مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ۸۱-۶۳
Volume 3, Issue 2, Summer 2023, 63-81
http://emj.ardakan.ac.ir/article_719112.html

ذخیره کربن آلی در مراتع کوهستانی تحت تاثیر شرایط متفاوت مدیریتی مرتع (مطالعه موردی: منطقه خامسان، سنندج)

بهناز عطائیان*[۱]، شیما زندی‌منش[۲]، حامد جنیدی‌جعفری[۳]

مقاله پژوهشی

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
b.attaeian@malayeru.ac.ir
* نویسنده مسئول

۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
szandimanesh@gmail.com

۳. دانشیار، گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
hjoneidi@ut.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۴۰۶-۱۰۶۷
شماره صفحه پیاپی: ۴۸۹-۵۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴
انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸
زمان پذیرش: ۱۷۶ روز

استناددهی:
عطائیان، ب.، زندی‌منش، ش.، و جنیدی جعفری، ح. (۱۴۰۲). ذخیره کربن آلی در مراتع کوهستانی تحت تاثیر شرایط متفاوت مدیریتی مرتع (مطالعه موردی: منطقه خامسان، سنندج). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۲)۳، ۸۱-۶۳.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2024.719112

چکیده

افزایش و ذخیره کربن آلی در اکوسیستم‌های مرتعی به‌عنوان ترسیب کربن شناخته می‌شود، که یکی از راه حل‌های اصلی کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری است. هدف این مطالعه ارزیابی ذخیره کربن در سیستم گیاه-خاک در مراتع تحت شرایط متفاوت مدیریتی شامل قرق، چرا، کودپاشی و بذرپاشی است. تعداد ۲۴ نمونه خاک سطحی، ۲۰ نمونه لاشبرگ و زی‌توده گیاهی (هوایی و زیرزمینی) با استفاده از طرح تصادفی سیستماتیک در شرایط مدیریتی مختلف در زیرحوزه خامسان در بهار ۱۳۹۳ جمع‌آوری شدند. میزان کربن آلی خاک و بافت گیاهی به‌ترتیب با استفاده از روش والکی-بلک و احتراق در کوره الکتریکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد شیوه‌های مدیریتی اثر معنی‌داری بر روی مقدار کربن آلی زی‌توده هوایی، زیرزمینی، مقدار لاشبرگ و خاک دارند ($p\leq ۰/۰۰۰۱$). میانگین ذخیره کربن آلی خاک به ترتیب ۱۱۱/۲ تن در هکتار در مدیریت قرق، ۸۵/۵ تن در هکتار در مدیریت چرا، ۱۳۰/۵ تن درهکتار در مدیریت کودپاشی و ۱۳۹/۴ تن در هکتار در مدیریت بذرپاشی برآورد شد. بیشترین مقدار کربن آلی در زی‌توده هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ به ترتیب در مدیریت‌های قرق (تفاوت معنی‌دار با مدیریت‌های بذرپاشی و چرا)، کودپاشی (تفاوت معنی‌دار با مدیریت‌های بذرپاشی، قرق و چرا)، و کودپاشی (تفاوت معنی‌دار با مدیریت چرا)، مشاهده شد که میانگین مقدار آنها برابر با ۵، ۱ و ۴ کیلوگرم در هکتار بود. به‌طور کلی بیشترین مقدار کربن آلی در سیستم گیاه-خاک مراتع نیمه‌استپی خامسان تحت مدیریت‌های مختلف به‌ترتیب در خاک، زی‌توده هوایی، لاشبرگ و ریشه مشاهده شد.

واژگان کلیدی:

ترسیب کربن، مدیریت مراتع، لاشبرگ، زی‌توده گیاهی، خاک سطحی.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، موضوع مدیریت مراتع و تأثیرات آن بر محیط زیست و تغییرات اقلیمی مورد توجه محققان و تصمیم‌گیرندگان قرار گرفته است (Tessema et al., 2024؛ Kim et al., 2023). فرآیندهای اکوسیستمی و فعالیت‌های بیولوژیکی گیاهان به شدت تحت تاثیر تغییرات اقلیمی می‌باشد (IPCC, 2014). تثبیت و ذخیره کربن آلی در خاک، به‌عنوان سومین ذخیره‌گاه بزرگ کربن در جهان، اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین راهکار تعدیل غلظت دی اکسید کربن اتمسفری به‌شمار می‌آید (Lal, 2004). خاک منبع مهم و با ارزش کربن آلی است که با ذخیره ۱۵۰۰ میلیارد تن کربن نقش قابل توجهی در فرآیند چرخه جهانی کربن اتمسفر دارد. از طرفی دیگر کربن آلی خاک یکی از پارامترهای مهم تعیین‌کننده میزان حاصل‌خیزی و قابلیت تولید خاک می‌باشد و معیار مهمی به منظور سنجش کیفیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (Khan et al., 2021). مراتع به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، بیش از یک سوم ذخایر کربن زیست‌کره خاکی را شامل می‌شوند (ILRI, 2021). با توجه به ظرفیت بالای مراتع برای ترسیب کربن و بهبود کیفیت خاک، درک چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. ذخیره و تجزیه کربن آلی در مراتع علاوه بر ترسیب کربن و تعدیل غلظت CO_2 اتمسفر در بهبود شرایط محیطی اکوسیستم از جمله ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، ساختمان خاک، کیفیت خاک، چرخه مواد غذایی و کاهش فرسایش خاک نیز نقش ویژه‌ای دارد (Derner and Schuman, 2007). همچنین برآورد دقیق مقدار ماده آلی خاک در ارزیابی قابلیت جذب و نگهداری کربن آلی در شرایط مختلف خاک و جذب دی‌اکسیدکربن برای کاهش گرم شدن زمین ضروری است (Sun et al., 2007). مقدار ذخیره کربن خاک[1] بیش از دو برابر مقدار کربن ذخیره شده در اتمسفر می‌باشد، در نتیجه کوچکترین تغییری در میزان ذخیره کربن باعث به وجود آمدن تغییرات بزرگتری در مقدار دی‌اکسیدکربن اتمسفر می‌گردد (McSherry and Ritchie, 2013). افزایش مقدار کربن آلی خاک همیشه پایدار نیست به‌طور کلی هر گونه تغییرات مدیریتی و اقلیمی می‌تواند مقدار کربنی را که طی سالیان گذشته در خاک تجمع یافته است از بین ببرد (Lam et al., 2013). مدیریت اصولی مراتع علاوه بر اهمیت بهره‌برداری‌های از علوفه مراتع، ازدیدگاه ترسیب کربن در خاک و تجارت جهانی آن نیز حائز اهمیت می‌باشد. روش‌های مدیریتی و اصلاحی می‌توانند بر تمامی منابع ذخیره کربن آلی یا به عبارتی پروفیل کربن آلی اکوسیستم، شامل اندام‌هوایی و زیرزمینی گیاه، لاشبرگ و خاک تاثیرگذار باشند. اندام‌هوایی گیاه به‌عنوان ذخیره‌گاه کربن آلی، مهم‌ترین بخش مرتع است که به‌طور مستقیم تحت تأثیر روش‌های مدیریتی مانند چرای دام قرار می‌گیرد. در واقع چرای دام به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خدمات مراتع اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر پتانسیل ترسیب کربن مراتع دارد. مقدار و ساختار زی‌توده ریشه در مناطق خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ریشه‌ها مهم‌ترین منبع ورودی ماده آلی و عناصر غذایی به اکوسیستم و توزیع آن به سایر بخش‌های اکوسیستم بویژه در مناطق خشک به‌شمار می‌آیند (Hieroo et al., 2008). با توجه به مقوله تجارت جهانی کربن و فواید جانبی افزایش مواد آلی خاک بر اکوسیستم‌های مرتعی، پروژه‌های اصلاح و احیاء مراتع و نقش آن در تثبیت مواد آلی خاک و فرآیند ترسیب کربن بایستی مورد بررسی و مطالعه محققین قرار گیرد. این امر یک نگرش سیستمی به اصلاح و احیاء اکوسیستم‌های مرتعی تلقی می‌گردد، چرا که ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی شرایط خاک، راهکاری جهت مقابله با آلودگی هوا، بحران تغییر اقلیم و در نهایت دستیابی به توسعه پایدار زیست محیطی تلقی می‌گردد (نقی‌پوربرج و همکاران، ۱۳۸۸). کودپاشی (معدنی و آلی) و لاشبرگ بر مقدار کربن آلی خاک و زی‌توده هوایی اثر مثبتی دارند (Yang et al., 2015). نتایج تحقیق قیطوری و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که مدیریت مراتع شامل (قرق، چرای شدید، مرتع سوخته، مرتع تبدیل شده به باغات و زراعت دیم) بر مقدار کربن آلی و اندازه خاکدانه‌ها تأثیر معنی‌دار دارد و مدیریت نامناسب مراتع منجر به کاهش کربن آلی و در نتیجه کاهش اندازه خاکدانه گردیده است. با توجه به آنالیز مقایسات میانگین، میزان کربن آلی در قرق نسبت به سایر مدیریت‌ها تفاوت معنی‌داری داشته است. Yang et al. (۲۰۱۵) طبق مطالعاتی که انجام دادند طی ۲۲ سال از دو تیمار کود (معدنی و آلی) و لاشبرگ استفاده کردند و افزایش مقدار کربن آلی خاک و همچنین تولید اولیه را در هر دو تیمار گزارش کردند. ترکمانی و همکاران (۱۳۹۸) به تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل جنگل تصادفی در حوضه آبخیز راونگ میناب پرداختند. در مجموع نتایج بیانگر آن است که توزیع مکانی کربن آلی خاک از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است. کمالی و صادقی‌پور (۱۳۹۷) به بررسی تاثیر برخی عوامل محیطی بر میزان ذخیره کربن خاک در منطقه هشتگرد البرز پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که از میان عوامل محیطی مورد بررسی به‌ترتیب هدایت الکتریکی و درصد شن به‌عنوان مولفه اصلی اول ۷۸/۲۵ درصد، سیلت به‌عنوان مولفه اصلی دوم ۱۴/۰۸درصد و رس به‌عنوان مولفه اصلی سوم ۵/۵۰ درصد و در مجموع از میان عوامل مورد بررسی ۹۷/۶۳ درصد از میزان تغییرات ذخیره کربن خاک در هشتگرد را توجیه می‌کند. Boone et al. (۲۰۱۸) در مناطق نیمه‌خشک سودان با استفاده از مدل قرن[2]ترسیب فعلی و آتی کربن آلی را به‌عنوان یک فرآیند منتج از مدیریت زمین و اقلیم در طول دوره زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ برای زمین‌های کشاورزی، علفزارها و ساواناها مدل‌سازی نمودند. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی کربن آلی خاک در شهرستان کامیاران، استان کردستان پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی کربن آلی خاک نسبت به رگرسیون خطی چند متغیره عملکرد بالاتری داشته است. فتح‌العلومی و همکاران (۱۳۹۹) به مدل‌سازی تغییرات کربن آلی خاک با استفاده از ماشین یادگیری جنگل تصادفی در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای اردبیل پرداختند. مقدار R^2

