مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران

جلد ۱۹ شماره ۱، صفحه ۳۰-۱۹ (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfrpr.2021.351502.1437

شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350859.1400.19.1.2.9

اثر شدت بهره‌برداری بر سینتیک معدنی شدن کربن در خاک مرتع (مطالعه موردی: مراتع صدرآباد ندوشن استان یزد)

زهرا کریمی‌پور[۱]، آناهیتا رشتیان[۲*] و سمیه قاسمی[۳]

۱- دانش‌آموخته ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲*-استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران پست الکترونیک: arashtian@yazd.ac.ir

۳-دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳

چکیده

چرای دام بر چرخه عناصر غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد. بنابراین، به‌منظور بررسی تأثیر بهره‌برداری از مراتع بر پوشش گیاهی و درنتیجه سینتیک معدنی شدن کربن، مراتع صدرآباد ندوشن استان یزد انتخاب شد. درصد پوشش گیاهی و تولید در سه منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک به روش سیستماتیک تصادفی نمونه‌برداری شد. نخست نیتروژن، کربن، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) نمونه‌های گیاهی، نیتروژن، کربن، آهک، بافت خاک، pH و EC اندازه‌گیری شد. سپس خاک‌های منطقه قرق و چرای شدید برای اعمال تیمار انتخاب شده و با افزایش یک درصد کربن آلی گونه درمنه (*Artemisia sieberi*) و اسپند (*Peganum harmala*) شامل کنترل ۱۰۰ درصد درمنه، ۷۵ درصد درمنه و ۲۵ درصد اسپند، ۵۰ درصد درمنه و ۵۰ درصد اسپند، ۲۵ درصد درمنه و ۷۵ درصد اسپند و ۱۰۰ درصد اسپند تیمار شدند. نتایج نشان داد که بقایای اسپند به‌دلیل داشتن C/N کمتر نسبت به درمنه از تجزیه‌پذیری خوبی برخوردار بود. در تمامی تیمارها، روند معدنی شدن کربن در دو منطقه مورد مطالعه، دارای توزیع نمایی بوده است. معدنی شدن کربن آلی در خاک دو منطقه تحت چرای شدید و قرق، طی هفته اول مشابه است، اما پس از گذشت زمان، معدنی شدن کربن در تیمار خاک چرای شدید با ۱۰۰ درصد اسپند (*Pe ha*) بیشتر از بقیه تیمارهاست. همچنین ثابت سینتیکی در مناطق با چرای شدید افزایش یافته است. بنابراین، در مناطق با شدت چرای بالا میزان تجزیه کربن آلی بالاست و این اراضی تثبیت کربن کمتری دارند.

واژه‌های کلیدی: قرق، چرای دام، بقایای گیاهی، سینتیک معدنی شدن کربن.

مقدمه

چرای دام یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر خاک و پوشش گیاهی است که می‌تواند از جهات مختلف بر عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی و فرایندهایی مانند تجزیه بقایای گیاهی و چرخه عناصر غذایی تأثیرگذار باشد. تجزیه مواد آلی تنها یک فرایند برای فراهم‌نمودن عناصر مورد نیاز گیاه نیست، بلکه انرژی لازم را نیز برای حیوانات و میکروارگانیسم‌های خاک تأمین می‌کند. بدین‌ترتیب زنجیره غذایی پیچیده‌ای را در خاک تشکیل می‌دهد. اگر عمل تجزیه به‌خوبی انجام نشود، تجمع زیاد لاشبرگ‌ها و مواد آلی غیرقابل جذب برای گیاهان در اکوسیستم باعث بر هم خوردن توازن بین کربن خاک، گیاه و حیوان می‌شود و تولید

اکوسیستم را به صفر نزدیک می‌کند (Tahmasebi, 2008). کمیت و کیفیت لاشبرگ، اکسیژن، دما و رطوبت ازجمله عواملی هستند که به‌شکل مستقیم، چگونگی تجزیه مواد را کنترل می‌کنند. چرای بی‌رویه مراتع نیز از طریق تغییر نوع پوشش گیاهی می‌تواند بر چرخه عناصر غذایی در خاک تأثیر بگذارد (Tahmasebi, 2008).

ازجمله پیامدهای چرای دام ممکن است افزایش میزان کربن خاک و ترسیب آن (Reeder & Schuman, 2002) یا کاهش کربن و در پی آن، تشدید پدیده گلخانه باشد (Perez-Harguindeguy *et al*., 2000). برخی محققان نیز گزارش کردند که چرای دام تأثیر قابل‌توجهی بر میزان کربن خاک ندارد (Han *et al*., 2008). اختلاف‌ها و تناقض‌های گزارش شده در ارتباط با اثر چرا بر مقدار یا ذخیره عناصر غذایی خاک به‌ویژه کربن و نیتروژن، به‌دلیل تفاوت در اقلیم، ویژگی‌های ذاتی خاک، توپوگرافی زمین، ترکیب جوامع گیاهی و اعمال مدیریت‌های مختلف چرا با شدت و مدت‌های متفاوت و نوع دام چراکننده است (Han *et al*., 2008; Perez-Harguindeguy *et al*., 2000; Reeder & Schuman, 2002). اما در بیشتر موارد چرای حیوانات منجر به فراوانی گیاهانی در ترکیب گیاهی می‌شود که تجزیه‌پذیری کمتری دارند، علت این امر آن است که در مراتع تحت چرا، تنها گیاهانی قادر به بقا هستند که دارای بافت‌ها و ترکیبات بازدارنده مملو از لیگنین، کوتین‌ها و مواد سمی باشند (Tahmasebi, 2008). همچنین مطالعات Azhar و همکاران (۱۹۸۶)، Pare و همکاران (۱۹۹۸) و Tian و همکاران (۱۹۹۲) بر اثر چرای دام بر تغییرات پوشش گیاهی نشان داد، با افزایش شدت چرا گونه‌های گراس کاهش یافته و برخی از آنها از مرتع با شدت چرای بالا حذف شده‌اند، درحالی‌که گونه‌های علفی پهن‌برگ پوشش بیشتری داشته‌اند. همچنین در مراتع با چرای شدید با توجه به کاهش پوشش تاجی و تغییر در ترکیب گیاهی، میزان بنیه و شادابی و حفاظت خاک به‌طور محسوس کاهش یافته است و در اثر افزایش شدت چرا در مراتع بوته‌زار مناطق خشک، درصد پوشش گون‌های چوبی مانند *Astragalus calliphysa* افزایش یافته است (Bertrand *et al*., 2006).

