فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، صفحهٔ ۲۸۲-۲۶۹ (۱۳۸۷)

برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گون‌زارهای استان مرکزی (مطالعه موردی منطقه مالمیر شهرستان شازند)

نوراله عبدی[1*]، حسن مداح عارفی[2] و قوام الدین زاهدی امیری[3]

۱*- نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی اراک پست الکترونیک: n-abdi@iau-arak.ac.ir

۲- استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور.

۳- استادیار دانشگاه تهران

تاریخ دریافت:۸۶/۳/۱۹ تاریخ پذیرش:۸۶/۱۱/۲۰

چکیده

دی‌اکسیدکربن اتمسفر در دهه‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته است. شیوه‌های مدیریت اراضی، شرایطی را برای تعدیل افزایش غلظت CO_2 فراهم می‌آورند که طی آن کربن اضافی از طریق ذخیره شدن در بیوماس گیاهی و مواد آلی خاک ترسیب می‌گردد، این فرایند را اصطلاحاً ترسیب کربن خاکی گویند. اکوسیستم‌های مرتعی به‌دلیل اینکه نیمی از کل اراضی جهان را دربر گرفته‌اند، قابلیت بالایی در ترسیب کربن دارند. گون‌زارهای ایران با وسعت ۱۷ میلیون هکتار، معادل ۱۰ درصد کل اراضی کشور را پوشش داده‌اند و سهم بالایی در ترسیب کربن دارند. به‌منظور بررسی نقش و قابلیت گون‌زارها در ترسیب کربن، یک منطقه معرف از تیپ گیاهی *Astragalus verus-Bromus tomentellus* در مراتع مالمیر شهرستان شازند در استان مرکزی انتخاب شد و مقادیر کربن در بیوماس هوایی و زیرزمینی، لاشبرگ و خاک در آن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که کل کربن ترسیب شده در واحد سطح، ۳۲/۹۵ تن در هکتار بود و ۸۷/۴۳ درصد از کل ترسیب کربن را کربن آلی خاک تشکیل می‌داد. نتایج توزیع کربن بیوماس کل نشان داد که ذخیره کربن در بیوماس اندامهای هوایی، بیش از ریشه‌ها بود. نتایج تجزیه همبستگی و رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که ترسیب کربن با ارتفاع و حجم بوته‌های گون، بیوماس هوایی، بیوماس زیرزمینی، بیوماس کل، مقدار لاشبرگ و کربن آلی خاک رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. به‌طورکلی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که گون‌زارها قابلیت بالایی در ترسیب کربن دارند و خاک مهم‌ترین مخزن کربن آلی در گون‌زارهاست.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، کربن آلی خاک، بیوماس، لاشبرگ، مراتع، گون‌زار، استان مرکزی.

مقدمه

اکوسیستم‌های مرتعی قابلیت بالایی در ترسیب کربن دارند چرا که نیمی از خشکیهای کره زمین را دربر گرفته‌اند و ذخیره کربن آنها ۱۰ درصد کل ذخایر کربن بیوماس اکوسیستم‌های خاکی و ۳۰ درصد کل کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد. در مقیاس جهانی مراتع سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد تن کربن ترسیب می‌کنند (Derner & Schuman, 2007). محققان زیادی از جمله Luciuk et al. (2000)، Schuman et al. (2005) و Derner & Schuman (2007)، بر اهمیت

اکوسیستم‌های مرتعی از دیدگاه ترسیب کربن تأکید کرده‌اند.

Snorrason et al. (2002), گزارش کردند مقدار ترسیب کربن در یک دوره ۳۲ ساله برای یک مرتع چرا شده ۱۵۷ تن در هکتار بود و قسمت اعظم ترسیب کربن در خاک اتفاق افتاد. احیاء چمن‌زارهای تخریب شده و تجدید پوشش گیاهی آنها با گونه‌های علوفه‌ای و پوششی چندساله می‌تواند ضمن جلوگیری از فرسایش خاک و هدررفت کربن، تخریب‌های صورت گرفته را در بلندمدت جبران نماید (Luciuk et al., 2000، و Smith, 2004).

نتایج مطالعات Su-Yong & Zhao (2003) در استپ‌های شنی چین نشان داد که تحت سیستم‌های قرق مرتع, ترسیب کربن کل در بیوماس, لاشبرگ و خاک در مقایسه با سیستم چرای مداوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در چراگاههایی که تحت چرای مفرط و شدید قرار دارند، می‌توان با کاهش تعداد دام، اعمال سیستم‌های چرای تناوبی و کودپاشی، میزان ترسیب کربن خاک را افزایش داد (Nyborg et al., 1997، Bruce et al., 1999 و Derner & Schuman, 2007). درصورتی‌که مراتع و چراگاهها تحت تأثیر چرای مفرط دام قرار نگیرند و تعداد دام در حد ظرفیت نگهداری باشد، مقدار مواد آلی خاک تغییر چندانی نمی‌کند؛ اما در اراضی تحت چرای مفرط، علاوه بر تخریب شدید پوشش گیاهی، فرسایش تشدید شونده خاک و کاهش ذخایر کربن خاک نیز به‌وقوع خواهد پیوست (Bruce et al., 1999).

افزایش ترسیب کربن معادل افزایش بیوماس گیاهی، افزایش تولید، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی است. به‌همین سبب ترسیب کربن علاوه بر دارا بودن ارزشهای حفاظتی و پایه‌ای، به‌دلیل افزایش تولید بیوماس، از نظر اقتصادی دارای ارزش است و می‌تواند به‌عنوان منفعت و سود اضافی حاصل از فعالیت‌ها و عملیات احیاء اراضی تخریب شده مطرح گردد (عبدی، ۱۳۸۵).

میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به نوع گونه‌های گیاهی، روش احیاء و شرایط محیطی به‌ویژه مقدار بارندگی متفاوت است. میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت, تغییر کاربری اراضی, نوع عملیات احیایی, شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post & Kwon, 2000 و Derner & Schuman, 2007). نتایج مطالعات Singh et al. (2003) ، در هند نشان داد که کربن آلی خاک با پوشش گیاهی همبستگی مثبت داشت.

بیوماس، اساس برآورد ارزش اقتصادی کربن است. اندازه‌گیری و برآورد بیوماس در دو بخش بیوماس هوایی و زیرزمینی صورت می‌گیرد. بیوماس ریشه‌ها، یک منبع مهم کربن تلقی می‌شود، زیرا ٤٠-١٠ درصد کل بیوماس را تشکیل می‌دهد، اما برآورد آن پرهزینه است (MacDicken, 1997). امانی و مداح عارفی (۱۳۸۲)، مقدار کربن ترسیب شده در بیوماس هوایی ۱/۵ میلیون هکتار از تاغزارهای دست‌کاشت اراضی بیابانی کشور را معادل ۷/۵ میلیون تن برآورد کرده‌اند و معتقدند چنانچه مقدار کربن ترسیب شده در اندامهای زیرزمینی و خاک این تاغزارها، معادل اندامهای هوایی برآورد شود، مجموع مقدار کربن ترسیب شده در اندامهای هوایی و زیرزمینی تاغزارهای دست‌کاشت کشور، معادل ۱۵ میلیون تن خواهد بود.

مراتع ایران با وسعت ۹۰ میلیون هکتار، وسیع‌ترین عرصه حیاتی کشور را شامل می‌شوند. به نقل از مداح عارفی (۱۳۷۹)، UNDP عنوان نمود که قابلیت ترسیب کربن در مراتع ایران، به شرطی‌که این مراتع مورد احیاء قرار گرفته و به‌طور شایسته‌ای مدیریت شوند, معادل یک میلیارد تن کربن می‌باشد.

گون‌زارهای بالشتکی که پیکره ریختار پوششی ایران را تشکیل می‌دهند، حدود ۱۷ میلیون هکتار وسعت دارند و ۱۹٪ از سطح مراتع و ۱۰٪ از مساحت کل کشور را دربر دارند. این گون‌زارها علاوه بر فواید شناخته شده‌ای مانند حفاظت خاک، تولید کتیرا، زنبورداری، تلطیف هوا، تنوع زیستی، ذخایر توارثی و مقاومت بسیار زیاد به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و سرما، از جنبه‌های زیست‌محیطی نظیر ترسیب کربن حائز اهمیت فراوان می‌باشند (معصومی، ۱۳۷۹، عبدی، ۱۳۸٤).

این تحقیق با فرض اینکه گون‌زارهای ایران با توجه به وسعت زیاد و پوشش مناسب از نظر میزان ترسیب کربن و کمک به حل معضل جهانی افزایش گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرم شدن هوا، سهم قابل توجهی دارند انجام گردید.

اهداف این تحقیق عبارت بودند از: بررسی جنبه‌های مختلف ترسیب کربن در گون‌زارها شامل:

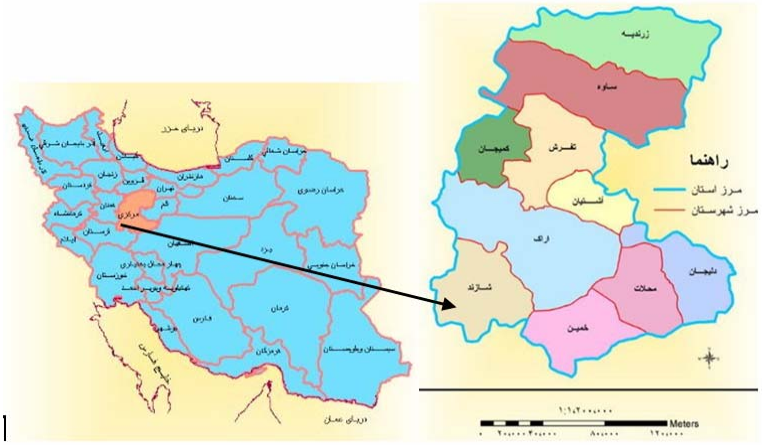
- برآورد میزان کربن ترسیب شده در واحد سطح گون‌زار و تعیین سهم بیوماس هوایی و زیرزمینی، لاشبرگ و خاک از کل کربن ترسیب شده در واحد سطح؛
- بررسی ارتباط میزان ترسیب کربن با عوامل خاک و توپوگرافی؛
- بررسی رابطه سطح، ارتفاع و حجم تاج پوشش با میزان ترسیب کربن در بیوماس، لاشبرگ و خاک؛
- بررسی برخی جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ترسیب کربن در گون‌زارها.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ″۲۸ ′۴۷ °۳۳ تا ″۰٦ ′٤۸ °۳۳ عرض شمالی و ″۰۹ ′۰۸ °٤۹ تا ″٤۰ ′۰۸ °٤۹ طول شرقی، در ٤٥ کیلومتری جنوب غرب شازند واقع شده است (شکل۱). اقلیم حیاتی منطقه نیمه‌استپی سرد، میانگین بلندمدت بارندگی آن حدود ٤۷۸ میلی‌متر، واحد ارضی آن تپه‌ماهور و دامنه ارتفاعی آن ۲٤٥۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه از نظر زمین‌شناسی شامل تشکیلات گرانیت است و در برخی نقاط اراضی سنگی و صخره‌ای مشاهده می‌شود (عبدی، ۱۳۸٤). کاربری اراضی منطقه به‌صورت مرتعی می‌باشد که مورد چرای شدید دام‌های روستاییان قرار دارد. منطقه مورد مطالعه یک منطقه معرف از تیپ گیاهی *Astragalus verus-Bromus tomentellus* به مساحت حدود ٥۰ هکتار بود. سایر گونه‌های همراه عبارت بودند از:

Acantholimon sp., Agropyron intermedium, Agropyron tauri, Bromus tectorum, Noaea mucronata, Cousinia sp., Eryngium billardieri, Euphorbia sp., Gundelia tournefortii, Phlomis olivieri, Poa bulbosa, Salvia sp., Scariola orientalis, Stipa barbata, Taeniatherum caput-meduzae, Thymus sp., Tragopogon sp., Ziziphora tenuoir.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

الف- جمع‌آوری اطلاعات، اسناد، مدارک و نقشه‌های موجود درباره منطقه مورد مطالعه

ب- روش نمونه‌برداری میدانی:

ابتدا با استفاده از روش سطح حداقل (Minimal area)، مساحت قطعات نمونه ٤ متر مربع به‌دست آمد؛ سپس با استفاده از شاخص تشابه سورنسون (Sorensen, 1948) فاصله بین شبکه‌های نمونه‌برداری براساس ضریب تشابه ۷۵٪ بین پلات‌های مجاور محاسبه گردید (این فاصله ۱۰۰ متر به‌دست آمد). در محل برخورد شبکه‌ها نسبت به استقرار پلات‌ها اقدام گردید (تعداد پلات‌ها ۵۰ عدد بود). در هر پلات فهرست گونه‌های گیاهی ثبت گردید. جهت برآورد بیوماس هوایی گون و سایر گونه‌های همراه از روش قطع و توزین استفاده شد و نمونه‌هایی جهت تعیین درصد رطوبت و درصد کربن به آزمایشگاه منتقل گردیدند. اندازه‌گیری سطح تاج پوشش و ارتفاع متوسط گون و گونه‌های خشبی انجام شد. جهت برآورد بیوماس زیرزمینی گون و سایر گونه‌ها از نسبت بین ریشه و ساقه استفاده گردید. بدین منظور ۳۰ پایه از گیاه با تنوعی از پایه‌های جوان و مسن برای هر کدام از گونه‌های گون انتخاب و با حفر پروفیل خاک تا عمق نفوذ ریشه‌ها بیوماس کل ریشه‌ها برداشت و توزین شد. نمونه‌های ریشه به وزن ۱۰۰ گرم جهت تعیین درصد رطوبت و درصد کربن برداشت گردیدند. در محاسبه بیوماس زیرزمینی سایر گونه‌ها (با توجه به سهم ناچیز آنها در مقایسه با بیوماس گون‌ها) از روش غیرمستقیم برآورد نسبت ریشه به ساقه استفاده گردید و براساس دستورالعمل MacDicken (1997) از نسبت ۱٦٪ استفاده شد. در هر پلات، تمام لاشبرگ‌های روی سطح خاک برداشت و توزین گردید و نمونه‌ای از آن به وزن ۲۰ گرم جهت تعیین درصد رطوبت و درصد کربن برداشت گردید و نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه آگر انجام شد و نمونه‌ای به وزن ۱ کیلوگرم برداشت گردید (MacDicken, 1997). در تمام پلات‌ها اطلاعات ارتفاع از سطح دریا، مقدار و جهت شیب و مختصات جغرافیایی یادداشت شد.

ج- روش تحقیق آزمایشگاهی

درصد کربن آلی نمونه‌های بیوماس گیاهی و لاشبرگ به روش احتراق در کوره الکتریکی تعیین شد و خصوصیات خاک شامل درصد سنگ و سنگریزه، تعیین بافت به روش هیدرومتری بایکاس، وزن مخصوص ظاهری خاک از روش کلوخه، درصد رطوبت اشباع خاک، اندازه‌گیری pH گل اشباع به روش پتانسیومتری، تعیین هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک مشخص گردیدند (MacDicken, 1997 و جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

د- روشهای تجزیه آماری اطلاعات:

ابتدا میانگین، حداقل، حداکثر و اشتباه استاندارد صفات اندازه‌گیری شده در پلات‌ها، تعیین گردید. به‌منظور تعیین روابط بین عوامل پوشش گیاهی، خاک، توپوگرافی و ترسیب کربن، ضرایب همبستگی بین صفات به روش پیرسون محاسبه شد. با توجه به تعدد صفات مورد بررسی در تجزیه همبستگی، جهت حذف متغیرهای که تأثیر معنی‌داری روی تابع (ترسیب کربن) نداشتند، از مدل رگرسیونی گام‌به‌گام استفاده گردید، به‌نحوی که در آن اجزای ترسیب کربن (کربن آلی خاک، کربن بیوماس و کربن لاشبرگ) به‌عنوان متغیر تابع مورد بررسی قرار گرفتند تا مشخص گردد کدام متغیرهای مستقل محیطی (عوامل پوشش گیاهی، خاک و توپوگرافی) بیشترین سهم را بر ترسیب کربن دارند.

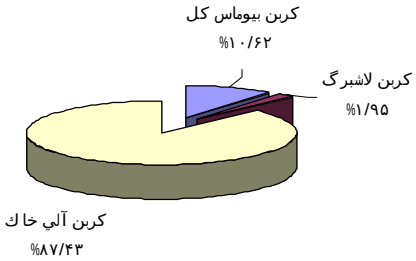
نتایج

خلاصه آماره‌ها شامل میانگین، حداقل، حداکثر و اشتباه استاندارد روی میانگین کل پلات‌های منطقه مالمیر شازند در جدول ۱ آمده است. کل کربن ترسیب شده در واحد سطح منطقه مورد مطالعه ۳۲۹۵ گرم بر متر مربع بود که معادل ۳۳/۹۵ تن در هکتار می‌باشد. از کل کربن ترسیب شده در هر هکتار از گون‌زارهای مورد مطالعه، ۲۸/۸۱ تن (۸۷/۴۳ ٪) سهم کربن آلی خاک، ۳/۴۹ تن (۱۰/۶۲٪) سهم کربن بیوماس و ٦٤١ کیلوگرم (۱/۹۵٪) سهم کربن لاشبرگ بود. بنابراین خاک بیشترین و لاشبرگ کمترین سهم را از ترسیب کربن کل دارا بودند (جدول ۱ و شکل ۲).

