Vol.13, No.3, Autumn 2024, pp.129-149 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2023.84546.1415 Open access

# Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan township)

**Zahra Kharadmehr[a], Sara Farazmand[b*], Saheb Khordehbin[c]**

[a] *Master& Degree in Rangeland and Watershed Management, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Khatam Al Anbia Behbehan University of Technology, Behbehan, Iran.*
[b] *Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbehan Khatam Alanbia University of Technology, Behbehan, Iran.*
[c] *PhD in Soil Science, Khatam Al Anbia University of Technology, Behbahan, Iran.*

***Received: 20 September 2023*** ***Revised: 8 November 2023*** ***Accepted: 11 December 2023***

## Abstract

Carbon dioxide is one of the most important gases in the atmosphere contributing to global warming. However, the impact of restoration efforts on carbon emissions and carbon sequestration has received little investigation in many regions of the world. In this context, the present study was conducted in the mountainous area of Zeidon, Behbahan township, to examine the effects of restoration measures on soil carbon emissions.

To achieve this goal, three specific zones were selected: a control area (without rehabilitation), an area with shrub planting, and a contour furrow area. In each of these zones, four 100-meter transects were established. Along each transect, carbon emission measurements were taken from four designated plots using alkaline traps and the closed chamber method. Measurements were conducted in the summer, autumn, and winter seasons to assess seasonal variations in carbon emissions.

The findings revealed that carbon emissions from the untreated pasture were significantly higher than those from the shrub planting and contour furrow treatments. The control treatment exhibited the highest carbon emission rate of 1.15 grams per square meter per day, while the shrub planting treatment showed the lowest rate of 0.42 grams per square meter per day. No significant difference in carbon emissions was observed between the shrub planting and contour furrow treatments.

Seasonal analysis showed that carbon emissions were higher in summer compared to autumn and winter, with an average of 0.9 grams per square meter per day in summer and 0.55 grams per square meter per day in winter. In the control treatment, no significant seasonal variation in carbon emissions was detected. However, in the shrub planting treatment, carbon emissions exhibited a significant difference between summer and autumn compared to winter. Similarly, in the contour furrow treatment, emissions were significantly higher in summer than in autumn and winter.

The study also identified a significant positive relationship between temperature and carbon emissions in the shrub planting and contour furrow treatments, where an increase in temperature led to an increase in carbon emissions. However, no significant relationship was found between humidity and carbon emissions.

Overall, the results suggest that restoration practices such as shrub planting and contour furrowing can effectively reduce soil carbon emissions, thereby supporting efforts to mitigate atmospheric carbon dioxide levels and contributing to environmental management strategies.

**Keywords:** Soil Carbon Emissions, Restoration Measures, Contour Furrow, Shrub Planting, Seasonal Variation, Behbahan City.

[*]. Corresponding author: Sara Farazmand Email:farazmand@bkatu.ac.ir Tel:+989163736854

**How to cite this Article:** Kharadmehr, Z., Farazmand, S., & Khordehbin, S. (2024). Investigating seasonal changes and the impact of rangeland restoration measures on carbon dioxide emissions (case study: Sardasht rangelands, Zeidon, Behbahan city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 129-149.

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۴۹-۱۲۹

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/geoeh.2023.84546.1415 دسترسی آزاد

# بررسی تغییرات فصلی و تأثیر عملیات اصلاح مرتع بر میزان تصاعد دی‌اکسید کربن (مطالعه موردی: مراتع سردشت کوهستانی بخش زیدون شهرستان بهبهان)

**زهرا خرادمهر- کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.**

**سارا فرازمند[1]- استادیار علوم مرتع،دانشکده منابع طبیعی،دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.**

**صاحب خورده بین- دکتری خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.**

تاریخ **دریافت:۱۴۰۲/۶/۲۹ تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۸/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۹/۲۰**

## چکیده

دی‌اکسید کربن شاید مهم‌ترین گاز موجود در اتمسفر باشد که گرمایش جهانی به آن ارتباط داده می‌شود. تأثیر عملیات اصلاحی بر روی تصاعد کربن و ترسیب کربن در بسیاری از مناطق جهان بسیار کم بررسی و مطالعه شده است. در این راستا این مطالعه در بخش کوهستانی زیدون شهرستان بهبهان برای بررسی تأثیر عملیات اصلاحی بر روی تصاعد کربن خاک صورت گرفته است. بدین منظور سه منطقه شامل منطقه بدون عملیات اصلاحی (شاهد)، منطقه تحت عملیات بوته کاری و منطقه تحت عملیات کنتورفارو در منطقه موردمطالعه انتخاب شد. در هر منطقه چهار ترانستکت صد متری مستقر شده و در طول هر ترانسکت چهار پلات مستقر شده و اندازه‌گیری تصاعد کربن انجام شد. نمونه‌برداری به کمک تله‌های قلیایی، با روش اتاقک بسته ساکن صورت گرفت. برای ارزیابی تغییرات فصلی تصاعد کربن، اندازه‌گیری در فصول تابستان، پاییز و زمستان انجام شد. نتایج نشان داد میزان تصاعد کربن مرتع بدون عملیات اصلاحی به شکل معنی‌داری بالاتر از تیمارهای بوته کاری و کنتورفارو است. بالاترین تصاعد کربن به میزان ۱/۱۵ گرم در مترمربع در روز مربوط به تیمار شاهد و کمترین تصاعد با میزان ۰/۴۲ مربوط به تیمار بوته کاری بود. بین تیمار بته کاری و کنتورفارو از نظر تصاعد کربن تفاوت معنی‌داری دیده نشد. نتایج بررسی تغییرات فصلی تصاعد کربن نشان

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۷۳۶۸۵۴ Email: farazmand@bkatu.ac.ir

داد بدن در نظر گرفتن تیمارها و به‌طورکلی میزان تصاعد کربن در فصل تابستان بیشتر از پاییز و زمستان بوده است. به‌طورکلی میزان تصاعد کربن در تابستان ۰/۹ گرم در مترمربع در روز و در زمستان ۰/۵۵ گرم در مترمربع در روز بود. با در نظر گرفتن تیمارهای مختلف نتایج نشان داد از نظر تصاعد کربن بین فصول مختلف تفاوت معنی‌داری در تیمار شاهد دیده نمی‌شود. در تیمار بوته کاری میزان تصاعد کربن در تابستان و پاییز اختلاف معنی‌داری با زمستان داشت. در کنتورفارو میزان تصاعد کربن در فصل تابستان به شکل معنی‌داری بالاتر از میزان تصاعد کربن در پاییز و زمستان بود. نتایج ارتباط بین میزان دما و رطوبت و تصاعد کربن خاک نشان داد بین رطوبت و تصاعد کربن رابطه معنی‌داری وجود ندارد؛ اما بین دما و تصاعد کربن در دو تیمار بوته کاری و کنتورفارو ارتباط معنی‌داری وجود دارد؛ به شکلی که با افزایش دما میزان تصاعد کربن نیز افزایش یافته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد انجام عملیات اصلاح در مرتع می‌تواند به شکل معنی‌داری میزان تصاعد کربن خاک را کاهش دهد که این امر می‌تواند به مدیران در راستای کاهش دی‌اکسید کربن جو کمک شایانی کند.

