کربن، اهمیت زیادی دارند (کرنل، ۲۰۰۳). آدامز و همکاران (۱۹۹۰) بیان می‌کنند اراضی مرتعی گراسلند مساحتی در حدود ۳۲٪ از کل پوشش طبیعی کل دنیا را به خود اختصاص داده‌اند و نقش مهمی در ترسیب کربن جهانی و کاهش ورود دی‌اکسید کربن به اتمسفر دارند. کالوپدیس (۱۹۹۷)، میزان ترسیب کربن سالانه از غلفزارهای منطقه می‌سی‌سی‌پی آمریکا را حدود ۲/۹ کیلوگرم در هکتار برآورد کرده است. اولسون و آردو (۲۰۰۲) در کشور سودان، نتیجه گرفتند که تبدیل اراضی زراعی کم‌بازده به مرتع می‌تواند کربن خاک را به طور معنی‌دار افزایش دهد. در مجموع، میزان کربن موجود در زی‌توده گیاهی مراتع نسبتاً کم است (تقریباً ۱۰ درصد) و بیشترین مقدار کربن ترسیب‌شده در اکوسیستم‌های مرتعی (حدود ۹۰ درصد) در ماده آلی خاک قرار دارد. عموماً بیشترین مقدار ماده آلی خاک مراتع در سطح خاک ذخیره

روش تحقیق

به منظور انجام تحقیق، دو تیپ تقریباً خالص یکی بوته‌ای (*Salsola rigida*) و دیگری علفی (*Stipa barbata*) که از لحاظ خصوصیات توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و اقلیمی (بارش، تبخیر و تعرق و باد) شرایط مشابهی داشتند، انتخاب شد. در انتخاب منطقه مورد نظر، ملاک اصلی حداکثر حضور گونه علفی و بوته‌ای و حداقل حضور گونه‌های همراه بود. این عمل به منظور حذف تأثیر سایر گونه‌های گیاهی در ذخیره کربن خاک و ارزیابی توان واقعی و انحصاری گونه‌های مورد مطالعه در ذخیره کربن بود. بدین ترتیب، گونه‌های غالب دو تیپ انتخاب شده (*Stipa* و *Salsola rigida barbata*) به عنوان تیمارهای مورد مطالعه در نظر گرفته شد. منطقه‌ای نیز به عنوان تیمار شاهد (فاقد گونه‌های مورد مطالعه) در حد فاصل ۲ تیپ انتخاب شد. در منطقه شاهد تک‌پایه‌هایی از گیاهانی چون برخی گون‌ها و لاکتوکا، همچنین گیاهان یکساله دیده می‌شد.

برای مطالعه خصوصیات خاک، در دو تیپ مورد نظر و منطقه شاهد، ۱۵ پروفیل به صورت تصادفی حفر شد. در هر پروفیل، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت؛ زیرا میکروارگانیزم‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری اول خاک، بیشترین استقرار را دارند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷). از طرفی، گسترش ریشه گیاهان مورد مطالعه، عمدتاً در این عمق بود. در نهایت، نمونه‌ای به وزن یک کیلوگرم به آزمایشگاه منتقل شد.

نمونه‌ها بعد از خشک شدن در هوای آزاد، کوبیده و توسط الک ۲ میلی‌متری الک شدند. سپس آزمایش‌های مربوط به فاکتورهای مورد نظر به شرح زیر و براساس دستورالعمل روش‌های تجزیه خاک (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲) انجام شدند: وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس، ازت به روش کجلدال، پتاسیم به روش فلیم فتومتری (شعله‌سنجی)، آهک با استفاده از دستگاه کالسی‌متری، فسفر به روش اسپکتو فتومتری (رنگ‌سنجی یا کالری‌متری)، ماده آلی و کربن آلی به روش والکی-بلاک، pH با روش الکتریکی و دستگاه pH متر و EC با استفاده از دستگاه EC متر.

داده‌های به دست آمده به تفکیک تیمارها (علفزار، بوته‌زار و شاهد) در محیط Excel ثبت شده و با استفاده از نرم‌افزار

می‌شود و با افزایش عمق کاهش می‌یابد (رایس، ۲۰۰۵). عبدی (۱۳۸۴) بیان کرد کل ترسیب کربن در گون‌زارها ۹۴/۹۰ تن در هکتار است و قسمت عمده کربن ترسیب شده، در بخش خاک وجود دارد.

