Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Determining changes in carbon sequestration and some soil properties in the elevation gradient of rangelands in the north of Sablan, Iran

Ardavan Ghorbani[*1], Mehdi Moameri[2], Masoomeh Abbasi Khalaki[3], Sima Lazemi Zare[4], Mahsa Baghaei[4], Kazem Hashemi Majd[5], Mikaeil Badrzadeh[6], Behnam Bahrami[4]

[1] Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Associate Professor, Department of Plant Sciences and Medicinal Plants, Meshgin Shahr Faculty of Agricultre, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabibli, Ardabil, Iran
[3] Ph.D., Rangeland Sciences, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[4] M.Sc., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[5] Former Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[6] Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

Introduction

Rangeland ecosystems cover more than half of the earth's land surface, these ecosystems have high carbon sequestration and cause the formation of about 10% of the total biomass carbon reserves and 30% of soil carbon. Carbon sequestration potential differs according to plant species, habitats, and management methods. Each ecosystem has a certain potential which is determined by utilizing of natural vegetation, climatic conditions, and physical and chemical properties of the soil. Moreover, the amount of carbon in the soil and plants depends on the characteristics of topography, and any change in the elevation and slope of the habitat will affect the amount of organic carbon in the soil and plant cover and carbon sequestration. Therefore, it is important to determine the effects of elevation and slope characteristics, type of vegetation and canopy cover, and soil characteristics on the amount and changes of carbon sequestration. In this study, the carbon sequestration capacity and its relationship with some physical and chemical characteristics of soil, topography, and rangeland habitat have been investigated.

Materials and Methods

Sampling was conducted in six sites in elevation gradient (from 1400 to 3600 m above sea level; rainfall from 350 to 700 mm; the mean temperature varies from -0.24 to 10.1 °C) in the north of Sablan Mountain, Meshginshahr County, Iran, including three sites with the dominant physiognomy of grass-shrublands and three sites with grassland in three elevation levels of less than 2000, 2000-2500 and more than 2500 m above sea level. In each site, soil sampling was conducted at two depths of 0-15 and 15-30 cm. The random-systematic method was used to study vegetation variables. In this way, 10 plots of one m^2 (based on the distribution pattern of plants) were established in each of the three transects with a length of 100 m along each transect. After determining the normality of the data and the homogeneity of the variance of the data, two-way analysis of variance general linear model (GLM) was used for the overall comparison.

Results

The results showed that with the increase in elevation in the two investigated habitats (grassland and grass-shrubland), the carbon sequestration in the soil increased. Moreover, the results indicate that the depth of the soil has a significant effect on the carbon sequestration capacity. Thus the highest amount of soil carbon deposition is in the soil depth of 0-15 cm in the grassland habitat with an elevation of more than 2500 m (70.53 gr cm^{-2}), then the depth of 0-15 cm in the grass-shrub habitat. At an elevation of more than 2500 m (63.98) and a soil depth of 30-15 cm, the grassland habitat is at an elevation of 2000-2500 m (62.73), and its lowest amount belongs to a

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

soil depth of 30-15 cm. The grass-shrub habitat is at an elevation of less than 2000 m. The results of the correlation analysis of carbon sequestration in habitats and different elevation classes indicate a negative relationship with the percentage of sand, acidity, and electrical conductivity of the soil, and a positive correlation with the percentage of clay and silt, the percentage of organic carbon and organic matter, the percentage of carbon, particulate organic matter, soil nitrogen, and total vegetation cover has shown.

Discussion and Conclusion

The distribution of carbon stocks between biomass and soil varies among ecosystems and is influenced by elevation, so that the carbon sequestration potential is more significant in high elevation classes than in lower classes. Based on the estimated carbon values in the studied habitats, it can be concluded that the higher percentage of canopy cover and density preserves more moisture and prevents evaporation, which in turn can affect the amount of cover and density. Therefore, the effect of vegetation in different elevation classes on the amount of changes in soil carbon deposition is confirmed based on the results obtained in this research. Overall, the carbon sequestration potential is different according to habitat and elevation classes; therefore, by better understanding these factors and investigating the management factors that affect the sequestration process, we can take steps towards strengthening carbon sequestration and sustainable management of rangelands.

Key words: Ardabil province, Carbon sequestration, Meshginshahr county, Physical and chemical properties of soil, Rangeland habitat

Article Type: Research Article

Acknowledgement:

This research was carried out with the financial support of the University of Mohaghegh Ardabili in the form of supporting MSc student Thesis, which is hereby acknowledged.

Conflicts of interest:

The authors of this article declare that they is no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Data availability statement:

All data and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution:

Ardavan Ghorbani: Guidance, conceptualization, research framework design, writing and revision; **Mehdi Moameri**: Guidance, assistance in data analysis, control of results; **Masoomeh Abbasi Khalaki**: Editing; **Sima Lazemi Zare**: Field data collection, data analysis; **Mahsa Baghaei**: Data analysis, Writing; **Kazem Hashemi Majd**: Experiment; **Mikaeil Badrzadeh**: Consultant, Experiment; **Behnam Bahrami**: Consultant, Experiment.

*Corresponding Author, E-mail: a_ghorbani@uma.ac.ir

Citation: Ghorbani, A., Moameri, M., Abbasi Khalaki, M., Lazemi Zare, S., Baghaei, M., Hashemi Majd, K., Badrzadeh, M., Bahrami, B. (2024). Investigating changes in carbon sequestration and some soil properties in the elevation gradient of rangelands in the north of Sablan, Iran. *Water and Soil Management and Modeling, 4*(1), 135-150.

DOI: 10.22098/mmws.2023.12245.1218

Received: 30 January 2023, Received in revised form: 14 February 2023, Accepted: 15 February 2023, Published online: 15 February 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 1, pp. 135-150

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

تعیین تغییرات ترسیب کربن و برخی خصوصیات خاک در گرادیان ارتفاعی مراتع شمال سبلان

اردوان قربانی[۱*]، مهدی معمری[۲]، معصومه عباسی خالکی[۳]، سیما لازمی زارع[۴]، مهسا بقایی[۴]، کاظم هاشمی مجد[۵]، میکائیل بدرزاده[۶]، بهنام بهرامی[۴]

[۱] استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۲] دانشیار، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکدهٔ کشاورزی مشگین‌شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۳] دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۴] کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۵] دانشیار سابق، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
[۶] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

در تحقیق حاضر، ظرفیت ترسیب کربن و ارتباط آن با برخی خصوصیات خاک و پوشش سطح خاک بررسی شده است. نمونه‌برداری در شمال کوه سبلان در شش مکان، شامل سه مکان با پوشش علف–بوته‌زار و سه مکان علفزار در سه طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰، ۲۰۰۰–۲۵۰۰ و بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. در هر مکان نمونه‌برداری خاک در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. در هر یک از مکان‌های مورد بررسی سه ترانسکت به طول ۱۰۰ متر و در امتداد هر ترانسکت، ۱۰ پلات یک مترمربعی مستقر شد. برای مقایسهٔ کلی خصوصیات دو رویشگاه علف–بوته‌زار و علف‌زار و نیز بررسی اثر متقابل عوامل ارتفاع و نوع رویشگاه از آزمون GLM و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. ارتباط بین صفات اندازه‌گیری شده خاک و ترسیب کربن نیز با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان ارتفاع در دو رویشگاه مورد بررسی (علف‌زار و علف–بوته‌زار) کربن ترسیب‌شدهٔ خاک، افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین، نتایج حاکی از آن است که عمق خاک نیز به‌طور معناداری بر توان ترسیب کربن تأثیرگذار است. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان ترسیب کربن خاک به‌ترتیب به عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک در رویشگاه علف‌زار با ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر (۷۰/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مربع)، سپس عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری رویشگاه علف–بوته‌زار در ارتفاع بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر (۶۳/۹۸) و عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک رویشگاه علفزار در ارتفاع ۲۰۰۰–۲۵۰۰ متر (۶۲/۷۳) بوده و کم‌ترین مقدار آن نیز متعلق به عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک رویشگاه علف–بوته‌زار در طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر (۱۱/۵۳) است. نتایج تحلیل همبستگی ترسیب کربن در رویشگاه‌ها و طبقات ارتفاعی مختلف، حاکی از رابطهٔ منفی با درصد شن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بوده و همبستگی مثبت با درصد رس و سیلت، درصد کربن آلی و مادهٔ آلی، درصد کربن و مادهٔ آلی ذره‌ای و نیتروژن خاک است.

واژه‌های کلیدی: استان اردبیل، ترسیب کربن، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، رویشگاه مرتعی، شهرستان مشگین‌شهر

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_ghorbani@uma.ac.ir

استناد: قربانی، اردوان، معمری، مهدی، عباسی خالکی، معصومه، لازمی زارع، سیما، بقایی، مهسا، هاشمی مجد، کاظم، بدرزاده، مکائیل و بهرامی، بهنام (۱۴۰۳). تعیین تغییرات ترسیب کربن و برخی خصوصیات خاک در گرادیان ارتفاعی مراتع شمال سبلان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۱۳۵–۱۵۰.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12245.1218
DOR: .....