**کلیدواژه‌ها:** انتشار کربن خاک، اقدامات احیایی، شیار بندی کانتوری،کاشت درختچه، تغییرات فصلی،شهرستان بهبهان.

**۱-مقدمه**

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد اثر گلخانه‌ای در کره زمین و گرم‌تر شدن هوای آن شده است. در میان این گازها دی‌اکسیدکربن یکی از مهم‌ترین گازهای سهیم در این فرایند می‌باشد. اندازه‌گیری جریان دی‌اکسید کربن برای ارزیابی چگونگی بهره‌برداری از خاک و چگونگی گرم شدن جهان و چرخه کربن بسیار مناسب است. فعالیت‌های انسانی از زمان انقلاب صنعتی، به‌ویژه انتشار دی‌اکسیدکربن انباشته از مصرف سوخت‌های فسیلی فشرده، منجر به افزایش قابل‌توجه غلظت اتمسفر گازهای گلخانه‌ای شده است که تغییرات آب‌وهوایی را تشدید می‌کند که در درجه اول با گرم شدن کره زمین مشخص می‌شود (Bilgen, 2014). گرمایش جهانی تأثیرات قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌های طبیعی جهانی دارد و باعث افزایش دما و افزایش سطح دریا و همچنین رویدادهای شدید آب‌وهوایی مکرر می‌شود که همگی چالش بزرگی برای بقا و توسعه نژاد بشر است (Nian, Chou, Su & Bauly, 2014). هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC[1]) گزارش داد که سال ۲۱۰۰ می‌تواند شاهد افزایش دمای جهانی به میزان ۱/۱ الی ٦/٤ درجه سانتی‌گراد و

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change

افزایش سطح دریا ۵–۱۶ تا ۵۳/۸ سانتی‌متر باشد (IPCC, 2014). علاوه بر این، گزارش سالانه IPCC مشخص کرده است که بازه زمانی ۱۹۸۳–۲۰۱۲ احتمالاً گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله در طول ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است و دمای سطح زمین طی سال‌های ۱۸۸۰–۲۰۱۲ به میزان ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که می‌تواند منجر به تغییرات قابل‌توجهی شود (IPCC, 2014)؛ بنابراین انجام کاهش انتشار کربن در سطح جهانی ضروری است. برای نیل به این هدف، شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر انتشار کربن در کشورهای مختلف در سطح جهانی، که ممکن است مستقیماً بر اساس اقدامات، سیاست‌ها و استراتژی‌های کاهش انتشار کربن تأثیر بگذارد، مهم است. مراتع به‌عنوان یکی از مخازن اصلی کربن در جهان می‌توانند نقش بسیار مؤثری در کنترل میزان انتشار کربن داشته باشند. از طریق افزایش میزان ترسیب کربن توسط گونه‌های گیاهی میزان بیشتری از کربن در خاک ذخیره شده و از انتشار آن جلوگیری می‌شود.

ترسیب کربن حرکت ذخایر کربن یا کربن ذخیره شده از ذخایر جوی به دیگر ذخایر کربن ازجمله خاک و پوشش گیاهی است. به‌طورکلی، حرکت کربن بین مخازن که معمولاً به‌صورت سالانه اندازه‌گیری و گزارش می‌شود، به‌عنوان شار کربن توصیف می‌شود و مدیریت می‌تواند بر شار و ذخایر کربن تأثیر بگذارد. امروزه در سطح دنیا بسیاری از برنامه‌های مشوق مدیریتی برای افزایش ذخایر جهانی کربن پیشنهاد و اجرا می‌شود ازجمله مدیریت چرا. در سطح دنیا توجه کمتری به حفظ ذخایر کربن موجود در خاک شده است (Booker, Huntsinger, Bartolome, Sayre & Stewart, 2013). ذخایر کربن خاک پویا هستند و ترسیب را می‌توان تابعی از ورودی‌ها، تلفات و زمان ذخیره‌سازی توصیف کرد. به‌عنوان‌مثال، بقایای گیاهی و اصلاحات آلی بر میزان کربن افزوده، درحالی‌که کربن از طریق تجزیه مواد آلی از بین می‌رود (Subak, 2000). به‌خصوص در سایت‌های اکولوژیکی خشک‌تر، بهره‌وری اولیه خالص در مراتع نسبتاً کم است و ورودی کربن را محدود می‌کند. به دلیل تجزیه سریع گونه‌های گیاهی علفی، بیشتر جریان کربن وارد شده از اتمسفر به پوشش گیاهی از طریق فتوسنتز، به‌سرعت از طریق پوسیدگی از دست می‌رود. بخش کوچکی از کربن موجود در پوشش گیاهی وارد خاک می‌شود و مدت بیشتری به‌عنوان ماده آلی خاک ذخیره می‌شود. افزایش قرار گرفتن خاک در معرض بارندگی و اتمسفر با اختلال یا خاک‌ورزی می‌تواند در برخی شرایط شار به جو را افزایش دهد؛

بنابراین از سوی دیگر اقداماتی که منجر به حذف پوشش گیاهی شود و فرسایش خاک را نیز افزایش دهد در افزایش انتشار نقش مهمی دارد.

ازآنجاکه پوشش گیاهی مرتع واسطه و محدود کننده شار کربن از جو به خاک و گیاهان است، سه اصل اصلی مدیریت کربن را می‌توان شناسایی کرد که در حقیقت پویای اکولوژیکی مرتع در نظر گرفته می‌شود. اول، در اکوسیستم‌های مرتعی، شار کربن به گیاهان و خاک کم است، از نظر مکانی و زمانی بسیار متغیر است، به‌شدت تحت تأثیر رویدادهای تصادفی مانند آب‌وهوا، و تا حد زیادی خارج از کنترل مدیریت است. دوم اینکه در برخی از محیط‌های مرتعی به دلیل رشد محدود و کند گیاه و ذخیره قابل‌توجه کربن به شکل معدنی نزدیک به سطح، مدیریتی که باعث از دست رفتن خاک می‌شود می‌تواند شار کربن به جو را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد. درنهایت، جریان‌های کربن و اندازه مخازن ممکن است کمتر متغیر بوده و از طریق مدیریت قابل‌افزایش باشند. این اصول تا حد زیادی نتیجه استراتژی‌های ترسیب کربن در مراتع را تعیین می‌کنند و باید در ارزیابی توانایی کاهش تغییرات آب‌وهوایی از طریق مدیریت مرتع در نظر گرفته شوند (Booker et al., 2013).