قسمت زیادی از مراتع ایران که دارای بارش سالیانه بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر هستند، در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. قابلیت ترسیب کربن توسط گونه‌های سازگار در این مناطق که بعضی از گونه‌های چوبی و بوته‌ای می‌باشد، بسیار زیاد است. به توان بالقوه و بالفعل ترسیب کربن در این عرصه‌ها کمتر توجه شده است (لوسیوک و همکاران، ۲۰۰۰). مسئله گرم شدن زمین و افزایش گاز کربنیک، مسئله‌ای جهانی است و به کشور خاصی محدود نمی‌شود و همه انسان‌ها از هر ملیت و نژاد در معرض خطر خواهند بود. بنا به گزارش خبرگزاری اقتصادی ایران، طبق تازه‌ترین آمار سازمان ملل متحد، مقام ایران در تولید گازهای گلخانه‌ای از رتبه ۳۰ به ۱۰ رسیده است. به همین دلیل، تحقیقات در این زمینه در کشور ما نیز امری ضروری است. در عرصه منابع طبیعی کشور و به خصوص در بخش مرتع، مسائل ناشناخته زیادی در رابطه با توانایی گونه‌های مختلف مرتعی کشور (طبیعی و دست‌کاشت) در نقاط مختلف که دارای پتانسیل بالایی در ذخیره و ترسیب کربن هستند، وجود دارد؛ بنابراین، تحقیقات جامع در خصوص توان ذخیره و ترسیب کربن این گونه‌ها امری لازم و ضروری است. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف مقایسه توان ذخیره کربن خاک، در دو تیپ مرتعی علفی و بوته‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه اختراآباد جزو شهریار است و در استان تهران واقع شده است. مراتع منطقه مذکور به عنوان مراتع قشلاقی بهره‌برداری می‌شوند و دارای اقلیم نیمه‌خشک و بیابانی هستند. مراتع مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی با ارتفاع متوسط بین ۱۱۴۹ تا ۱۱۷۵ متر از سطح دریا قرار دارند. میانگین بارندگی سالانه ۲۳۶/۷۶ میلی‌متر، میانگین دمای متوسط ۱۳/۷۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین تبخیر و تعرق ماهانه ۱۸۰/۷۲ میلی‌متر است و اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارد.

(جدول ۲). براساس این جدول، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین درصد کربن در تیمارهای مورد مطالعه وجود دارد. مقایسه میانگین درصد کربن خاک با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد که بیشترین درصد کربن مربوط به خاک رویشگاه سالسولا با مقدار ۰/۷۹ و کمترین مقدار آن در خاک شاهد با مقدار ۰/۶۱ درصد است و خاک استپیا در حد وسط قرار دارد. بین درصد کربن در خاک گونه *S. rigida* و شاهد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ به طوری که متعلق به گروه‌های آماری مجزا هستند؛ در صورتی که درصد کربن خاک گونه *S. barbata* با هیچ‌یک از تیمارهای ذکر شده اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۱).

مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری طبق رابطه زیر محاسبه شد: $Cc=10000 \times C(\%) \times Bd \times e$
در این رابطه، Cc مقدار کربن بر حسب کیلوگرم بر هکتار، C درصد کربن در عمق مشخصی از خاک، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e عمق خاک بر حسب سانتی‌متر است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن خاک (تن در هکتار)، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین مقدار کربن در هر هکتار از تیمارهای خاک گونه *S. rigida*، *S. barbata* و منطقه شاهد وجود دارد (جدول ۳). شکل ۲، مقایسه میانگین مقدار کربن خاک بر حسب تن در هکتار را نشان می‌دهد. بین مقدار کربن خاک استپیا و شاهد و نیز خاک استپیا و سالسولا تفاوت معنی‌دار وجود ندارد؛ اما اختلاف بین خاک سالسولا و شاهد معنی‌دار است و هر یک به طور مجزا در گروه‌های آماری قرار گرفته‌اند. بیشترین مقدار کربن در هر هکتار مربوط به خاک سالسولا با مقدار ۳۳/۲۲ تن و کمترین مقدار آن در خاک شاهد با مقدار ۲۵/۴۷ تن است.