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۱، شماره صفحه ۱۳۵ تا ۱۵۰
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

دی‌اکسیدکربن اتمسفر در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. شیوه‌های مدیریت اراضی، شرایطی را برای تعدیل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن فراهم می‌کند که طی آن کربن اضافی از طریق ذخیره شدن در زی‌تودهٔ گیاهی و مواد آلی خاک ترسیب می‌شود، این فرآیند ترسیب کربن خاکی نام دارد (Abdi et al., 2008). مرکز توسعهٔ پایدار آمریکا، ترسیب کربن را تبدیل دی‌اکسید کربن اتمسفری به ترکیبات آلی کربن‌دار که طی عمل فتوسنتز انجام می‌شود، تعریف کرده است (Allen-Dias, 1996). مراتع به‌دلیل ساختار و وضعیتی که دارند، دارای پتانسیل‌ها و ارزش‌های بالایی هستند (Naghipour and Farokhniya, 2017) و بیش از یک‌سوم ذخایر کربن زیست‌کرهٔ خاکی را شامل می‌شوند و از طریق پوشش‌گیاهی دی‌اکسید کربن اتمسفر را جذب کرده و در بافت‌های گیاهی و سپس خاک تجمع و رسوب می‌دهند (Asadollahi et al., 2021). بوم‌سازگان‌های مرتعی بیش از نیمی از خشکی‌های زمین را در برگرفته، مدیریت آن‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر چرخهٔ جهانی کربن دارد و باعث تشکیل ۱۰ درصد کل ذخایر کربن بیوماس بوم‌سازگان‌های خاکی و ۳۰ درصد کربن آلی خاک می‌شوند (Naghipour et al., 2012; Denboba, 2022). در مقیاس جهانی، مراتع سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد تن کربن ترسیب می‌کنند (Azarnivand et al., 2009). سازمان‌های بین‌المللی مانند UNDP [1] مراتع را به‌سبب برخورداری از ویژگی‌هایی، مانند وسعت قابل‌ملاحظه و اقلیم مناسب جهت ترسیب کربن، یکی از گزینه‌های مناسب برای طرح‌های ترسیب کربن بیان کرده است (UNDP, 2000). مراتع ایران با حدود ۸۴ میلیون هکتار و به گزارش برنامهٔ عمران سازمان ملل، قابلیت ذخیرهٔ حدود یک میلیارد تن کربن آلی را دارند (UNDP, 2000). نتایج تحقیق Lu and Ming (2010) روی چهار مدیریت بهره‌برداری شامل، مراتع طبیعی، جنگل دست کاشت، زراعت و اراضی باغی در جنوب چین، نشان دادند که مراتع طبیعی نه تنها بیش‌ترین نقش را در ترسیب کربن آلی داشته، بلکه منجر به بهبود شرایط خاک نیز می‌شوند.

از دیدگاه ترسیب کربن، خاک سومین ذخیره‌گاه بزرگ کربن (سه برابر بیش‌تر از کربن موجود در اتمسفر) را در جهان دارد (Branda˜o et al., 2011) و در بوم‌سازگان خشکی مراتع با بیش‌ترین مساحت و خاک نقش قابل‌توجهی در این رابطه دارند (Azarnivand et al., 2009; Naghipour et al., 2012). پتانسیل ترسیب کربن برحسب گونهٔ گیاهی، مکان، منطقهٔ آب و هوایی و شیوهٔ مدیریت متفاوت بوده و هر خاکی پتانسیل معینی دارد که به‌وسیلهٔ پوشش گیاهی طبیعی، شرایط اقلیمی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص می‌شود (Lessmann et al., 2022). کاهش مقدار زی‌تودهٔ برگشتی به خاک، تغییر رژیم رطوبتی و حرارتی خاک از طریق تأثیر در نسبت تجزیهٔ مادهٔ آلی، تجزیه‌پذیری بالای بقایای محصولات به‌علت تفاوت در نسبت C/N و مقدار لیگنین، کاهش تراکم خاک، کاهش حفاظت فیزیکی از مادهٔ آلی خاک و افزایش فرسایش خاک از جمله عوامل تأثیرگذار در کاهش کربن آلی خاک به‌شمار می‌آیند (Halvin et al., 2005). از طرفی، مقدار کربن موجود در خاک و گیاه به ویژگی‌های پستی و بلندی (ارتفاع و شیب) وابسته بوده، و هر نوع تغییر در ارتفاع و شیب رویشگاه، در میزان کربن آلی موجود در خاک و پوشش گیاهی تأثیر خواهد گذاشت (Azarnivand and Zare Chahooki, 2010; Zhong and Wx, 2009). طبق نتایج Liu et al. (2011) و Dar and Sundarapandian (2015) عامل ارتفاع، تأثیر معناداری بر میزان کربن آلی خاک داشته و در ارتفاعات بالا بیش‌ترین میزان کربن و در ارتفاعات پایین کم‌ترین مقدار آن را گزارش کرده‌اند. ارتفاع تأثیر غیرمستقیم بر عمده عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر ترسیب کربن در یک بوم‌سازگان، همانند زی‌تودهٔ گیاهی، میزان مواد غذایی و بافت خاک داشته و با توجه به این امر، عامل پستی و بلندی نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییر پتانسیل یک بوم‌سازگان در جذب و ترسیب کربن ایفا می‌کند (Joneidi Jafari, 2009). در مطالعهٔ Kobler et al. (2019) نیز ارتفاع و جهت تأثیر معناداری روی مادهٔ آلی خاک داشته است. هم‌چنین،Wodajo et al. (2020) نیز نشان دادند که با افزایش ارتفاع، میانگین کربن آلی زی‌تودهٔ سطحی و زیرزمینی روند کاهشی داشته، درحالی‌که کربن آلی خاک و لاشبرگ نسبت افزایشی داشته‌اند.

Karami et al. (2019) ترسیب کربن در زی‌تودهٔ گیاهی را بهترین، آسان‌ترین و عملی‌ترین راه‌کار ممکن جهت کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفر معرفی کرده‌اند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که پتانسیل ترسیب کربن برحسب گونه‌های گیاهی متفاوت است و از این‌رو تأکید کردند که شناخت گونه‌هایی که قابلیت بالایی در ترسیب کربن دارند و بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرآیند ترسیب، می‌تواند در اصلاح و احیای اراضی کمک کند. در ادامه، Yousefian (2020) در مطالعهٔ نقش درمنهٔ کوهی در جذب کربن اتمسفری در مراتع استان سمنان، گزارش کردند که گونه‌های گیاهی غالب با سطح تاج‌پوشش بیش‌تر، نقش قابل‌توجهی در ترسیب کربن و کاهش آلودگی هوا دارند، ترسیب کربن توسط گیاه و به‌خصوص گونه‌های بوته‌ای، ساده‌ترین و به لحاظ اقتصادی، ارزان‌ترین روش برای ترسیب کربن به‌شمار می‌رود که این نقش را گیاهان توسط عمل فتوسنتز انجام

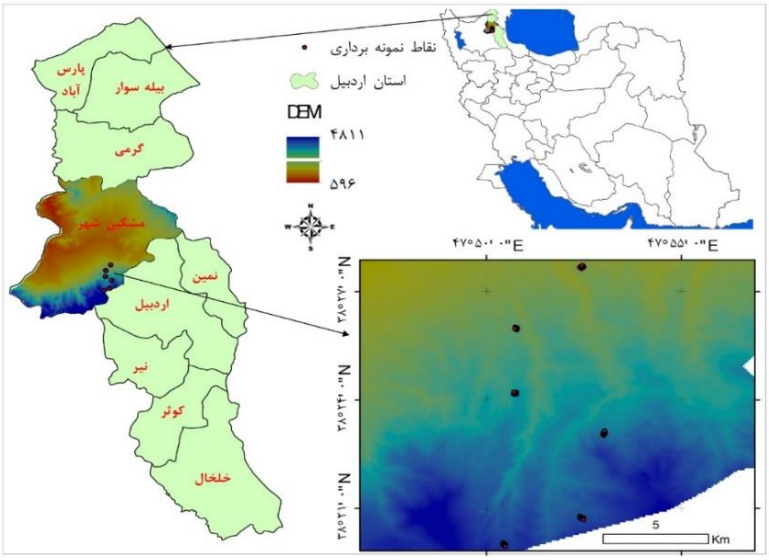
[1] United Nations Development Programme

می‌دهند. هم‌چنین، Kohestani et al. (2021) یکی از راه‌کارهای کاهش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن را ترسیب آن در خاک یا زی‌تودهٔ گیاهی معرفی کردند. از طرفی اعتقاد بر این است که بوم‌سازگان‌های غیرآشفته، مانند مراتع، بهترین منبع ترسیب کربن و کاهش تغییرات اقلیم جهانی هستند (Parras-Alcantara et al., 2015). بنابراین نقش گیاه و به‌ویژه گیاهان مرتعی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عامل ورودی کربن به خاک حائز اهمیت است، با مدیریت اصولی و در نتیجه افزایش قابلیت بیولوژیک اراضی، یکی از اقدامات جدی در جهت افزایش ذخیرهٔ کربن و حفظ بلندمدت آن به‌شمار می‌آید (Derner and Schuman, 2007). با شناخت جوامع گیاهی و گونه‌هایی که دارای قابلیت بیش‌تری جهت ترسیب کربن بوده و بررسی عوامل مدیریتی و محیطی که بر فرآیند ترسیب کربن اثرگذار هستند، می‌توان از منظر شاخص ترسیب کربن، اصلاح و احیای اراضی را دنبال کرد (Karami et al., 2019). بنابراین، این موضوع را می‌توان یک نگرش سیستمی به اصلاح و احیای محیط‌زیست دانست، چرا که موجب تأمین حفاظت کمی و کیفی خاک شده و راه‌کاری مؤثر، مثبت و بلندمدت در جهت مقابله با آلودگی هوا و کاهش بحران تغییر اقلیم و در نهایت دست‌یابی به توسعهٔ پایدار به‌حساب می‌آید (Denboba, 2022). مراتع دامنهٔ شمالی سبلان جزو منابع غنی مرتعی استان اردبیل است. ترسیب کربن اتمسفری یکی از مهم‌ترین کارکردهای بوم‌سازگان‌های مرتعی به‌شمار می‌آید. کمی‌سازی این مهم، روش مناسبی برای حفاظت، توسعه و ارزش‌گذاری واقعی بوم‌سازگان‌های طبیعی می‌باشد. شناخت توان ترسیب کربن رویشگاه‌ها و گونه‌های گیاهی و خاک هر منطقه در مدیریت اصولی این بوم‌سازگان‌ها حائز اهمیت است. تاکنون در زمینهٔ توان مراتع شمال سبلان از لحاظ ترسیب کربن مطالعه‌ای صورت نگرفته است، بنابراین، این تحقیق در راستای مستندسازی و با هدف تعیین تغییرات ترسیب کربن رویشگاه‌ها و برخی خصوصیات خاک در گرادیان ارتفاعی مراتع فخرآباد–شابیل در دامنهٔ شمالی سبلان انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۶ در پروفیل ارتفاعی فخرآباد_شابیل شهرستان مشگین‌شهر با مساحت حدود ده هزار هکتار در فاصلهٔ ۲۳ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان مشگین‌شهر انجام شده است. طول جغرافیایی منطقه ″۲ ′۵۰ °۴۷ تا ″۲۷ ′۵۴ °۴۷ شرقی و عرض جغرافیایی آن ″۴۲ ′۱۸ °۳۸ تا ″۱۴ ′۲۸ °۳۸ شمالی است (شکل ۱). در سطح این پروفیل دو رویشگاه با فیزیونومی یا سیمای گیاهی علف–بوته‌زار و علف‌زار گسترش دارد (Ghorbani et al., 2018)، که برای این مطالعه انتخاب شدند. با توجه به نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع، حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۱۴۰۰ و ۳۶۰۰ متر از سطح دریا بوده و بارندگی سالیانه در این منطقه ۳۵۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر و میانگین دما ۰/۲۴- تا ۱۰/۱ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب سرد و در تابستان معتدل و در بیش‌تر ایام سال از آب و هوای سرد و کوهستانی برخوردار است (Nazari Anbaran, 2014). هم‌چنین، خاک رویشگاه‌های انتخاب شده، عمیق با بافت متوسط است (Karami, 2014).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در استان اردبیل و ایران و مکان‌های نمونه‌برداری در پروفیل ارتفاعی فخرآباد_شابیل شهرستان مشگین‌شهر