تغییر پوشش اراضی در اثر اقدامات انسانی یا طبیعی یا تغییر کاربری می‌تواند منجر به تغییر ذخایر کربن اکوسیستم شود. به‌عنوان‌مثال در اثر تبدیل مرتع به کاربری‌های دیگر یا مدیریت نامناسب (چرای بیش‌ازحد دام‌ها) میزان ذخایر کربن خاک دچار کاهش خواهد شد (Conant, Cerri, Osborne & Paustian, 2017)؛ بنابراین نیاز است تا تأثیر تغییر پوشش گیاهی و مدیریت کاربری بر روی ذخیره کربن مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا می‌توان از برآورد میزان کربن ذخیره شده در بخش‌های مختلف شامل بخش هوایی، زیرزمینی، لاشبرگ و خاک استفاده کرد. استفاده از ابزاری مثل مدلسازی که قابلیت بررسی گزینه‌های محتمل مختلف را فراهم کند، می‌تواند به درک میزان و حجم تغییرات ذخیره کربن کمک شایانی کند.

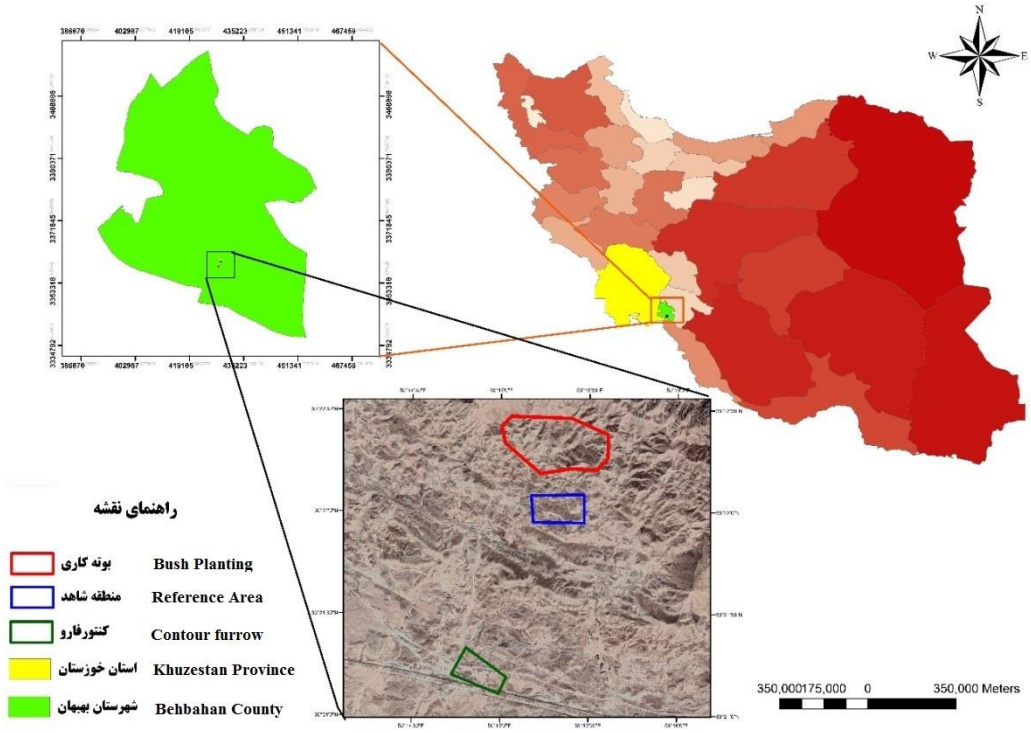
ازآنجایی‌که وضعیت بحرانی در ارتباط با گرمایش جهانی دامن‌گیر بسیاری از کشورهای دنیا ازجمله کشور ما شده است، توجه فوری به کاهش انتشار گازهای گلخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مراتع سهم بسیار زیادی از خشکی‌های سطح کره زمین را به خود اختصاص داده‌اند که در کشور ما نیز بخش اعظم خشکی‌ها

به این اکوسیستم تعلق دارد. از طریق جذب کربن اتمسفر و ذخیره نمودن آن در خاک می‌توان تا حد قابل‌توجهی میزان غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر را کاهش داد. گیاهان یکی از بهترین ابزارها برای این عمل هستند. انجام عملیات اصلاحی در سطح مراتع و ارتقای پوشش گیاهی می‌تواند به کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند که این امر اخیراً موردتوجه سازمان‌های بین‌المللی نیز قرار گرفته است که با صرف بودجه‌های فراوان در کشورهای دچار خشکی به دنبال ارتقای پوشش و ترسیب کربن هستند. در ایران نیز علاوه بر پروژه‌های ملی، پروژه‌های بین‌المللی با سرمایه گزاری سازمان ملل و دیگر نهادهای وابسته در جهت افزایش ترسیب کربن در حال انجام است. در این راستا انجام عملیات مختلف اصلاحی ممکن است در مرتع صورت گیرد و شناسایی مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و افزایش ترسیب کربن در خاک حائز اهمیت است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه موردمطالعه

برای رسیدن به اهداف تحقیق، مراتع سردشت کوهستانی بخش زیدون شهرستان بهبهان در نظر گرفته شده است. منطقه موردمطالعه واقع در ٤٢ کیلومتری شهرستان بهبهان به مساحت ۳۸ هکتار و با مختصات جغرافیایی با طول ´۱۲ °۵۰ تا ´۱٦ °۵۰ و با عرض ´۱۹ °۳۰ تا ´۲۳ °۳۰ می‌باشد. عملیات اصلاحی انجام شده در منطقه، شامل بوته‌کاری با گونه آتریپیلکس با سن ۸ سال و همچنین عملیات کنتورفارو با سن ۸ سال می‌باشد. طبق داده‌های اداره هواشناسی شهرستان بهبهان متوسط بارش سالیانه ۳۲۷ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۳٦/۲۷ درجه است. اقلیم منطقه موردمطالعه بر اساس روش دومارتن خشک طبقه‌بندی شده است. موقعیت منطقه موردمطالعه در کشور، استان و شهرستان در شکل ۱ مشخص شده است.




**شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان و کشور در محدوده موردمطالعه**

**Fig.1**. The location of the study area in the province and country within the study area

**۲-۲- روش‌شناسی**

احداث کنتورفارو با سن ۸ سال و منطقه بوته‌کاری شده با گونه آتریپلکس با سن ۸ سال به‌منظور بررسی تأثیر عملیات اصلاح و احیاء مراتع بر تغییرات میزان تصاعد کربن انتخاب شدند. تمامی ویژگی‌های توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و خصوصیات اقلیمی در همه تیمارها یکسان است. نمونه‌برداری‌ها از تیرماه شروع شده و تا پایان اسفند ادامه یافت. در هر مرحله از نمونه‌برداری از ترانسکت‌هایی به طول ۱۰۰ متر در هر سایت ٤ نقطه برای تعیین میزان تصاعد کربن از خاک در هر منطقه انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت ماهانه و در نیمه هرماه به کمک تله‌های قلیایی، با روش اتاقک بسته ساکن[1] (CSC) با استفاده از NaOH نرمال و با چهار تکرار انجام شد. به‌این‌ترتیب که در هر تیمار ٤ نمونه اندازه‌گیری به مدت ٢٤

[1]Closed Static chamber

ساعت در منطقه قرارداده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه سریعاً با HCl نرمال مورد آزمایش قرار گرفتند. رطوبت خاک به‌وسیله روش وزنی تعیین گردید. همچنین دمای خاک منطقه در زمان نمونه‌برداری، توسط دماسنج اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های خاک حاوی سدیم هیدرواکسید (سود ۱/ ۰ نرمال) بعد از ۲۴ ساعت ماندگاری در منطقه موردمطالعه به آزمایشگاه منتقل شد ۵ قطره از فنل فتالین به‌عنوان معرف به هریک از نمونه‌ها اضافه گردید و سپس با هیدروکلریداسید (Hcl ۰/۵ نرمال) تیتر شد. عمل تیتراسیون تا زمانی که محلول به رنگ سفید درآید ادامه پیدا کرد و حجم اسید مصرفی قرائت شد. مقدار کربن و کربن‌دی‌اکسید که با تله قلیایی در مدت‌زمان ۲۴ ساعت به دام افتاده بود با رابطه ۱ به دست آمد.

رابطه ۱

$$C \text{ or } CO2 = (B-V)\times N\times E$$

که در آن؛

C or CO2 برابر است با مقدار تصاعد کربن و کربن دی‌اکسید؛ B: حجم اسید استفاده شده برای سود کنترلی، V: حجم اسید استفاده شده برای قطعه تیمار تله قلیایی شده، N: عاملی است که برای نرمال بودن اسید استفاده می‌شود و E: معادل وزن که برای محاسبه‌ی کربن ٦ و برای دی اکید کربن برابر با ۲۲ است.

برای بررسی تأثیر عملیات اصلاحی بر روی میزان تصاعد کربن خاک ابتدا نرمال بودن داده‌ها موردبررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه اثر عملیات اصلاحی موردبررسی قرار گرفت. برای گروه‌بندی تیمارها از مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. برای بررسی اثر مستقل تیمارها، اثر مستقل تغییر فصل و اثر متقابل فصل و عملیات اصلاحی از آنالیز فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. برای بررسی همبستگی بین متغیر دما و رطوبت با میزان تصاعد از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. تمامی آنالیزها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۱-۳- اثر عملیات اصلاحی بر میزان تصاعد کربن

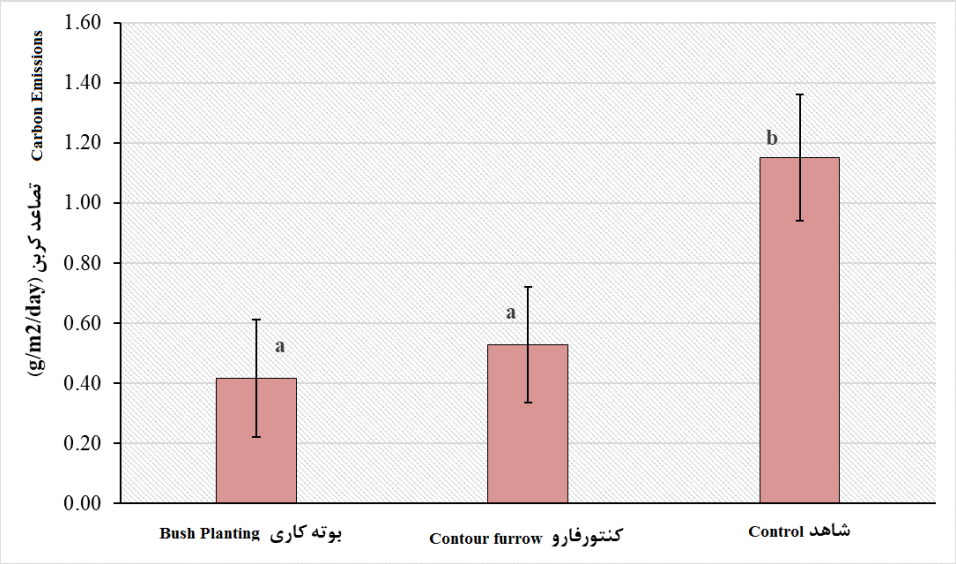
نتایج آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن در تیمارهای مختلف نشان داد از نظر میزان تصاعد بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد (جدول ۱).

**جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس متغیرهای کمی نمونه آماری**

**Table 1-** The results of the analysis of variance of quantitative variables of the statistical sample

| Sig. | F | میانگین مربعات Mean Square | df | مجموع مربعات Sum of Scuares | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 34.351 | 0.453 | 8 | 3.626[a] | مدل اصلاح شده Corrected Model |
| 0.000 | 999.516 | 13.167 | 1 | 13.167 | رهگیری Intercept |
| 0.000 | 106.689 | 1.405 | 2 | 2.811 | عملیات اصلاحی Corrective actions |
| 0.000 | 21.526 | 0.284 | 2 | 0.567 | فصل Season |
| 0.010 | 4.594 | 0.061 | 4 | 0.242 | فصل * عملیات اصلاحی Corrective actions* Season |
| | | 0.013 | 18 | 0.237 | خطا Error |
| | | | 27 | 17.024 | کل Total |
| | | | 26 | 3.857 | کل اصلاح شده Corrected Total |

نتایج گروه‌بندی با آزمون دانکن نشان می‌دهد به‌طورکلی اجرای عملیات بوته کاری بیشترین تأثیر در میزان تصاعد کربن از خاک را داشته است (شکل ۲). همچنین کنتور فارو در رتبه بعدی قرار گرفته و هر دوی این تیمارها تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان تصاعد کربن نسبت به شاهد داشتند.




**شکل ۲- مقایسه میانگین تصاعد کربن در تیمارهای اصلاحی و شاهد**

**Fig.2.** Comparison of average carbon emissions in correction and control treatments

نتایج درصد تغییرات تصاعد کربن قبل و بعد از عملیات اصلاح نشان داد در اثر کنتور فارو ۴۵/۹۸ درصد میزان تصاعد روزانه کربن کاهش یافته است. این میزان برای تیمار بوته کاری ۳۶/۲۰ درصد محاسبه شد (جدول ۲).