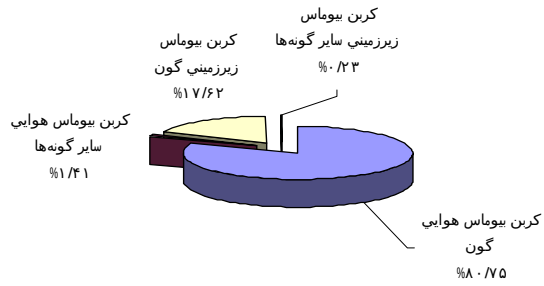
با توجه به اینکه منشأ کربن ترسیب شده در خاک و لاشبرگ بیوماس است، در شکل ۳ به تفکیک اجزاء کربن بیوماس پرداخته شده است. نتایج نشان داد که از کل کربن ترسیب شده در بیوماس، به‌ترتیب ۸۰/۷۵٪ و ۱۷/۶۲٪ مربوط به بیوماس هوایی و زیرزمینی گون‌ها بود و در مجموع گون‌ها ۹۸/۳۷٪ کل کربن بیوماس را دارا بودند.

جدول ۱- خلاصه آماره‌های میانگین، حداقل، حداکثر و اشتباه استاندارد روی میانگین کل ۵۰ پلات در منطقه مالمیر شازند

صفت	میانگین	حداقل	حداکثر	اشتباه استاندارد
درجه شیب	10/50	4/00	21/00	1/48
درصد رس خاک	8/72	7/40	11/60	0/42
درصد شن خاک	77/70	68/40	84/40	2/08
درصد لوم خاک	13/58	7/40	21/80	1/77
مقدار pH خاک	7/41	6/68	8/12	0/14
درصد سنگ و سنگریزه خاک	20/04	4/19	35/69	3/07
مقدار EC خاک (دسی زیمنس بر متر)	0/58	0/35	0/98	0/06
وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتیمتر مکعب)	1/80	1/71	1/90	0/02
درصد رطوبت اشباع خاک	35/27	25/34	46/21	1/81
ارتفاع از سطح دریا (متر)	2359/50	2320/00	2410/00	9/41
تراکم (تعداد گیاه در متر مربع)	1/53	0/75	2/75	0/23
پوشش گیاهی (متر مربع در متر مربع)	0/25	0/06	0/44	0/04
ارتفاع بوته (متر)	0/24	0/10	0/42	0/03
حجم بوته (متر مکعب بر متر مربع)	0/07	0/01	0/18	0/02
بیوماس هوایی گون (گرم بر متر مربع)	591/68	100/84	1613/40	145/81
بیوماس هوایی سایر گونه‌ها (گرم بر متر مربع)	10/69	0/00	56/25	6/26
بیوماس زیرزمینی گون (گرم بر متر مربع)	128/80	22/46	359/43	31/39
بیوماس زیرزمینی سایر گونه‌ها (گرم بر متر مربع)	1/71	0/00	9/00	1/00
کربن بیوماس هوایی گون (گرم بر متر مربع)	282/32	48/11	769/83	69/57
کربن بیوماس هوایی سایر گونه‌ها (گرم بر متر مربع)	4/92	0/00	25/88	2/88
کربن بیوماس زیرزمینی گون (گرم بر متر مربع)	61/59	10/70	171/18	14/99
کربن بیوماس زیرزمینی سایر گونه‌ها (گرم بر متر مربع)	0/79	0/00	4/14	0/46
بیوماس هوایی کل (گرم بر متر مربع)	602/37	100/84	1613/40	145/85
بیوماس زیرزمینی کل (گرم بر متر مربع)	130/51	22/46	359/43	31/41
بیوماس کل (گرم بر متر مربع)	732/87	123/30	1972/83	177/03
لاشبرگ (گرم بر متر مربع)	176/25	37/50	750/00	67/97
درصد کربن آلی خاک	0/80	0/57	0/99	0/04
کربن بیوماس هوایی کل (گرم بر متر مربع)	287/52	48/11	769/83	69/54
کربن بیوماس زیرزمینی کل (گرم بر متر مربع)	62/35	10/70	171/18	15/00
کربن بیوماس کل (گرم بر متر مربع)	349/86	58/81	941/01	84/46
کربن لاشبرگ (گرم بر متر مربع)	64/17	17/05	256/31	23/20
کربن آلی خاک (گرم بر متر مربع)	2881/06	2156/88	3655/29	159/05
کربن آلی خاک و لاشبرگ (گرم بر متر مربع)	2945/23	2239/23	3911/60	174/47
ترسیب کربن کل (گرم بر متر مربع)	3295/09	2568/58	4852/62	235/86



شکل ۲- توزیع ترسیب کربن در خاک، بیوماس و لاشبرگ در منطقه مالمیر شازند



شکل ۳- توزیع کربن بیوماس کل در اندامهای هوایی و زیرزمینی گون و سایر گونه‌ها در منطقه مالمیر شازند

همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه

ضرایب همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه به روش پیرسون محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ درج گردید. ضرایب همبستگی بین پوشش گیاهی با سایر صفات حاکی از رابطه مثبت بین پوشش گیاهی با ارتفاع و حجم بوته‌ها در سطح ۱٪ بود. بین بیوماس هوایی کل با مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها در سطح ۱٪ رابطه مثبت و معنی‌دار برقرار بود. بیوماس زیرزمینی کل در سطح ۱٪ با بیوماس هوایی کل، مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها رابطه مثبت معنی‌دار داشت. رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح ۱٪ بین بیوماس کل با مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها و بیوماس هوایی و زیرزمینی وجود داشت. لاشبرگ با بیوماس کل و بیوماس هوایی و زیرزمینی کل در سطح ۱٪ رابطه مثبت معنی‌دار داشت. همچنین رابطه بین لاشبرگ با پوشش گیاهی و حجم بوته مثبت، ولی معنی‌دار نبود. بین کربن آلی خاک با بیوماس هوایی و زیرزمینی، بیوماس کل، ارتفاع و حجم بوته، مقدار پوشش گیاهی و لاشبرگ و مقدار EC خاک رابطه مثبت غیرمعنی‌دار وجود داشت.

ترسیب کربن کل با ارتفاع و حجم بوته، بیوماس هوایی و زیرزمینی کل، بیوماس کل، مقدار لاشبرگ و کربن آلی خاک رابطه مثبت و معنی‌دار داشت.

جدول ۲- تجزیه همبستگی بین صفات (عوامل) اندازه‌گیری شده در منطقه مالمیر شازند، براساس میانگین داده‌های پلات‌های نمونه‌برداری

	درجه شیب	درصد رس خاک	درصد شن خاک	درصد لوم خاک	مقدار pH خاک	درصد سنگ و سنگریزه خاک	مقدار EC خاک	وزن مخصوص ظاهری خاک	درصد رطوبت اشباع خاک	ارتفاع از سطح دریا	تراکم گیاهی	پوشش گیاهی	ارتفاع بوته	حجم بوته	بیوماس هوایی کل	بیوماس زیرزمینی کل	بیوماس کل	لاشبرگ	کربن آلی خاک
درصد رس خاک	-.108																		
درصد شن خاک	-.045	-.775**																	
درصد لوم خاک	.078	.672*	-.989**																
مقدار pH خاک	-.527	-.519	.663*	-.654*															
درصد سنگ و سنگریزه خاک	-.119	-.001	.336	-.393	.209														
مقدار EC خاک	-.333	-.631	.540	-.484	.539	.473													
وزن مخصوص ظاهری خاک	-.096	-.643*	.957**	-.969**	.611	.450	.427												
درصد رطوبت اشباع خاک	-.134	.085	-.142	.146	.139	-.602	-.139	-.244											
ارتفاع از سطح دریا	.725	.189	-.012	-.030	-.583	.185	-.301	-.007	-.392										
تراکم گیاهی	-.639*	.193	-.098	.069	.040	.100	-.070	.079	-.325	-.421									
پوشش گیاهی	.373	-.362	.090	-.020	-.231	.170	.165	.158	-.259	-.026	.138								
ارتفاع بوته‌ها	.700**	-.183	-.018	.064	-.378	.234	.041	-.002	-.200	.307	-.288	.846**							
حجم بوته‌ها	.602	-.298	.083	-.027	-.315	.195	.096	.119	-.237	.234	-.113	.938**	.951**						
بیوماس هوایی کل	.319	-.302	.239	-.209	-.103	.347	.273	.296	-.072	.011	-.009	.890**	.851**	.898**					
بیوماس زیرزمینی کل	.210	-.269	.249	-.229	-.047	.388	.293	.324	-.047	-.069	.063	.859**	.790**	.840**	.991**				
بیوماس کل	.300	-.297	.241	-.213	-.093	.355	.277	.301	-.067	-.003	.004	.886**	.841**	.889**	1.00**	.994**			
لاشبرگ	.042	-.096	.420	-.469	.079	.690*	.287	.558	-.163	.104	.110	.533	.515	.551	.799**	.841**	.807**		
کربن آلی خاک	.268	.077	.021	-.042	-.075	.521	.351	.001	.156	.215	-.541	.241	.547	.404	.552	.553	.553	.604	
ترسیب کربن کل	.294	-.067	.142	-.150	-.076	.548	.368	.163	.063	.154	-.355	.535	.724*	.647*	.811**	.813**	.812**	.794**	.993**

** و * = به‌ترتیب ضرایب همبستگی در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار است.

معادلات رگرسیونی بین اجزاء ترسیب کربن و عوامل پوشش گیاهی، توپوگرافی و خاک

با توجه به اینکه کل ترسیب کربن به سه جزء کربن آلی خاک، کربن بیوماس و کربن لاشبرگ تفکیک می‌شود، بنابراین در تجزیه رگرسیونی گام‌به‌گام به‌طور جداگانه هریک از این اجزا به‌عنوان متغیر تابع و سایر عوامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل رگرسیونی شدند:

الف- کربن آلی خاک: کربن آلی خاک به‌عنوان متغیر تابع و عوامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفتند و نتیجه اینکه هیچ عاملی وارد مدل نشد.