Figure 1- The location of the study area in Ardabil province, Iran, and the location of the sampling sites in the elevation profile of Fakhrabad-Shabil, Meshginshahr county

۲-۲- روش نمونه‌برداری

ابتدا محدودهٔ مورد مطالعه با استفاده از نقشهٔ توپوگرافی و نرم‌افزار گوگل ارث در سه طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰، ۲۵۰۰-۲۰۰۰ و بیش از ۲۵۰۰ متری از سطح دریا و مجموعاً در شش مکان انتخاب شد (جدول ۱). به‌منظور انجام این تحقیق در فصل رویشی مناسب با پیمایش صحرایی و با استفاده از اطلاعات اولیه در این منطقه، محدودهٔ کاری در مراتع دامنهٔ شمالی سبلان کنترل و در سطح تعیین‌شده، رویشگاه‌های اصلی منطقه شامل سه مکان علف-بوته‌زار و سه مکان علف‌زار مشخص شد. سپس اقدام به انتخاب منطقهٔ معرف در هر یک از رویشگاه‌ها شد. سپس محل نمونه‌برداری در مناطق معرف که گویای پوشش گیاهی رویشگاه هستند، مشخص شد. در هر منطقه جهت مطالعهٔ متغیرهای پوشش گیاهی، از روش تصادفی سیستماتیک استفاده شد. بدین‌صورت که در داخل هر یک از سایت‌های انتخاب شده، سه ترانسکت به طول ۱۰۰ متر با فاصلهٔ ۵۰ متر از هم و عمود بر شیب غالب سایت مستقر شدند. در امتداد هر ترانسکت، ۱۰ پلات یک متر مربعی (بر اساس الگوی پراکنش گیاهان) مستقر شد. بر اساس دستورالعمل طرح ملی ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور (Arzani et al., 1997) و با توجه به این‌که پلات‌های به‌کار رفته، از نظر ابعاد و از نظر کیفیت تعداد نمونه با روابط آماری توصیه‌شده برای مراتع کشور هم‌خوانی داشته و از نظر آماری نیز نمایندهٔ مطمئنی از جامعهٔ گیاهی باشد، و مطالعات انجام شده در ارتباط با پوشش گیاهی سبلان (Nazari Anbaran, 2014; Ghorbani et al., 2018)، تعداد ۱۰ پلات یک مترمربعی در طول هر ترانسکت ۱۰۰ متری و در مجموع ۹۰ پلات برای هر منطقهٔ معرف، و در کل ۱۸۰ پلات برای دو سایت علف‌زار و علف-بوته‌زار به‌کار گرفته شد و در داخل آن‌ها، فهرست گیاهان موجود، درصد پوشش تاجی و تراکم گونه‌ها، اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدا، وسط و انتهای هر ترانسکت، پروفیلی حفر و از دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری، نمونهٔ خاک برداشت شد. این عمق‌ها با توجه به کوهستانی بودن منطقه و عمق ریشه‌دوانی گونه‌های گیاهی موجود در منطقه تعیین شد (Zare Chahooki et al., 2009).

برای تعیین میزان کربن ذخیره شده در خاک و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌های برداشت شده در محیط آزمایشگاه و در مجاورت هوای آزاد خشک و بعد از تخریب ساختمان و خرد کردن کلوخه‌ها، خصوصیات خاک شامل: درصد سنگ و سنگریزه و تعیین بافت به روش دانسیمتری (Bouyoucos, 1962)، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Blake and Hartge, 1986)، اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی در عصارهٔ گل اشباع و با استفاده از دستگاه EC متر و تعیین ازت کل خاک با دستگاه کجلدال انجام شد (Bremner and Mulvaney, 1982). کربن آلی نیز به روش والکی و بلک (Nosetoo et al., 2006) و درصد رطوبت اشباع خاک اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، بر اساس رابطهٔ (۱) مقدار ترسیب کربن محاسبه شد (Okon et al., 2014).

$$Cs = 10000 \times OC \times Bd \times e \qquad (۱)$$

در رابطهٔ بالا Cs میزان ترسیب کربن (کیلوگرم در هکتار)، OC درصد کربن آلی، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و e عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) است.

جدول ۱- خصوصیات مکان‌های مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the studied sites

طبقات ارتفاعی(متر)	رویشگاه	نام تیپ غالب	شیب(درصد)	متوسط بارندگی(میلی‌متر)	متوسط دما (درجهٔ سانتی‌گراد)
2000 >	علف‌زار	*Festuca ovina-Bromus arvensis*	14.96	439.63	8.96
	علف-بوته‌زار	*Festuca ovina-Artemisia austrica*	32.46	496.47	7.90
2000-2500	علف‌زار	*Poa pratensis-Festuca ovina*	44.27	528.23	6.61
	علف-بوته‌زار	*Poa pratensis-Astragalus aurenus*	12.44	491.99	5.72
2500 <	علف‌زار	*Elymus gentry-Poa trivialis*	27.04	569.94	4.69
	علف-بوته‌زار	*Festuca ovina-Thymus kotschyanus*	37.55	589.49	4.21

۲-۳- تحلیل آماری

پس از تنظیم داده‌ها، آن‌ها بر اساس طبقهٔ ارتفاعی (سایت، ترانسکت و پلات) و رویشگاه گیاهی، در قالب بانک اطلاعاتی ذخیره شدند. پس از تعیین نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون Levene، برای مقایسهٔ کلی دو رویشگاه علف-بوته‌زار و علف‌زار از نظر خصوصیات خاک، پستی و بلندی و تاج پوشش و نیز بررسی اثر متقابل عوامل ارتفاع و نوع پوشش گیاهی از تحلیل واریانس دوطرفهٔ مدل عمومی خطی (GLM) و مقایسهٔ میانگین متغیرها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. همبستگی داده‌ها با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون اندازه‌گیری و محاسبات آماری به کمک نرم‌افزار $SPSS_{22}$ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج تحلیل واریانس خصوصیات پوشش سطح خاک نشان داد که درصد لاشبرگ در طبقات ارتفاعی و رویشگاه‌های موردنظر اختلاف معناداری نداشت. در حالی‌که تراکم کل و درصد پوشش کل، سنگ و سنگریزه و خاک لخت ($p<۰/۰۱$) دارای اختلاف معنادار هستند (جدول ۲). هم‌چنین، نتایج مقایسهٔ میانگین خصوصیات پوشش سطح خاک در جدول ۲ نشان داد که بیش‌ترین مقدار تراکم کل گیاهان مرتعی و درصد پوشش کل مربوط به رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا (به‌ترتیب ۴۲۱/۸۷ و ۹۲/۹۱) و کم‌ترین مقدار تراکم و درصد پوشش نیز مربوط به رویشگاه علف–بوته‌زار همین طبقهٔ ارتفاعی (به‌ترتیب ۵۳/۸۰ و ۳۹/۹۹) است. دو رویشگاه مورد بررسی در طبقات مختلف ارتفاعی از لحاظ پوشش گیاهی تفاوت قابل‌توجهی با هم داشته و همین امر باعث ایجاد تغییر زیادی در میزان ترسیب کربن در رویشگاه علف‌زار نسبت به رویشگاه علف–بوته‌زار است. همان‌طور که نتایج مطالعات Morfa (2013) در مراتع بلدهٔ نور روی تأثیر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی بر ترسیب کربن در سه رویشگاه نشان داد که با تغییر رویشگاه از علف‌زار به سمت علف–بوته‌زار و بعد بوته‌زار از میزان مادهٔ آلی، کربن و سیلت کاسته شده و بر میزان هدایت الکتریکی، اسیدیته و گچ خاک افزوده شد. در این خصوص بالا بودن کربن آلی در رویشگاه علف‌زار نسبت به بوته‌زار را می‌توان به بیش‌تر بودن درصد و تراکم پوشش گیاهی در رویشگاه علف‌زار نسبت به رویشگاه علف–بوته‌زار نسبت داد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد سنگ و سنگریزه به‌ترتیب متعلق به رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر (۲۶/۸۱) و رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر (۱/۴۷) است. تراکم گیاه نیز تأثیر زیادی در ذخیرهٔ کربن دارد، به‌طوری‌که طبق مطالعات Mahdavi et al. (2009) با افزایش تراکم در واحد سطح، درصد تاج پوشش گیاهی افزایش یافته و به‌دنبال آن میزان کربن بیش‌تری ذخیره خواهد شد. از دلایل اصلی بالا بودن کربن آلی خاک، احتمالاً علاوه‌بر بیش‌تر بودن پوشش گیاهی و تراکم، پایین بودن درصد سنگ و سنگریزه و نیز خاک لخت است، به‌طوری‌که درصد سنگ و سنگریزه و خاک لخت در رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی بیش از ۲۵۰۰ متر دارای مقادیر کم‌تری بوده است. درصد سنگ و سنگریزه بر خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه وزن مخصوص ظاهری و نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارد. در نتیجه میکروکلیمای خاک را مستعد فرآیند مطلوب‌تر تجزیه نموده و با افزایش سرعت تجزیه، میزان ترسیب کربن خاک کاهش می‌یابد (Rustad et al., 2001). در تحقیقات Moslehi et al. (2017) نیز درصد مادهٔ آلی با درصد سنگ و سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری همبستگی منفی نشان داد که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. هم‌چنین، بیش‌ترین درصد خاک لخت در رویشگاه علف–بوته‌زار در طبقهٔه ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر (۳۳/۶۳) و کم‌ترین آن در رویشگاه علف‌زار در همین طبقهٔ ارتفاعی (۲/۹۵) وجود داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد لاشبرگ نیز به‌ترتیب در رویشگاه علف–بوته‌زار طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰–۲۵۰۰ متر (۴/۰۷) و رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر (۱/۵۰) مشاهده شد. با این حال تفاوت معناداری با ترسیب کربن در سه طبقهٔ ارتفاعی وجود نداشت که با گزارش Eshetu and Hailu (2020) و Gubena and Soromessa (2017) هم‌راستا بوده است. هم‌چنین، Girma et al. (2014) نیز به الگوی افزایشی ترسیب کربن در امتداد طبقات ارتفاعی در کوه‌های زاکولا (Zequala) در اتیوپی دست یافتند. تفاوتی که بین مقدار لاشبرگ طبقات ارتفاعی پایین نسبت به طبقات ارتفاعی بالا وجود دارد، می‌تواند ناشی از چرای غیرمجاز، برداشت گیاهانی که حائز اهمیت هستند و جمع‌آوری اندک برای سوخت در طبقات ارتفاعی کم‌تر نسبت به طبقات بالاتر باشد.