**جدول ۲- درصد تغییرات تصاعد کربن تیمارهای اصلاحی (بعد اصلاح) نسبت به شاهد (قبل اصلاح)**

**Table 2-** The percentage of changes in carbon emissions of modified treatments (after modification) compared to the control (before modification)

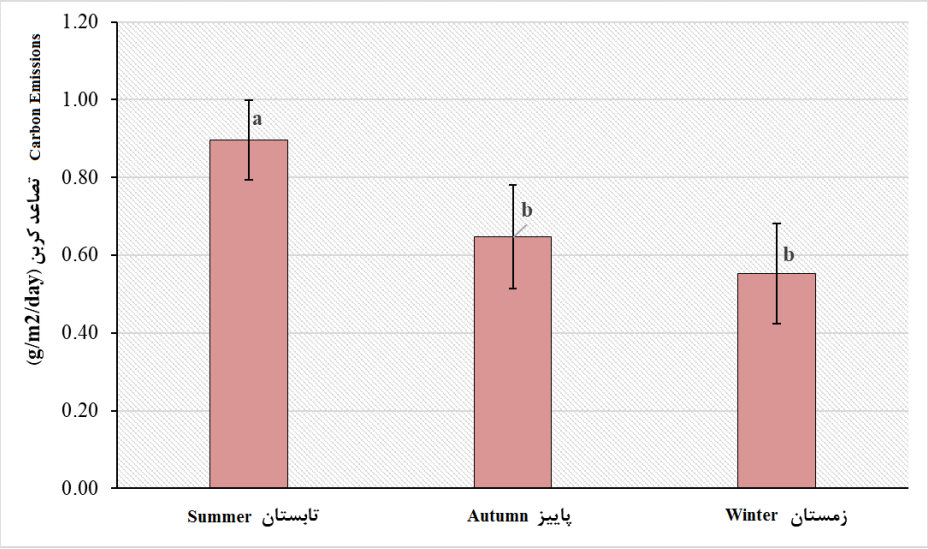
| تیمار<br>**TREATMENT** | میانگین تصاعد روزانه کربن<br>**AVERAGE DAILY CARBON EMISSION** | درصد تغییر نسبت به شاهد (قبل عملیات اصلاح)<br>**PERCENTAGE CHANGE RELATIVE TO THE CONTROL** |
|---|---|---|
| بوته کاری<br>**BUSH PLANTING** | 0.42 | ۳۶/۲۰ درصد کاهش<br>36.20% Decrease |
| کنتورفارو<br>**CONTOUR FURROW** | 0.53 | ۴۵/۹۸ درصد کاهش<br>45.98% Decrease |
| شاهد<br>**CONTROL** | 1.15 | |

در دیگر مطالعات انجام شده نیز نتایج مشابهی گزارش شده است. صادقی پور و همکاران (Sadeghipour, Kamali & Joneidi, 2013) در مطالعه خود نشان دادند که عملیات اصلاحی کنتورفارو توانسته از طریق افزایش پوشش گیاهی میزان تصاعد دی‌اکسید کربن از خاک را به شکل معنی‌داری کاهش دهد. همچنین آن‌ها بیان کردند که کنتور فارو می‌تواند با تغییر رژیم رطوبتی خاک موجب کاهش تصاعد کربن شود. در مطالعات صورت گرفته توسط دین و همکاران (Dean, Wardell-Johnson & Harper, 2012)، برون و همکاران (Brown, Angerer, Salley, Blaisdell & Stuth, 2010)، Booker et al., 2013 و عبدالله و همکاران (Abdalla, Mutema, Chivenge, Everson & Chaplot, 2022) تأکید شده است که اصلاح مرتع و کاهش تخریب‌ها از طریق کنترل چرای دام و کشت گونه‌های گیاهی می‌تواند منجر به کاهش انتشار کربن و افزایش ذخیره کربن آلی در خاک گردد. ازاین‌رو نتایج مطالعه حاضر با نتایج این تحقیقات هم سو است. لیفلد و همکاران (Leifeld, Ammann, Neftel & Fuhrer, 2011) نیز به این نتیجه رسیدند که تبدیل اراضی که منجر به کاهش پوشش گیاهی شود و همچنین موجب برهم‌خوردگی خاک گردد منجر به افزایش تصاعد کربن خواهد شد. کمالی و همکاران (Kamali, Siroosi & Sadeghipour, 2020) و لی و همکاران (Li et al., 2015) تأکید کردند که تخریب مرتع می‌تواند به شکل معنی‌داری میزان تصاعد کربن را افزایش دهد. در این مطالعه نیز مشاهده شد مرتع بدون عملیات اصلاحی که پوشش گیاهی مناسبی ندارد، میزان تصاعد کربن بیشتری نسبت به تیمارهای اصلاحی دارد که همسو با نتایج محققان فوق‌الذکر است. میزان تصاعد کربن در مراتع تخریب شده به‌مراتب بیشتر از مراتع سالم است. با تخریب مرتع، PH و وزن مخصوص ظاهری خاک سطحی افزایش یافته و مواد مغذی خاک کاهش می‌یابد و درنتیجه خاک بایر با مواد مغذی کمتر به وجود می‌آید؛ بنابراین، تغییرات مواد مغذی خاک در علفزارهای تخریب شده ممکن است تأثیر منفی بر چرخه کربن داشته باشد. علاوه بر این، خاک مراتع تخریب شده با پوشش گیاهی و تنوع زیستی گیاهی کمتر نسبت به تغییرات دمای هوا حساس‌تر بوده که منجر به نرخ تنفس و معدنی شدن کربن بالاتر می‌شود (Li et al., 2015). همچنین در مطالعات یو و همکاران (Yu et al., 2019) و تراور و همکاران (Traoré et al., 2015) تأکید شده است که حذف پوشش گیاهی در اثر چرای دام موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در سطح اراضی شده است.

در مقابل برخی دیگر از مطالعات عکس این نتایج را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال ری و همکاران (Rey et al., 2011) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که مرتع تخریب نشده نسبت به مراتع تخریب شده حدود ۲۵ درصد تصاعد کربن بیشتری دارد. مطالعه آن‌ها نشان داد که تخریب مرتع می‌تواند تعادل کربن این اکوسیستم‌ها را از طریق تغییر پویایی زمانی تنفس خاک و بهره‌وری گیاه تغییر دهد، که پیامدهای منفی مهمی برای عملکرد و پایداری اکوسیستم دارد.

### ۲-۳- روند زمانی تصاعد کربن بدون در نظر گرفتن تیمارها

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر تغییر فصل بر میزان تصاعد کربن در تمامی تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). بررسی میانگین تصاعد در بین فصول مختلف نشان داد به‌طورکلی و بدون در نظر گرفتن تیمارها بیشترین میزان تصاعد در فصل تابستان، سپس پاییز و در آخر نیز زمستان قرار داشته است (شکل ۳). میزان تصاعد در تابستان با دو فصل زمستان و پاییز دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود.




**شکل ۳- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف**

**Fig.3.** Comparison of average carbon emissions in different seasons

### ۳-۳- روند زمانی تصاعد کربن در تیمارها

برای تیمار شاهد نتایج آنالیز واریانس نشان داد که میزان تصاعد کربن در فصول مختلف تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۳).