1. Soil Storage Carbon (SSC)
2. Century

در سه حالت استفاده از ۱) متغیرهای زمینی، ۲) شاخص‌های طیفی و ۳) ترکیب متغیرهای زمینی و شاخص‌های طیفی به‌ترتیب ۰/۵۱ ۰/۶۲ و ۰/۷۵ و مقدار RMSE به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۶۷ و ۰/۵۷ بود، که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل سوم است. روستا و همکاران (۱۴۰۰) به مقایسه میزان ذخیره‌کربن و نیتروژن خاک در دشت گربایگان فسا در دو وضعیت پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب پرداختند. پخش سیلاب بر این عرصه‌ها، ارزش اقتصادی ذخیره کربن و نیتروژن را به‌ترتیب به‌میزان ۵۳/۵۹، ۴۸/۰۰، ۷۵/۴۶ و ۴۳/۵۲ درصد افزایش داد. جعفری و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی رابطه تغییرات مکانی ترسیب کربن خاک با عناصر اقلیمی دما و بارش در سال‌های اخیر در منطقه آهنگران به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن ذخیره برآورد شده توسط مدل RothC برای مراتع ۴/۴۸ تن درهکتار و در اراضی کشاورزی ۴/۳۶ تن در هکتار است. در کل کلیه شاخص‌ها نشان‌دهنده اثر زراعت بر تضعیف ذخیره کربن در تمام مراحل دارد. Taghizadeh Mehrjerdi et al. (۲۰۲۰) به پیش‌بینی فضایی محتوای کربن آلی خاک با مدل‌های یادگیری ماشین در ایران پرداختند و الگوریتم جنگل تصادفی را برای پیش‌بینی فضایی محتوای کربن آلی خاک منطقه مناسب دانستند. Benke et al. (۲۰۲۰) به پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک و محتوای کربن آلی توسط ماشین یادگیری در ایالت ویکتوریا، استرالیا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش یادگیری ماشین‌بردار پشتیبان[1]نسبت به جنگل تصادفی[2]برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی و ذخیره کربن آلی خاک منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است. Zhu et al. (۲۰۲۳) به پیش‌بینی ذخیره کربن آلی کل بر اساس الگوریتم های یادگیری ماشین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی محتوای کربن آلی مناسب‌تر است. مدیریت مراتع به‌عنوان یکی از روش‌های کلیدی برای افزایش ترسیب کربن و بهبود سلامت خاک مطرح شده است. مدیریت صحیح مراتع می‌تواند باعث افزایش ذخیره کربن آلی در خاک و کاهش اثرات منفی چرای بی‌رویه شود. تحقیقات نشان داده‌اند که روش‌های مختلف مدیریت مراتع تأثیرات متفاوتی بر کربن آلی خاک و ترسیب کربن دارند. به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای توسط Kim et al. (۲۰۲۳) در تگزاس نشان داد که استفاده از سیستم چرای چرخشی[3]که شامل چرای چرخشی با دوره‌های استراحت مناسب برای گیاهان است، منجر به افزایش کربن آلی خاک و کاهش تلفات کربن از فرسایش خاک شد. همچنین، در بررسی مراتع شرقی آفریقا توسط Tessema et al. (۲۰۲۴)، مشخص شد که اجرای روش‌های پایدار چرای دام و احیای مناطق تخریب‌شده، باعث افزایش ذخیره کربن در خاک و مقاومت در برابر خشکسالی می‌شود. در مطالعه‌ای Gebremedhn et al. (۲۰۲۴) در اتیوپی، مشخص شد که مراتع با مدیریت چرای محصور و مراتع درختچه‌ای، میزان بیشتری از کربن آلی را نسبت به مراتع چرا شده ذخیره می‌کنند. هم‌چنین، پروژه مطالعاتی Crank et al. (۲۰۲۴) که در ایالات متحده در حال انجام است، نشان داده که استراتژی‌های مختلف چرای دام بر چرخه‌های آب و کربن تأثیرات قابل توجهی دارند و به بهبود سلامت خاک و افزایش ترسیب کربن کمک می‌کنند.

از آنجا که کربن آلی خاک علاوه بر تعدیل شرایط اقلیمی به بهبود حاصل‌خیزی خاک نیز کمک می‌کند و با مدنظر قرار دادن وسعت مراتع کشور و روند تخریبی آن‌ها، ضرورت مطالعات کربن آلی خاک و گیاه مشخص می‌گردد. هر چند تحقیقات انجام شده بر روی نقش شیوه‌های مدیریتی و اصلاحی بر پتانسیل کربن در مراتع ایران انگشت شمار می‌باشند. به همین دلیل مطالعه پروفیل کربن آلی در اکوسیستم‌های مرتعی کشور تحت شرایط متفاوت مدیریتی امری ضروری و مهم به‌نظر می‌آید. نتایج حاصل از این مطالعات می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مراتع کمک کرده و پتانسیل ترسیب کربن در اکوسیستم‌های مرتعی را بهبود بخشد. هدف از مطالعه حاضر نیز رفع ابهاماتی در زمینه پتانسیل ترسیب کربن و توزیع آن در سیستم گیاه–خاک در مراتع تحت مدیریت می‌باشد. در این مطالعه اثر چهار روش مدیریتی متداول در مراتع ایران شامل، کودپاشی، بذر پاشی، چرای سبک و قرق بر ذخیره کربن آلی گیاه و خاک در مراتع کوهستانی به‌صورت نمونه مورد بررسی قرار گرفت.

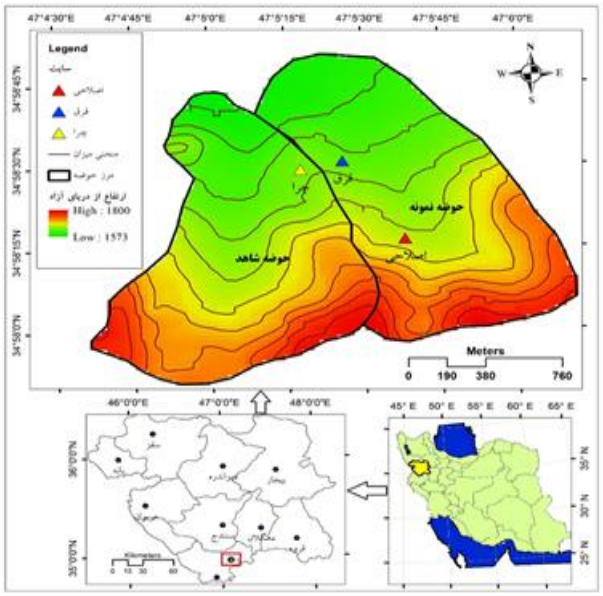
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زوجی خامسان یکی از زیر حوزه‌های آبخیز سیروان در استان کردستان با مساحت ۴۱۹۳ هکتار است که در مختصات‌های ۴۷ درجه، ۴ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۴۷ درجه، ۱۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه، ۵۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۵درجه، ۱ دقیقه و ۲۹ ثانیه عرض شمالی واقع گردیده است(شکل ۱). ارتفاع حداقل و حداکثر در زیر حوزه نمونه (مدیریت‌های اصلاحی) و زیر حوزه چرا شده (شاهد) به‌ترتیب ۱۶۱۷ تا ۱۸۲۰ و ۱۶۰۹ تا۱۸۲۰ متر است. پوشش غالب این دو زیر حوزه گیاهان مرتعی است که ۱۶/۱۸ درصد پوشش گیاهی زیر حوزه را خانواده *Astraceae* (کاسنی)، ۹/۱۴ درصد را خانواده *Poaceae* (گندمیان) و ۱۷/۱۱ درصد را خانواده *Fabaceae* (بقولات) تشکیل می‌دهد. وسعت هر زیرحوزه حدود ۲۰۰ هکتار است که در یک دوره زمانی ۵ ساله (۱۳۸۵–۱۳۹۰) زیرحوزه نمونه تحت مدیریت های اصلاحی قرق (مساحت ۷۰ هکتار)، بذرپاشی دو گونه جاشیر (*Prangus spp.*) و چمن گندمی (*Agropyron spp.*) به‌ترتیب به‌میزان ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار (مساحت ۷۰ هکتار)، کودپاشی با استفاده از کودهای ازته و فسفاته بهمیزان۵۰ کیلوگرم در هکتار (مساحت ۷۰ هکتار) است. منطقه تحت چرای دام نیز حدود ۲۰۰ هکتار می‌باشد که عمدتا در

1. Support vector machines (SVM)
2. Random forest (RF)
3. Adaptive Multi-Paddock (AMP)

طول فصل بهار (اواسط فروردین تا اواخر خرداد) توسط دام‌های سبک اهلی مورد چرا قرار می‌گیرد. متوسط، حداکثر و حداقل بارش سالانه به‌ترتیب برابر۳۴۵/۲، ۷۴۷ و ۲۳۵ میلی‌متر گزارش شده است (اداره کل منابع طبیعی استان کردستان، ۱۳۸۹) (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت زیر حوزه‌های نمونه و شاهد حوزه آبخیز خامسان، کردستان

۲-۲- روش کار

در این پژوهش به منظور تعیین اثر مدیریت‌های قرق، چرا، کودپاشی و بذرپاشی (تیمار) بر میزان ذخایر کربن آلی خاک سطحی، لاشبرگ و اندام‌های گیاهی پس از پیمایش دقیق و مکرر صحرایی در حوزه آبخیز خامسان، کردستان (زیر حوزه نمونه و شاهد) مناطق معرف در هر مدیریت انتخاب شدند و نمونه‌گیری‌های صحرایی در اوایل فصل رویش منطقه مطالعاتی همزمان با رشد غالب گیاهان در اواخر اردیبهشت ماه سال۱۳۹۳صورت گرفت (Cochran, 1977). عملیات اصلاحی از سال ۱۳۸۵ در زیرحوزه نمونه انجام شده بود. برای مقایسه اثر مدیریت‌های مختلف در مراتع حوزه خامسان، نمونه‌برداری به‌روش تصادفی سیستماتیک در چهار منطقه مدیریتی واقع در زیر حوزه نمونه (منطقه بذر پاشی شده با بذور گونه‌های *Bromus tomentolus* و *Festuca ovina*، کودپاشی شده و قرق ۸ ساله) و شاهد (منطقه تحت چرا) به فاصله نزدیک از یکدیگر و با حفظ شرایط همسان بودن خصوصیات توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و اقلیم انتخاب گردیدند.

۲-۲-۱-تعیین سطح پلات و طول ترانسکت

به‌منظور تعیین‌اندازه مناسب پلات از طریق روش سطح حداقل پلات، ۱ متر مربع و حجم نمونه‌گیری به تعداد ۱۰ نمونه برآورد گردید. طول ترانسکت بر حسب نوع و توزیع پوشش گیاهی و با توجه به اقلیم منطقه (نیمه‌خشک) و وسعت مناطق تحت مدیریت‌های کودپاشی، بذرپاشی، قرق و چرا به طول ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد (Kent and Coker ،1992).

۲-۲-۲- نمونه‌برداری پوشش گیاهی

به‌منظور ارزیابی مولفه‌های پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه از روش تصادفی سیستماتیک استفاده شد. در هر منطقه دو ترانسکت ۱۰۰ متری عمود بر هم، یک ترانسکت در جهت شیب و یک ترانسکت عمود بر جهت شیب (Kent and Coker ,1992) و در طول هر ترانسکت ۵ عدد پلات ۱ متر مربعی به فواصل منظم مستقر گردید. سپس در داخل هر پلات، لیست گونه‌های گیاهی، درصد تاج پوشش گیاهی به تفکیک گونه‌ها، درصد لاشبرگ، درصد خاک و درصد سنگ و سنگریزه یادداشت‌برداری شد. به‌منظور تعیین زی‌توده گیاهی، در هر چهار منطقه مورد مطالعه اندام‌های هوایی، اندام‌های زیرزمینی و لاشبرگ گیاهی موجود در هر پلات به‌صورت کامل شامل همه گونه‌های یکساله و چندساله برداشت شد. لازم به‌ذکر است به دلیل دارا بودن پوشش گیاهی گرامینه در مناطق مورد ارزیابی، برداشت اندام هوایی از فاصله ۱ سانتی‌متری از سطح خاک صورت گرفت. نمونه‌برداری از اندام زیرزمینی بر اساس عمق متوسط ریشه دوانی گونه‌های غالب عمق ۰- ۲۵ سانتی‌متر و به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۵ سانتی‌متر اقدام به برداشت شد.

۲-۲-۳- نمونه‌برداری خاک

نمونه‌برداری خاک به روش تصادفی–سیستماتیک انجام شد. به این صورت که در برخی از پلات‌ها اقدام به نمونه‌برداری از خاک سطحی به عمق۰– ۲۵ سانتی‌متری گردید. در هر تیمار تعداد ۱۲ نمونه خاک مرکب (در چهارگوشه و مرکز پلات‌ها) در طول هر ترانسکت ۶ نمونه مرکب برداشت شد.

که اندازه‌گیری ماده آلی و کربن آلی خاک در ۱۰ نمونه (مجموعا ۴۰ نمونه) و سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در ۱۲ نمونه (مجموعا ۴۸ نمونه) انجام شد.

۲-۲-٤- آنالیزهای آزمایشگاهی

میزان ماده آلی پوشش گیاهی از روش احتراق در کوره الکتریکی[1]انجام شد. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های خاک مرکب هوا خشک و الک شده (الک ۲ میلی‌متری)، اندازه‌گیری شد. سپس جهت اندازه‌گیری کربن آلی خاک از روش والکی و بلک (Helmke and sparks, 1996) و ماده آلی از روش احتراق در کوره الکتریکی (Davies, 1974) استفاده شد. تعیین درصد ذرات رس، سیلت و ماسه (بافت خاک) از روش هیدرومتری بایکاس، اسیدیته (واکنش) خاک (pH) با استفاده از pH متر (فن‌آزما گسترPM12E)، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه و هدایت الکتریکی خاک[2]با استفاده از هدایت سنج الکترونیکی (آریان‌تجهیزAZ86503) اندازه‌گیری شدند (جعفری‌حقیقی،۱۳۸۴).