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین خصوصیات پوشش سطح خاک بر اساس رویشگاه مرتعی و طبقات ارتفاعی مورد مطالعه

Table 2- Comparison of average characteristics of soil surface cover based on rangeland habitat and selected elevation classes

طبقات ارتفاعی(متر)	رویشگاه	تراکم کل (تعداد در هکتار)	پوشش کل (درصد)	سنگ و سنگریزه (درصد)	خاک لخت (درصد)	لاشبرگ (درصد)
2000 >	علف‌زار	256.37^{b}	61.83^{cd}	26.81^{a}	9.83^{cd}	1.50^{d}
	علف–بوته‌زار	181.93^{c}	49.96^{de}	25.10^{a}	22.67^{b}	2.27^{cd}
2000-2500	علف‌زار	133.80^{c}	76.78^{b}	2.01^{b}	10.22^{cd}	3.99^{ab}
	علف–بوته‌زار	68.07^{d}	74.94^{bc}	7.82^{b}	13.17^{c}	4.07^{a}
2500 <	علف‌زار	421.87^{a}	92.91^{a}	1.47^{b}	2.95^{d}	2.67^{bcd}
	علف–بوته‌زار	53.80^{d}	39.99^{e}	23.45^{a}	33.63^{a}	3.26^{abc}
آماره F		50.16**	18.85**	8.48**	14.63**	0.33^{ns}

**تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱ درصد، * تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد، ns عدم معناداری و حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معناداری هستند.

نتایج تحلیل واریانس متغیرهای خاکی نشان داد که در طبقات ارتفاعی متفاوت و در رویشگاه‌های مختلف و اعماق مختلف خاک اختلاف معناداری از نظر درصد رس، سیلت و شن و مقادیر اسیدیته

و هدایت الکتریکی وجود ندارد. درحالی‌که از لحاظ درصد کربن آلی، مادهٔ آلی، کربن آلی ذره‌ای، مادهٔ آلی ذره‌ای، درصد نیتروژن و وزن مخصوص خاک دارای اختلاف معنادار ($p<۰/۰۱$) هستند (جدول ۳). هم‌چنین، نتایج مقایسهٔ میانگین متغیرهای خاکی حاکی از آن است که بیش‌ترین درصد کربن آلی، مادهٔ آلی، کربن آلی ذره‌ای و مادهٔ آلی ذره‌ای (به‌ترتیب ۳/۵۹، ۶/۲۱، ۳/۲۱ و ۵/۵۲) متعلق به عمق خاک ۰–۱۵ سانتی‌متری رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر است.

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین خصوصیات خاک بر اساس رویشگاه مرتعی، طبقات ارتفاعی و عمق خاک

Table 3- Comparison of average soil characteristics based on rangeland habitat, elevation classes, and soil depth

طبقات ارتفاعی (متر)	رویشگاه	عمق خاک (سانتی‌متر)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	کربن آلی (درصد)	ماده آلی (درصد)	کربن آلی ذره‌ای (درصد)	ماده آلی ذره‌ای (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	نیتروژن (درصد)	وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
2000>	علف‌زار	0-15	13.84^{cde}	29.67^{ab}	56.49^{c}	1.53^{e}	2.64^{e}	0.64^{d}	1.10^{d}	7.69^{a}	489.73^{bcd}	0.26^{bc}	1.35^{ab}
		15-30	12.15^{de}	32.59^{a}	55.26^{c}	1.14^{f}	1.97^{f}	3.39^{d}	0.67^{d}	7.72^{a}	491.65^{bcd}	0.23^{bcd}	1.42^{a}
	علف‌–بوته‌زار	0-15	14.37^{cd}	21.87^{d}	63.76^{b}	0.83^{fg}	1.42^{fg}	0.27^{d}	0.46^{d}	7.65^{ab}	496.47^{bcd}	0.17^{de}	1.26^{b}
		15-30	14.54^{cd}	22.87^{cd}	62.59^{b}	0.52^{g}	0.89^{g}	0.34^{d}	0.58^{d}	7.62^{abc}	541.87^{bc}	0.17^{de}	1.34^{ab}
2000-2500	علف‌زار	0-15	23.38^{b}	24.96^{bcd}	54.53^{c}	3.30^{ab}	5.59^{ab}	2.47^{bc}	4.26^{bc}	6.18^{e}	572.78^{b}	0.46^{a}	1.25^{b}
		15-30	19.39^{bc}	27.54^{bcd}	53.07^{cd}	2.88^{cd}	4.95^{cd}	1.80^{c}	3.10^{c}	6.06^{e}	664.07^{a}	0.43^{a}	1.31^{ab}
	علف‌–بوته‌زار	0-15	7.91^{e}	14.05^{e}	78.05^{a}	1.07^{f}	1.84^{f}	0.40^{d}	0.68^{d}	7.31^{c}	282.20^{e}	0.19^{de}	1.29^{ab}
		15-30	7.77^{e}	12.73^{e}	79.49^{a}	0.88^{fg}	1.51^{f}	0.13^{d}	0.23^{d}	7.38^{bc}	274.57^{e}	0.19^{de}	1.36^{ab}
2500<	علف‌زار	0-15	25.73^{ab}	32.42^{a}	41.85^{e}	3.59^{a}	6.21^{a}	3.21^{a}	5.52^{a}	6.19^{e}	532.28^{bc}	0.22^{bcde}	1.29^{ab}
		15-30	30.41^{a}	29.38^{ab}	40.21^{e}	3.00^{bc}	5.16^{bc}	2.44^{bc}	4.23^{bc}	6.33^{de}	486.62^{bcd}	0.15^{e}	1.36^{ab}
	علف‌–بوته‌زار	0-15	19.50^{bc}	27.90^{ab}	52.60^{cd}	3.41^{ab}	5.91^{ab}	2.27^{ab}	4.63^{ab}	6.54^{d}	453.62^{cd}	0.28^{b}	1.23^{b}
		15-30	25.20^{ab}	27.09^{bc}	47.72^{d}	2.62^{d}	4.49^{d}	2.01^{c}	3.61^{bc}	6.47^{d}	414.80^{d}	0.20^{cde}	1.35^{ab}
	آمارهٔ F		0.47^{ns}	0.06^{ns}	1.91^{ns}	44.97^{**}	45.96^{**}	12.26^{**}	10.90^{**}	0.00^{ns}	0.18^{ns}	8.43^{**}	11.05^{**}

** تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱ درصد، *تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد، ns عدم معناداری و حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معناداری هستند.

بیش‌تر بودن مقدار کربن آلی خاک در عمق اول نسبت به عمق دوم با یافته‌های Schuman et al. (2002), Varamesh et al. (2011) و Deng et al. (2018) مطابقت دارد. دلیل آن را می‌توان تجمع زیاد بقایای گیاهی در سطح خاک دانست (Fu et al., 2004). کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای خاک از اجزاء مادهٔ آلی خاک بوده و شاخصی جهت بررسی تأثیر شدت عملیات مدیریتی از قبیل شخم، تنوع کاشت محصولات و کاشت چرخشی محصولات، پوشش گیاهی و کوددهی بر خاک هستند (Handayani et al., 2020). مواد آلی از طریق کاهش تبخیر–تعرق و افزایش نرخ نفوذ آب در خاک منجر به نگهداشت مقدار چشم‌گیر رطوبت در خاک می‌شوند (Oztas et al., 2003). تیپ پوشش گیاهی، بیومس سطح زمین و بیومس زیرزمین محرک‌های اصلی کربن آلی خاک هستند (Shi et al., 2012). ذکر این نکته حائز اهمیت است که افزایش مواد آلی ذره‌ای می‌تواند ناپایدار باشد، بنابراین مدیریت پوشش و تنوع گیاهی بوم‌سازگان‌های مرتعی باید برای مدت زمان طولانی حفظ شود تا شاهد افزایش حتی آرام کربن آلی خاک بود. این نتایج به‌وسیلهٔ مطالعاتی که حساسیت مواد آلی ذره‌ای را تحت مدیریت‌های مختلف خاک یافته بودند، تأیید می‌شود (Carter et al., 2003).