SPSS و روش تجزیه واریانس (ANOVA)، تجزیه و تحلیل شدند. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مورد مطالعه (۲ تیپ گیاهی و منطقه شاهد)، از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج

۱. تشریح خصوصیات خاک تیپ‌های مورد مطالعه

۱-۱. *Salsola rigida*

نتایج حاصل از مطالعات خاک‌شناسی (جدول ۱) در رویشگاه این گونه نشان داد که بافت خاک شنی رسی لومی (Sandy clay loam) است و میزان هدایت الکتریکی ۰/۳۷ دسی زیمنس بر متر (خاک معمولی) می‌باشد. میزان اسیدیته خاک حدود ۸/۴۴ (قلیایی) و آهک خاک حدود ۸/۷۱ درصد بوده و وزن مخصوص ظاهری و مقدار کربن آلی به ترتیب ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۷۹ درصد است. همچنین مقدار عناصر P ، N و K به ترتیب عبارت‌اند از: ۰/۴۴ درصد (فقیر)، ۱۱/۴۴ (ppm) و ۳۳۳/۱۶ (ppm).

۱-۲. *Stipa barbata*

براساس مطالعات خاک‌شناسی (جدول ۱)، بافت خاک رویشگاه این گونه، شنی رسی لومی (Sandy clay loam) می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی ۰/۱۸ دسی زیمنس بر متر (خاک معمولی) و میزان اسیدیته خاک حدود ۸/۲۳ بوده (قلیایی) و درصد آهک خاک حدود ۷/۴۶ است. همچنین وزن مخصوص ظاهری و مقدار کربن آلی به ترتیب ۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۷۱ درصد است و بالاخره مقدار عناصر P ، N و K به ترتیب عبارت‌اند از: ۰/۳۵ درصد (فقیر)، ۱۰/۴۸ (ppm) و ۲۴۱/۴۴ (ppm).

۲. مقایسه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در دو

تیپ مورد مطالعه و خاک منطقه شاهد (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

نتایج نشان داد که تمام خصوصیات فیزیکوشیمیایی (به جز آهک و فسفر) خاک رویشگاه *S. rigida*، *S. barbata* و منطقه شاهد از لحاظ آماری، دارای اختلاف معنی‌دار هستند

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک رویشگاه دو گونه مورد مطالعه (عمق ۳۰ تا ۳۰ سانتی متر)

| تیپ گیاهی | رس (%) | سیلت (%) | ماسه (%) | EC (dsm ⁻¹) | pH | آهک (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³) | ماده آلی (%) | کربن آلی (%) |
|-----------------------|--------|----------|----------|-------------------------|-------|---------|--------|---------|---------|--------------------------------------|--------------|--------------|
| <i>Salsola rigida</i> | ۲۵/۲ | ۱۶/۸۷ | ۵۷/۹۳ | ۰/۳۷ | ۸/۴۴ | ۸/۷۱ | ۰/۰۴۴ | ۱۱/۴۴ | ۳۳۳/۱۶ | ۱/۴۱ | ۱/۳۵ | ۰/۷۹ |
| | ±۱/۰۸ | ±۱/۰۲ | ±۱/۷۸ | ±۰/۰۴ | ±۰/۰۴ | ±۰/۵۰ | ±۰/۰۰۳ | ±۰/۴۸ | ±۱۴/۹۳ | ±۰/۰۰۹ | ±۰/۱۲ | ±۰/۰۷ |
| <i>Stipa barbata</i> | ۲۱/۴ | ۱۶/۵۳ | ۶۲/۰۷ | ۰/۱۸ | ۸/۲۳ | ۷/۴۶ | ۰/۰۳۵ | ۱۰/۴۸ | ۲۴۱/۴۴ | ۱/۴۴ | ۱/۲۳ | ۰/۷۱ |
| | ±۰/۵۹ | ±۰/۴۸ | ±۰/۷۸ | ±۰/۰۱ | ±۰/۰۱ | ±۰/۳۰ | ±۰/۰۰۱ | ±۰/۲۶ | ±۱۳/۶۹ | ±۰/۰۰۶ | ±۰/۰۵ | ±۰/۰۳ |

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک در دو تیپ مورد مطالعه و منطقه شاهد (عمق ۳۰ تا ۳۰ سانتی متر)