**جدول ۳- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار شاهد**

**Table 3**- Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in the control treatment

| Sig. | F | میانگین مربعات Mean Square | df | مجموع مربعات Sum of Scuares | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.239 | 1.833 | 0.029 | 2 | 0.058 | بین گروهی Between Groups |
| | | 0.016 | 6 | 0.095 | درون‌گروهی Within Groups |
| | | | 8 | 0.153 | کل Total |

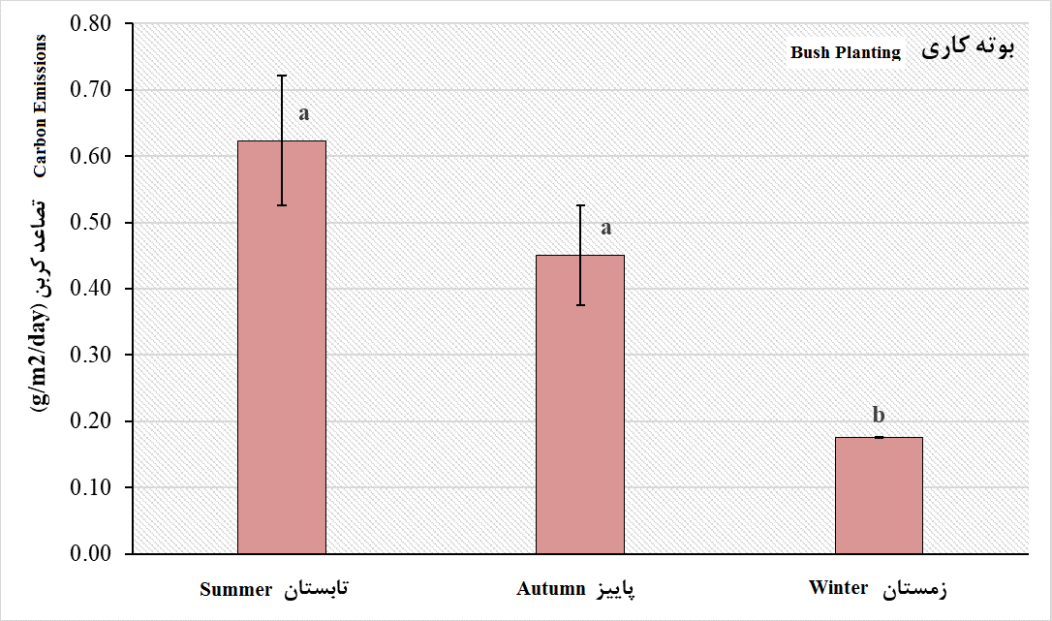
نتایج آنالیز واریانس نشان داد از نظر میزان تصاعد کربن در تیمار بوته کاری، بین فصول مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود دارد (جدول ٤).

**جدول ٤- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار بوته کاری**

**Table 4**- Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in the planting treatment

| Sig. | F | میانگین مربعات Mean Square | df | مجموع مربعات Sum of Scuares | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.004 | 15.822 | 0.153 | 2 | 0.306 | بین گروهی Between Groups |
| | | 0.010 | 6 | 0.058 | درون‌گروهی Within Groups |
| | | | 8 | 0.364 | کل Total |

گروه‌بندی میانگین تصاعد تیمار بوته کاری در فصول مختلف نشان داد میزان تصاعد کربن در زمستان با دو فصل تابستان و پاییز دارای اختلاف معنی‌دار است. بین فصول پاییز و تابستان اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ٤).




**شکل ٤- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف در تیمار بوته کاری**

**Fig.4.** Comparison of the average carbon emissions in different seasons in the plantation treatment

نتایج آنالیز واریانس نشان داد از نظر میزان تصاعد کربن در تیمار کنتورفار، بین فصول مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود دارد (جدول ٥).

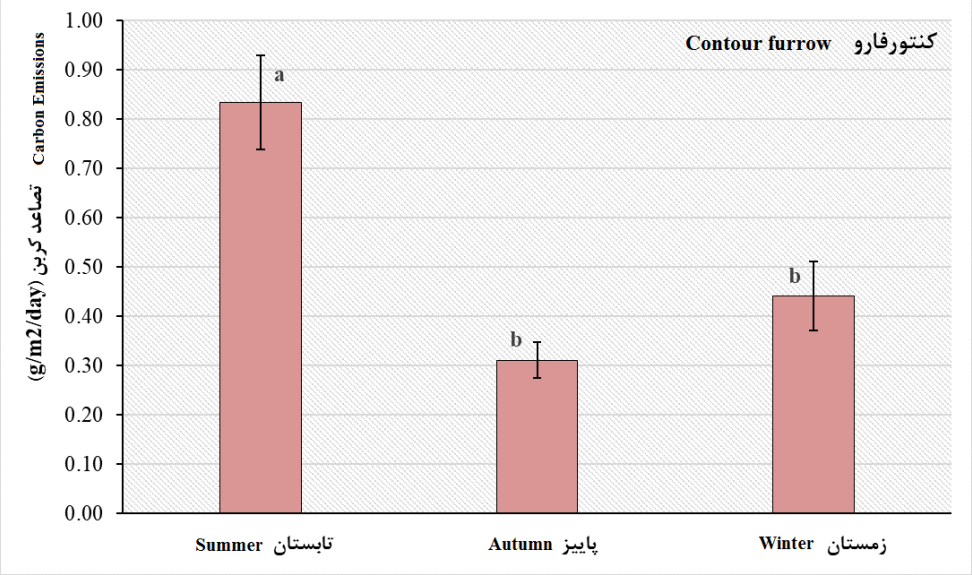
**جدول ٥- آنالیز واریانس میزان تصاعد کربن فصول مختلف در تیمار کنتورفارو**

**Table 5-** Variance analysis of the amount of carbon emissions of different seasons in Contourfaro treatment

| Sig. | F | میانگین مربعات Mean Square | df | مجموع مربعات Sum of Scuares | منبع Source |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.004 | 15.919 | 0.223 | 2 | 0.445 | بین گروهی Between Groups |

| | | | |
|---|---|---|---|
| درون‌گروهی Within Groups | 0.084 | 6 | 0.014 |
| کل Total | 0.529 | 8 | |

گروه‌بندی میانگین تصاعد تیمار بوته کاری در فصول مختلف نشان داد میزان تصاعد کربن در تابستان با دو فصل زمستان و پاییز دارای اختلاف معنی‌دار است. بین فصول پاییز و زمستان اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۵).