بیش‌ترین مقدار نیتروژن نیز در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی ۲۰۰۰–۲۵۰۰ متر دیده می‌شود (۰/۴۶ درصد). میزان نیتروژن کل رابطهٔ مستقیم با درصد مادهٔ آلی دارد و اغلب نیتروژن خاک در مواد آلی متمرکز است. هم‌چنین، میزان تجمع کربن بستگی به میزان تجمع نیتروژن دارد و تجمع نیتروژن نیز وابسته به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن از جو است (Sheidaei et al., 2016). در این راستا، Post and Kwon (2000) بیان کردند که بسیاری از مطالعات روی فرآیند ترسیب کربن، همواره با مطالعهٔ هم‌زمان بر مقدار نیتروژن خاک است. زیرا عامل نیتروژن از اهمیت خاصی در فرآیند ترسیب کربن برخوردار است. در رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی ۲۰۰۰ –۲۵۰۰ متر احتمالاً به‌علت این‌که مادهٔ آلی به نسبت بیش‌تر از سایر رویشگاه‌ها بود، در نتیجه میزان نیتروژن نیز بیش‌تر از سایر رویشگاه‌ها بود. هم‌چنین، این رویشگاه نسبت به سایر رویشگاه‌ها دارای خاشاک و لاشبرگ بیش‌تری بوده است. بنابراین، عمق سطحی خاک به‌علت تجمع بیش‌تر بقایای گیاهی دارای مادهٔ آلی و در نتیجه نیتروژن بیش‌تری است. بنابراین، این امر را می‌توان به حضور گیاهان علفی چندساله و حجم بیومس ریشهٔ گیاهان و تجمع لاشبرگ در سطح خاک در رویشگاه علف‌زار در ارتفاع ۲۰۰۰–۲۵۰۰ متر از سطح دریا نسبت داد. هم‌چنین، Jinxum (2005) با ارائهٔ مدلی تکمیلی در زمینهٔ نقش کنترل‌کنندهٔ

نیتروژن بر چرخهٔ کربن و ترسیب آن در بوم‌سازگان‌ها بیان کرد که در یک بوم‌سازگان باز، کربن خالص جذب‌شده با ورودی نیتروژن، جذب و هدررفت آن مرتبط است. در نهایت افزایش تثبیت نیتروژن در سطح وسیع منجر به مقدار بالای ترسیب کربن خواهد شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار وزن مخصوص خاک (۱/۴۲) مربوط می‌شود به عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متر خاک رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر است (جدول ۳). وزن مخصوص ظاهری خاک در برآورد مقدار ذخیرهٔ کربن خاک نقش مهمی دارد. رابطهٔ بین وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی، یک رابطهٔ دو طرفه است، به نحوی‌که افزایش مادهٔ آلی، باعث کاهش وزن مخصوص و افزایش خلل و فرج و درصد رطوبت اشباع خاک و بهبود نفوذپذیری خاک خواهد شد که خود باعث کاهش رواناب و کاهش فرسایش می‌شود که در نهایت، کاهش هدررفت کربن را سبب خواهد شد (Joneidi Jafari, 2009). در ادامه، Mckenzie et al. (2000) در دستورالعمل ارزیابی و اندازه‌گیری ترسیب کربن خاک بیان کردند که وزن مخصوص ظاهری خاک یکی از عوامل مهم برآورد ظرفیت ترسیب کربن خاک است. در نتایج تحقیقات Heidarian and Ghasemi Aghbash (2020) نیز مشاهده شد با افزایش عمق، افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش کربن آلی خاک مورد توجه است.

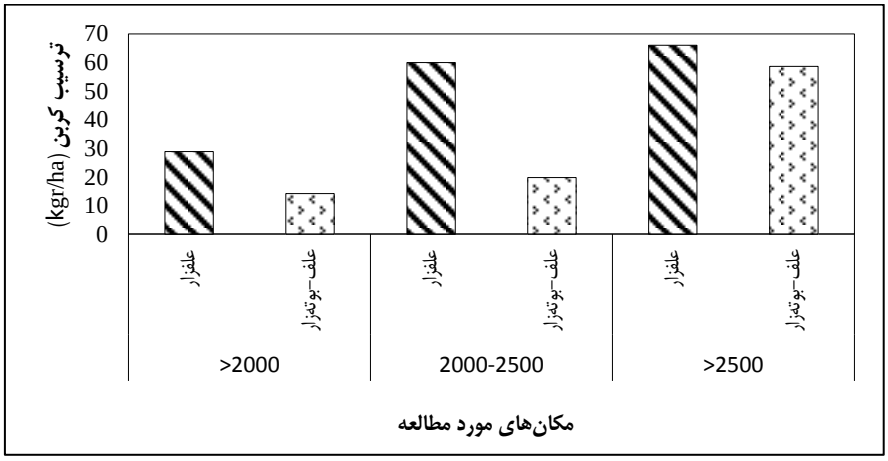
در مطالعهٔ حاضر رویشگاه‌های مختلف با دو عمق خاک متفاوت در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه از نظر میزان ترسیب کربن نیز اختلاف معناداری ($p<۰/۰۱$) نشان دادند. به این صورت که بیش‌ترین مقدار ترسیب کربن در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک رویشگاه علف‌زار در طبقهٔ ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر (۷۰/۵۳ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک رویشگاه علف-بوته‌زار در طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۰۰۰ متر (۱۱/۵۳ کیلوگرم در هکتار) دیده می‌شود (جدول ۴). همان‌طور که Feizi et al. (2020) در منطقهٔ بجستان خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که میانگین مقدار کربن آلی و ذخیرهٔ کربن آلی خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک بیش‌تر است که می‌تواند به‌دلیل وجود مقادیر بیش‌تر کاه و کلش و کود حیوانی، پوشش گیاهی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در لایهٔ سطحی خاک باشد. این امر با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات Deng et al. (2018) نیز هم‌خوانی دارد. هم‌چنین، با توجه به ذخیرهٔ قسمت عمدهٔ کربن خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک، می‌توان گفت که این فرآیند می‌تواند کمک شایانی جهت افزایش حاصلخیزی، بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش خاک باشد (Varamesh et al., 2011). هم‌چنین، نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن در هر سه طبقهٔ ارتفاعی مورد مطالعه، در رویشگاه علفزار بیش‌تر از رویشگاه علف-بوته‌زار است (شکل ۲).

جدول ٤- مقایسهٔ میانگین ترسیب کربن خاک بر اساس رویشگاه مرتعی، طبقات ارتفاعی و عمق خاک

Table 4- Comparison of average soil carbon sequestration based on rangeland habitat, elevation classes, and soil depth

طبقات ارتفاعی (متر)	رویشگاه	عمق خاک (سانتی‌متر)	ترسیب کربن (کیلوگرم در هکتار)
2000 >	علف‌زار	0-15	31.78^{d}
		15-30	24.81^{de}
	علف-بوته‌زار	0-15	16.89^{fg}
		15-30	11.53^{g}
2000-2500	علف‌زار	0-15	62.73^{ab}
		15-30	57.35^{bc}
	علف-بوته‌زار	0-15	21.18^{ef}
		15-30	18.44^{ef}
2500<	علف‌زار	0-15	70.53^{a}
		15-30	61.51^{b}
	علف-بوته‌زار	0-15	63.98^{ab}
		15-30	53.37^{c}
آمارهٔ F			18.37^{**}

**تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱ درصد، *تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵ درصد، ns عدم معناداری و حروف مشابه نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معناداری هستند.



شکل ۲- مقایسهٔ میزان ترسیب کربن در دو رویشگاه مورد مطالعه در هر طبقهٔ ارتفاعی

Figure 2- Comparison of the carbon sequestration in the two studied habitats in each altitude class

نتایج همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه با میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌ها و طبقات ارتفاعی مختلف حاکی از رابطهٔ منفی با درصد شن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک بوده و نشان‌دهندهٔ رابطهٔ مثبت بین کربن آلی خاک و سایر صفات مورد بررسی ($p<۰/۰۱$) بود. به‌عبارت دیگر ترسیب کربن خاک با خصوصیاتی مانند درصد رس و سیلت، درصد کربن آلی، درصد مادهٔ آلی، درصد کربن و مادهٔ آلی ذره‌ای و نیتروژن خاک رابطه مثبت داشته است (جدول ۵).

در مطالعه‌ای، Dieleman et al. (2013) الگوی افزایشی ترسیب کربن آلی با ارتفاع را در مناطق گرمسیری و چین گزارش کردند. هم‌چنین، Yousefian et al. (2014) نیز در تحقیق خود تحت عنوان اثر ارتفاع بر میزان ترسیب کربن گونه درمنه دشتی در مراتع کوهستانی کیاسر استان مازندران به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع، درصد پوشش تاجی، میزان زی‌توده و میزان ترسیب کربن زیاد می‌شود. هم‌چنین، نتایج حاصل بیان‌گر آن است که نوع رویشگاه نیز به‌طور معناداری بر توان ترسیب کربن خاک تأثیرگذارند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان ترسیب کربن خاک به‌ترتیب به رویشگاه‌های علف‌زار با ارتفاع بیش‌تر از ۲۵۰۰، علف‌زار در ارتفاع ۲۰۰۰–۲۵۰۰ و رویشگاه علف–بوته‌زار بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر تعلق داشتند. این نتیجه با تحقیق Azarnivand and Zare Chahooki (2010) که بیان کردند ارتفاع از سطح دریا یکی از مهم‌ترین عواملی است که به‌دلیل تأثیر در پارامترهای اقلیمی یک منطقه نظیر دما و بارش، دارای نقش مؤثری بر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی است، مطابقت دارد. در مطالعهٔ دیگری، Eshetu et al. (2020) در شمال شرقی اتیوپی به این نتیجه رسیدند که ذخیرهٔ کربن در ارتفاعات بالاتر، به‌دلیل زیاد بودن شیب تند و دستکاری کم‌تر توسط انسان، بیش‌تر اتفاق می‌افتد.

مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور، نقش بوم‌سازگان‌های مرتعی و به‌خصوص نقش بیش‌تر خصوصیات خاک را در امر ترسیب کربن تأیید می‌کنند. پوشش گیاهی نیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد اندازه‌گیری در مطالعات مرتع بوده و به‌عنوان یک شاخص اکولوژیکی و مدیریتی نقش مهمی را در بررسی‌های مرتع ایفا می‌کند (Mesdaghi, 2003). مقدار ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، تغییر کاربری اراضی، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیرهٔ قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post and Kwon, 2000). نتایج تحقیق حاضر مؤید آن است که درصد کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، ارتفاع، نیتروژن، کربن آلی ذره‌ای، درصد سیلت از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در رویشگاه‌های موردبررسی هستند. کربن آلی خاک نقش حیاتی در چرخهٔ کربن جهانی ایفا می‌کند و جزء مخازن بزرگ کربن در طولانی‌مدت به‌شمار می‌رود. توزیع ذخایر کربن بین زیست‌توده و خاک در میان بوم‌سازگان‌ها متفاوت است و تحت تأثیر ارتفاع متغیر است، به‌طوری‌که پتانسیل ترسیب کربن در گرادیان ارتفاعی بالا نسبت به گرادیان‌های پایین‌تر قابل‌توجه است (Gebrewahid et al., 2018). در مطالعه‌ای، Shaheena et al. (2017) که روی تأثیر ارتفاع بر ترسیب کربن در کشمیر انجام دادند، بیان کردند که فعالیت‌های انسانی و آتش‌سوزی‌ها در طول زمان منجر به از بین رفتن پوشش گیاهی و کیفیت خاک و در نتیجه مقدار ترسیب کربن شده است اما در همین مناطق بزرگ‌ترین پتانسیل افزایش ذخایر کربن با مدیریت و احیای مراتع تخریب‌شده و خاک‌ها به‌دست خواهد آمد.

جدول ۵- تحلیل همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده خاک و ترسیب کربن

Table 5- Correlation analysis between measured soil characteristics and carbon sequestration

	پوشش کل	ارتفاع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	مادهٔ آلی	کربن آلی ذره‌ای	مادهٔ آلی ذره‌ای	اسیدیته	هدایت الکتریکی	نیتروژن	وزن مخصوص	ترسیب کربن
پوشش کل	1													
ارتفاع	0.18**	1												
رس	0.14**	0.58**	1											
سیلت	0.04	0.21**	0.39**	1										
شن	-0.11**	-0.48**	-0.84**	-0.82**	1									
کربن آلی	0.27**	0.83**	0.65**	0.46**	-0.67**	1								
مادهٔ آلی	0.26**	0.82**	0.65**	0.47**	-0.67**	0.99**	1							
کربن آلی ذره‌ای	0.22**	0.78**	0.72**	0.44**	-0.69**	0.92**	0.92**	1						
ماده آلی ذره‌ای	0.23**	0.78**	0.72**	0.44**	0.70**	0.91**	0.91**	0.99**	1					
اسیدیته	-0.25**	-0.79**	-0.65**	-0.26**	0.55**	-0.84**	-0.84**	-0.79**	-0.79**	1				
هدایت الکتریکی	0.25	-0.02	0.36**	0.38**	-0.44**	0.29**	0.29**	0.28**	0.28**	-0.19**	1			
نیتروژن	0.13*	0.18**	0.04	0.19**	-0.13**	0.47**	0.47**	0.40**	0.39**	-0.43**	0.34**	1		
وزن مخصوص	0.006	-0.14**	-0.06	0.04	0.01	-0.18**	-0.18**	-0.18**	-0.17**	0.18**	0.03	-0.10**	1	
ترسیب کربن	0.27**	0.81**	0.66**	0.47**	-0.68**	0.98**	0.98**	0.90**	0.90**	-0.83**	-0.30**	0.46**	0.03**	1

** و * به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح ۵ و ۱ درصد هستند.

٤- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، با افزایش میـزان ارتفاع در دو رویشگاه مورد بررسی (علف‌زار و علف-بوته‌زار) کـربن ترسـیب‌شـده خـاک، افزایش پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد که افزایش توان ترسیب کربن در طبقات ارتفاعی بیش‌تر از ۲۵۰۰ متر و ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر به‌دلیل بالا بودن درصد پوشش، تراکم و زی‌تودهٔ تولیدی است که در نتیجه موقعیت خاص جغرافیایی، صعب‌العبور بودن و کاهش چرای دام در این طبقهٔ ارتفاعی به‌وجود می‌آید. در صورتی‌که به‌دلیل فعالیت‌های انسانی و سهولت دسترسی دام به طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر از ۲۵۰۰ متر و بهره‌برداری بیش‌تر از مراتع این طبقه و در نتیجه زیاد بودن فرسایش خاک که خود باعث کاهش حاصلخیزی خاک و از بین رفتن گونه‌های گیاهی می‌شود، میزان ترسیب کربن خاک در این طبقهٔ ارتفاعی کم‌تر است.

بر مبنای مقادیر کربن برآورد شده در رویشگاه‌های مورد مطالعه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد بیش‌تر بودن درصد تاج پوشش و تراکم باعث حفظ رطوبت بیش‌تر شده و از تبخیر جلوگیری می‌نماید، که به‌نوبهٔ خود می‌تواند بر میزان پوشش و تراکم مؤثر باشد. بنابراین، تأثیر رویشگاه گیاهی در طبقات ارتفاعی مختلف بر روی میزان تغییرات ترسیب کربن خاک، بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق تأیید می‌شود. به‌طوری‌که رویشگاه علف‌زار در طبقات ارتفاعی مختلف نسبت به رویشگاه علف-بوته‌زار تفاوت معنادار و مقدار بالاتری را در میزان ترسیب کربن خاک نشان داد. به‌طورکلی با توجه به نتایج این تحقیق پتانسیل ترسیب کربن برحسب رویشگاه و طبقات ارتفاعی متفاوت است؛ بنابراین، با شناخت بهتر این عوامل و بررسی عوامل مدیریتی که بر فرآیند ترسیب تأثیرگذار هستند، می‌توان در راستای تقویت ترسیب کربن و مدیریت پایدار مراتع گام برداشت.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی در قالب حمایت از پایان نامه‌های دانشجویی انجام گرفته است، که بدین وسیله تقدیر می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

اردوان قربانی: راهنمایی، مفهوم‌سازی، طراحی چهارچوب تحقیق، نگارش و بازبینی؛ **مهدی معمری:** راهنمایی، تجزیه و تحلیل داده، کنترل نتایج؛ **معصومه عباسی خالکی:** تدوین مقاله؛ **سیما لازمی زارع:** داده‌برداری میدانی، تجزیه و تحیل داده؛ **مهسا بقایی:** تجزیه و تحلیل داده‌ها و تدوین مقاله؛ **کاظم هاشمی مجد:** انجام آزمایش‌ها، **میکائیل بدرزاده:** مشاور، انجام آزمایش‌ها؛ **بهنام بهرامی:** مشاور و انجام تحقیق

منابع

آذرنیوند، حسین، جنیدی جعفری، حامد، زارع چاهوکی، محمدعلی، جعفری، محمد، و نیکو، شیما (۱۳۸۸). بررسی اثر چرای دام بر ترسیب کربن و ذخیره ازت در مراتع با گونه درمنه دشتی

(*Artemisia sieberi*) در استان سمنان. *مرتع*، ۳(۴)، ۶۱۰-۵۹۰. https://www.sid.ir/paper/136269/fa

آذرنیوند، حسین، و زارع چاهوکی، محمدعلی (۱۳۸۹). بوم‌شناسی مرتع. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۵ صفحه. https://iransrm.ir/book_treasure.php?mod=viewbook&book_id=25&slc_lang=fa&sid=1

ارزانی، حسین (۱۳۷۶). طرح ملی ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۶۵ صفحه.

اسدالهی، طناز، حجازی، رخشاد، و موگویی، رکسانا (۱۴۰۰). مروری بر مفهوم ترسیب کربن از دیدگاه مدل کربن در نرم‌افزار InVEST، ششمین همایش بین‌المللی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، دانشگاه تهران. https://civilica.com/doc/1237007

جنیدی جعفری، حامد (۱۳۸۸). بررسی تأثیر برخی عوامل بوم‌شناسی بر میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌های گونه درمنه دشتی (مطالعه موردی مراتع استان سمنان). رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه تهران.