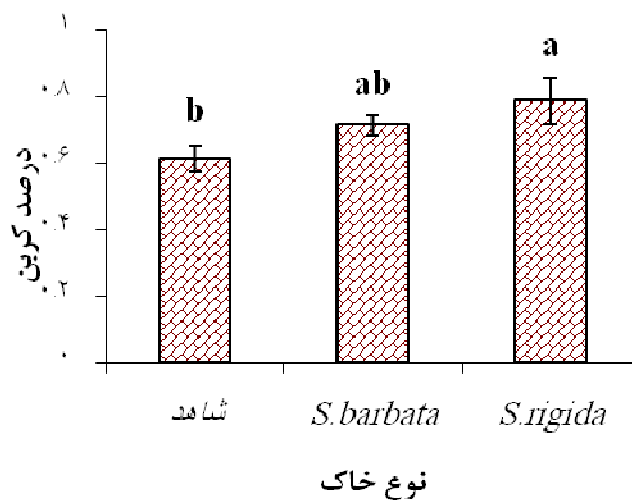
| صفت | منبع تغییر | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F |
|--------------------------------------|------------|--------------|------------|----------------|---------------------|
| رس (%) | تیما | ۱۹۲ | ۲ | ۹۶/۲ | ۷/۲** |
| | خطا | ۵۶۲ | ۴۲ | ۱۳/۴ | |
| | کل | ۷۵۵/۲ | ۴۴ | | |
| سیلت (%) | تیما | ۶۱۴/۴ | ۲ | ۳۰۷/۲ | ۱۶/۸** |
| | خطا | ۷۶۶/۸ | ۴۲ | ۱۸/۳ | |
| | کل | ۱۳۸۱/۲ | ۴۴ | | |
| ماسه (%) | تیما | ۱۲۸۰/۲ | ۲ | ۶۴۰/۱ | ۲۰/۴** |
| | خطا | ۱۳۱۶/۸ | ۴۲ | ۳۱/۴ | |
| | کل | ۷۵۵/۲ | ۴۴ | | |
| EC (dcs/m) | تیما | ۰/۲۹۳ | ۲ | ۰/۱۴۷ | ۷/۳** |
| | خطا | ۰/۸۴۵ | ۴۲ | ۰/۰۲۰ | |
| | کل | ۱/۱۳۸ | ۴۴ | | |
| pH | تیما | ۰/۷۱۵ | ۲ | ۰/۳۵۸ | ۲۷/۱** |
| | خطا | ۰/۵۵۵ | ۴۲ | ۰/۰۱۳۲ | |
| | کل | ۱/۲۷۰ | ۴۴ | | |
| آهک (%) | تیما | ۱۴/۰۸۲ | ۲ | ۷/۰۴۱ | n.s ^{۳/۳} |
| | خطا | ۹۰/۱۲۷ | ۴۲ | ۲/۱۴۶ | |
| | کل | ۱۰۴/۲۰۹ | ۴۴ | | |
| پتاسیم (ppm) | تیما | ۲۷۸۸۷۰/۳ | ۲ | ۱۳۹۴۳۵/۲ | ۲۳/۳** |
| | خطا | ۲۵۱۹۲۱/۶ | ۴۲ | ۵۹۹۸/۱ | |
| | کل | ۵۳۰۷۹۱/۹ | ۴۴ | | |
| فسفر (ppm) | تیما | ۷/۰۸۹ | ۲ | ۳/۵۴۵ | n.s ^{۱/۳۵} |
| | خطا | ۱۱۰/۵۴۹ | ۴۲ | ۲/۶۳۲ | |
| | کل | ۱۱۷/۶۳۹ | ۴۴ | | |
| ازت (%) | تیما | ۰/۰۰۰۶۱ | ۲ | ۰/۰۰۰۳۱ | ۵/۳** |
| | خطا | ۰/۰۰۲۴۰ | ۴۲ | ۰/۰۰۰۰۵ | |
| | کل | ۰/۰۰۳۰۲ | ۴۴ | | |
| وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³) | تیما | ۰/۰۲۰۱ | ۲ | ۰/۰۱۰۰ | ۱۱/۰** |
| | خطا | ۰/۰۳۸۴ | ۴۲ | ۰/۰۰۰۰۹ | |
| | کل | ۰/۰۵۸۴۴ | ۴۴ | | |
| کربن آلی (%) | تیما | ۰/۲۳۱ | ۲ | ۰/۱۱۵ | ۳/۳* |
| | خطا | ۱/۵۱۲ | ۴۲ | ۰/۰۳۶ | |
| | کل | ۱/۷۴۳ | ۴۴ | | |

** وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد * وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد n.s: وجود نداشتن اختلاف معنی دار

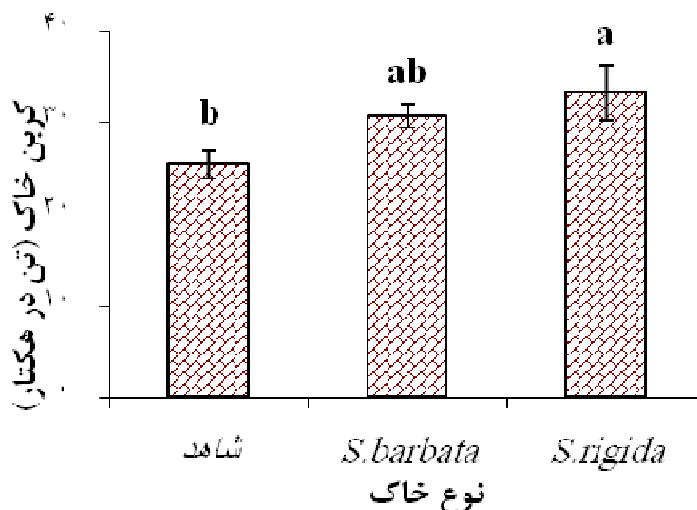
جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس مقدار کربن (تن در هکتار) در خاک دو تیپ مورد مطالعه و منطقه شاهد (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

| منبع تغییر | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | مقدار F |
|------------|--------------|------------|----------------|---------|
| تیپار | ۴۷۱/۳۰۱ | ۲ | ۲۳۵/۶۵۱ | ۳/۷* |
| خطا | ۲۷۰۸/۸۹۷ | ۴۲ | ۶۴/۴۹۸ | |
| کل | ۳۱۸۰/۱۹۹ | ۴۴ | | |

*: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد



شکل ۱: مقایسه میانگین درصد کربن در خاک دو تیپ مورد مطالعه و منطقه شاهد (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد (حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست).



شکل ۲: مقایسه میانگین مقدار کربن (تن در هکتار) در خاک دو تیپ مورد مطالعه و منطقه شاهد (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد (حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست).

بحث و نتیجه گیری

خاک مهمترین مخزن کربن در اکوسیستم‌های مرتعی محسوب می‌شود و مواد آلی خاک تنها منبع بزرگ کربن آلی در مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ به همین دلیل، شناخت عوامل مؤثر بر ذخیره و ترسیب کربن در بخش خاک، بسیار مهم و ضروری است (هسینک، ۱۹۹۷). کربن آلی خاک تابعی از عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی، توپوگرافی، بافت و ساختمان خاک و وزن مخصوص ظاهری است (برادمدو و متئوس، ۲۰۰۳). نتایج بسیاری از تحقیقات مبین تأثیر زیاد محتوی رس خاک بر کربن ترسیب شده در خاک است. در این مطالعه، درصد رس در خاک گونه *S. rigida* (۲۵/۲ درصد) بیشتر از خاک گونه *S. barbata* (۲۱/۴ درصد) بود. عقیده برخی از محققان نظیر هسینک (۱۹۹۷)، بر آن است که پایداری کربن آلی خاک در ارتباط با مقدار رس خاک است و قابلیت یک خاک و توان آن برای ترسیب کربن بستگی به ظرفیت انباشت کربن آن خاک دارد که عبارت است از بیشترین مقدار کربن آلی در ارتباط با ذرات رس. ایشان اثبات کردند که مقدار مواد آلی که یک خاک قادر به ذخیره آن است، به‌طور عمده به‌وسیله مقدار سیلت و رس خاک تنظیم می‌شود. درصد آهک در خاک گونه *S. rigida* (۸/۷۱ درصد) بیشتر از خاک گونه *S. barbata* (۷/۴۶ درصد) بود. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه جنیدی جعفری (۱۳۸۸)، آهک خاک رابطه مثبت و معنی‌داری با میزان کربن ذخیره‌شده در بیوماس گیاهی دارد. توجه این موضوع را می‌توان به نقش مثبت آهک در بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها، تأثیر مثبت بر تغذیه گیاه به‌دلیل وجود ترکیبات کلسیم و منیزیم نسبت داد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). در این تحقیق، مقدار P ، N و K در خاک گونه *S. rigida* بیشتر از خاک گونه *S. barbata* بود. ذخیره ازت تثبیت‌شده در اکوسیستم در تعامل با میزان کربن ترسیب‌شده است و عامل ازت دارای نقش کنترل‌کنندگی بر فرایند ترسیب کربن در اکوسیستم است؛ به‌گونه‌ای که ازت خاک بیش از ۵۱ درصد از تغییرات کربن ترسیب‌شده در اکوسیستم‌های درمنه‌زار در استان سمنان را توجیه می‌کند (جنیدی جعفری، ۱۳۸۸). وزن مخصوص ظاهری در برآورد مقدار ذخیره کربن خاک نقش مهمی دارد. از لحاظ وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در خاک گونه *S. rigida* و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. حال آنکه خاک رویشگاه *S. barbata* هم با شاهد و