ب- کربن بیوماس کل: کربن بیوماس کل به‌عنوان متغیر تابع و سایر عوامل به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج جدول ۳ نشان داد که حجم بوته به تنهایی ۷۹٪ و همراه با عامل لاشبرگ، ۹٤٪ کربن بیوماس کل را توجیه کردند؛ در صورتی‌که Y کربن بیوماس کل و X_1 و X_2 حجم بوته و لاشبرگ فرض شوند، معادله رگرسیون گام‌به‌گام به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Y=52/79+2807/80x_1+0/56x_2$$

ج- کربن لاشبرگ: کربن لاشبرگ به‌عنوان متغیر تابع و سایر عوامل به‌عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار

جدول ۳- نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام کربن بیوماس کل (متغیر تابع) با عوامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی (متغیرهای مستقل) در منطقه مالمیر شازند

	مراحل رگرسیون	گام‌به‌گام
	1	**2**
عدد ثابت	74/88	52/79
حجم بوته (متر مکعب بر متر مربع)	3904/84	2807/80
لاشبرگ (گرم بر متر مربع)		0/56
ضریب تبیین R^2	**0/79**	**0/94**

گرفتند. نتایج جدول ٤ نشان داد که بیوماس هوایی گون به تنهایی ٦۹٪ و همراه با درصد سنگ و سنگریزه خاک و حجم بوته ۹٤٪ تغییرات کربن لاشبرگ را توجیه کردند؛ به‌نحوی که اگر Y کربن آلی خاک و X_1 تا X_3 به‌ترتیب بیوماس هوایی گون، درصد سنگ و سنگریزه خاک و حجم بوته فرض شوند، معادله کلی رگرسیون گام‌به‌گام به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Y= -53/94+0/21x_1+2/60x_2+806/60x_3$$

این معادله نشان می‌دهد که هر سه صفت وارد شده در مدل رگرسیونی، در جهت مثبت بر روی کربن لاشبرگ تأثیر می‌گذارند.

جدول ٤- نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام کربن لاشبرگ (متغیر تابع) با عوامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی (متغیرهای مستقل) در منطقه مالمیر شازند

	مراحل رگرسیون		گام‌به‌گام
	1	2	3
عدد ثابت	-13/87	-66/88	-53/94
بیوماس هوایی گون (گرم بر متر مربع)	0/13	0/10	0/21
درصد سنگ و سنگریزه خاک		3/45	2/60
حجم بوته (متر مکعب بر متر مربع)			806/60
ضریب تبیین R^2	**0/69**	**0/87**	**0/94**

بحث

میانگین کل کربن ترسیب شده در هر هکتار از گون‌زارهای مورد مطالعه ۳۲/۹۵ تن در هکتار و برای کل منطقه مورد مطالعه (به وسعت ۵۰ هکتار)، ۱٦٤۷/۵ تن برآورد گردید. تیپ گیاهی *Astragalus verus-Bromus tomentellus* در استان مرکزی دارای مساحت ۸۹۲۵ هکتار می‌باشد (عبدی، ۱۳۸٤) که با احتساب ۳۲/۹۵ تن ترسیب کربن در هر هکتار، کل کربن ترسیب شده در این تیپ معادل حدود ۲۹٤ هزار تن برآورد می‌گردد. اگر ارزش اقتصادی هر تن کربن حداقل ۵۰ دلار آمریکا درنظر گرفته شود (Luciuk et al., 2000)، ارزش کربن ترسیب شده در هر هکتار از گون‌زارهای مورد مطالعه ۱٦٤۸ دلار و در کل مساحت تیپ مورد نظر در استان مرکزی ۱٤/۷ میلیون دلار برآورد می‌گردد. نتایج مطالعات عبدی (۱۳۸٤) نشان داد که در هر هکتار از گون‌زارهای دره چکاب منطقه حفاظت شده هفتاد قله اراک، کل ترسیب کربن معادل ٤۲/۳٤ تن بود. در منطقه هفتادقله به‌رغم کمتر بودن میزان بارندگی (حدود ۲۷۰ میلی‌متر در سال) و به تبع آن کمتر بودن مقدار بیوماس کل در مقایسه با منطقه مالمیر شازند، کربن آلی خاک بیشتر بود. دلیل این امر را می‌توان به اثرهای شدت چرا مرتبط دانست؛ زیرا منطقه مالمیر شازند تحت چرای سنگین دام قرار داشت، ولی دره چکاب منطقه هفتادقله تحت چرای سبک حیات وحش بود. تحقیقات زیادی مؤید افزایش ترسیب کربن آلی خاک در تیمارهای چرای سبک و متوسط در مقایسه با چرای سنگین بوده‌اند (Nyborg et al. 1997، Bruce et al., 1999، Su-Yong & Zhao, 2003، U.S. Geological Survey, 2003 و Derner & Schuman, 2007).

با توجه به اینکه سهم خاک در ترسیب کربن کل بیش از ۸۷٪ بود، بنابراین می‌توان با اطمینان بیان داشت که در اکوسیستم‌های مرتعی و به‌ویژه گون‌زارها خاک مهم‌ترین مخزن کربن آلی است. نتایج تحقیقات Aradottir et al. (2000) و Snorrason et al. (2002) مؤید این نتیجه است.

نتایج توزیع کربن بیوماس کل (شکل ۲) نشان داد که ذخیره کربن در بیوماس اندامهای هوایی، بیش از ریشه‌ها بود که با نتایج مطالعات Aradottir et al. (2000) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج ضرایب همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه (جدول ۲): رابطه مثبت بین درصد سنگ و