مطالعات انجام شده در مراتع مناطق استپی نشان داد، کمترین ارتفاع لکه‌های گیاهی در شدت چرای سنگین و بیشترین ارتفاع لکه‌های گیاهی در منطقه قرق است (Moghadam, 2003) و این عامل باعث کاهش تولید مرتع و دام در این نوع مراتع شده است. همچنین Noy-Meir و همکاران (۱۹۸۹) در مطالعه روی علفزارهای مدیترانه‌ای گزارش کردند که چرای سنگین می‌تواند از طریق کاهش ورود بقایای گیاهی به سطح خاک و درنتیجه پایین بودن ورود سالانه کربن آلی قابل‌تجزیه، باعث کاهش فعالیت میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک شود. تحقیقات نشان داده است، کاربری‌های مختلف، اثرهای متفاوتی بر پویایی کربن آلی خاک دارند و چرای سبک، مناسب‌ترین شیوه بهره‌برداری برای حفظ مقدار کربن آلی خاک است (Vanai *et al*., 2017). با توجه به اینکه اطلاع از سرعت تجزیه‌پذیری بقایای گیاهی، وضعیت جمعیت میکروبی و ماده آلی خاک برای درک بهتر چرخه عناصر غذایی در طبیعت، حفظ کیفیت و حاصلخیزی خاک و همچنین پایداری مراتع امری ضروریست، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر حفاظت مراتع بر برخی فعالیت‌های بیولوژیک خاک با هدف تجزیه‌پذیری و سینیتیک معدنی‌شدن کربن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مراتع صدرآباد ندوشن با وسعت ۴۰۰۰ هکتار بین طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۱ درجه ۵۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۵۳ درجه ۳۰ دقیقه تا ۵۳ درجه ۳۶ دقیقه واقع شده است و بخشی از حوزه آبخیز ندوشن محسوب می‌شود. منطقه به‌طور عمده به‌صورت دشت‌های دامنه‌ای و مسطح است. متوسط بارندگی آن، ۱۶۸ میلی‌متر، اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه، خشک و گرم، دامنه ارتفاعی بین ۱۹۰۰ تا ۳۲۰۰ متر از سطح دریا، طول دوره یخبندان، ۸۵ روز و میانگین حداکثر و حداقل دمای سالانه به‌ترتیب ۲۲/۳ و ۷ درجه سانتی‌گراد است. طول فصل خشک ۸ ماه است که از

اوایل فروردین تا اوایل آذر ادامه دارد. منطقه مورد مطالعه دارای خاک‌های کم‌عمق تا عمیق همراه با سنگ‌های رودخانه‌ای مدور با جورشدگی به‌نسبت خوب هستند، خاک‌های این منطقه جزو خاک‌های قهوه‌ای محسوب می‌شوند (Fakhimi Abargouei, 2007). پوشش گیاهی منطقه بوته‌زار است که بیشتر گیاهان موجود از خانواده‌های *Compositeae* (۴۳ درصد) هستند و گونه *Artemisia sieberi* با بیشترین فراوانی، گونه غالب منطقه است که در بعضی جاها با *Astragalus* (گون) همراه است (Rashtian, 2009).

به‌منظور تعیین سایت‌های مورد بررسی شامل مرتع قرق، چرای متوسط و چرای شدید، ابتدا محدوده منطقه روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص، سپس بازدیدهای میدانی انجام شد و سایت مرتع قرق، چرای متوسط و چرای شدید با توجه به تحقیقات گذشته مشخص گردید (Baghestani Meybodi, 2003). در هریک از مناطق مورد مطالعه، تعداد مناسب پلات‌ها با استفاده از روش آماری بین ۴۰ تا ۵۰ پلات محاسبه شد. در بررسی پوشش گیاهی سایت‌های مرتعی مورد مطالعه از قاب‌های دو مترمربعی (۲×۱ متر) مناسب برای الگوی پراکنش گیاهان در مناطق استپی (Moghadam, 2003; Baghestani Meybodi, 2003) استفاده شد. پس از تعیین واحدهای کاری مشابه براساس فیزیونومی هر سایت، منطقه کلید آن مشخص و نمونه‌برداری از پوشش گیاهی با استفاده از پلات‌های دو مترمربعی واقع در ابتدا، وسط و انتهای ترانسکت‌ها انجام شد. تعداد ۱۰ ترانسکت ۵۰ متری در جهت شیب و خلاف جهت شیب عمومی هر سایت مستقر شد. داخل هر پلات، درصد پوشش گیاهی و تولید به روش قطع و توزین برای هر گونه در سه منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید برآورد شد.

براساس نتایج بررسی پوشش گیاهی منطقه، نمونه‌برداری انجام شد. برای این منظور و به‌طورتصادفی ۳ تا ۵ پایه از گونه‌های *Artemisia sieberi*، *Stipa barbata*، *Peganum harmala* و *Poa annua* واقع در طول هر ترانسکت برداشت شد. به‌دلیل کمبود تولید و کاهش خسارت به پایه‌ها، نمونه‌های ۳ پایه با هم مخلوط و به‌عنوان یک نمونه در نظر گرفته شد. نمونه‌ها پس از شست‌وشو و خشک‌شدن، آسیاب و در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. سپس برخی خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی بقایای گونه‌های انتخاب‌شده مانند کربن آلی، درصد نیتروژن، سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تعیین شد. کربن آلی بقایای انتخاب شده به روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommers, 1986) و درصد نیتروژن کل براساس روش کجلدال (Bremmer & Mulvancey, 1982) اندازه‌گیری شد. درصد سلولز، همی سلولز و لیگنین از طریق روش گورینگ و ون‌سوست (Goering & VanSoests, 1970) و با استفاده از شوینده‌های خنثی و اسیدی اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک که بیشترین فرایند معدنی‌شدن کربن در آن رخ می‌دهد (Ajwa & Tabatabai, 1994) از سه سایت مورد مطالعه تهیه شدند. نقاط نمونه‌برداری در نقاط انتهایی ۵ ترانسکت مستقر شده بود که ترانسکت‌ها به‌طور تصادفی در هر سایت انتخاب شدند، با اختلاط نمونه‌های هر سایت، یک نمونه مرکب از هر خاک حاصل و بعد برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین شد. بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (Hesse, 1970). هدایت الکتریکی (EC) و pH در عصاره اشباع تعیین شد (Hesse, 1970). درصد کربن آلی به روش اکسیداسیون تر در مجاورت بی‌کرومات‌پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ (Nelson & Sommers,1986) و درصد نیتروژن کل با استفاده از دستگاه اتوکلتک مدل ۳۲۰۰ و براساس روش کجلدال (Bremmer & Mulvancey, 1982) تعیین گردید. رطوبت اشباع (SP) به روش وزنی اندازه‌گیری شد (Hesse, 1970).