هم با خاک سالسولا تفاوت معنی‌داری داشت و در یک گروه مجزا قرار گرفت. بیشترین میانگین وزن مخصوص ظاهری در خاک استیپا با مقدار ۱/۴۴ و کمترین مقدار آن در خاک شاهد با مقدار ۱/۳۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. مکنزی و همکاران (۲۰۰۰)، بیان کردند وزن مخصوص ظاهری خاک یکی از عوامل مهم برآورد ظرفیت ترسیب کربن خاک است. برای برآورد محتوی کربن در حجم معینی از خاک، باید درصد کربن آلی خاک را در وزن مخصوص ظاهری خاک ضرب کرد. در مقایسه دو نمونه خاک که از نظر درصد کربن آلی یکسان هستند ولی وزن مخصوص ظاهری متفاوتی دارند، خاکی که دارای وزن مخصوص ظاهری بیشتری است، محتوی کربن آلی بیشتری دارد.

مقدار کربن آلی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در خاک رویشگاه *S. rigida* (۳۳۲۴۷/۸ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از خاک گونه *S. barbata* (۳۰۸۴۴/۸ کیلوگرم در هکتار) و خاک استیپا نیز بیشتر از کربن آلی خاک منطقه شاهد (۲۵۵۲۰/۴ کیلوگرم در هکتار) بود. رایس (۲۰۰۵)، با مطالعه‌ای که درباره تأثیر افزایش دی اکسید کربن اتمسفر و همچنین تأثیر عملیات مدیریت زمین بر ترسیب کربن مراتع انجام داد، نتیجه گرفت که بین ترسیب کربن در مراتع نواحی خشک و عمق خاک، رابطه مستقیم وجود دارد و بیشترین میزان کربن در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک وجود دارد. مقدار انباشت مواد آلی کربنی در خاک به بیوماس ریشه‌ای، لاشبرگ و مواد مشتق‌شده گیاهی قسمت بالای زمین بستگی دارد. میزان ماده آلی خاک اصولاً با تولید اولیه خالص اکوسیستم و میزان تجزیه ترکیبات آلی تنظیم می‌شود و در ادامه، بقایای گیاهی داخل خاک به‌تدریج از طریق فعل و انفعالات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، معدنی شدن و تجزیه لاشبرگ تغییر می‌یابد (آدامز و همکاران، ۱۹۹۰). مقدار مواد آلی خاک با قابلیت تولیدی آن، رابطه مستقیم دارد و با افزایش زی‌توده گیاهی در اراضی، به‌ویژه در افق‌های فوقانی خاک، مقدار مواد آلی و در نتیجه، ذخیره و ترسیب کربن در خاک افزایش خواهد یافت (برادمدو و متئوس، ۲۰۰۳). بر همین اساس، تقی‌زاده (۱۳۹۱) عمق فوقانی خاک را به‌عنوان عمق مؤثر برای نمونه‌برداری و تعیین کربن آلی خاک توصیه می‌کند. این موضوع ضرورت حفاظت از پوشش گیاهی و نیز ارتقای کمی بیوماس گیاهی برای افزایش توان ترسیب کربن را به‌خوبی توجیه می‌کند.