حیدریان، شریفه، و قاسمی آقباش، فرهاد (۱۳۹۹). بررسی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک در دو پارک شهری کوهدشت. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۱)، ۲۲۵-۲۱۵. dor:10.30495/jest.2020.11035

زارع چاهوکی، محمدعلی، قمی، ساره، آذرنیوند، حسین، و پیری صحراگرد، حسین (۱۳۸۸). بررسی رابطه تنوع گونه‌ها و عوامل محیطی (مطالعه موردی: مراتع آرتون، فشندک – طالقان). *مرتع*، ۳(۲)، ۱۸۱-۱۷۱. https://www.sid.ir/paper/136368/fa

عبدی، نوراله، مداح عارفی، حسن، زاهدی امیری، قوام‌الدین (۱۳۸۷). برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گون‌زارهای استان مرکزی (مطالعه موردی: منطقه مالمیر شهرستان شازند). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵(۲)، ۲۸۲-۲۶۹. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_103694.html

فیضی، حسن، ملکی، صدیقه، و پوزشی، رضا (۱۳۹۹). اثر پوشش‌های گیاهی بر ذخیره کربن آلی خاک و میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در کاربری‌های درازمدت، منطقه بجستان. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۸(۴)، ۱۹۶-۱۸۱. https://asr.urmia.ac.ir/article_121023.html

قربانی، اردوان، نظری عنبران، فریبا، اصغری، علی، عظیمی معطم، فرزانه، و مولایی، مریم (۱۳۹۷). تأثیر برخی عوامل بوم‌شناسی در انتشار پوشش گیاهی واحد فیزیونومی علف-بوته‌زار در گرادیان ارتفاعی فخرآباد-شابیل (شمال سبلان). *حفاظت زیست بوم گیاهان*، ۱۲، ۲۱۵-۲۳۸. https://pec.gonbad.ac.ir/article-1-230-fa.html

کرمی، لیلا (۱۳۹۳). تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سطوح ارتفاعی مختلف با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار در دامنه شمالی سبلان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه محقق اردبیلی. https://elmnet.ir/doc/10796764-52641

کرمی، مونا، رستمی، علی، و حیدری، مهدی (۱۳۹۸). ترسیب کربن و رابطه آن با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک توده طبیعی بلوط و جنگل‌کاری‌های شهرستان ایلام. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۱(۱۰)، ۱۹۷-۱۸۵. dor:10.22034/jest.2019.28047.3700

کوهستانی، نعمت‌اله، رستگار، شفق، حیدری، قدرت‌اله، شتایی جویباری، شعبان، و امیرنژاد، حمید (۱۴۰۰). پایش توزیع مکانی ترسیب کربن خاک طی چهار دهه تغییرات وضعیت پوشش اراضی مرتعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نورود استان مازندران)، *مرتع*، ۱۵(۲)، ۳۵۶-۳۴۴. http://rangelandsrm.ir/article-1-1043-fa.html

مرفع، مژگان (۱۳۹۲). ارتباط بین برخی خصوصیات پوشش گیاهی و خاک در سه رویشگاه علفزار، بوته‌زار و علفزار-بوته‌زار (مطالعه موردی: مراتع بلده نور). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه تربیت مدرس. https://www.virascience.com/thesis/595683

مصداقی، منصور (۱۳۸۲). مرتعداری در ایران. انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۳۳ صفحه. https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=28205&Field=0&DTC=101

مصلحی، مریم، حبشی، هاشم، رحمانی، رامین، سهرابی، هرمز، و ثاقب طالبی، خسرو (۱۳۹۶). کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در توده‌های مدیریت شده و مدیریت نشده راش-ممرز. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۹(۴)، ۴۵۰-۴۴۰. magiran.com/p1732943

مهدوی، سیده خدیجه، سندگل، عباسعلی، آذرنیوند، حسین، بابایی کفاکی، ساسان، جعفری، محمد، و مهدوی، فاطمه (۱۳۸۸). بررسی اثر تراکم آتریپلیکس لنتی‌فرمیس بر میزان ترسیب کربن و مقایسه آن با تراکم کشت آتریپلیکس در پروژه بوته‌کاری در مرتع (مطالعه موردی اصفهان)، *گیاه و زیست‌بوم*، ۱۷، ۲۹-۱۹. https://sid.ir/paper/145499/fa

نظری عنبران، فریبا (۱۳۹۳). بررسی ساختار ترکیب و تنوع گونه‌های مرتعی در دامنه‌های شمالی سبلان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه محقق اردبیلی. https://elmnet.ir/doc/10754381-3222

نقی‌پور، علی اصغر، حیدریان، مریم، و نصری، مسعود (۱۳۹۱). بررسی ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مراتع طبیعی و دست کاشت (مطالعه موردی: منطقه سیساب بجنورد)، *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۲۵(۱)، ۲۶-۲۰. https://www.sid.ir/paper/200595/fa

نقی‌پور، علی اصغر، و فرخ‌نیا، سحر (۱۳۹۶). اثر آتش‌سوزی بر ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مراتع نیمه‌استپی زاگرس مرکزی. *حفاظت زیست‌بوم گیاهان*، ۱۰(۱)، ۵۱-۳۹. http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-301-fa.html

ورامش، سعید، حسینی، سید محسن، و عبدی، نوراله (۱۳۹۰). تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر. *علوم خاک و آب*، ۲۵(۳)، ۱۹۶-۱۸۷. dor:10.22092/ijsr.2011.126482

یوسفیان، مائده (۱۳۹۹). نقش درمنه کوهی (*Artemisia aucheri*) در جذب کربن اتمسفری در مراتع استان سمنان. *نخبگان علوم و مهندسی*، ۵(۱)، ۲۱۴-۲۱۰. https://elitesjournal.ir/fa/page.php?rid=455

یوسفیان، مائده، تمرتاش، رضا، و طاطیان، محمدرضا (۱۳۹۳). بررسی اثر ارتفاع بر میزان ترسیب کربن گونه درمنه دشتی (*Atremisi sieberi* Besser) در مراتع کوهستانی کیاسر استان مازندران. *علوم و مهندسی محیط زیست*، ۱(۴)، ۷-۱. magiran.com/p1408044

References

Abdi, N., Maddah Arefi, H., & Zahedi Amiri, Gh. (2008). Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, *15*(2), 269-282 https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_103694.html. [In Persian]

Abel, G., Teshome, S., & Tesfaye, B. (2014). Forest carbon stocks in woody plants of Mount Zequalla Monastery and its variation along altitudinal gradient: implication of managing forests for climate change mitigation. *Science, Technology and Arts Research Journal*, *3*(2), 132-140. doi:10.4314/star.v3i2.17

Allen-Dias, B., Chapin, F.S., Diaz, S., Howden, M., Puigdefabregas, J., & Stafford Smith, M. (1996). Rangelands in a changing climate: impacts, adaptations and mitigation Pp. 131-158, In: *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Cambridge University Press.

Arzani, H. (1997). National plan for the evaluation of rangelands in different climatic regions of the country. Research institute of forests and rangelands, 65 pages. [In Persian]

Asadollahi, T., Hijazi, R., & Mogui, R. (2021). An overview of the concept of carbon sequestration from the point of view of the carbon model in InVEST software. Proceedings of the 6th International Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, University of Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/1237007. [In Persian]

Azarnivand, H., & Zare Chahooki, M.A. (2010). *Rangeland Ecology*, University of Tehran press, 345 pages. https://iransrm.ir/book_treasure.php?mod=viewbook&book_id=25&slc_lang=fa&sid=1. [In Persian]

Azarnivand, H., Joneidi Jafari, H., Zare Chahooki, M.A., Jafari, M., & Nikoo, S. (2009). Investigating the effect of livestock grazing on carbon sequestration and nitrogen storage in rangelands with Artemisia sieberi species in Semnan province. *Journal of Rangeland, 3*(4), 590-610. https://www.sid.ir/paper/136269/fa. [In Persian]

Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulkdensity in klute, methods of soils analysis. physical and mineralogical methods. *Soil Science Society of America*, *9*(1), 361-376. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=498675

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, *54*(5), 464-465. doi:10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

Branda˜o, M., Mila` i Canals, L., & Clift, R. (2011). Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA, *Biomass and Bioenergy*, *35*(6), 2323-2336. doi:10.1016/j.biombioe.2009.10.019

Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982) Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624. doi:10.4236/oalib.1100971

Carter, M.R., Angers, D.A., Gregorich, E.G., & Bolinder, M.A. (2003). Characterizing organic matter retention for surface soils in Eastern Canada using density and particle size fraction, Canadian Journal of Soil Science, *83*, 11-23. doi:10.4141/S01-087

Dar, J.A., & Sundarapandian, S. (2015). Variation of biomass and carbon pools with forest type in temperate forests of Kashmir Himalaya, India. *Environmental Monitoring and Assessment, 187*(2), 1–17. doi:10.1007/s10661-015-4299-7

Deng, L., Wang, K., Zhu, G., Liu, Y., Chen, L., & Shangguan, Z. (2018). Changes of soil carbon in five land use stages following 10 years of vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena, 171*, 185–192. doi;10.1016/j.catena.2018.07.014

Denboba, M.A. (2022). Grazing management and carbon sequestration in the dry lowland rangelands of Southern Ethiopia. *Sustainable Environment, 8*(1), 1-24. doi:10.1080/27658511.2022.2046959

Derner, J.D., & Schuman, G.E. (2007). Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. *Soil and Water Conservation*, *62*(2), 77-85. https://www.jswconline.org/content/62/2/77

Dieleman, W.I.J., Venter, M., Ramachandra, A., & Krockenberger, A.K. (2013). Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon

storage. *Geoderma, 204–205*, 59-67. doi:10.1016/j.geoderma.2013.04.005

Eshetu, E.Y., & Hailu, T.A. (2020). Carbon sequestration and elevational gradient: The case of Yegof mountain natural vegetation in North East, Ethiopia, implications for sustainable management. *Cogent Food and Agriculture, 6*, 1-15. doi:10.1080/23311932.2020.1733331

Feizi, H., Maleki, S., & Poozeshi, R. (2020). Impact of vegetation cover on soil carbon storage and CO_2 fixation in long-term land uses in Bajestan. *Applied Soil Research, 8*(4), 181-196. https://asr.urmia.ac.ir/article_121023.html. [in Persian]

Fu, B., Liu, S.L., Ma, M., & Zhu, Y. (2004). Relationships between soil characteristics, topography and diversity in heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing. *Plant and Soil, 261*, 47-54. doi:10.1023/B:PLSO.0000035567.97093.48

Gebrewahid, Y., Gebre-Egziabhier, T., Teka, K., & Birhane, E. (2018). Carbon stock potential of scattered trees on farmland along an altitudinal gradient in Tigray, Northern Ethiopia. *Ecological Processes, 40*(7), 1-8. doi:10.1186/s13717-018-0152-6

Ghorbani, A., Nazari Anbaran, F., Asghari, A., Azimi Motam, F., & Molaei, M. (2018). The effect of some ecological factors on the distribution of vegetation of the grass-shrubland physionomic unit on the Fakhr Abad-Shabil elevation gradient (Northern Sabalan). *Journal of Plant Ecosystem Conservation, 6*(12), 215-238. https://pec.gonbad.ac.ir/article-1-230-fa.html. [In Persian]