گونه‌های اسپند (*Pganum harmala*) و درمنه (*Artemisia sieberi*) برای بررسی اثر بهره‌برداری از مراتع روی سینتیک تجزیه کربن انتخاب شدند. همچنین خاک‌های منطقه قرق و منطقه با چرای شدید در آزمایش‌های مربوط به سینتیک معدنی‌شدن کربن استفاده شدند. تیمارهای بقایای گیاهی که به خاک‌ها اضافه شدند شامل 100P: اسپند ۱۰۰ درصد، A25P75: درمنه ۲۵ درصد و اسپند ۷۵ درصد، A50P50: درمنه ۵۰ درصد و اسپند ۵۰ درصد، A75P25:

درمنه ۷۵ درصد و اسپند ۲۵ درصد، A100: درمنه ۱۰۰ درصد و Control: شاهد بود.

به‌منظور بررسی سینتیک معدنی‌شدن کربن، ۵۰ گرم از خاک‌های مورد مطالعه (قرق و چرای شدید) با هر یک از بقایای گیاهی مورد مطالعه، به میزانی که کربن آلی خاک به اندازه یک درصد وزنی افزایش دهد، مخلوط شد. مخلوط خاک و بقایای گیاهی از طریق اسپری کردن آب‌مقطر تا ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب مرطوب شد. ظروف یادشده، به مدت ۶۰ روز در انکوباتور با دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس میکروبی در هفته اول روزانه، در هفته دوم و سوم به‌ترتیب یک و دو روز در میان و هفته‌های چهارم تا هشتم یکبار در هفته اندازه‌گیری شد. بدین‌ترتیب مقدار دی‌اکسیدکربن تولید شده در زمان‌های ۱۳،۱۶،۱۹،۲۶،۳۳،۴۰،۴۷،۶۰، ۷،۶، ۱۱،۹، ۵،۴،۳،۲،۱ روز پس از انکوباسیون اندازه‌گیری شد (Ajwa & Tabatabai, 1994). با اندازه‌گیری تنفس میکروبی در زمان‌های مقرر، مقادیر تجمعی کربن معدنی در این زمان‌ها محاسبه گردید. سپس مقادیر قابلیت معدنی‌شدن کربن (C_0) و ثابت سینتیکی رده اول (k) به‌عنوان عوامل رابطه سینیتکی معدنی‌شدن کربن، با استفاده از نرم‌افزار SYSTAT محاسبه شد.

(1) $Cm=C0(1-e-kt)$

در این رابطه، C_m مقدار کربن معدنی‌شده از بقایای گیاهی در زمان t (روز) است (Ajwa & Tabatabai, 1994). به‌منظور آنالیز داده‌های خاک و پوشش گیاهی از نرم‌افزار SPSS21 استفاده شد.

نتایج

بررسی لیست فلور در منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید

نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل درصد پوشش گیاهی و تولید در سه منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید در جدول ۱ ارائه شده است

جدول ۱- لیست گیاهان داخل پلات‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

گونه گیاهی	پوشش گیاهی (%)			تولید (kg/ha)		
	قرق	چرای متوسط	چرای شدید	قرق	چرای متوسط	چرای شدید
Artemisia sieberi	۵/۳۷	۶/۶۵	۳/۶۴	۲۹/۴	۴۹	۲۳/۴
Stipa barbata	۴/۷۹	۲/۷۷	۰/۴۶	۷۳/۷	۱۴/۲	۶/۱
Peganum harmala	۰	۰	۲/۸۴	۰	۰	۱/۸۵
Poa annua	۲/۰۲	۰/۷۵	۰/۱۱	۲۵/۳	۱۵/۹	۴
Iris kemaonensis	۱/۸۳	۰/۵۷	۰/۰۱	۶۱/۱	۳۲	۴/۶
Lactuca virusa	۰/۳۸	۰/۱۸	۱	۶/۶	۳/۵	۱۱/۸
Astragalus bisulcatus	۰/۲۷	۰	۰/۱۲	۳/۱	۲/۳	۰/۸
Hertia angustifolia	۰/۴۳	۰/۲۵.	۰	۱/۱	۲/۲	۰
Jacobaea maritima	۰/۹۱	۰/۵۵	۰	۰	۵/۹	۰
Cirsium arvense	۰/۰۲	۰	۰	۰/۵۵	۰	۰
کل	۱۶/۰۲	۱۱/۷۲	۸/۱۷	۲۰۰/۸	۱۲۵	۶۹/۲

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، درمنه (*Artemisia sieberi*) در میان گونه‌های موجود، بیشترین درصد پوشش و تولید را داشته است. باوجوداین، درمنه در منطقه قرق و چرای متوسط به‌دلیل خشک‌سالی‌های اخیر و کمبود بارندگی، تغییرات کم و نامحسوسی داشته است. در میان گراس‌ها بیشترین تولید و پوشش مربوط به استپی ریش‌دار (*Stipa barbata*) و بعد چمن یکساله (*Poa annua*) در منطقه قرق است. از میان فورب‌ها، اسپند بیشترین تولید و پوشش را داشته و با افزایش شدت چرا به‌دلیل عدم خوش‌خوراکی این گونه در اطراف آبشخوار افزایش یافته است. به‌طوری‌که اسپند (*Peganum harmala*) با کلاس خوش‌خوراکی سه بیشترین تولید و پوشش را در منطقه آبشخوار داشته و جزو گیاهان زیاد شونده این مرتع بوده است.