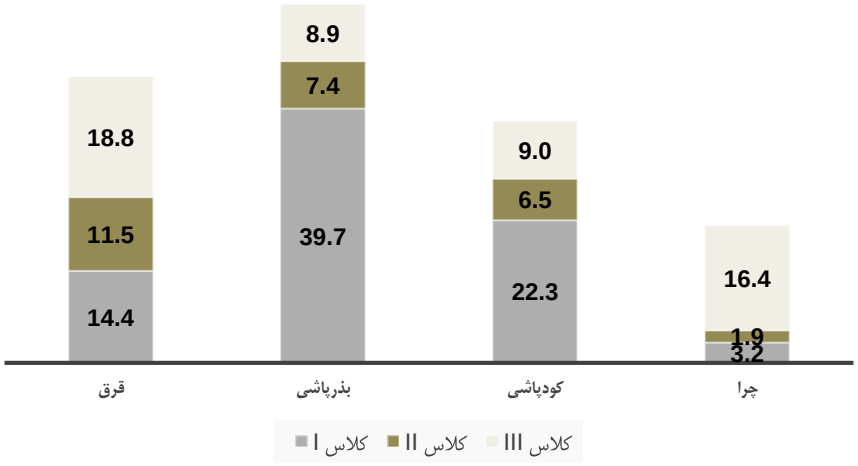
۲-۲-۵-تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش برای مقایسه اثر اجرا عملیات مدیریتی مختلف بر ترسیب کربن خاک در چهار مدیریت اصلاحی اجرا شده که شامل زی‌توده هوایی و زیرزمینی، خاک و لاشبرگ و سایر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده گردید. سپس جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد. به‌جهت مطالعه مقدار کل ذخیره کربنی میزان درصد کربن هر منبع ذخیره‌ای نسبت به کل ذخایر در هر یک از مناطق اصلاحی و چرا محاسبه گردید و سپس بر اساس میانگین کرین آلی ذخیره شده برای هر کدام از ذخایر (پوشش هوایی، ریشه، لاشبرگ و خاک) گرادیان تغییرات مقدار کربن آلی از عمق خاک تا ارتفاع پوشش هوایی ترسیم شد. در کلیه آزمون‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (version 9.4, SAS Institute Inc.) و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- اثرات مدیریت مرتع بر ترکیب گیاهی

بر اساس نمونه‌گیری‌های انجام شده در زیر حوزه‌های نمونه و شاهد ترکیب گونه‌های گیاهی در مدیریت‌های بذرپاشی، کودپاشی، قرق و چرا متفاوت بود (جدول ۱، شکل۲) . در مناطق بذرپاشی، کودپاشی و قرق غالب گونه‌ها از خانواده *Poaceae* بوده و ترکیب ۵۱/۲ درصد گیاهان چندساله و ۵ درصد گیاهان یک‌ساله در تیمار بذرپاشی، گیاهان چندساله ۳۹/۲ درصد و گیاهان یک‌ساله ۳/۳ درصد در تیمار کودپاشی شده، گیاهان چندساله ۲۴/۷ درصد و گیاهان یک‌ساله ۱۱/۵ درصد در تیمار قرق و در تیمار چرا گیاهان یکساله ۱۰/۸ درصد و گیاهان چند ساله ۹/۵ درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل می‌دادند. گونه‌های غالب در مراتع تحت مدیریت بذرپاشی و کودپاشی*Festuca ovina* و *Bromus tomentolus*، در مدیریت قرق *Bromus tomentolus* و*Salvia sp.* و در مدیریت تحت چرا شامل گونه‌های *Astragalus sp* و *Heteranthelium* است. ترکیب گونه‌های مرتعی مدیریت‌های اصلاحی و چرا با توجه به درصد کلاس خوشخوراکی *I*، *II*، *III* در شکل (۲) خلاصه شده است.



شکل (۲): مقایسه ترکیب کلاس خوشخوراکی در مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

1. Loss On Ignition (LOI)
2. Electerical Conductivity

جدول (۱): فهرست گونه‌های گیاهی مناطق مورد مطالعه

نوع مدیریت	نام گونه	کلاس	دوره زندگی	فرم رویشی	تیپ بیولوژیک	درصد پوشش
بذرپاشی	*Bromus tomentolus*	*I*	P	G	Th	۱۳/۳
	Festuca ovina	*I*	P	G	He	۱۵/۶
	Scariola orientalis	*II*	P	Sh	He	۲/۹
	Salvia sp	*II*	P	F	He	۱/۵
	Astragalus sp	*III*	P	F	He	۲/۶
	Vicia sp	*I*	P	F	Th	۵
	Bromus tectorum	*II*	A	G	Th	۱/۲
	Eryngium sp	*III*	P	F	He	۰/۸
	Teucrium sp	*I*	P	Sh	He	۲/۴
	Taeniatherm	*III*	A	G	Th	۱/۱
	Ephorbia sp	*III*	P	F	He	۰/۹
	Gundelia tournefortii	*III*	P	F	He	۰/۸
	Stachys sp	*III*	P	F	Ch	۱/۲
	Bromus danthonia	*III*	A	G	Th	۰/۶
	Latyrus sp	*I*	P	F	He	۱/۳
	Stipa barbata	*II*	P	G	He	۳
	Trigonilla sp	*I*	A	F	Th	۱/۲
کودپاشی	*Astragalus sp*	*III*	P	F	He	۶/۶
	Acanthophyllum sp	*III*	P	Sh	Ph	۱/۹
	Gundelia tournefortii	*III*	P	F	He	۱/۲
	Echinops sp	*III*	P	F	Ch	۰/۹
	Onopordon sp	*III*	P	F	Ch	۰/۴
	Achillea sp	*II*	P	F	He	۰/۷
	Salvia sp	*II*	P	F	He	۲/۵
	Bromus tectorum	*II*	A	G	Th	۰/۹
	Bromus tomentolus	*I*	P	G	Th	۱۰/۸
	Onosma sp	*II*	P	F	He	۱/۱
	Iris sp	-	P	F	Ge	۰/۲
	Poa bulbusa	*II*	P	G	Ch	۱/۳
	Poa pratensis	*I*	P	G	-	۲/۳
	Heteranthelium sp	*III*	A	G	-	۱/۶
	Hordeum sp	*I*	A	G	-	۰/۸
	Festuca ovina	*I*	P	G	He	۷/۲
	Agropyron desertorum	*I*	P	G	Ge	۱/۲

A : یکساله، P: چند ساله، F: فورب، G: گراس، Sh: بوته، He: همی کریپتوفیت، Th: تروفیت، Ge: ژئوفیت، Ch: کامفیت، Ph: فانروفیت.

ادامه جدول (۱): فهرست گونه‌های گیاهی مناطق مورد مطالعه

نوع مدیریت	نام گونه	کلاس	دوره زندگی	فرم رویشی	تیپ بیولوژیک	درصد پوشش
قرق	*Taeniatherum*	*III*	A	G	Th	۵/۶
	Salvia sp	*II*	P	F	He	۷/۶
	Nepeta sp	*II*	P	F	He	۱
	Bromus tomentolus	*I*	A	G	Th	۸/۱
	Bromus tectorum	*II*	A	G	Th	۱/۱
	Gundelia tournefortii	*III*	P	F	He	۱/۲
	Astragalus sp	*III*	P	F	He	۴/۲
	Ephorbia sp	*III*	P	F	He	۰/۴
	Stachys sp	*III*	P	F	He	۲/۴
	Festuca ovina	*I*	P	G	He	۴/۶
	Aster sp	*II*	P	F	-	۰/۵
	Vicia sp	*I*	A	F	Th	۱/۴
	Aegilops sp	*III*	A	G	Th	۱/۴
	Eryngium sp	*III*	P	F	He	۰/۸
	Heteranthelium sp	*III*	A	G	-	۱/۵
	Ferula sp	*II*	P	F	Ch	۱/۱
	Scorzonera sp	*II*	-	F	-	۰/۲
	Teucrium sp	*I*	P	Sh	He	۰/۳
	Acanthophyllum sp	*III*	P	Sh	Ph	۰/۲
	Gardinia	*III*	P	F	-	۰/۴
چرا	*Heteranthelium sp*	*III*	A	G	-	۹/۴
	Ephorbia sp	*III*	P	F	He	۱/۶
	Echinops sp	*III*	P	F	He	۱
	Poa bulbusa	*II*	P	G	Ch	۰/۸
	Stipa barbata	*I*	P	G	He	۰/۴
	Gundelia tournefortii	*III*	P	F	He	۱/۲
	Astragalus sp	*III*	P	F	He	۲/۷
	Achillea sp	*II*	P	F	Ch	۰/۲
	Antemis sp	*II*	A	F	-	۰/۲
	Stachys sp	*II*	P	F	He	۰/۳
	Salvia sp	*II*	P	F	He	۰/۴
	Taeniatherum	*III*	A	G	Th	۰/۵
	Hoedeum sp	*I*	A	G	-	۰/۱
	Festuca ovina	*I*	P	G	He	۰/۵
	Bromus tomentolus	*I*	A	G	Th	۰/۶

A : یکساله، P: چند ساله، F: فورب، G: گراس، Sh: بوته، He: همی کریپتوفیت، Th: تروفیت، Ge: ژئوفیت، Ch: کامفیت، Ph: فانروفیت.

۳-۲- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر زی‌توده هوایی

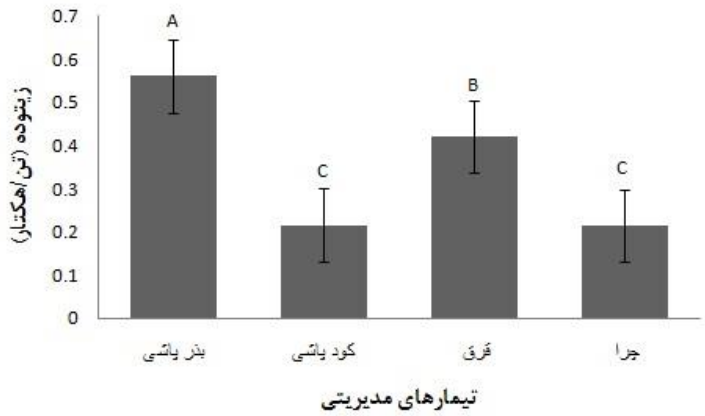
نتایج حاصله از اعمال مدیریت‌های بذر پاشی، کودپاشی، قرق و چرای سبک در مراتع زیر حوزه‌های نمونه و شاهد بیانگر اثر معنی‌دار این مدیریت‌ها بر میزان زی‌توده هوایی بود ($p < 0.01$). عامل مدیریت بذر پاشی به‌طور معنی‌داری زی‌توده هوایی را افزایش داد ($p < 0.01$) (جدول۲) و (شکل ۳). متوسط وزن خشک زی‌توده هوایی در مدیریت قرق معادل ۰/۴۲ تن در هکتار برآورد گردیده است که در مقایسه با سایر عملیات اصلاحی بذرپاشی و کودپاشی به‌ترتیب افزایش ۳۹ درصدی و کاهش ۴۲ درصدی زی‌توده هوایی پس از انجام عملیات اصلاحی نسبت به سایت قرق مشاهده گردیده است. متوسط وزن خشک زی‌توده هوایی در سایت بذرپاشی معادل ۰/۵۶ تن در هکتار و در سایت کودپاشی معادل ۰/۲۱۶ تن در هکتار اندازه‌گیری

شد ($p < 0.05$) (جدول۲) (شکل ۲). نوع مدیریتی چرای آزاد نیز تاثیر معنی‌داری بر میزان زی‌توده هوایی داشته و منجر به کاهش ۵۴/۵ درصدی زی‌توده هوایی و تولید ۰/۲۱۵ تن در هکتار در منطقه تحت چرای دام نسبت به شرایط قرق شد ($p < 0.05$) (جدول ۲) (شکل ۲).