Gubena, A.F., & Soromessa, T. (2017). Variations in forest carbon stocks along environmental gradients in Egdu forest of Oromia region, Ethiopia: Implications for sustainable forest management. *American Journal of Environmental Protection, 6*(1), 1−8. doi:10.11648/j.ajeps.s.2017060101.11

Halvin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. 7th Edition: Pearson Educational, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 515 pages. https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1853101

Handayani, I.P., Widiastuti, H., Coyne, M.S., & Widawati, S. (2020). Soil organic carbon fractions in oil palm management systems. *Earth and Environmental Science, 583*, 1-8. doi:10.1088/1755-1315/583/1/012006

Heidarian, S., & Ghasemi Aghbash, F. (2020). Study of carbon sequestration in trees and soil in two urban parks of Kohdasht city. *Journal of Environmental Science and Technology (JEST), 22*(1), 215-225. doi:10.30495/jest.2020.11035. [In Persian]

Jinxum, L. (2005). Nitrogen controls on ecosystem carbon sequestration: a model implementation and application to Saskatchewan, Canada. *Journal of Ecological Modeling, 186*, 178-195. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.01.036

Joneidi Jafari, H. (2009). Investigating the effect of some ecological factors on the amount of carbon sequestration in the habitats of the desert species (a case study of the rangelands of Semnan province). Ph.D Thesis, University of Tehran. Tehran, Iran. [In Persian]

Karami, M., Rostami, A., & Heydari, M. (2019). Carbon sequestration and its relation with some physical and chemical characteristics in soil of natural oak forest and afforestations in Ilam county. *Journal of Environmental Science and Technology (JEST), 21*(10), 185-199. doi:10.22034/jest.2019.28047.3700. [In Persian]

Karami, L. (2014). Analysis of spatial changes of some physical and chemical properties of soil at different altitude levels using classical and geostatistical methods in the northern slopes of Sabalan, Master's Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. https://elmnet.ir/doc/10796764-52641. [In Persian]

Kobler, J., Zehetgruber, B., Dirnbock, T., Jandl, R., Mirtl, M., & Schindlbacher, A. (2019). Effects of aspect and altitude on carbon cycling processes in a temperate mountain forest catchment. *Landscape Biology, 34*, 325–340. doi:10.1007/s10980-019-00769-z

Kohestani, N., Rastgar, S., Heydari, G., Shetaee Jouibary, S., & Amirnejad, H. (2021). Monitoring the spatial distribution of soil carbon sequestration for four decades based on changes in rangeland vegetation conditions (Case study: Noorrud watershed in Mazandaran province). *Journal of Rangeland, 15*(2), 344-356. http://rangelandsrm.ir/article-1-1043-fa.html. [In Persian]

Lessmann, M., Ros, G.H., Young, M.D., & Vries, W.D. (2022). Global variation in soil carbon sequestration potential through improved cropland management. *Global Change Biology, 28*, 1162–1177. doi:10.1111/gcb.15954

Liu, Z., Shao, M., & Wang, Y. (2011). Effect of environmental factors on regional soil organic carbon stocks across the Loess Plateau region, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 142*, 184-194. doi:10.1016/j.agee.2011.05.002

Lu, L.G., & Ming, P.X. (2010). Effect of land-use conversion on C and N distribution in aggregate fractions of soils in the southern

Loess Plateau, China. *Land Use Policy, 27*, 706–712. doi:10.1007/s11284-006-0065-1

Mahdavi, Kh., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Babai Kafaki, S., Jafari, M., & Mahdavi, F. (2009). The investigation of the effect of row spacing *Atriplex lentiformis* on carbon sequestration and comparsion of row spacing *Atriplex lentiformis* in planting project in rangelands (case study Esfahan province). *Plant and Ecosystem, 17*, 19-29. https://sid.ir/paper/145499/fa. [In Persian]

Mckenzie, N., Ryan, P., Fogarty, P., & Wood, J. (2000). *Sampling measurement and analytical protocols for carbon sequestration in soil, litter and coarse woody debris*, Issue 14 of National Carbon Accounting System technical report, Australian Greenhouse Office, 40 pages.https://books.google.com/books/about/Sampling_Measurement_and_Analytical_Prot.html?id=-WAnnwEACAAJ

Mesdaghi, M. (2003). Range management in Iran. Astan Qods Razavi press, 333 pages https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=28205&Field=0&DTC=101. [In Persian]

Morfa, M. (2013). The relationship between some characteristics of vegetation and soil in three habitats: grassland, shrubland and grassland-shrubland (case study: Balade Noor pastures). Master's Thesis, Tarbiat Modares University https://www.virascience.com/thesis/595683/ [In Persian]

Moslehi, M., Habashi, H., Rahmani, R., Sohrabi, H., & Talebi, Kh. (2017). Organic carbon and soil organic carbon storage in managed and unmanaged rush-memmerz stands. *Environmental Science and Technology, 19*(4), 450-440 http://magiran.com/p1732943. [In Persian]

Naghipour, A., & Farokhnia, S. (2017). The effect of fire on carbon sequestration of soil and plant biomass in Semi-Steppe rangelands of Central Zagros region, Iran. *Journal of Plant Ecosystem Conservation, 10*, 39-51. http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-301-fa.html. [In Persian]

Naghipour, A., Heidarian, M., & Nasri, M. (2012). Investigation of carbon sequestration of soil and plant biomass in natural and planted rangelands (case study: Sisab Bojnord region), *Watershed Management Research Journal, 25*(1), 20-26. https://www.sid.ir/paper/200595/fa. [In Persian]

Nazari Anbaran, F. (2014). Examining the structure of the composition and diversity of rangeland species in the northern slopes of Sablan, Master's Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. https://elmnet.ir/doc/10754381-3222. [In Persian]

Nosetoo, M.D., Jobbagy, E.G., & Paruelo, J.M. (2006). Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia, *Journal of Arid Environments, 67*(1), 142-156. doi:10.1016/j.jaridenv.2005.12.008

Okon, M.A., Osuji, G.E., Uzoho, B.U., & Ahukaemere, G.M. (2014). Soil organic carbon storage as affected by physiographic positions ona caternary landscape in an ultisol in owerri. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry, 1*(2), 18-22. http://www.ijraf.org/v1-i2

Oztas, T., Koc, A., & Comakli, B. (2003). Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. *Journal of Arid Environments, 55*(1), 93-100. doi:10.1016/S0140-1963(02)00267-7

Parras-Alcantara, L., Lozano-Garcia, B., & Galan-Espejo, A. (2015). Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despeñaperros Natural Park, southern Spain. *Solid Earth, 6*, 125–134. doi:10.5194/se-6-125-2015

Post, W.M., & Kwon, K.C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. *Global Change Biology, 6*(3), 317-327. doi:10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x

Rustad, L., Campbell, J., Marion, G., Norby, R., Mitchell, M., Hartley, A., Cornelissen, J., & Gurevitch, J. (2001). A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia,126*, 543–562. doi:10.1007/s004420000544

Schuman, G.E., Janzen, H., & Herrick, J.E. (2002). Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution, 116*, 391- 396. doi:10.1016/S0269-7491(01)00215-9

Shaheena, H., Saeeda, Y., Abbasib, M.K., & Khaliq, A. (2017). Soil carbon stocks along an altitudinal gradient in different land-use categories in Lesser Himalayan Foothills of Kashmi. *Eurasian Soil Science, 50*(4), 432–437. doi:10.1134/S106422931704010X

Sheidaei, A.A., Xu, M., Naseer, I., & Khan, B. (2016). Altitudinal gradients of soil and vegetation carbon and nitrogen in a high-altitude nature reserve of Karakoram ranges. SpringerPlus, *320*(5), 1-14. doi:10.1186/s40064-016-1935-9

Shi, Y., Baumann, F., Ma, Y., Song, C., Uhn, P.K., Scholten, T., & He, J.S. (2012). Organic and inorganic carbon in the topsoil of the Mongolian and Tibetan grasslands: pattern, control and implications. *Biogeosciences, 9*, 2287–2299. doi:10.5194/bg-9-2287-2012

UNDP, (2000). Carbon sequestration in the decertified rangelands of Hossein Abad,

of Semnan province. *Journal of Science and Engineering Elites, 5*(1), 214-210 [In Persian]. https://elitesjournal.ir/fa/page.php?rid=455

Yousefian, M., Tamertash, R., & Tatian, M. (2014). Investigating the effect of altitude on the amount of carbon sequestration of *Atremisi sieberi* Besser in the mountain rangelands of Kiaser, Mazandaran province. *Journal of Environmental Science and Engineering, 1*(4), 1-7. https://magiran.com/p1408044 [In Persian]

Zare Chahooki, M.A., Qomi, S., Azarnivand, H., & Piri Sahragard, H. (2009). Investigating the relationship between species diversity and environmental factors (case study: rangelands of Arton, Fashandak - Taleghan). *Journal of Rangeland, 3*(2), 181-171 [In Persian]. https://www.sid.ir/paper/136368/fa

Zhong, B., & Wx, Y.J. (2009). Topographic effects on soil organic carbon in Louisiana Watersheds. *Environmental Management, 43*, 664-672. doi:10.1007/s00267-008-9182-7

through communit-based management, Program Coordination, 1-7pp. https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/IRN/00013110_Carbon%20sequestration%20in%20the%20desertified%20rangelands%20of%20Hossein%20Abbad.pdf

Varamesh, S., Hosseini, M., & Abdi, N. (2011). Effect of afforestation with broadleaf species on carbon sequestration in soil of chitgar Forest Park of Tehran. *Iranian Journal of Soil Research, 25*(3), 187-196. doi:10.22092/ijsr.2011.126482. [In Persian]

Wodajo, A., Mohammed Yusuf, M., & Tesfaye, M.A. (2020). Carbon stock variation along altitudinal and slope gradients in Gara–Muktar forest, West Hararghe zone, Eastern Ethiopia. *Forestry Research and Engineering: International Journal, 4*(1),17–26. doi:10.15406/freij.2020.04.0009

Yousefian, M. (2020). The role of *Artemisia aucher* in absorbing atmospheric carbon in rangelands