بررسی درصد پوشش و تولید در مراتع مورد مطالعه

نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey نشان می‌دهد که بیشترین تولید و درصد پوشش گیاهی متعلق به منطقه قرق بوده است (جدول ۲). به‌طوری‌که تولید و درصد پوشش در دو منطقه چرای متوسط و چرای شدید تفاوت معنی‌داری با هم ندارند، ولی با منطقه قرق تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تجزیه آماری و مقایسه میانگین تولید و درصد پوشش سه منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید

منطقه	تولید (kg/ha)	درصد پوشش
قرق	۲۵۳/۳^{a}±۱۸۵/۶	۱۵/۵۳^{a}±۱۲/۰۲
چرای متوسط	۲۱۹/۷^{ab}±۹۴/۵	۱۰/۲۰^{ab}±۶/۶۰
چرای شدید	۷۹/۷^{b}±۶۳/۸	۹/۰۸^{b}±۷/۵۷
F	۱۳۱/۴۷**	۳۸/۹۳*

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح ۱ درصد. (a,b,c) حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

نتایج حاصل از مطالعات، حکایت از آن دارد که تولید و درصد پوشش گیاهی در سه منطقه قرق، چرای متوسط و چرای شدید تفاوت معنی‌داری با هم دارند. بررسی‌ها نشان داد که گونه درمنه با اینکه بیشتر از ۲۰ سال در منطقه قرق وجود داشته، اختلاف معنی‌داری با منطقه چرای متوسط دارد. روند تغییرات درصد پوشش در سه منطقه براساس سه گونه *Artemisia sieberi*، *Stipa barbata* و *Peganum harmala*تقریباً شامل ۷۰ درصد از پوشش منطقه (جدول ۳) و نیز شامل بیشتر از ۶۰ درصد (به‌طور متوسط) تولید منطقه مطالعاتی می‌شود (جدول ۴).

جدول ۳- درصد پوشش سه گونه درمنه، استیپا و اسپند در مراتع مورد مطالعه

گونه گیاهی	قرق	متوسط	شدید
Ar. si	۵/۳۷	۶/۶۵	۳/۶۴
St. ba	۴/۷۹	۲/۷۷	۰/۴۶
Pe. ha	۰	۰	۲/۸۴
درصد پوشش سه گونه	۱۰/۱۶	۹/۴۳	۶/۹۵
نسبت سه گونه به کل	۰/۶۵	۰/۷۸	۰/۷۱

جدول ۴- تولید (kg/ha) درمنه، استیپا و اسپند در مراتع مورد مطالعه

گونه گیاهی	قرق	متوسط	شدید
Ar. si	۲۹/۴	۴۹	۲۳/۴
St. ba	۷۳/۷	۱۴/۲	۶/۱
Pe. ha	۰	۰	۱۸/۵
تولید سه گونه	۱۰۳/۱	۶۳/۲	۴۸
نسبت سه گونه به کل	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۷۰

خصوصیات گیاهان مورد مطالعه

مقایسه میانگین برخی خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی بقایای گیاهی مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در جدول ۵ نشان داده شده است. مقدار میانگین کربن آلی در هر سه نمونه گیاهی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. به‌طوری‌که بیشترین نسبت C/N در گیاه استیپا به مقدار ۳۹/۶۴ مشاهده شد که با گیاه درمنه تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین نسبت C/N مربوط به گیاه اسپند بود. البته وجود اختلاف معنی‌دار نسبت‌های سلولز به نیتروژن، همی‌سلولز به نیتروژن و لیگنین به نیتروژن به‌دلیل تفاوت در مقدار نیتروژن آنهاست. به‌طورکلی، سلولز و لیگنین به‌عنوان منابع کربن جزو بقایای گیاهی درمنه محسوب می‌شوند. به‌نحوی‌که مقدار کل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین نیز در گیاه درمنه بیشتر از اسپند بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی و بیوشیمیایی سه گونه مورد مطالعه

بقایای گیاهی	OC	TN	CEL	LG	HE	C:N	CEL:N	HE:N	LG:N
Ar. Si	a۴۳/۷۴	b۱/۱۳	a۳۳/۱۶	a۱۷/۰۶	b۱۵/۱۶	a۳۸/۶۴	a۲۹/۲۹	b۱۳/۳۹	a۱۵/۰۷
ba. St	a۴۳/۹۳	b ۱/۱۱	b۲۸/۰۶	c۱۰/۶۳	a۳۰/۱۶	a۳۹/۶۴	b۲۵/۳۰	a۲۷/۱۹	b۹/۵۸
Pe. ha	a۴۲/۳۸	a۲/۷۰	c۳/۶۳	b۱۳/۳۶	c۱۱/۵۳	b۱۵/۶۸	c۱/۳۴	c۴/۲۶	c۴/۹۴

OC: کربن آلی (gkg^{-1})، TN: نیتروژن کل (gkg^{-1})، CEL: سلولز (gkg^{-1})، HE: همی‌سلولز (gkg^{-1})، LG: لیگنین (gkg^{-1})، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، CEL/N: نسبت سلولز به نیتروژن، HE/N: نسبت همی‌سلولز به نیتروژن، LG/N: نسبت لیگنین به نیتروژن. a,b,c: حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مراتع منطقه مورد مطالعه