**شکل ۵- مقایسه میانگین تصاعد کربن در فصول مختلف در تیمار کنتورفارو**

**Fig.5**. Comparison of average carbon emissions in different seasons in Contourfaro treatment

بررسی تغییرات فصلی نشان‌دهنده تغییر تصاعد کربن در فصول مختلف است. کمالی و همکاران (Kamali et al., 2020)، رومرو–اریب و همکاران (Romero-Uribe, López-Portillo, Reverchon & Hernández, 2022) و بوگنر و همکاران (Bogner, Spokas & Chanton, 2011) نیز در مطالعات خود تغییرات تصاعد گازهای گلخانه‌ای با تغییر فصل را تأیید کرده‌اند. نتایج بررسی تغییرات فصلی تصاعد کربن بدون در نظر گرفتن تیمارها نشان داد بیشترین میزان تصاعد کربن در فصل تابستان رخ داده و کمترین آن در فصل زمستان. بالا

بودن دمای هوا که نقش مثبتی در افزایش تصاعد کربن دارد می‌تواند دلیل بالا بودن تصاعد کربن در فصل تابستان باشد عبدالله و همکاران (Abdalla, Mutema, Chivenge, Everson & Chaplot, 2018 ) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان تصاعد کربن در فصل تابستان رخ داده که دلیل این امر افزایش درجه حرارت بوده است. لی و همکاران (Li et al., 2015) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تصاعد کربن از ابتدای دوره رویش شروع به افزایش نموده و در اواسط تابستان به اوج خود می‌رسد و مجدداً رو به کاهش می‌گذارد که همین روند در مطالعه حاضر نیز دیده شد. گوپتا و همکاران (Gupta, Kukal, Bawa & Dhaliwal, 2009)در مطالعه خود نتیجه گرفتند که در زمستان به دلیل تغییر شرایط دما و رطوبت و تأثیر آن بر فعالیت میکروارگانیزم‌های فعال در خاک و به‌طورکلی تأثیر بر تنفس خاک، تصاعد کربن کمتر است. مربولد و همکاران (Merbold, Steinlin & Hagedorn, 2013) در مطالعه خود در یک منطقه کوهستانی نشان دادند که میزان تصاعد کربن در فصل زمستان به کمترین حد خود می‌رسد و با آب شدن برف‌ها و گرم شدن منطقه دوباره انتشار دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. همانطور که توسط لیپزین و همکاران ((Liptzin et al., 2009 و اسچیندباچر و همکاران (Schindlbacher, Zechmeister-Boltenstern, Glatzel & Jandl, 2007) اذعان شده است، کاهش تصاعد $CO_2$ در طول دوره زمستان می‌تواند با کاهش در دسترس بودن بستر مرتبط باشد. علاوه بر این، کاهش دمای خاک نیز می‌تواند به این امر کمک کرده باشد، همانطور که حالتی مشابه برای یک جنگل آلپی توسط لی و همکاران ((Li et al., 2015 گزارش شده است.

**٤-٣- ارتباط بین دما و رطوبت با میزان تصاعد کربن**

نتایج آنالیز همبستگی نشان داد بین میزان دما با تصاعد کربن در تیمار شاهد اگرچه رابطه‌ای مستقیم وجود دارد اما این ارتباط معنی‌دار نشده است. ارتباط دما با تصاعد کربن در تیمار بوته کاری با ضریب همبستگی ۰/٦٨۰ مثبت و معنی‌دار شده است (جدول ٦). ارتباط تصاعد کربن با دما در تیمار کنتورفارو نیز با ضریب همبستگی ۰/٧٤٨ مثبت و معنی‌دار است. در خصوص رابطه بین میزان تصاعد کربن و رطوبت نتایج آنالیز همبستگی نشان داد در تیمارهای سه گانه اگر چه یه رابطه معکوس داشته، اما این ارتباط معنی‌دار نشده است (جدول ٦).

**جدول ٦- آنالیز همبستگی بین میزان تصاعد کربن تیمارهای مختلف با دما و رطوبت**

**Table 6-** Correlation analysis between the amount of carbon emissions of different treatments with temperature and humidity

| رطوبت Humidity | دما Temp. | تصاعد کربن تیمار کنتورفارو Carbon Emission of the Contour Furrow Treatment | تصاعد کربن تیمار بوته کاری Carbon Emission of the Shrub Planting Treatment | تصاعد کربن تیمار شاهد Carbon Emission of the Control Treatment | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -0.208 | 0.370 | 0.382 | 0.222 | 1 | Pearson Correlation | تصاعد کربن تیمار شاهد Carbon Emission of the Control Treatment |
| 0.330 | 0.075 | 0.066 | 0.298 | 0.000 | Sig. (2-tailed) | |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | N | |
| -0.140 | 0.680** | 0.539** | 1 | 0.222 | Pearson Correlation | تصاعد کربن تیمار بوته کاری Carbon Emission of the Shrub Planting Treatment |
| 0.516 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.298 | Sig. (2-tailed) | |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | N | |
| -0.086 | 0.748** | 1 | 0.539** | 0.382 | Pearson Correlation | تصاعد کربن تیمار کنتورفارو Carbon Emission of the Contour Furrow Treatment |
| 0.691 | 0.000 | 0.000 | 0.007 | 0.066 | Sig. (۲-tailed) | |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | N | |
| -0.121 | 1 | 0.748** | 0.680** | 0.370 | Pearson Correlation | دما Temp. |
| 0.573 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.075 | Sig. (2-tailed) | |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | N | |
| 1 | -0.121 | -0.086 | -0.140 | -0.208 | Pearson Correlation | رطوبت Humidity |
| 0.000 | 0.573 | 0.691 | 0.516 | 0.330 | Sig. (2-tailed) | |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | N | |

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**٤- نتیجه‌گیری**

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر عملیات اصلاح و احیا مرتع و همچنین تغییرات فصلی بر روی انتشار کربن صورت گرفت. نتایج نشان داد که انجام عملیات اصلاحی به‌خوبی توانسته است از میزان تصاعد کربن در مرتع موردمطالعه بکاهد. انجام برخی عملیات اصلاح در مرتع همراه است با افزایش پوشش گیاهی در این اکوسیستم. در این مطالعه افزایش پوشش گیاهی حاصل از بوته کاری و همچنین عملیات کنتور فارو نیز توانسته به‌خوبی در ترسیب کربن موفق عمل کرده و میزان تصاعد از سطح این تیمارها نسبت به اراضی بدون عملیات اصلاحی تفاوت چشم‌گیری داشته باشد. افزایش پوشش گیاهی همراه با افزایش رطوبت خاک منجر به ذخیره بهتر کربن در خاک و درنتیجه کاهش تصاعد کربن می‌شود.

در این مطالعه دیده شد که مراتع تخریب شده به‌مراتب میزان انتشار بیشتری داشتند. هر چه پوشش گیاهی کمتری در سطح خاک وجود داشته باشد امکان انتشار بیشتر خواهد شد. عامل اثرگذار دیگر بر این امر تغییر ترکیب پوشش گیاهی در اثر چرای دام و همچنین برهم‌خوردگی خاک سطحی است که هر دوی این عوامل منجر به افزایش تصاعد کربن از سطح خاک می‌شود. حذف پوشش گیاهی و گیاهانی که سبزینه بیشتری دارند و عموماً جزو گونه‌های خوش‌خوراک مرتع هستند منجر به کاهش ترسیب کربن خاک و کاهش ذخیره کربن در خاک نیز می‌شود.