سنگریزه و پوشش گون‌ها را می‌توان با بهبود شرایط ریشه‌دوانی در خاکهای درشت دانه و سازگاری بالای گون‌ها به خاکهای واریزه‌ای مرتبط دانست (معصومی، ۱۳۷۹). نتایج حاکی از همبستگی مثبت بین بیوماس هوایی با مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها بود که با یافته‌های MacDicken (1997)، Honda et al. (2000) و عبدی (۱۳۸٤) مطابقت دارد. بین بیوماس زیرزمینی کل با بیوماس هوایی کل، مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها رابطه مثبت و معنی‌دار وجود داشت. به‌عبارت دیگر هرچه ارتفاع، تاج‌پوشش و حجم بوته گون بیشتر باشد، بیوماس هوایی بیشتر است و با افزایش بیوماس هوایی، بیوماس زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد. نسبت بیوماس زیرزمینی به بیوماس هوایی، با توجه به فرم رویشی، گونه گیاهی و شرایط اقلیمی و ادافیکی رویشگاه متفاوت است (MacDicken, 1997 و Derner & Schuman, 2007). بین بیوماس کل با مقدار پوشش گیاهی، ارتفاع و حجم بوته‌ها و بیوماس هوایی و زیرزمینی کل همبستگی مثبت و معنی‌داری به‌دست آمد. تحقیقات عبدی (۱۳۸٤) مؤید ارتباط بین ارتفاع و سطح تاج پوشش با بیوماس است. کربن آلی خاک تحت تأثیر بیوماس هوایی و زیرزمینی و لاشبرگ قرار داشت و با افزایش کربن آلی خاک، درصد رطوبت اشباع و مقدار هدایت الکتریکی خاک افزایش و اسیدیته خاک کاهش نشان داد، هرچند این همبستگی‌ها معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که ترسیب کربن کل با ارتفاع و حجم بوته، بیوماس هوایی کل، بیوماس زیرزمینی کل، بیوماس کل، مقدار لاشبرگ و کربن آلی خاک رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. Honda et al. (2000) معتقدند که بیشتر روشهای برآورد ترسیب کربن بر پایه اندازه‌گیری بیوماس استوار هستند.

مقایسه ضرایب معادلات رگرسیونی گام‌به‌گام بر روی اجزاء اصلی ترسیب کربن (کربن بیوماس گیاهی، کربن لاشبرگ و کربن آلی خاک) و ضرایب همبستگی، بیانگر وجود تطابق مناسب بین نتایج تجزیه رگرسیونی و نتایج تجزیه همبستگی بود.

به‌طورکلی؛ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که ترسیب کربن کل در واحد سطح گون‌زارها، با پوشش گیاهی، بیوماس و اجزای آن، مقدار لاشبرگ و کربن آلی خاک رابطه مستقیم دارد. جهت افزایش ترسیب کربن در گون‌زارها، گزینه‌های کاربردی مدیریت اکوسیستم باید بر سه محور خاک، بیوماس و لاشبرگ استوار باشند. باتوجه به اینکه دست‌کاری و اعمال تغییرات در خاک و لاشبرگ معمولاً به‌طور مستقیم میسر نیست، بنابراین ابزار مدیریتی مستقیم بر تغییرات بیوماس متمرکز می‌گردد. به‌عنوان مثال، Bruce et al. (1999)، Post & Kwon (2000)، Su-Yong & Zhao (2003)، Schuman et al. (2005) و Derner & Schuman (2007)، معتقدند که مقدار کربن خاک در مراتع و گراسلندها تحت تأثیر شیوه‌های مختلف مدیریت دام و عملیات اصلاحی و احیایی مرتع قرار می‌گیرند. به‌همین سبب در بسیاری از پروژه‌های ترسیب کربن، با اعمال مدیریت صحیح اکولوژیکی در جهت افزایش بیوماس گیاهی و جلوگیری از کاهش توان بیولوژیک سرزمین گام برداشته می‌شود؛ چرا که هرگونه تلاش در جهت افزایش قابلیت بیولوژیک اراضی و بازگرداندن ظرفیت‌های از دست‌رفته عرصه‌های منابع طبیعی که در راستای توسعه پایدار باشد؛ افزایش ترسیب

کربن و یا جلوگیری از انتشار و هدررفت کربن را نیز به همراه دارد.

به این دلیل که قسمت اعظم کربن ترسیب شده در خاک قرار دارد، فرایند فرسایش خاک موجب هدررفت کربن می‌گردد و هرگونه عملیات بیولوژیکی و مکانیکی که مانع سیر قهقرایی خاک و پوشش گیاهی شود، قطعاً گام مثبتی در جهت مدیریت ترسیب کربن خواهد بود (عبدی، ۱۳۸٤ و Izaurralde et al. 2007). در چنین شرایطی است که در بسیاری از مطالعات، ترسیب کربن، به‌عنوان ارزش افزوده برای پروژه‌های اصلاح، احیاء و مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی درنظر گرفته می‌شود. Cairns & Meganck (1994) معتقدند که مدیریت جامع جنگل، معادل ترسیب کربن, توسعه پایدار و حفظ تنوع زیستی است؛ در مورد مرتع و سایر اکوسیستم‌های طبیعی نیز می‌توان این مفهوم را تعمیم داد. نگارنده معتقد است بایستی در متون علمی مرتع‌داری و منابع طبیعی، ترسیب کربن به‌عنوان یکی از ارزش‌ها و تولیدات مراتع و منابع طبیعی در کنار استفاده‌های شناخته شده‌ای مانند تولید علوفه، گیاهان دارویی، محصولات فرعی، چرای دام و حیات وحش، تنوع زیستی، استفاده‌های تفرجگاهی، تولید اکسیژن و تلطیف هوا گنجانده شود.