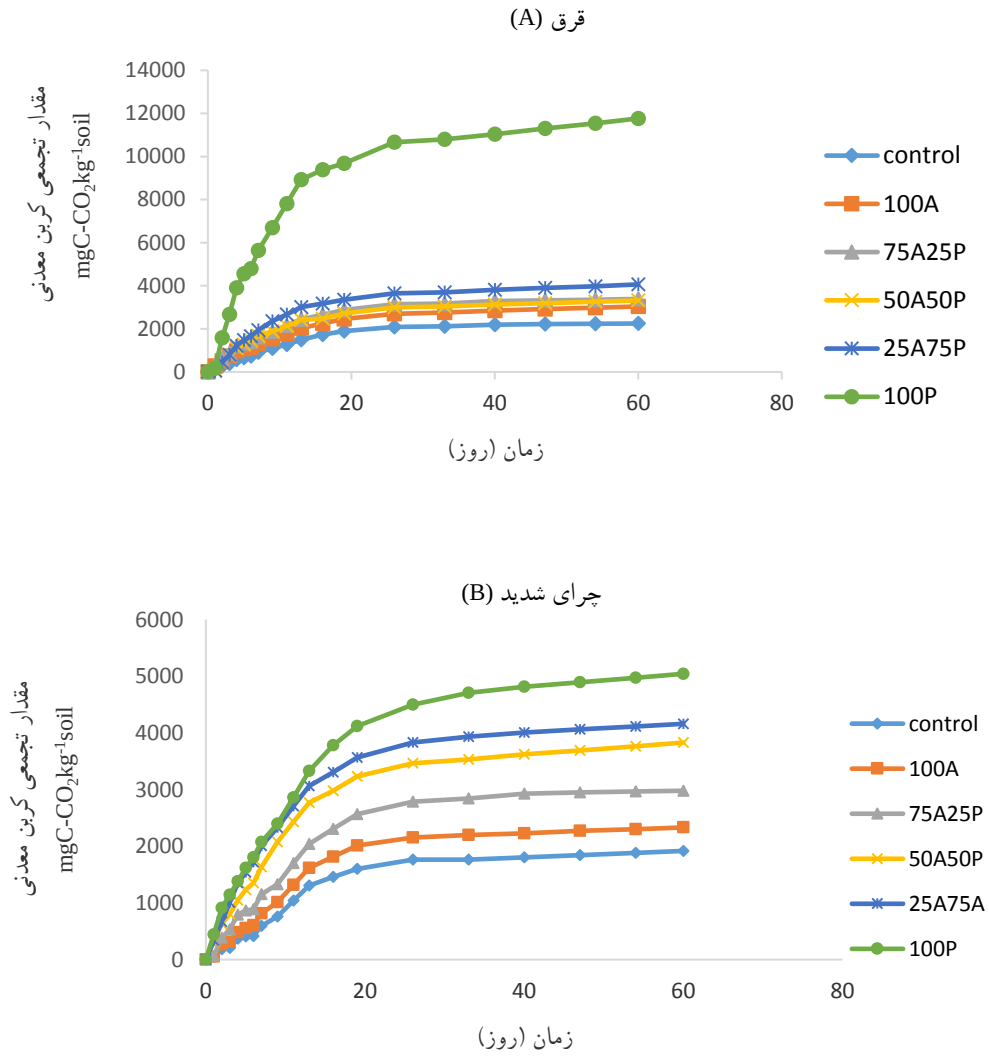
منطقه	بافت	OC	TN	pH	EC	آهک
قرق	شنی‌لومی	۰/۷۳b	۰/۳۸a	۷/۲۴a	۹۲۲b	۲۱/۶۶a
چرای متوسط	شنی‌لومی	/۶۶a	/۱۴a	۷/۲۴a	۹۹۶b	۲۱/۵a
چرای شدید	شنی‌لومی	/۱۷a	/۷۳b	۷/۲۴a	۱۳۱۸/۹b	۲۲/۳۳a

OC: کربن آلی (gkg^{-1})، TN: نیتروژن کل (gkg^{-1})، EC: هدایت الکتریکی، pH: اسیدیته، pH و EC_e در عصاره اشباع اندازه‌گیری شدند.

خصوصیات خاک‌های مراتع مورد مطالعه

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۶ ارائه شده است. بافت خاک هر سه منطقه شنی‌لومی است. مقدار کربن آلی دو خاک منطقه قرق

و چرای متوسط با چرای شدید تفاوت معنی‌داری داشته و میزان نیتروژن کل در دو منطقه چرای متوسط و قرق تفاوت معنی‌داری با خاک منطقه چرای شدید دارد. مقدار pH و آهک در هر سه منطقه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. میزان EC در منطقه قرق و چرای متوسط به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه چرای شدید بود.



شکل ۱- روند زمانی معدنی شدن کربن آلی در خاک منطقه قرق (A) و چرای شدید (B)

100P: اسپند ۱۰۰ درصد، A25P75: درمنه ۲۵ درصد- اسپند ۷۵ درصد، A50P50: درمنه ۵۰ درصد- اسپند ۵۰ درصد، A75P25: درمنه ۷۵ درصد- اسپند ۲۵ درصد، A100: درمنه ۱۰۰ درصد، Control: شاهد

سینتیک معدنی‌شدن کربن بقایای درمنه و اسپند در دو منطقه قرق و چرای شدید

روند معدنی‌شدن کربن آلی در تیمار شاهد و خاک‌های تیمارشده با نسبت‌های مختلف بقایای درمنه و اسپند در شکل ۱ نشان داده شده است. در تمام تیمارها، معدنی‌شدن کربن با زمان دارای توزیع نمایی بوده و روند آن از سینتیک رده اول پیروی می‌کند. عوامل سینتیکی معدنی‌شدن کربن آلی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۷ نشان داده شده است.

سنیتیک معدنی‌شدن کربن در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین سرعت معدنی‌شدن کربن آلی طی هفته اول انکوباسیون اتفاق افتاده است و پس از آن، کربن تجمعی معدنی‌شدن از خاک‌های تیمارشده با نسبت‌های مختلف بقایای گیاهی درمنه و اسپند با سرعت افزایش می‌یابد (شکل ۱).

معدنی‌شدن کربن آلی در خاک منطقه تحت چرای شدید و خاک منطقه قرق، طی هفته اول معدنی‌شدن مشابه است، اما پس از گذشت این زمان، دی‌اکسیدکربن متصاعد شده از تیمار ۱۰۰ درصد اسپند بیشتر از بقیه تیمارهاست (شکل ۱). به‌طوری‌که در خاک منطقه قرق، الگویی مشابه خاک منطقه با چرای شدید مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که تجزیه بقایای حاوی درمنه کمتر از تیمارهای با درصد بالای اسپند بوده است و در حضور درمنه نیز تجزیه این بقایا کاهش یافته است. البته تأثیر درمنه بر روند معدنی‌شدن کربن یک فرایند تدریجی است و با گذشت زمان اثر کاهنده آن به‌ویژه در تیمار ۱۰۰ درصد درمنه بارزتر می‌شود.