نتایج این مطالعه نشان داد بین دما و تصاعد کربن یک رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد. در حقیقت این نتیجه نشان می‌دهد تا چه اندازه تخریب مرتع به‌خصوص چرای بی‌رویه دام در ماه‌های گرم سال می‌تواند مخرب باشد. افزایش دما منجر به افزایش تنفس ریشه گیاه و میکروارگانیزم‌های خاک شده که این خود منجر به افزایش تصاعد کربن می‌شود و همراه شدن این امر با حذف پوشش گیاهی و به هم زدن خاک می‌تواند اثر مخربی بر روی چرخه کربن و درنهایت سلامت اکوسیستم طبیعی داشته باشد.

موارد ذکر شده بر اساس نتایج این مطالعه درواقع می‌تواند در سیاست‌گذاری و طرح‌ریزی برنامه‌های مدیریت عرصه‌های طبیعی نقش مؤثری ایفا کند. این نتایج خطوط راهنما برای طرح‌ریزی و اجرای برنامه‌های مدیریت و اصلاح عرصه‌های طبیعی فراهم می‌کند. در راستای نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد سایر عملیات

اصلاحی مرتع نیز از نظر اثرگذاری بر روی چرخه کربن اکوسیستم موردبررسی قرار بگیرد تا بتوان با دقت و اطمینان بیشتری اقدام به انتخاب گزینه‌های مناسب برای اصلاح مرتع نمود. همچنین تأثیر پارامترهای اقلیمی بر انتشار کربن در این مطالعه و سایر مطالعات اثبات شده است که این متغیرها در کنار نوع عملیات اصلاحی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

**References**


Abdalla, K., Mutema, M., Chivenge, P., Everson, C., & Chaplot, V. (2018). Grassland degradation significantly enhances soil $CO_2$ emission. *Catena*, *167*, 284-292. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.010

Abdalla, K., Mutema, M., Chivenge, P., Everson, C., & Chaplot, V. (2022). Grassland rehabilitation significantly increases soil carbon stocks by reducing net soil CO2 emissions. *Soil Use and Management*, *38*(2), 1250-1265. https://doi.org/10.1111/sum.12790

Bilgen, S. (2014). Structure and environmental impact of global energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *38*, 890-902. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004

Bogner, J. E., Spokas, K. A., & Chanton, J. P. (2011). Seasonal greenhouse gas emissions (methane, carbon dioxide, nitrous oxide) from engineered landfills: Daily, intermediate, and final California cover soils. *Journal of environmental quality*, *40*(3), 1010-1020. https://doi.org/10.2134/jeq2010.0407

Booker, K., Huntsinger, L., Bartolome, J. W., Sayre, N. F., & Stewart, W. (2013). What can ecological science tell us about opportunities for carbon sequestration on arid rangelands in the United States?. *Global Environmental Change*, *23*(1), 240-251. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.001

Brown, J., Angerer, J., Salley, S. W. Blaisdell, R., & Stuth, J. W. (2010). Improving Estimate of Rangeland Carbon Sequestration Potential in the US Southwest. *Rangeland Ecology & Management*, *63*(1), 147-154. https://doi.org/10.2111/08-089.1

Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, *27*(2), 662-668. https://doi.org/10.1002/eap.1473

Dean, C., Wardell-Johnson, G. W., & Harper, R. J. (2012). Carbon management of commercial rangelands in Australia: major pools and fluxes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *148*, 44-64. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.011

Gupta, N., Kukal, S. S., Bawa, S. S., & Dhaliwal, G. S. (2009). Soil organic carbon and aggregation under poplar based agroforestry system in relation to tree age and soil type. *Agroforestry Systems 76*, 27-35.

IPCC. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324

Kamali, N., Siroosi, H., & Sadeghipour, A. (2020). Impacts of wind erosion and seasonal changes on soil carbon dioxide emission in southwestern Iran. *Journal of Arid Land*, *12*, 690-700. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0018-5

Leifeld, J., Ammann, C., Neftel, A., & Fuhrer, J. (2011). A comparison of repeated soil inventory and carbon flux budget to detect soil carbon stock changes after conversion from cropland to grasslands. *Global Change Biology*, *17*(11), 3366-3375. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02471.x

Li, Y., Dong, S., Liu, S., Zhou, H., Gao, Q., Cao, G., … & Zhao, H. (2015). Seasonal changes of $CO_2$, CH4 and N2O fluxes in different types of alpine grassland in the Qinghai-Tibetan Plateau of China. *Soil Biology and Biochemistry*, *80*, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.026

Liptzin, D., Williams, M. W., Helmig, D., Seok, B., Filippa, G., Chowanski, K., & Hueber, J. (2009). Process-level controls on CO2 fluxes from a seasonally snow-covered subalpine meadow soil, *Niwot Ridge, Colorado, Biogeochemistry*, 95, 151–166. https://doi:10.1007/s10533-009-9303-2

Merbold, L., Steinlin, C., & Hagedorn, F. (2013). Winter greenhouse gas fluxes (CO2, CH4 and N2O) from a subalpine grassland, *Biogeosciences*, *10*, 3185–3203. https://doi.org/10.5194/bg-10-3185-2013

Nian, V., Chou, S. K., Su, B., & Bauly, J. (2014). Life cycle analysis on carbon emissions from power generation – The nuclear energy example. *Applied Energy*, *118*, 68-82. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.015

Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P., & Raimundo, J. (2011). Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(2), 393-403. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.007

Romero-Uribe, H. M., López-Portillo, J., Reverchon, F., & Hernández, M. E. (2022). Effect of degradation of a black mangrove forest on seasonal greenhouse gas emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*, 11951-11965. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16597-1

Sadeghipour, A., Kamali, N. & Joneidi, H. (2013). Effects of rangeland mechanical reclamation activities on seasonal and monthly carbon emission (Case study: Sorkhe, Semnan province). *Rangeland*, *7*(3), 222-229. [In Persian]

Schindlbacher, A. , Zechmeister-Boltenstern, S., Glatzel, G., & Jandl, R. (2007). Winter soil respiration from an Austrian mountain forest. *Agricultural and Forest Meteorology*,*146*, 205–215. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.06.001

Subak, S. (2000). Agricultural soil carbon accumulation in North America: considerations for climate policy. *Global Environmental Change*, *10*(3), 185-195. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00026-1

Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., Schmidt, M., Thiombiano, A., Malmer, A., & Nyberg, G. (2015). Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, *241*, 330-338. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.027

Yu, H., Li, Y., Oshunsanya, S. O., Are, K. S., Geng, Y., Saggar, S., & Liu, W. (2019). Re-introduction of light grazing reduces soil erosion and soil respiration in a converted grassland on the Loess Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 280*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.020