جدول (۲): جدول تجزیه واریانس تاثیر مدیریت‌های اعمال شده بر میزان تغییرات زی‌توده گیاهی و لاشبرگ در حوزه خامسان، کردستان

پارامتر	منابع تغییرات	درجه آزادی	مقدار F	p>F
زی‌توده هوایی	مدل	۳	۴۱۵۹/۵۳	۰/۰۰۰۱**
	خطا	۳۶	–	–
	کل	۳۹	–	–
زی‌توده ریشه	مدل	۳	۴۱۰۲/۷۶	۰/۰۰۰۱**
	خطا	۳۶	–	–
	کل	۳۹	–	–
لاشبرگ	مدل	۳	۳۴۸/۷۳	۰/۰۰۰۱**
	خطا	۳۶	–	–
	کل	۳۹	–	–

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد



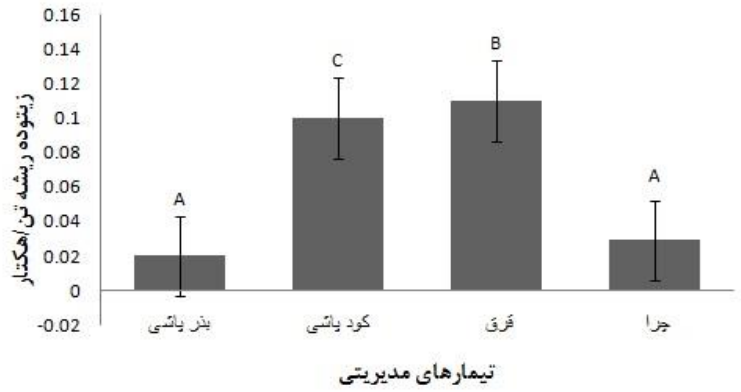
شکل (۳): مقایسه تغییرات میانگین زی‌توده هوایی در مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

بر اساس نتایج فوق، بیشترین مقدار زی‌توده هوایی در محدوده تحت مدیریت بذرپاشی مشاهده شد و بعد از آن قرق دارای بیشترین مقدار زی‌توده هوایی نسبت به دو مدیریت کود پاشی و چرا است. مدیریت کود پاشی و چرا هر دو نسبت سایر مدیریت‌ها تغییرات معنی‌دار کاهشی نشان دادند، هرچند در میانگین زی‌توده هوایی کودپاشی و چرا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

۳-۳- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر زی‌توده ریشه

متوسط زی‌توده ریشه در تیمار قرق (شاهد) برابر با ۰/۱۱ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۴). نتایج مشخص می‌کند که مدیریت‌های اعمال شده در مراتع نمونه و شاهد بر مقدار ریشه دارای اثر معنی‌دار است ($p < 0.01$). متوسط زی‌توده ریشه در مدیریت بذرپاشی معادل ۰/۰۲ تن در هکتار مشاهده شد که بیانگر کاهش معنی‌دار ۷۴/۶ درصدی زی‌توده ریشه نسبت به شرایط قرق است (جدول ۲، شکل ۴) ($p < 0.05$). متوسط زی‌توده ریشه در مدیریت کود پاشی ۰/۱ تن در هکتار است که بیانگر افزایش ۱۱/۴ آن در منطقه کودپاشی نسبت به منطقه قرق است ($p < 0.01$) (جدول ۲، شکل ۳). درخصوص اثر چرا بر متوسط زی‌توده ریشه، تغییرات کاهشی معنی‌دار ۷۳ درصدی زی‌توده اندازه‌گیری شده نسبت به منطقه شاهد مشاهده شد ($p < 0.05$). متوسط زی‌توده ریشه در منطقه چرا معادل ۰/۰۲۹ تن در هکتار است.



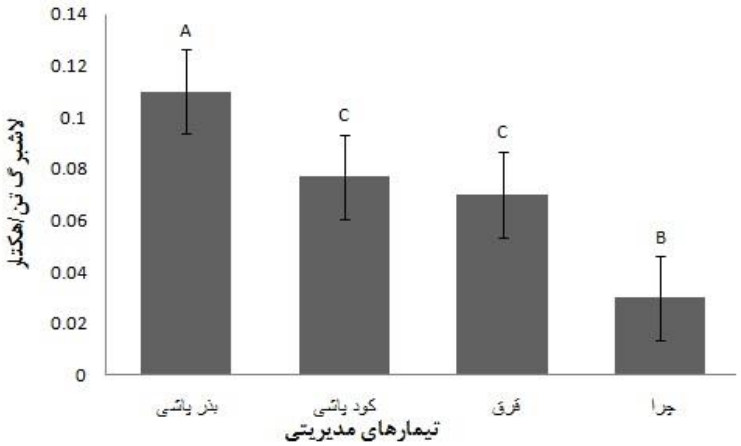
شکل (٤): مقایسه تغییرات زی‌توده ریشه در مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

بیشترین متوسط زی‌توده ریشه درمدیریت قرق و سپس مدیریت کودپاشی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری داشتند. متوسط زی‌توده ریشه در مدیریت‌های بذرپاشی و چرا نسبت به سایر مدیریت‌ها کاهش معنی‌دار داشته است، هرچند تفاوت معنی‌داری در متوسط زی‌توده ریشه در مدیریت بذرپاشی و چرا مشاهده نشد (شکل ۴).

۳-٤- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر لاشبرگ

نتایج به دست آمده در خصوص اثر تیمارهای مدیریتی بر تغییرات میزان لاشبرگ در مراتع حوزه خامسان، بیانگر تغییرات معنی‌دار متوسط وزن لاشبرگ در تیمارهای تیمارهای مدیریتی اعمال شده است (جدول ۲، $p < 0.01$). متوسط وزن لاشبرگ در مدیریت قرق معادل ۰/۰۷ تن در هکتار است که بذرپاشی منجر به افزایش۶۶/۳ درصدی میزان لاشبرگ در این منطقه (۰/۱۱ تن در هکتار) شده است (شکل ۵، $p < 0.01$). میزان لاشبرگ در اثر کودپاشی (۰/۰۷۷ تن درهکتار) نسبت به شرایط قرق تفاوت معنی‌داری نداشته است (شکل ۵) . نتایج به دست آمده در مورد تیمار چرا مشخص می‌کند که متوسط وزن لاشبرگ در این منطقه معادل ۰/۰۳ تن در هکتار بوده است. چرا اثر معنی‌داری بر میزان لاشبرگ داشته است (جدول ۲، $p < 0.05$) و منجر به کاهش ۴۷ درصدی متوسط وزن لاشبرگی نسبت منطقه قرق شده است.



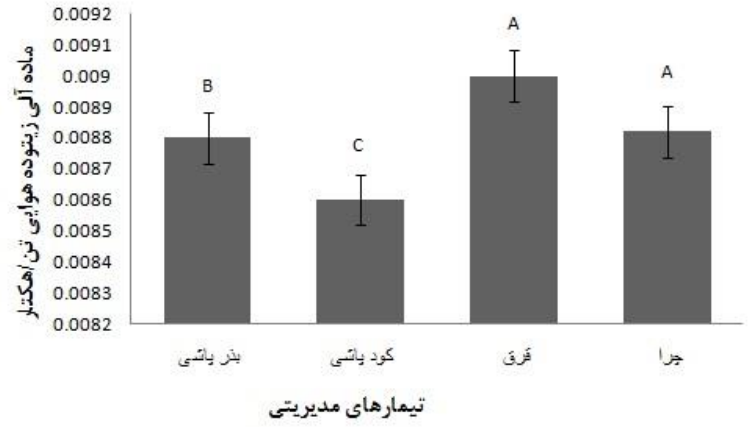
شکل (٥): مقایسه تغییرات لاشبرگ در مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

۳-٥- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر میزان ماده آلی گیاهی

بر اساس نتایج حاصله از آنالیز آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه مدیریت‌های اعمال شده در مرتع مورد مطالعه بر میزان ماده آلی زی‌توده هوایی و ریشه و لاشبرگ تاثیر معنی‌داری داشته‌اند (جدول۴، $p < 0.05$). متوسط ماده آلی در مدیریت قرق برابر ۰/۰۰۹ تن در هکتار بوده‌است. (جدول ۴) (شکل ۶). این مقدار در مدیریت چرا معادل ۰/۰۰۸۸۲ تن در هکتار بوده که تفاوت معنی‌داری در مقدار آن با مدیریت قرق (شاهد) مشاهده نشد (شکل ۶). متوسط

ماده آلی در زی‌توده هوایی مدیریت‌های بذرپاشی و کودپاشی بترتیب معادل ۰/۰۰۸۸ و ۰/۰۰۸۵۸ تن در هکتار ارزیابی شدند، که نسبت به شرایط قرق کاهش معنی‌دار ۳/۳ و ۴/۶ درصدی مشاهده شد ($p < 0.01$) (شکل ۶).



شکل (٦): مقایسه میانگین مقدار ماده آلی زی‌توده هوایی در مراتع بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

میزان متوسط ماده آلی زی‌توده ریشه و لاشبرگ در مدیریت‌های بذر پاشی، کود پاشی، قرق و چرا به‌ترتیب ۰/۰۰۲ ، ۰/۰۰۳ ، ۰/۰۰۱۸ ،۰/۰۰۱۹ و ۰/۰۰۲۱ ، ۰/۰۲ ، ۰/۰۲۳ و ۰/۰۲۱۵ تن در هکتار بوده است. هرچند تغییرات معنی‌داری در میزان متوسط ماده آلی زی‌توده ریشه و لاشبرگ بر اثر اعمال مدیریت‌های اصلاحی و چرا مشاهده نشد (جدول ۳).

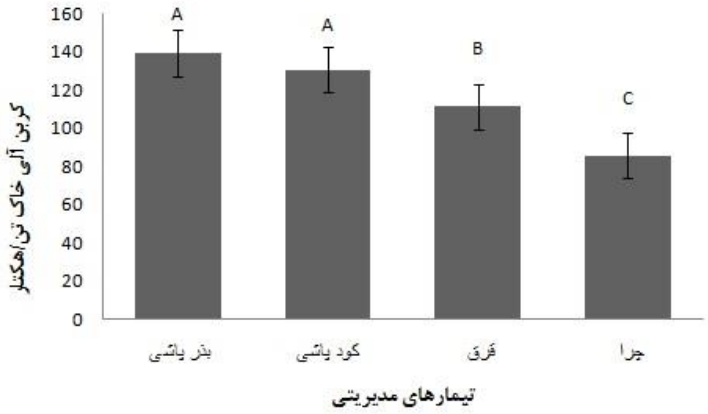
جدول (۳): تجزیه واریانس تاثیر مدیریت‌های اعمال شده بر میزان تغییرات کربن آلی و ماده آلی زی‌توده گیاهی و خاک

	پارامتر		منابع تغییرات	درجه آزادی	مقدار F	P>F
گیاه	ماده آلی	زی‌توده هوایی	مدل/تیمار	۳	۱۹/۰۸	**<۰/۰۰۰۱
			خطا	۴۴	–	–
			کل	۴۷	–	–
		زی‌توده زیر زمینی	مدل/تیمار	۳	۲/۴۱	۰/۰۷۹
			خطا	۴۴	–	–
			کل	۴۷	–	–
		لاشبرگ	مدل/تیمار	۳	۲/۷۷	۰/۰۵۲
			خطا	۴۴	–	–
			کل	۴۷	–	–
خاک	ماده آلی		مدل/تیمار	۳	۶۴/۵۶	**<۰/۰۰۰۱
			خطا	۳۶	–	–
			کل	۳۹	–	–
	کربن آلی		مدل/تیمار	۳	۱۳/۴۷	**<۰/۰۰۰۱
			خطا	۳۶	–	–
			کل	۳۹	–	–

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد

۳-٦- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر میزان کربن آلی و ماده آلی خاک

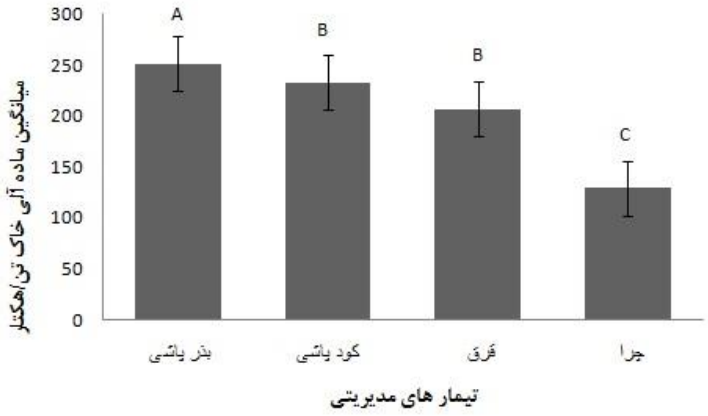
نتایج آنالیز واریانس بررسی مدیریت‌های اعمال شده بر کربن آلی (والکی- بلک) و ماده آلی (احتراق) خاک بیانگر تغییرات معنی‌دار هر دو متغییر در مدیریت‌های مختلف است (جدول۳). متوسط ذخیره کربن آلی در مرتع تحت قرق معادل ۱۱۱/۲ تن در هکتار برآورد شد. این متغییر در مدیریت‌های بذرپاشی، کودپاشی و چرا معادل ۱۳۹/۴، ۱۳۰/۵و ۸۵/۵ تن در هکتار برآورد شد که به‌ترتیب نسبت به شرایط قرق افزایش ۲۵/۳۵ و ۱۷/۳۵ درصدی و کاهش ۲۳/۱۱ معنی‌داری مشاهده شد (شکل۷). به‌طور کلی، بیشترین مقدار ترسیب کربن خاک در مدیریت بذر پاشی که ۱۳۹/۴ تن در هکتار و کمترین مقدار ترسیب کربن خاک در تیمار چرا با ۸۵/۵ تن در هکتار صورت گرفته است (شکل ۷).