جدول ۷- عوامل سینتیکی معدنی‌شدن کربن آلی خاک در منطقه قرق (A) و چرای شدید (B)

	قرق (A)	
تیمار	C0	K
P100	۳۹۸۳/۳۳^{a}	۰/۰۹۴^{a}
A25P75	۳۸۲۶/۶۷^{a}	۰/۰۹۷^{a}
A50P50	۳۲۴۳/۳۳^{a}	۰/۰۹۶۹^{a}
A75P25	۳۳۷۰^{b}	۰/۰۹۶۵^{a}
A100	۲۹۹۰^{c}	۰/۰۸۵^{b}
Control	۲۴۵۰^{d}	۰/۰۷۵^{c}
	چرای شدید (B)	
تیمار	C0	K
P100	۵۰۴۸^{a}	۰/۰۷۹^{c}
A25P75	۴۲۲۳/۳^{b}	۰/۰۹۵^{a}
A50P50	۳۸۱۳/۳^{c}	۰/۰۸۶^{b}
A75P25	۳۱۰۰^{d}	۰/۰۷۳^{d}
A100	۲۴۲۳/۳^{e}	۰/۰۶۹^{e}
Control	۱۸۲۳^{f}	۰/۰۶۴^{f}

C0: قابلیت معدنی‌شدن کربن آلی، K: ثابت سینتیکی رده اول، P100: اسپند ۱۰۰ درصد، A25P75: درمنه ۲۵ درصد- اسپند ۷۵ درصد، A50P50: درمنه ۵۰ درصد- اسپند ۵۰ درصد، A75P25: درمنه ۷۵ اسپند- ۲۵ درصد، A100: درمنه درصد، Control: شاهد

همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو خاک مورد مطالعه بیشترین مقدار درصد کربن معدنی‌شده مربوط به تیمار اسپند ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد است (جدول ۷).

بحث

نتایج پژوهش پیش‌رو گویای این مطلب است که مرتع قرق، با وجود فاصله کم مکانی نسبت به منطقه با چرای متوسط و چرای شدید، دارای درصد پوشش گیاهی بیشتری است. به‌طوری‌که عدم حضور گیاهان با خوش‌خوراکی بالا در منطقه با چرای شدید نشان می‌دهد که چرای مداوم موجب حذف این گیاهان از لیست فلور منطقه شده است. همچنین ظاهر شدن گیاهان با عدم خوش‌خوراکی در منطقه آبشخوار همراه است (Baghestani-Maybodi, 2003). در مطالعه پوشش گیاهی در شدت‌های مختلف چرای دام در مراتع استپی استان یزد بیان کردند که گیاهان کم‌شونده و خوش‌خوراک، کاهش معنی‌دار و گیاهان زیادشونده، افزایش معنی‌داری در مقایسه بین منطقه قرق و بحرانی داشته‌اند؛ البته روند تغییرات پوشش گیاهی در مناطق خشک کند بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، در مراتع قرق و چرای متوسط، تولید و درصد پوشش طی فصل رویش افزایش معنی‌داری نسبت به منطقه با چرای شدید داشته است. این مورد با نتایج مطالعه Azhar و همکاران (۱۹۸۶) هماهنگی دارد، آنان در بررسی اثر چرای دام بر تغییرات پوشش گیاهی شهرستان ماکو نشان دادند که تحت افزایش شدت چرا، کاهش درصد پوشش تاجی و تغییر در ترکیب گیاهی و کاهش شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که گونه درمنه دشتی به‌عنوان گونه غالب در منطقه قرق و منطقه با چرای متوسط است که در اثر چرای شدید در منطقه با چرای شدید کاهش معنی‌داری در تولید داشته است. بنابراین، چرای شدید باعث کاهش در تولید این گونه شده و فضای خالی برای حضور گونه‌هایی با خوش‌خوراکی پایین‌تر ایجاد کرده است. بررسی‌ها حکایت از این دارد که با نزدیک شدن به آبشخوار درصد پوشش گونه اسپند افزایش یافته است (جدول ۱)، به‌نحوی‌که گونه‌ای مهاجم، غیرخوش‌خوراک و سمی است. این گونه در دو منطقه قرق و چرای متوسط دیده نشده است و با افزایش شدت چرا این گونه افزایش یافت، این موارد با نتایج Karimi و همکاران (۲۰۰۸) و Gholami و Shokri (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آنان عدم مدیریت صحیح را روی کنترل زمان خروج و ورود دام در مراتع کهگیلویه و بویراحمد، عاملی برای تغییر پوشش گیاهی می‌دانند. همچنین این نتیجه با مطالعات Javadi و همکاران (۲۰۰۴) هماهنگ است، آنان در بررسی اثر چرای دام بر ترکیب و تنوع پوشش گیاهی در منطقه قرق و خارج قرق در منطقه لار نشان دادند که بیشترین درصد پوشش در خارج از قرق مربوط به گیاهان کلاس III است.

بقایای گیاهی *Ar. si* و *St. ba* از نظر نیتروژن کل فقیر بوده و دارای مقادیر قابل‌توجهی ترکیبات مقاوم به تجزیه مانند سلولز، همی‌سلولز و به‌ویژه لیگنین هستند و تفاوت معنی‌داری از نظر ترکیبات مقاوم به تجزیه بین این دو گونه وجود ندارد. مقدار C/N در گیاه اسپند (*Pe. ha*) به میزان قابل‌توجهی نسبت به گیاه درمنه (*Ar. si*) کمتر بود. سلولز و لیگنین به‌عنوان منابع کربن جزو بقایای گیاهی درمنه (*Ar. si*) محسوب می‌شوند و گیاه اسپند از نظر نیتروژن کل غنی تر از درمنه است. این نتیجه با نتایج Alexandra (۱۹۹۹) که بیان کرد مقدار سلولز و لیگنین در گونه‌های گیاهان عالی ثابت نیست، مطابقت دارد. البته بخش‌های گوشتی و آبدار از لحاظ سلولز فقیر هستند و با بالغ شدن گیاه مقدار آن افزایش می‌یابد و عوامل گوناگونی ازجمله خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مقدار نیتروژن قابل دسترس، دما، تهویه، رطوبت و وجود سایر کربوهیدرات‌ها بر تجزیه سلولز اثر می‌گذارد.