منابع مورد استفاده

- امانی، م. و مداح عارفی، ح.، ۱۳۸۲. بررسی قابلیت ترسیب کربن در تاغزارهای دست‌کاشت کشور و استراتژی آینده. مجموعه مقالات اولین همایش تاغ و تاغکاری، تابستان ۸۲، کرمان.
- جعفری حقیقی، م.، ۱۳۸۲. روشهای تجزیه خاک- نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی «با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی». انتشارات ندای ضحی، ۲۳٦ص.
- عبدی، ن.، ۱۳۸٤. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون (زیر جنس Tragacanth) در استان‌های مرکزی و اصفهان. رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۹٤ صفحه.
- عبدی، ن.، ۱۳۸۵. معرفی ترسیب کربن به‌عنوان شاخصی جهت سنجش توسعه پایدار منابع طبیعی. چکیده مقالات سومین همایش راهکارهای تحقق توسعه پایدار در کشاورزی و منابع طبیعی، اراک ۵ دی‌ماه، ٦۲-۵۷.
- مداح عارفی، ح.، ۱۳۷۹. گزارش آماده‌سازی پروژه ترسیب کربن حسین‌آباد غیناب در استان خراسان. دفتر فنی تثبیت شن و بیابان‌زدایی، سازمان جنگلها و مراتع کشور، ٤۵ صفحه.
- معصومی، ع. ا.، ۱۳۷۹. گون‌های ایران. جلد چهارم، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ٤٤۰ صفحه.
- Aradottir, A., Savarsdottir, L., Kristin, H., Jonsson, P. and Gudbergsson, G., 2000. Carbon accumulation in vegetation and solids by reclamation of degraded areas. Icelandic Agricultural Sciences 13: 99-113.
- Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Joanne, H., Lal, R. and Faustion, K., 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation, First Quarter.
- Cairns M.A. and Meganck R.A., 1994. Carbon sequestration, biological diversity and sustainable development. Integrated forest management, Environmental Management 18: 1, 13-22.
- Derner, J.D. and Schuman, G.E., 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects, Journal of Soil and Water Conservation, 62: 2, 77-85.
- Honda, Y., Yamamoto, H., and Kajiwara K., 2000. Biomass Information in Central Asia. Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University: 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba, 263-8522, JAPAN.
- Izaurralde, R., Williams, C.J.R. Post, W. M. and Thomson, A. M. 2007. Long-term modeling of soil C erosion and sequestration at the small watershed scale. Climatic Change, 80(1-2): 73-90.
- Luciuk, G.M., Bonneau, M.A., Boyle, D.M. and Vibery, E., 2000. Prairie Farm Rehabilitation. Administration Paper, Carbon Sequestration-Additional Environmental Benefits of Forests in the PFRA.
- MacDicken K.G., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock Internationl Institute for

Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program.
- Nyborg, M., Molina-Ayala, M., Solberg, F.D., Izaurralde, R.C., Malhi, S.S. and Janzen, H.H., 1997. Carbon storage in grassland soils as ralated to N and S fertilizer: 421-432 In Lari, F., Kimble, R.J., Follert R. and Stew-an B.A., (ads). Management of Carbon Sequestration in Soil. CRC Press, Boca Raton.
- Post W.M. and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. Global Change Biology 6: 3, 317-327.
- Schuman, G.E., Ingram, L.J., Stahl, R.D. and Vance G.F., 2005. Dynamics of long-term carbon sequestration on rangelands in the western USA. In XX International Grassland Congress, 26 June-1 July 2005, Dublin, Ireland, eds. F.P. O'Mara, RJ. Wilkins, L.'t Mannetje, DK. Lovett. P.A.M. Rogers, and T.M. Boland, 590. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K. and Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. Indian Forester 129: 7, 859-864.
- Smith P., 2004. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. European Journal of Agronomy 20: 3, 229-236.
- Snorrason, A., Sigurdsson, B.D., Gudbergsson, G., Svavarsdottir, K., and Jonsson, T.H.H., 2002. Carbon sequestration in forest plantations in Iceland. Buvisindi 15: 81-93.
- Sorensen, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on species content. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selkab, Biologike Skrifter, Bind V, Nr. 4, Kopenhagen
- Su-Yong, Z. and Zhao, H.L., 2003. Influences of grazing and exclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland. Inner Mongolia, north China, New Zealand Journal of Agricultural Research 46: 4, 321-328.
- U.S. Geological Survey, 2003. Carbon Sequestration - Central Asia Info Sheet. EROS Data Center International Program, U.S. Department of the Interior, URL: http://edcintl.cr.usgs.gov/carboninfosheetca.html

Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region)

N. Abdi[1]*, H. Maddah Arefi[2] and Gh. Zahedi Amiri[3]

1*- Corresponding author, Scientific Board of Islamic Azad University - Arak Branch.
Email: n-abdi@iau-arak.ac.ir
2- Assistant Professor of Research Institute of Forests and Rangelands
3- Professor of Tehran University

Received:09.06.2007 Accepted: 09.02.2008

Abstract

Atmospheric carbon dioxide concentrations have substantially increased in recent decades. Land management practices, however, offer opportunities to mitigate the rise in atmospheric CO2 concentration through sequestration of this additional carbon via storage in plant biomass and soil organic matter in a process termed terrestrial C sequestration. Rangelands ecosystems have a large potential to sequester C because they occupy about half of the world's land area. In Iran, the Astragalus rangelands with about 17 million hectare area have 10% of the country land area and have the important role in carbon sequestration. In order to investigation the role and potential of Astragalus rangelands in carbon sequestration, a study was carried out at a key area of *Astragalus verus-Bromus tomentellus* vegetation type in Malmir rangeland site, Shazand township of Markazi province and the content of aboveground and underground biomass carbon, litter carbon and soil organic carbon was determined. The results showed that the total carbon sequestration per hectare was 32.95 ton and 87.43 % of total carbon sequestration was soil organic carbon. The results of biomass carbon distribution showed that the carbon content in aerial biomass was higher than underground biomass. Correlation and stepwise regression analysis revealed that the content of carbon sequestration was positively related to Astragalus height and volume, aerial and underground biomass, total biomass, litter amount and soil organic carbon (SOC) content. It was concluded that the Astragalus rangelands have a large potential to sequester carbon and the soil is most important sink for organic carbon storage in this rangelands.

Key words: carbon sequestration, soil organic carbon, biomass, litter, rangeland, Astragalus, Markazi province