شکل (۷): مقایسه میانگین ذخیره کربن آلی خاک (روش والکی بلک)

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول (۳) مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع زیر حوزه نمونه و شاهد بر ماده آلی خاک دارای اثر معنی‌دار است و به‌نظر می‌رسد مدیریت‌های بذر پاشی، کودپاشی، قرق و چرا در تغییرات مقدار ماده آلی خاک نقش مهمی دارند. مدیریت بذر پاشی بر مقدار کربن آلی خاک ترسیب شده اثر معنی‌دار دارد ($p < 0.01$) و منجر به افزایش ۲۱/۴ درصدی ماده آلی خاک نسبت به مرتع شاهد (قرق) بوده است. میانگین ماده آلی خاک برای مدیریت‌های قرق معادل ۲۰۶/۸ تن در هکتار برآورد شد. این میزان در مدیریت‌های بذر پاشی، کودپاشی و چرا معادل ۲۵۱/۲ ، ۲۳۲/۷ و ۱۲۹/۳ تن در هکتار بود (شکل ۸) که معادل افزایش معنی‌دار ۲۱/۴ در تیمار بذرپاشی و کاهش معنی‌دار ۳۷/۴ درصدی در تیمار چرا بود.



شکل (۸): مقایسه میانگین ماده آلی خاک (روش LOI)

حروف لاتین مجزا بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها است.

۳-۷- توزیع ماده آلی موجود در سیستم گیاه- خاک مراتع تحت مدیریت‌های متفاوت

گرادیان تغییرات ذخایر کربن آلی از خاک تا پوشش هوایی در شکل (۹) ترسیم شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ماده آلی در خاک سطحی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) منطقه مورد مطالعه ذخیره شده است، به‌طوری‌که در مدیریت اصلاحی قرق، بذرپاشی، کودپاشی و در منطقه چرا به‌ترتیب برابر ۲۰۶/۸، ۲۵۱/۲، ۲۳۲/۷ و ۱۲۹/۳ تن در هکتار است. این مقادیر در عملیات‌های اصلاحی معادل ۹۹/۹۹ و در منطقه چرا معادل ۹۹/۹۸ درصد کل کربن ذخیره شده در سایت‌های مدیریتی است (شکل ۹). این میزان در مدیریت‌های قرق، بذرپاشی، کودپاشی و چرا برای زی‌توده هوایی به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۸۸، ۰/۰۰۸۵ ، ۰/۰۰۸ تن در هکتار، برای لاشبرگ برابر ۰/۰۲۳، ۰/۰۲۱، ۰/۰۲، ۰/۰۲ تن در هکتار و برای ریشه برابر ۰/۰۰۱۸، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۰۱ تن در هکتار است. بنابراین بیشترین مقدار ماده آلی ذخیره شده در مدیریت‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در خاک سطحی، لاشبرگ، اندام هوایی و کمترین مقدار در ریشه گیاهان مشاهده شد (شکل ۹).

شکل(۹): گرادیان ذخایر ماده آلی در مدیریت‌های اعمال شده بر مراتع حوزه خامسان، کردستان

۳-۸- اثر روش‌های مدیریتی مرتع بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک

خلاصه میانگین پارامترهای بافت خاک، هدایت الکتریکی (شوری خاک EC)، اسیدیته pH و وزن مخصوص ظاهری خاک در جدول (۴) ارائه شده است. همچنین تغییرات این پارامترها با توجه به روش‌های مدیریتی متفاوت مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت که صرفا درصد سیلت درکاربری‌های مختلف تغییرات معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

جدول (٤): میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک

نوع مدیریت	بافت خاک			وزن مخصوص ظاهری(gr/cm^3)	اسیدیته(ppm)	هدایت الکتریکی(ds/m)
	Silt(٪)	Sand(٪)	Clay (٪)			
بذرپاشی	۴۳/۶۳	۳۰/۷۸	۲۵/۵۷	۱/۴۵	۷/۱	۰/۴۶
کودپاشی	۴۲/۴۷	۳۱/۵۳	۲۵/۹۹	۱/۴۶	۷/۲۷	۰/۴۷
قرق	۴۴/۵۱	۳۰/۶۸	۲۴/۷۹	۱/۴	۷/۲۲	۰/۴۲
چرا	۴۳/۶۱	۳۱/۰۷	۲۵/۳	۱/۷	۷/۳۹	۰/۴۸

نتایج حاصل از آنالیز بافت خاک بیانگر بافت لومی خاک در هر دو حوضه شاهد (تحت چرا) و نمونه (تحت عملیات‌های اصلاحی) است که بافتی متعادل محسوب می‌شود و نسبت به فرسایش حساسیت متوسط دارد. میزان درصد سیلت تحت شرایط مدیریتی تغییرات معنی‌داری نشان داد (جدول۵). میزان درصد سیلت در مدیریت‌های قرق، بذرپاشی، کودپاشی و چرا به‌ترتیب معادل ۰/۷۰، ۰/۷۳، ۰/۷۴ و ۰/۷۲ درصد بوده است. سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و وزن مخصوص ظاهری خاک تغییرات معنی‌داری در شرایط مدیریتی متفاوت نشان ندادند (جدول ۵).

جدول (۵): جدول تجزیه واریانس بررسی اثر مدیریت‌های اعمال شده بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک

پارامترهای خاک	درجه آزادی	مقدار F	p>F
درصد شن	۴۷	۰/۴۳	۰/۷۳۴
درصدرس	۴۷	۲/۰۳	۰/۱۲۳
درصد سیلت	۴۷	۳/۲۸	۰/۰۲۹
هدایت الکتریکی	۴۷	۲/۰۶	۰/۱۱۹
وزن مخصوص ظاهری	۴۷	۲/۰۸	۰/۱۱۶

*معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵

٤- بحث و نتیجه‌گیری

٤-١- اثرات عملیات اصلاحی مراتع بر زی‌توده گیاهی

مدیریت‌های اصلاحی در مراتع نیمه‌استپی حوزه زوجی خامسان تغییرات معنی‌داری در تولید مراتع ایجاد کردند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در مراتع تحت مدیریت‌های مختلف تغییرات معنی‌داری، بر زی‌توده اندام‌های هوایی، ریشه و لاشبرگ مشاهده شد. این تغییرات بسته به نوع عملیات اصلاحی (بذرپاشی، کودپاشی، قرق و چرا) متفاوت بود. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مدیریت‌های اصلاحی می‌توانند باعث تغییر در ترکیب و زی‌توده گیاهان شوند، اگرچه تأثیرات این عملیات‌ها بسته به نوع اکوسیستم، نوع گیاهان، و شرایط محیطی متفاوت است.

تاثیر عملیات اصلاحی قرق و حذف چرای دام در مطالعات مختلفی ارزیابی و تائید شده است. افزایش تراکم و تولید گیاهان مرتعی تحت عملیات قرق در مراتع خشک و نیمه‌خشک مانند مراتع پشتکوه یزد با پوشش گیاهی غالب *Salsola rigida* و *Stipa barbata* (ارزانی و همکاران ، ۱۳۷۸) و مراتع نیر یزد تحت عملیات بلندمدت قرق (۲۰ سال) (باغستانی و همکاران، ۱۳۸۵) گزارش شده است. در مطالعه اخیر چرای دام منجر به تغییر ترکیب گیاهی و توسعه گونه‌های نامرغوب مرتعی شامل *Launaea acanthodes*، *Scariola orintalis* و*Noea mucronata* شد. تمرتاش و همکاران (۱۳۹۱) نیز در مطالعه‌ای درصد پوشش تاجی درمنه کوهی را در منطقه قرق حدود ۲/۵ برابر بیش از مراتع تحت چرا اعلام کردند و اعمال تیمار قرق را عامل افزایش درصد پوشش تاجی گونه غالب بیان کردند. اصغرنژاد و اکبرلو (۱۳۹۲) در مطالعه شرایط قرق مراتع گمیشان، تفاوت معنی‌دار میانگین وزن زی‌توده هوایی و ریشه در شرایط قرق و غیر قرق را گزارش کردند. میانگین زی‌توده کل گونه غالب *Puccinella distans* در شرایط قرق ۱/۲۶۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شد که تحت تاثیر چرای دام با کاهش ۳/۶۹ درصدی مواجه شد. جنیدی جعفری (۱۳۸۸) در مطالعه اثر قرق و شدت‌های مختلف چرا (چرای سنگین، چرای متوسط) بر زی‌توده هوایی و زیرزمینی درمنه دشتی نشان دادند که کاهش زی‌توده هوایی و زیرزمینی گیاهان ارتباط مستقیم با شدت چرا و حجم برداشت از اندام هوایی گیاهان دارد و رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی در مناطق با چرای سنگین در مقایسه با مناطق تحت چرای متوسط و قرق محدود شده است. کمترین و بیشترین میزان زی‌توده ریشه به‌ترتیب معادل ۰/۷۸ و ۱/۵ برابر وزن زی‌توده هوایی در دو تیمار قرق و چرای سنگین بود و عدم تغییر محسوس ریشه در تیمار چرای متوسط نسبت به تیمار قرق را می‌توان به فشار چرای کمتر در این تیمار نسبت داد. به‌نظر می‌رسد کاهش زی‌توده ریشه در چرای دام (به تناسب شدت چرا) به‌دنبال از دست دادن تعداد زیادی از برگ‌ها و ساقه‌های گیاه در حین چرا رخ می‌دهد. گیاه در جهت ترمیم بافت‌های از دست رفته و حساس خود با مصرف مقدار زیادی از مواد ذخیره‌ای، ساقه‌های نو به وجود می‌آورد و در نتیجه رشد سایر قسمت‌های گیاه از جمله اندام زیر زمینی کاهش می‌یابد (جنیدی جعفری، ۱۳۸۸). عملیات قرق مراتع، با حذف فشار ناشی از چرا، تأثیرات گسترده‌ای بر افزایش زی‌توده هوایی و زیرزمینی گیاهان مرتعی دارد. در شرایط چرا، گیاهان به دلیل برداشت مداوم توسط دام‌ها، فرصت کافی برای رشد و توسعه ندارند. این وضعیت نه تنها بر زی‌توده هوایی بلکه بر توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان نیز تأثیر می‌گذارد. با حذف چرا، گیاهان می‌توانند از منابع خاکی و آبی به شکل بهینه‌تری استفاده کنند که منجر به بهبود سلامت خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تقویت فعالیت‌های میکروبی می‌شود. حذف چرا اجازه می‌دهد که گیاهان گندمی‌سان و سایر گونه‌ها به‌طور کامل مراحل رشد خود را طی کنند و توانایی فتوسنتزی خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ کنند (Bai and Li, 2022). از آنجا که در شرایط قرق، گیاهان می‌توانند منابع بیشتری به سیستم ریشه‌ای خود اختصاص دهند. افزایش دسترسی به آب و مواد مغذی باعث تقویت سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب از لایه‌های عمقی‌تر خاک می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که زی‌توده زیرزمینی بخصوص در لایه سطحی خاک می‌تواند بین ۵۳ تا ۱۸۳ درصد افزایش یابد که این تغییرات همچنین باعث بهبود کیفیت خاک و افزایش ذخایر کربن آلی می‌شود (Zhan et al., 2020). با توجه به‌موارد ذکر شده افزایش میزان لاشبرگ در مراتع تحت قرق نیز قابل پیش‌بینی است (Zhang et al., 2021؛ Zhan et al., 2020). هر چند نتایج متناقضی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک گزارش شده است و نشان داده است که عملیات قرق همیشه منجر به افزایش زی‌توده هوایی و زیرزمینی نمی‌شود و حتی در برخی موارد تأثیر منفی نیز به‌همراه داشته است. مطالعه‌ای در مراتع تبت نشان داد که در مناطقی با شدت خشکی بالا، تأثیر قرق بر زی‌توده هوایی به مراتب کمتر از سایر مناطق است و حتی ممکن است زی‌توده هوایی افزایش ناچیزی (حدود ۱۰/۱ درصد) داشته باشد (Wang et al., 2019). قرق مراتع ممکن است باعث کاهش تنوع گونه‌ای و افزایش تراکم گیاهان با ویژگی‌های خاص (مانند گیاهان چوبی یا گونه‌های غیرمرغوب) شود که منجر به همگن‌سازی پوشش گیاهی می‌شود. این همگن‌سازی می‌تواند تأثیر منفی بر زی‌توده هوایی و کاهش کارایی اکوسیستم داشته باشد (Yan and Lu, 2015). این نتایج می‌تواند ناشی از رقابت بیشتر گونه‌های غیرمرغوب و شرایط نامساعد محیطی اکوسیستمی باشد که مانع رشد بهینه گیاهان مرغوب می‌شود (Wang et al., 2019).

تناقض تاثیرگذاری سایر عملیات‌های اصلاحی مانند بذرپاشی و کودپاشی نیز گزارش شده است. هرچند افزایش زی‌توده هوایی و لاشبرگ تحت تاثیر عملیات بذرپاشی در حوزه زوجی خامسان مشاهده شد، بذرپاشی منجر به افزایش زی‌توده ریشه نشد. افزایش تولید گیاهی در عملیات بذرپاشی را می‌توان مستقیما به تغییر ترکیب گیاهی و افزایش پوشش گیاهی ناشی از رشد پایه‌های جدید مرتبط دانست (Wells et al., 2024). این عامل خود به‌خود به دلیل رابطه مستقیمی که تولید اندام هوایی و لاشبرگ دارند، بر میزان لاشبرگ تولیدی موثر است (Zhang et al., ؛Wang et al., 2019 2021). در پایان فصل رویش اندام‌های هوایی شروع به ریزش و تولید لاشبرگ می‌کنند. بنابراین عملیات اصلاحی که منجر به تولید بیشترین مقدار زی‌توده هوایی شده است، بیشترین لاشبرگ را نیز تولید می‌کند. به‌همین منوال کمترین مقدار زی‌توده هایی، ریشه و لاشبرگ در منطقه چرا دیده

می‌شود. همان‌طور که گفته شد چرای دام باعث حذف اکثر اندام‌های هوایی گیاه و تضعیف ریشه می‌شود و در نهایت زمانی که پایان فصل رشد فرا می‌رسد مقدار لاشبرگ تولیدی کاهش خواهد یافت. با این حال، بذرپاشی و کودپاشی در شرایط خشک یا نیمه‌خشک ممکن است تأثیر کمتری بر افزایش زی‌توده گیاهی و لاشبرگ داشته باشد. تغییرات زی‌توده گیاهی در عملیات بذرپاشی مراتع خشک و نیمه‌خشک به‌علت محدودیت منابع غذایی و رطوبت و ایجاد رقابت بیشتر در زمان استقرار گونه‌های گیاهی جدید، گاهاً غیرقابل پیش‌بینی است (Yang et al., 2022). افزایش زی‌توده هوایی در عملیات کودپاشی احتمالاً به‌دلیل دسترسی بهتر به منابع غذایی و رطوبت از طریق اصلاح خاک و افزایش حاصلخیزی رخ می‌دهد. مطالعات متعددی نیز تأیید می‌کنند که بذرپاشی می‌تواند باعث افزایش سریع رشد اندام‌های هوایی گیاهان شود. این نتایج به‌ویژه در مناطقی که سطح رطوبت کافی وجود دارد شاخص‌تر است که ناشی از افزایش دسترسی گیاهان به نیتروژن و فسفر موجود در کود بوده است. کودهای نیتروژنی می‌توانند رشد سریع اندام‌های هوایی را تسهیل کنند، زیرا نیتروژن یکی از عناصر کلیدی در فرآیند فتوسنتز و تولید پروتئین‌ها است. افزودن نیتروژن (N) باعث افزایش زی‌توده گیاهی به‌میزان ۵۵/۶ درصد می‌شود (Feng et al., 2023). کودپاشی رویشگاه *Trifolium* sp. ترکیب جامعه گیاهی تغییر و زی‌توده هوایی را افزایش داد (Jensen et al., 2024). هرچند در مطالعه حاضر کودپاشی منجر به افزایش زی‌توده هوایی و لاشبرگ نشده است. کیفیت خاک ضعیف در مراتع خشک و نیمه‌خشک مانع جذب مؤثر کود و اثر افزایشی آن در برخی گیاهان می‌شود (Teague and Kreuter, 2020). کمبود رطوبت نیز یکی دیگر از عواملی است که اثر کودپاشی در مراتع خشک و نیمه خشک را محدود می‌کند و مانع جذب موثر مواد غذایی توسط گیاه می‌شود (Wang and Collins, 2024). به‌نظر می‌رسد ترکیب گونه‌ای مرتع نیز حساسیت گونه‌ها به کودپاشی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و برخی گونه‌های گیاهی حساسیت کمتری به کودپاشی دارند (De Deyn and Van der Putten, 2005). کاهش زی‌توده ریشه در سایت بذرپاشی نسبت به سایر مدیریت‌های اصلاحی به‌رغم نتایج پیش‌بینی شده در این مطالعه دلیل دیگری بر پیچیدگی پاسخ جامعه گیاهی به عملیات اصلاحی است که می‌تواند ناشی از چندین عامل فیزیولوژیکی و اکولوژیکی باشد. بر اساس مطالعات اخیر، گیاهان در شرایط بذرپاشی معمولاً به‌جای تخصیص منابع به توسعه ریشه‌های عمیق‌تر، تمرکز خود را بر رشد سریع اندام‌های هوایی می‌گذارند. De Deyn et al. (۲۰۰۸) نشان دادند که نوع مدیریت و ترکیب گونه‌های گیاهی تأثیر مستقیمی بر ساختار و کارکرد ریشه‌های گیاهان مرتعی دارد. در سیستم‌های با مدیریت بذرپاشی، به دلیل دسترسی پایه‌های گیاهی جدید به منابع غذایی و رطوبت در لایه‌های سطحی خاک، گیاهان بیشتر انرژی خود را به توسعه اندام‌های هوایی اختصاص می‌دهند و ریشه‌های کوچک‌تری نسبت به گیاهان استقرار یافته و بومی دارند. نیاز به منابع سطحی و تمرکز بر گسترش اندام هوایی بجای اندام زیرزمینی در برخی مطالعات دیگر نیز تائید شده است (Harrison and Bardgett, 2010 ؛Wilson and Agnew, 1992). این امر می‌تواند منجر به کاهش زی‌توده ریشه در مقایسه با سایر مدیریت‌ها مانند قرق شود که در آن گیاهان فرصت بیشتری برای توسعه سیستم ریشه‌ای قوی‌تر و عمیق‌تر داشته‌اند. کاهش زی‌توده ریشه در شرایط بذرپاشی نسبت به عملیات کودپاشی در این مطالعه دلیلی بر همین نتایج است. Wang and Collins (۲۰۲۴) نشان دادند که توزیع و رشد ریشه به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر میزان نیتروژن و تراکم بذر قرار دارد. در شرایطی که نیتروژن یا منابع دیگر محدود باشند گیاهان تمایل به رشد سریع‌تر اندام‌های هوایی پیدا می‌کنند و توسعه ریشه محدود می‌شود. این تغییر در توزیع منابع منجر به کاهش رشد ریشه نسبت به شرایط کودپاشی یا قرق می‌شود.

۲-٤- اثرات عملیات اصلاحی مراتع بر ذخیره کربن آلی در سیستم گیاه –خاک

به‌طور کل در مراتع حوزه زوجی خامسان در مدیریت‌های بذر پاشی و کود پاشی نسبت به مرتع قرق کاهش ماده آلی در اندام‌هوایی مشهود بود. این در حالی‌است که در اجزاء اندام زیرزمینی و لاشبرگ تغییرات معنی‌داری در ذخیره ماده آلی مشاهده نشد. برغم آن‌که بیشترین مقدار زی‌توده هوایی در عملیات بذرپاشی اندازه‌گیری شد، بیشترین ماده آلی ذخیره شده در اندام هوایی مربوط به عملیات قرق است. این مسئله می‌تواند ناشی از اثر تنوع پوشش گیاهی و فرم رویشی و کلاس خوشخوراکی گیاهان مرتعی بر میزان ذخیره ماده آلی در اکوسیستم باشد. هدف اصلی از عملیات اصلاحی بذرپاشی و کودپاشی عمدتا افزایش رشد گیاهان از طریق افزودن بذر یا کود است. در شرایط بذرپاشی، رشد سریع اندام‌های هوایی ممکن است باعث کاهش تجمع مواد آلی در اندام هوایی، ریشه و لاشبرگ شود، زیرا گیاهان تمرکز بیشتری بر توسعه اندام‌های هوایی دارند و مواد آلی کمتری به ریشه و لاشبرگ می‌رسد. در مطالعات دیگر نیز بر تأثیر مدیریت‌های مختلف بر ماده آلی اندام‌های هوایی تأکید شده و نشان دادند که در شرایط بذرپاشی و کودپاشی، تمرکز گیاهان بر رشد سریع اندام‌های هوایی است که ممکن است منجر به کاهش تجمع ماده آلی در این اندام‌ها شود (Wan et al., 2024). به عبارت دیگر، در این شرایط گیاهان به‌جای انباشت مواد آلی، بیشتر انرژی خود را به رشد سریع و افزایش ارتفاع و تراکم برگ‌ها اختصاص می‌دهند. رشد سریع اندام هوایی باعث می‌شود که مواد آلی به‌طور موثری به اندام‌های هوایی منتقل نشوند و بخش بیشتری از آن‌ها در فرآیندهای دیگر مانند توسعه ریشه و جذب مواد غذایی استفاده شود. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که مدیریت‌های بذرپاشی و کودپاشی، به‌ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک، منجر به ذخیره کامل نشده است. در حالی که مدیریت‌های قرق و چرای متعادل توانسته‌اند به‌طور قابل‌توجهی ماده آلی ذخیره شده در اندام‌های هوایی گیاهان را افزایش دهد (Wan et al., 2024).

در عملیات کودپاشی پیش‌بینی می‌شود استفاده از کودهای نیتروژنی باعث رشد سریع‌تر اندام‌های هوایی و کاهش ریزش و تجمیع لاشبرگ نسبت به سایت‌های قرق باشد (Harrison and Bardgett, 2010 ؛Wilson and Agnew, 1992). هرچند در مطالعه حاضر رشد اندام هوایی و لاشبرگ

افزایش چشم‌گیری نسبت به سایر عملیات اصلاحی نداشت. بنابراین، در این مدیریت‌ها به جای افزایش تجمع ماده آلی، تمرکز بر افزایش رشد گیاهان است که منجر به کاهش تجمیع ماده آلی در اندام هوایی و عدم تغییرات معنی‌دار آن در ریشه و لاشبرگ بوده است. Fan et al., (۲۰۲۴) نیز نشان داده است که هرچند استفاده از کودهای زیستی و ارگانیک به بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ذخیره کربن خاک کمک می‌کند، اما تأثیر آن بر ماده آلی اندام‌های هوایی گیاهان محدود است. در این تحقیق، گیاهان انرژی بیشتری صرف توسعه اندام‌های هوایی خود گذاشتند، که منجر به کاهش تجمع ماده آلی شد. این مسئله به‌ویژه در مناطقی با محدودیت منابع و تراکم بالای گیاهی مشهود بود. مطالعات دیگر در مراتع کوهستانی نیمه خشک نیز نشان می‌دهد که در شرایط مدیریت بذرپاشی و کودپاشی، میزان ماده آلی در برگ‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان نسبت به مناطق قرق کمتر است (Verdoodt et al., 2010). در این مناطق، تغییرات شدید در شرایط زیستی و اکولوژیکی مانند شدت تابش خورشید و رطوبت خاک، تأثیر مستقیم بر ترکیب گونه‌ها و فرآیندهای عملکردی اکوسیستم دارد. به‌نظر می‌رسد عملیات‌های قرق و چرای کنترل‌شده می‌توانند منجر به تجمع بیشتر ماده آلی در اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان شوند(Verdoodt et al., 2010؛ Zhu et al., 2024).

ماده آلی خاک، به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در بهبود کیفیت خاک و افزایش پایداری اکوسیستم‌های مرتعی، تحت تأثیر نوع مدیریت مرتع قرار می‌گیرد. بیشترین ذخایر کربن آلی در اکوسیستم‌های مرتعی در ماده آلی خاک قرار دارد، که حاوی ۹۰ درصد از مجموع کربن آلی موجود در سیستم است. بیشترین مقدار ماده آلی این اکوسیستم‌ها در خاک سطحی ذخیره شده است و با افزایش عمق کاهش می‌یابد (McSherry and Ritchie, 2013). یافته‌های این تحقیق نیز نشان می‌دهد بیش از ۹۰ درصد ماده آلی مراتع نیمه استپی حوزه خامسان در خاک سطحی منطقه ذخیره شده است. عملیات بذرپاشی و سپس عملیات کودپاشی و قرق منجر به ذخیره بیشترین مقدار ماده آلی در خاک سطحی این حوزه شده‌اند. این ترتیب تقریباً با تغییرات میانگین وزن زی‌توده هوایی و لاشبرگ مشابه است، اما با تغییرات وزن ریشه همخوانی ندارد. عملیات بذرپاشی می‌تواند منجر به افزایش تنوع گونه‌ای و تراکم گیاهی شده و ماده آلی خاک را افزایش دهد. بذرپاشی به گیاهان فرصت می‌دهد که از منابع موجود خاک به شکل مؤثرتری استفاده کنند و بازگشت ماده آلی از طریق ریزش اندام‌های هوایی و لاشبرگ را تسریع کنند. در این حالت، مواد آلی از طریق برگ‌های مرده و لاشبرگ به خاک بازمی‌گردند و باعث بهبود کیفیت خاک و افزایش ماده آلی خاک می‌شوند. افزایش ماده آلی در اثر بذرپاشی مراتع نیمه خشک، به‌ویژه در مناطقی که با کمبود رطوبت و نیتروژن مواجه هستند، در مطالعات دیگر نیز تائید شده است (Verdoodt et al., 2010). در مراتع کودپاشی شده نیز مواد غذایی اضافه شده باعث تقویت رشد گیاهان و در نتیجه تجمع مواد آلی در خاک سطحی می‌شود. اگرچه کودپاشی مستقیماً به افزایش ماده آلی خاک منجر نمی‌شود، اما افزایش زی‌توده هوایی و لاشبرگ از طریق افزایش جذب مواد مغذی و بازگشت آن‌ها به خاک، باعث تقویت خاک و افزایش ماده آلی می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش تولید زی‌توده گیاهی در مراتع کودپاشی شده می‌تواند منجر به تسریع چرخه مواد آلی و بهبود شرایط خاک شود (Zhu et al., 2024). عملیات قرق و حذف فشار چرایی منجر به افزایش رشد گیاهان و افزایش ماده آلی می‌شود. اما مقدار ماده آلی خاک در شرایط قرق کمتر از سایت‌های بذرپاشی و کودپاشی است. دلیل این امر می‌تواند به‌طور عمده به طولانی‌تر بودن زمان مورد نیاز برای تجمیع ماده آلی یا تفاوت سرعت تجزیه در سایت‌های قرق برگردد. قرق بر میزان ترسیب کربن عملکرد متفاوتی دارد چراکه پارامترهای ساختار پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیکی خاک درسایت‌های مختلف متفاوت است (Sharp et al., 2024). برآیند این خصوصیات می‌تواند بر تجزیه لاشبرگ و بازگشت مواد آلی به خاک اثرگذار باشد. همانگونه که پیش‌بینی می‌شد مناطق تحت چرا به‌علت برداشت مداوم گیاهان و فشار چرایی ماده آلی کمتری در خاک ذخیره می‌کنند. چرا باعث کاهش تراکم پوشش گیاهی و کاهش بازگشت مواد آلی به خاک از طریق ریزش برگ‌ها و لاشبرگ می‌شود. همچنین، کاهش تنوع گیاهی و فشار فیزیکی ناشی از چرا، باعث کاهش ظرفیت خاک برای حفظ مواد غذایی و آب می‌شود که به کاهش ماده آلی در این مناطق منجر می‌شود (Lai and Kumar, 2020).

۳-٤- اثرات عملیات اصلاحی مراتع بر خصوصیات خاک

ویژگی‌های بافت خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی و وزن مخصوص ظاهری در همه عملیات‌های اصلاحی و چرا تغییرات معنی‌داری نشان ندادند و تنها تغییرات ۱-۴ درصدی در میزان درصد سیلت مشاهده شدکه با توجه به عدم تغییر بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک می‌تواند ناشی از تغییرات مکانی و ذاتی خاک در اکوسیستم باشد. عملیات‌های اصلاحی مانند بذرپاشی و کودپاشی معمولاً در کوتاه و میان مدت تأثیرات محدودی بر خصوصیات فیزیکی خاک دارند. مشاهده تغییرات در بافت خاک یا پارامترهای فیزیکی آن مانند وزن مخصوص ظاهری معمولاً به زمان طولانی‌تری نیاز دارند (Ghaemi and Astaraei, 2014). عدم تاثیر چرا بر بافت خاک نیز در برخی مطالعات انجام شده در مناطق نیمه خشک گزارش شده است. این امر به دلیل مقاومت طبیعی خاک در برابر تغییرات فیزیکی است. هرچند چرای سنگین و مداوم منجر به تغییرات چشمگیری در ساختار و تراکم خاک می‌شود که در صورت مدیریت چرا، این تغییرات محدود می‌شوند (Teague and Kreuter, 2020). ویژگی‌هایی مانند اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک نیز عمدتا تحت تأثیر شرایط اقلیمی و خصوصیات ذاتی خاک قرار دارند (Mcdaniel et al., 2014؛ Ghaemi and Astaraei, 2014). بنابراین، عملیات‌هایی مانند بذرپاشی یا کودپاشی در میان مدت ممکن است تأثیرات معنی‌داری بر اسیدیته یا هدایت الکتریکی خاک نداشته باشند. هرچند پیش‌بینی می‌شد وزن مخصوص ظاهری در مراتع چرا شده تغییرات معنی‌داری داشته باشد اما در حوزه خامسان چرا افزایش معنی‌داری در اثر چرا و

لگدکوبی دام درمراتع منطقه ایجاد نکرده است. عملیات‌هایی مانند بذرپاشی و کودپاشی به دلیل تمرکز بیشتر بر رشد اندام هوایی گیاهان منطقه تأثیر معنی‌داری بر تراکم خاک نداشته است (Akhzari and Pessarakli, 2015).

٤-٤- تفاوت ضریب تبدیل زی‌توده گیاهی به ماده آلی در عملیات اصلاحی مراتع

با توجه به هزینه و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری ماده آلی و کربن آلی ذخیره شده در پوشش گیاهی مراتع، مطالعات متعددی به تخمین و برآورد غیرمستقیم ماده آلی بافت گیاهی پرداخته‌اند. FAO (۲۰۰۴) ضریب تبدیل زی‌توده گیاهی به ماده آلی را حدود ۰/۴۵ تا ۰/۵۰ گزارش داده است. این ضریب برآورد ماده آلی گیاهان از وزن زی‌توده گیاهی در برخی مطالعات دیگر نیز مورد تائید قرار گرفته است (Matula et al., 2015 ؛ Bar-on et al., 2018) و گاها به‌طور پیش‌فرض در مطالعات دیگر نیز استفاده شده است (Thomas and Martin, 2012). این ضریب به این معناست که تقریباً ۴۵ تا ۵۰ درصد از وزن خشک زی‌توده گیاهی به‌عنوان ماده آلی در نظر گرفته می‌شود و البته مطالعات ذکر شده ضریب برآوردی را به پارامترهای متفاوتی مانند نوع گیاهان، میزان دسترسی به آب و نوع مدیریت چرا وابسته می‌دانند که همین مشکل، اهمیت برآورد این ضریب را در اکوسیستم‌های مختلف خاطر نشان می‌سازد. برآورد این ضرایب در منطقه مورد مطالعه به‌عنوان یکی از حوزه‌های زوجی کشور به‌منظور پایش و مطالعه بلندمدت عملیات اصلاحی و مدیریتی حائز اهمیت است. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که ضریب تبدیل در مدیریت‌های بذرپاشی، کودپاشی، قرق، چرا برای زی‌توده هوایی به‌ترتیب برابر ۸۸ ،۸۵، ۹۱، ۹۱ درصد برای ریشه ۵۵، ۷۸، ۲۳، ۵۸ درصد، برای لاشبرگ برابر ۷۳، ۸۸، ۸۷، ۸۵ درصد است. این مقادیر به‌طور متوسط بیش از مقدار گزارش شده در سایر مطالعات است.

منابع

اصغرنژاد، ل.، و اکبرلو، م. (۱۳۹۲). بررسی اثر قرق بر بازآوری جنسی و بیوماس گونه *Puccinella distans* (Jucq.) Parl در منطقه تالاب گمیشان. مرتع، ۱، ۱۰-۱.

اداره منابع طبیعی استان کردستان. (۱۳۸۹). گزارش مطالعات پایه حوزه آبخیز معرف خامسان (استان کردستان)، ۹۸ ص.

ارزانی، ح.، آذرنیوند، ح.، مهربانی، ا. ا.، نیک‌خان، ا.، و فاضل دهکردی، ل. (۱۳۸۷). حداقل مراتع مورد نیاز برای چوپانی در استان سمنان. پژوهش و سازندگی، ۷۴، ۱۱۳-۱۰۷.

باغستانی‌میبدی، ن.، زارع، م. ت.، و عبدالهی، ج. (۱۳۸۵). تأثیر قرق بر تغییرات پوشش گیاهی مراتع استپی یزد در دو دهه گذشته ۱۳۶۵-۱۳۸۳. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳(۴)، ۳۴۶-۳۳۷.

تمرتاش، ر.، یوسفیان، م.، مهدوی، س. خ.، و مهدوی، م. (۱۳۹۱). بررسی اثر قرق بر میزان ترسیب کربن درمنه‌زارها در مناطق خشک استان سمنان. منابع طبیعی ایران، ۳، ۳۵۲-۳۴۱.

ترکمانی، ف.، پیری‌صحراگرد، ح.، پهلوان‌راد، م. ر.، و نهتانی، م. (۱۳۹۸). تعیین توزیع مکانی کربن آلی خاک و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل جنگل تصادفی در حوضه آبخیز راونگ میناب. مهندسی زراعی، ۴۲(۴)، ۱۰۴-۸۹.

جعفری حقیقی، م. (۱۳۸۴). روش‌های تجزیه خاک- نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی «با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی». مازندران: انتشارات ندای ضحی، ۲۳۶ص.

جعفری، ا.، سفیدی، ح.، و رحیمی، م. (۱۴۰۱). بررسی رابطه تغییرات مکانی ترسیب کربن خاک با عناصر اقلیمی دما و بارش در سال‌های اخیر (منطقه مطالعه حوضه آهنگران). پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۳(۱۲)، ۲۰-۱.

جنیدی‌جعفری، ح. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر عوامل بوم‌شناختی و مدیریتی بر میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌های گونهٔ درمنهٔ دشتی، مطالعهٔ موردی: مراتع استان سمنان، رسالهٔ دکتری، دانشگاه تهران.

روستا، م. ج.، سلیمان‌پور، س. م.، عنایتی، م.، و پاک‌پرور، م. (۱۴۰۰). مقایسه میزان ذخیره‌ی کربن و نیتروژن خاک در دشت گربایگان فسا در دو وضعیت پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب. مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲(۲۴)، ۱۸۱-۱۷۰.

فتح العلومی، س.، واعظی، ع.، علوی‌پناه، ک.، و قربانی، ا. (۱۳۹۹). مدل‌سازی تغییرات کربن آلی خاک با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای اردبیل. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۹)، ۲۴۲۹-۲۴۱۷.

قیطوری، م.، حشمتی، م.، و پرویزی، ی. (۱۳۹۲). تأثیر چرای شدید دام بر تغییرات کربن آلی خاک در مراتع استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۳(۲)، ۱۸-۱۳.

کمالی، ن.، و صادقی‌پور، ا. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر برخی عوامل محیطی بر ذخیره کربن خاک (مطالعه موردی: هشتگرد البرز)، هفتمین کنفرانس ملی مرتع و مرتعداری ایران، ۱۸- ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۷، کرج، البرز.

محمودزاده، ح.، متین‌فر، ح. ر.، تقی‌زاده‌مهرجردی، ر. (۱۳۹۹). رقومی‌سازی کربن آلی خاک (مطالعه موردی: شهرستان کامیاران، استان کردستان). مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۰(۴)، ۹۸-۷۷.

نقی‌پور برج، ع. ا.، دیانتی تیلکی، ق.، توکلی، ح.، و حیدریان آقاخانی، م. (۲۰۰۹). تأثیر شدت چرا بر میزان ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مراتع نیمه‌خشک (مطالعه موردی: مراتع سیساب بجنورد). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۶(۳)، ۳۸۵-۳۷۵.

Akhzari, D., Pessarakli, M., and Eftekhari Ahandani, S. (2015). Effects of grazing intensity on soil and vegetation properties in a Mediterranean rangeland. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(22), 2798-2806.

Bar-On, Y. M., Phillips, R., and Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(25), 6506-6511.

Bai, Y., and Li, S. (2022). Growth peak of vegetation and its response to drought on the Mongolian Plateau. Ecological Indicators, 141, 109150.

Benke, K. K., Norng, S., Robinson, N. J., Chia, K., Rees, D. B., and Hopley, J. (2020). Development of pedotransfer functions by machine learning for prediction of soil electrical conductivity and organic carbon content. Geoderma, 366, 114210.

Boone, R. B., Conant, R. T., Sircely, J., Thornton, P. K., and Herrero, M. (2018). Climate change impacts on selected global rangeland ecosystem services. Global Change Biology, 24(3), 1382-1393.
Crank, C., Kuhl, A., Kelley, C., and Merrill, Q. (2024). An investigation of rangeland and pasture soil health and its drivers. Institute of Water Research, Michigan State University.
Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques. Johan Wiley & Sons Inc., USA, 442 p.
Davies, B. E. (1974). Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. Soil Science Society of America Journal, 38(1), 150-151.
De Deyn, G. B., Cornelissen, J. H., and Bardgett, R. D. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. Ecology Letters, 11(5), 516-531.
De Deyn, G. B., and Van der Putten, W. H. (2005). Linking aboveground and belowground diversity. Trends in Ecology & Evolution, 20(11), 625-633.
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.
Fan, S., Tang, Y., Yang, H., and Hu, Y. (2024). Effects of fertilization and planting modes on soil organic carbon and microbial community formation of tree seedlings. Plants, 13(18), 2665.
Feng, H., Guo, J., Peng, C., Kneeshaw, D. D., Roberge, G., Pan, C., Ma, X., Zhou, D., and Wang, W. (2023). Nitrogen addition promotes terrestrial plants to allocate more biomass to aboveground organs: A global meta-analysis. Global Change Biology, 29, 3970 - 3989.
Ghaemi, M., and Astaraei, A. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of astan quds- east of mashhad- Iran. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14, 1005-1020.
Gebremedhn, H. H., Kelkay, T. Z., Tesfay, Y., and Tufa, S. (2024). The effect of customary grazing management systems on rangeland carbon stock and sequestration in semiarid pastoral ecosystems of Eastern Ethiopia. RUFORUM Working Document Series, 19(1), 397-406.
Harrison, K. A., and Bardgett, R. D. (2010). Influence of plant species and soil conditions on plant-soil feedback in mixed grassland communities. Journal of Ecology, 98(2), 384-395.
Helmke, P. A., and Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods, 5, 551-574.
Hieroo, J., Branch, L., Villarrel, D., and Clark, K. (2008). Predictive equation for biomass and fuel characteristics of Argentine Shrubs. Journal of Range management, 53(6), 617-621.
IPCC. (2014). Climate Change 2014: The Physical Science Basis. Working Group, I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor, H. L. Miller, Jr., and Z. Chen (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p.
ILRI, I. (2021). UNEP and ILC. 2021. ILRI, IUCN, FAO, WWF, UNEP and ILC. Rangelands Atlas. Nairobi Kenya: ILRI. 42 p.
Jensen, J. L., Giannini-Kurina, F., and Eriksen, J. (2024). Similar root and stubble biomass carbon in grass–clover leys irrespective of yield, species composition, sward age, and fertilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 187(4), 494-503.
Khan, N., Jhariya, M. K., Raj, A., Banerjee, A., and Meena, R. S. (2021). Soil carbon stock and sequestration: Implications for climate change adaptation and mitigation. In: Jhariya, M.K., Meena, R.S., Banerjee, A. (eds) Ecological Intensification of Natural Resources for Sustainable Agriculture. Springer, 461-489.
Kent, M., and Coker, P. (1992). Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach. Wiley-Blackwell. 448 p.
Kim, J., Ale, S., Kreuter, U. P., Teague, W. R., DelGrosso, S. J., and Dowhower, S. L. (2023). Evaluating the impacts of alternative grazing management practices on soil carbon sequestration and soil health indicators. Agriculture, Ecosystems and Environment, 342, 108234.
Lai, L., and Kumar, S. A. (2020). Global meta-analysis of livestock grazing impacts on soil properties. PLoS One, 7,15(8): e0236638.
Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123: 1-22.
Lam, S. K., Chen, D., Mosier, A. R., and Roush, R. (2013). The potential for carbon sequestration in Australian agricultural soils is technically and economically limited. Science Report, 3(1), 2179.
McSherry, M. E., and Ritchie, M. E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. Global Change Biology, 19, 1347–1357.
McDaniel, M. D., Kaye, J. P., Kaye, M. W., and Bruns, M. A. (2014). Climate change interactions affect soil carbon dioxide efflux and microbial functioning in a post-harvest forest. Oecologia, 174, 1437-1448.
Matula, R., Damborska, L., Nečasová, M., Geršl, M., and Šrámek, M. (2015). Measuring biomass and carbon stock in resprouting woody plants. PloS one, 10(2), e0118388.
FAO. Assessing carbon stock and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes.By: R. Ponce Hernandez. 2004, 13 P.
Sharp, S. J., Davidson, K. E., Angelini, C., Fischman, H. S., Pennings, S., Fowler, M. S., and Griffin, J. N. (2024). Large grazers suppress a foundational plant and reduce soil carbon concentration in eastern US saltmarshes. Journal of Ecology, 112(11), 2624-2637.
Sun, H., Nelson, M., Chen, F., and Husch, J. (2007). Effect of structural water in clay minerals on the estimation of soil organic matter content by loss-on-ignition analytical method. Geologicagl Society American Denver Annual Meeting, 39(6), 218-248.
Taghizadeh-Mehrjardi, R., Schmidt, K., Amirian-Chakan, A., Rentschler, T., Zeraatpisheh, M., Sarmadian, F., and Scholten, T. (2020). Improving the spatial prediction of soil organic carbon content in two contrasting climatic regions by stacking machine learning models and rescanning covariate space. Remote Sensing, 12(7), 1095.
Tessema, Y., Gebremedhn, H. H., Kelkay, T. Z., and Tufa, S. (2024). The effect of customary grazing management systems on rangeland carbon stock and sequestration in semiarid pastoral ecosystems of Eastern Ethiopia. RUFORUM Working Document Series, 19(1), 397-406.
Teague, R., and Kreuter, U. (2020). Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 534187.
Thomas, S. C., and Martin, A. R. (2012). Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. Forests, 3, 332-352
Verdoodt, A., Mureithi, S. M., and Van Ranst, E. (2010). Impacts of management and enclosure age on recovery of the herbaceous rangeland vegetation in semi-arid Kenya. Journal of Arid Environments, 74(9), 1066-1073.

Wang, L., and Collins, S. L. (2024). The complex relationship between precipitation and productivity in drylands. Cambridge Prisms: Drylands, 1, e1, 1-5.
Wang, S., Fan, J., Li, Y., and Huang, L. (2019). Effects of grazing exclusion on biomass growth and species diversity among various grassland types of the Tibetan Plateau. Sustainability, 11(6), 1705.
Wan, L., Liu, G., and Cheng, H. (2024). Optimizing grazing exclusion for carbon sequestration in diverse ecosystems. Frontiers in Plant Science, 15, 1123.
Wells, A. J., Harrington, J., and Balster, N. J. (2024). Seeding Density Alters the Assembly of a Restored Plant Community after the Removal of a Dam in Southern Wisconsin, USA. Environments, 11(6), 115.
Wilson, J. B., and Agnew, A. D. (1992). Positive-feedback switches in plant communities. Advances in Ecological Research, 23, 263-336.
Yan, Y., and Lu, X. (2015). Is grazing exclusion effective in restoring vegetation in degraded alpine grasslands in Tibet, China, PeerJ, 3, e1020.
Yang, Z. C., Zhao. N., Huang, F., and Y. Z. LV. (2015). Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain. Journal of Soil and Tillage Research, 146, 47-52.
Yang, B. Y., Ali, A., Xu, M. S., Guan, M. S., Li, Y., Zhang, X. N., and Yang, X. D. (2022). Large plants enhance aboveground biomass in arid natural forest and plantation along differential abiotic and biotic conditions. Frontiers in Plant Science, 13, 999793.
Zhu, L., Zhou, X., Liu, W., and Kong, Z. (2023). Total organic carbon content logging prediction based on machine learning: A brief review. Energy Geoscience, 4(2), 100098.
Zhan, Z., and Gifford, R. (2020). Plant community traits respond to grazing exclusion duration in alpine meadow and alpine steppe on the Tibetan Plateau. Frontiers in Plant Science, 13, 863246.
Zhang, Z. C., Liu, Y., Sun, J., and Wu, G. L. (2021). Suitable duration of grazing exclusion for restoration of a degraded alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. Catena 207:105582.
Zhu, L., Cheng, H., and Ma, J. (2024). Phylogenetic diversity drives soil multifunctionality in arid montane forest-grassland transition zone. Frontiers in Plant Science, 15, 1344948.

Management of Natural Ecosystems
Volume 3, Issue 2, Summer 2023, 63-81
http://emj.ardakan.ac.ir/article_719112.html

Organic carbon storage in mountain rangelands under different conditions of rangemanagement (Case study: Khamesan, Sanandaj)

Behnaz Attaeian[*1], Shima Zandi Manesh,[2], Hamed Joneidi Jafari[3]

CC BY

Research Article

1. Assistant Professor, Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

b.attaeian@malayeru.ac.ir

*Corresponding author

2. M.Sc., Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

szandimanesh@gmail.com

3. Associate Professor, Dryland and Desert Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

hjoneidi@ut.ac.ir

Article Code: 2406-1067
Countinus Pagination: 489-507

Received: 2 June 2024
Accepted: 24 November 2024
Online: 16 April 2024
Review speed: 176 days

Citation:
Attaeian, B., Zandi Manesh, SH., and Joneidi Jafari, H. (2023). Organic carbon storage in mountain rangelands under different management strategies (Case study: Khamesan, Sanandaj) . Management of Natural Ecosystems, 3(3), 63-81.

Abstract

The increase and storage of organic carbon in rangeland ecosystems, known as carbon sequestration, is a primary approach for reducing atmospheric carbon dioxide concentrations. The aim of this study is to evaluatecarbon storage within the plant-soil system under different management practices, including grazing exclusion, grazing, fertilization, and seeding. 24 samples of surface soil, along with 20 samples of leaf-litter and plant biomass (both aboveground and belowground), were collected using a systematic randomized design under different management conditions in the Khamsan sub-basin in the spring of 2014.The amount of organic carbon in soil and Plant tissue were measured using the Walkley-Black method and combustion in an electric furnace, respectively. The results showed that management methods have a significant effect on the amount of organic carbon in aboveground and belowground biomass, litter, and soil ($p \leq 0.0001$). The average soil organic carbon storage was estimated at 111.2 tons per hectare under Exclosure Management, 85.5 tons per hectare under grazing management, 130.5 tons per hectare with Fertilizer management, and 139.4 tons per hectare with seeding management. The highest amount of organic carbon aboveground biomass, belowground biomass, and litter were observed under exclusion management (significant difference compared to seeding and grazing management), fertilization (significant difference compared to seeding, grazing exclusion, and grazing management), and fertilization (significant difference compared to grazing management), respectively, with mean values of 5, 1, and 4 kilograms per hectare. In general, the highest amount of organic carbon in the plant-soil system of the semi-steppe rangelands in Khamsan under various management was observed in soil, aboveground biomass, litter, and root, respectively.

Key Words:

Carbon Sequestration, Rangeland Management, Litter, Plant Biomass, Soil Surface.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2024.719112