نتایج نشان می‌دهد، افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش معدنی‌شدن کربن آلی خاک می‌شود. معدنی‌شدن کربن با زمان، دارای توزیع نمایی بوده و روند آن از سینتیک رده اول پیروی می‌کند. معدنی‌شدن کربن در هر دو منطقه مطالعه‌شده، یک روند را دنبال می‌نماید. بیشترین سرعت معدنی شدن کربن آلی در هر دو منطقه مربوط به هفته اول انکوباسیون است و پس از آن، آزاد شدن کربن معدنی از خاک‌های تیمار شده با نسبت‌های مختلف بقایای اسپند و درمنه، با سرعت کاهنده افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج Pare و همکاران (۱۹۹۸)، Kosheleva و Trofimov

(۲۰۰۸) و Bogale و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. آنان بیان کردند که سرعت‌های زیاد معدنی‌شدن کربن آلی با زمان، طی روزهای اول انکوباسیون مربوط به اجزای محلول کربن آلی است که به‌مرور زمان حذف مواد محلول و افزایش نسبی ترکیبات مقاوم مانند سلولز، همی‌سلولز و لینگین باعث کاهش سرعت معدنی‌شدن کربن در مراحل بعدی تجزیه می‌شود. ترکیب شیمیایی و بیوشیمیایی متفاوت درمنه و اسپند، باعث اختلاف در سرعت معدنی‌شدن کربن در هر دو منطقه مورد مطالعه شد. به‌طوری‌که دی‌اکسیدکربن متصاعد شده با بقایای درمنه ۱۰۰ درصد، کمتر از خاک تیمار شده با اسپند بود و این اختلاف با گذشت زمان بارزتر می‌شود. کمتر بودن نسبت C/N در گیاه اسپند نسبت به گیاه درمنه باعث افزایش معدنی‌شدن کربن آلی شده است. Azhar و همکاران (۱۹۸۶) و Vanai و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که بین سرعت تجزیه لاشبرگ‌های جنگلی و ترکیب بیوشیمیایی بقایای ورودی به آنها رابطه معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری‌که مواد گیاهی که دارای نسبت زیاد C/N، لیگنین و پلی‌فنول هستند به کندی تجزیه می‌شوند. ورود مواد آلی دارای C/N و مقدار لیگنین زیاد در سیستم‌های تجزیه‌کننده باعث معدنی‌شدن کند کربن و تشکیل سریع ماده آلی خاک (به علت سرعت تجزیه کم و مقاومت زیاد به تجزیه) و غنی شدن مخازن آلی خاک می‌شود. Noy-Meir و همکاران (۱۹۸۹) نیز مشاهده کردند که مدیریت صحیح مرتع باعث افزایش ماده آلی در خاک شد. این نتایج همچنین با نتایج Haynes و Naidu (۱۹۹۸) که بیان کردند نیتروژن زیاد باعث تشدید فعالیت میکروب‌ها و افزایش سرعت تجزیه ماده آلی می‌شود، مطابقت دارد. همچنین با افزایش شدت چرا با هجوم گیاه اسپند قابلیت معدنی‌شدن کربن و ثابت سینتیکی با توجه به نتایج افزایش می‌یابد که با نتایج Li و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آنان بیان کردند چرا از طریق تغییر دادن پوشش گیاهی، اثر مثبت قابل توجهی بر ویژگی‌های خاک دارد و با افزایش شدت چرا غلظت نیتروژن، کربن آلی و فسفر دسترس خاک به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

حضور گیاه درمنه در تیمارها باعث کاهش مقادیر دی‌اکسیدکربن متصاعد شده حاصل از تنفس شده است که این مسئله به‌دلیل تأثیر حضور درمنه در کاهش مقدار نیتروژن و افزایش نسبت‌های کربن به نیتروژن، همی‌سلولز به نیتروژن و لیگنین به نیتروژن در بقایای گیاه درمنه است. بنابراین، افزایش شدت چرا باعث تغییر پوشش گیاهی در جهت افزایش گونه اسپند و کم شدن گونه درمنه شده است. با توجه به خصوصیات بیوشیمیایی این گیاه، قابلیت معدنی‌شدن کربن و ثابت سینتیکی افزایش یافته است. بنابراین، در مناطق با شدت چرای بالا، شدت میزان تجزیه کربن آلی بالا بوده و این اراضی تثبیت کربن کمتری دارند، پس لازم است در این مناطق راهکارهایی برای جلوگیری از هدررفت مواد آلی و کشت گونه‌های مناسب و کاهش فشار دام انجام شود.

منابع مورد استفاده

-Ajwa, H.A. and Tabatabai, M.A., 1994. Decomposition of different organic materials in soil. Biology and Fertility of Soils, 18: 175-12.
-Alexandra, M., 1999. Biodegradation and bioremedation. Academic Press, New York, 435p.
-Azhar, E.S., Cleemput, O.V. and Verstrnete, W., 1986. Nitrification mediated nitrogen immobilization in soil. Plant and Soil, 94(3): 401-409.
-Baghestani-Maybodi, N., 2003. An investigation into short-term effects of different intensities of goat grazing: Some characteristics of vegetation and livestock performance in steppe pastures of Yazd. Unpublished PhD dissertation, University of Tehran, 216p.
-Baghestani Maybodi, N., Zare, M.T. and Abdollahi, J., 2007. Effects of 2-decade livestock exclusion on vegetation changes in steppic rangelands of Yazd province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 13(4): 336-346 (In Persian).
-Bertrand, I., Chabbert, B., Kurek. B. and Recous, S., 2006. Can the biochemical their decomposition in soil?. Plant Soil, 281: 291-307.
-Bogale, A., Teab, M. and Endo, M., 2006. Land ownership and conflict over the use of resourse: implication for household vulnerability in eastern Ethiopia. Journal of Ecological Economics, 58: 134-145.
-Bremmer, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological

properties, chapter 31, total nitrogen. Soil Science Society of America, Inc., pp. 595-624.
-Fakhimi Abargouei, A., 2007. The effect of different grazing on pasture litter and vegetation in the steppe Nodoushan Yazd. Msc theses, Tehran University, 186p. (In Persian).
-Gholami, M. and Shokri, M., 2011. Changes in diversity, richness and functional groups of vegetation in different grazing (Case Study: Fars). Iranian Journal Range and Desert research, 18(4): 662-675 (In Persian).
-Goering, H.K. and Van Soests, P.J., 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). USAD Hand book NO. 397. US. Government printing office. Washington, DC, 24p.
-Han, G., Hao, X., Zhao, M., Wang, M., Ellert, B.H., Willms, W. and Wang, M., 2008. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 125: 21-32.
-Haynes, R.J. and Naidu, R., 1998. Influence of lime fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51: 123-137.
-Hesse, P.R., 1970. A text book of soil chemical analysis. Chemical Engineering and Technology, 520p.
-Javadi, S.A., Jafari, M., Azarnivand, H. and Zahedi Amiri, G.H., 2004. Investigation of grazing effects on plant composition and diversity of Lar rangeland. The 3th National Congress on Range and Range Management of Iran, Tehran, Iran, pp.702-707 (In Persian).
-Karimi, G.H., Mozafari, S. and Nikbakht, M., 2008. Effects of livestock and pasture management on the vegetation dynamics (production, canopy cover, and palatability class composition) in Kohgiluyeh Boyer pastures Margoon Station. Journal of Research in Iran Rangelands and Desert, 21(3): 353-361 (In Persian).
-Kosheleva, Y.P. and Trofimov, S.Y., 2008. Characteristics of the biochemical compositionof plant litter at different stages of decomposition (According to thermal analysis data). Biology Bulletin, 35: 64-69.
-Li, L.J., Zeng, D.H., Yu, Z.Y., Fan, Z.P., Yang, D. and Liu, U.X., 2011. Impact of litter quality and soil nutrient availability on leaf decomposition rate in a semi –arid grassland of Northeast China. Journal of Arid Environments, 75(9): 787-792.
-Moghadam, M., 2003. Pastoralists in Iran. University of Imam Reza (AS) Astan Quds Razavi, 333p (In Persian).
-Nelson, D.W. and Sommers, L.P., 1986. Total carbon, organic carbonand organic matter. In: Page, A.L., (Eds.), Method of Soil Analysis, Part II. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 539-579.
-Noy-Meir, I., Gutman, M. and Kaplan, Y., 1989. Responses of Mediterranean grassland plants to grazing and protection. Journal of Ecology, 77: 290–310.
-Pare, T., Dinel, H., Schnizer, M. and Dumontet, S., 1998. Transformation of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. Biology and Fertility of Soils, 26: 173-178.
-Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Cornelissen, J.H.C., Vendramini, F., Cabido, M. and Castellanos, A., 2000. Chemistry and toughness predict leaf litter decomposition rates over wide spectrum of functional types and taxa in central Argentina. Plant and Soil, 218: 21-30.
-Rashtian, A., 2009. Determination of palatability and nutritional value of rangeland species in steppe areas of Yazd province (Case study: Nodoshan rangelands). PHD thesis. Gorgan University, Iran.
-Reeder, J.D. and Schuman, G.E., 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Environmental Pollution, 116: 457-463.
-Tahmasebi, P., 2008. Rangeland ecosystems analysis, Pelk published, 276p (In Persian).
-Tian, G., Kang, B.T. and Brussaard, L., 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical condition decomposition and nutrient release. Soil Biology and Biochemistry, 24: 1051-1060.
-Vanai, F., Karami, P., Joundi Jafari, H. and Banielahi, K., 2017. Simulating the dynamics of organic carbon in grassland ecosystems under different management conditions using model CENTURY. Journal of Rangelands, 10(4): 439-449.

The impact of utilization of rangelands on soil carbon mineralization kinetics (Case study: Saderabad of Nodoushan steppe rangelands in Yazd province)

Z. Karimi pour[1], A. Rashtian[2*] and S. Ghasemi[1]

1- Department of Watershed and Rangeland Management, Yazd University, Yazd, Iran
2*-Corresponding author, Natural Resources and Desert Studies, Department of Watershed and Rangeland Management, Yazd University, Yazd, Iran E-mail: arashtian@yazd.ac.ir

Received: 19.09.2020 Accepted: 12.04.2021

Abstract

Grazing affects the nutrient cycle in the soil. Therefore, in order to investigate the effect of rangeland utilization on vegetation and consequently carbon mineralization kinetics, Sadrabad Nodoshan rangelands of Yazd province were selected. The percentage of canopy cover and production was measured in three areas of enclosure, medium grazing and heavy grazing. Soil samples were sampled from a depth of 0-15 cm in a systematic random method. First, nitrogen, carbon, carbon to nitrogen ratio (C / N) of plant samples, nitrogen, carbon, lime, soil texture, pH, soil EC were measured. Then the soils of severe grazing area were selected for treatment and by increasing 1% the organic carbon of *Artemisia sieberi* and *Peganum harmala* including control of 100% of *Ar. si*, 75% *Ar. si* and 25% *Pe. ha.*, 50% *Ar. si* and 50% *Pe. ha*, 25% *Ar. si* and 75% *Pe. ha* and 100% *Pe. ha* were treated. The results showed *Pe. ha* residues have good degradability due to having less C/N than *Ar. si*. In all treatments, the process of carbon mineralization in the two study areas had an exponential distribution. Organic carbon mineralization in the soil of the two areas under Heavy grazing and exclusion is similar during the first week, but over time, carbon mineralization in the heavy grazing soil treatment with 100% *Pe. ha* is higher than other treatments. Kinetic constants have also increased in areas with severe grazing. Therefore, the rate of carbon to biodegradation in areas with heavy grazing, is high and these lands have less carbon stabilization.

Key words: Non grazing, livestock grazing, crop residue, Carbon, mineralization, kinetics.