خاک رویشگاه سالسولا) مبین این مسئله است که گونه‌های علفی نیز مانند گونه‌های بوته‌ای نقش مهمی در ترسیب کربن دارند. آدامز و همکاران (۱۹۹۰)، بیان می‌کنند گراسلندها مساحتی در حدود ۳۲٪ از کل پوشش طبیعی کل دنیا را به خود اختصاص داده‌اند و نقش مهمی در ترسیب کربن جهانی و کاهش ورود دی اکسید کربن به اتمسفر دارند.

اگرچه بنا بر گزارش‌های موجود، گیاهان بوته‌ای مهم‌ترین اجزای اکوسیستم‌های نیمه‌خشک جهان هستند (هیرو و همکاران، ۲۰۰۰) و بوته‌ها با برخورداری از اندام خشبی (چوبی)، از حیث پایایی ذخایر کربن در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، اهمیت فراوانی دارند؛ اما در عین حال، وجودداشتن تفاوت معنی‌دار بین ذخیره کربن رویشگاه سالسولا و استیپا در تحقیق حاضر (علی‌رغم بالابودن آن در

منابع

- تقی‌زاده، لیللا. ۱۳۹۱. بررسی میزان ذخیره کربن در کاربری‌های مختلف شمال شرق شیراز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- جنیدی جعفری، حامد. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر برخی عوامل بوم‌شناختی و مدیریتی بر میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌های گونه درمنه دشتی، مطالعه موردی: مراتع استان سمنان. رساله دکتری مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- جعفری حقیقی، مجتبی. ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک - نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی. انتشارات ندای ضحی.
- عبدی، نورالله. ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون در دو استان مرکزی و اصفهان. رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- مهدوی، خدیجه. ۱۳۸۸. بررسی اثر شدت‌های برداشت، تراکم کاشت و دوره‌های بهره‌برداری بر میزان ترسیب کربن در چراگاه‌های آتریپلکس لتنی فرمیس در استان اصفهان. رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- مهدوی، خدیجه، مختاری اصل، ابوالفضل و مهدوی، فاطمه. ۱۳۸۷. توجه به نقش مراتع در ترسیب کربن، جنگل و مرتع. ۷۹: ۳۱ تا ۲۴.
- Adams, J. M., Faure-Denard, L., Mcglade, J. M., and Woodward, F. L., 1990. Increase in terrestrial carbon storage from the last Glacial maximum to the present. *Nature*, 348: 711-714.
- Batjes, N. H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of soil science*, 47: 151-163.
- Broadmeadow, M., and Matthews, R., 2003. Forest, carbon and climate change; The UK contribution Forestry Commission (Edinburgh): 156-167.
- Calopedis, S., 1997. Carbon sequestration. GHG emissions homepage, 15P.
- Hierro, J., Branch, L., Villarrel, D., and Clark, K., 2000. Predictive equation for biomass and fuel characteristics of Argentine Shrubs. *Journal of range management*, 53(6): 617-621.
- Hassink, J., 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil*, 191: 77-87.
- Kornel, C., 2003. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, 91: 4-17.
- Luciuk, G. M., Bonneau, M. A., Boyle, D. M., and Vibery, E., 2000. Prairie farm rehabilitation. Administration paper, Carbon sequestration-Additional Environmental Benefits of Forest in the PERA.
- Mckenzie, N., Ryan, P., Fogarty, P., and Wood, J., 2000. Sampling, measurement and analytical protocols for carbon estimation in soil, litter and coarse woody debris. National carbon Accounting System, Technical Report, No 14.
- Olsson, L., and Ardo, J., 2002. Soil carbon sequestration in degraded semiarid agroecosystems- Prills and potentials. *Ambio*, 31: 471-477.
- Rahimi, N., 2004. The examination of strategies of development in Kyoto protocol and manner to financial provide for projects. *Energy* 9 (21): 56-71.
- Rice, C. W., 2005. The role of plant and land grassland ecosystem. *Jeoderma*, 128: 130-154.
- Schuman, G. E., Janzen, H. H., and Herrick, J. E., 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*, 116: 391-396.
- Tavakoli, H., Filehkesh, E., Ahmadinejad, h., Aliabadi, M., and Kazemi, M., 2008. How can contribute to carbon sequestration and biodiversity in Arid Region? The 3rd International Conference on Water Resource and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum.