University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Investigating the ability of carbon sequestration by plant species located in the green space (Case study: Chadormalu Mining and Industrial Company)

Mostafa Shirmardi[1]✉ | Behrouz Tavakoli[2] | Mostafa Mirabzadeh Ardakani[3] | Zahra Rahmati Ahmadabad[4] | Neda Hemmat[5] | Mohammad Hasan Kargar Shouroki[6] | Matin Ehsani Ardakani[7]

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: shirmardi@ardakan.ac.ir
2. Support and infrastructure manager, Chadormalu Mining and Industrial Complex, Ardakan, Iran. E-mail: b.tavakili@gmail.com
3. Green space consultant of Chadormalu Mining and Industrial Complex, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: mostafamirabzade@ardakan.ac.ir
4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: z.rahmati1996@ardakan.ac.ir
5. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: hematneda5@ardakan.ac.ir
6. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: mh.kargar1375@ardakan.ac.ir
7. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran. E-mail: matinehsaniea@ardakan.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 05 June 2023

Received in revised form 31 July 2023

Accepted 05 August 2023

Published online 10 March 2024

Keywords:

Air quality,

Carbon dioxide (CO2),

Climate change,

Global warming,

Soil organic carbon.

ABSTRACT

One of the most important challenges in sustainable development is the increase in the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere, and the subsequent increase in the earth's temperature and climate change. Carbon sequestration by plants is a practical solution to reduce the concentration of CO_2 in the atmosphere. During the process of photosynthesis, atmospheric CO_2 is absorbed and stored as organic carbon. This study was conducted to measuring the amount of CO_2 sequestration in six plant species (Date palm, olive, oleander, eucalyptus, pine and haloxylon) that were cultivated in Chadormalu Mining and Industrial Company. In the soil section, a study was conducted as a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) and the amount of carbon sequestration was measured in seven uses (control area and six plants) and two depths (0-25 and 25-50 cm). The results of analysis of variance showed that the effect of land use, depth and their interaction was significant on the amount of sequestration ($P< 0.05$). The results showed that the carbon sequestration at 0-25 cm was significantly more than 25-50 cm and all plants had more carbon sequestration than the control area, significantly. Pine had the highest amount of sequestration in the soil (24.59 ton.h^{-1} of CO_2), which was significantly more than other plants. The amount of carbon sequestration in the leaves, roots and shoots of six plants was investigated based on a RCBD. The highest amount of sequestration was observed in litter, root and shoot of oleander, pine and date (31, 23.32, and 78.75 ton.h^{-1} of CO_2), respectively. The lowest amount of sequestration was observed in the litter, root and shoot of haloxylon (1.23, 1.94 and 19.6 ton.h^{-1} of CO_2, respectively). The results showed that the maximum amount of total carbon sequestration in the parts of the soil, litter, root and shoot observed in pine (161.39 ton.h^{-1}) that was significantly higher than other plants. The lowest amount of total carbon sequestration observed in the haloxylon (52.3 ton.h^{-1}). According to the results of this study, pine has the highest carbon dioxide sequestration capacity among the investigated plants and is recommended as a suitable plant for cultivation in the green space of similar areas. It seems that by choosing plants compatible with the climate, soil and water conditions of the region, while creating a suitable green space, it is possible to reduce the concentration of CO_2 in the atmosphere and improve the air quality.

Cite this article: Shirmardi, M., Tavakoli, B., Mirabzadeh Ardakani, M., Rahmati Ahmadabad, Z., Hemmat, N., Hasan Kargar Shouroki, M., & Ehsani Ardakani, M. (2024). Investigating the ability of carbon sequestration by plant species located in the green space (Case study: Chadormalu Mining and Industrial Company). *Journal of Natural Environment*, 76 (4), 619-630. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.360364.2567

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.360364.2567

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

بررسی قابلیت ترسیب کربن توسط گونه‌های گیاهی مستقر در فضای سبز (مطالعهٔ مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو)

مصطفی شیرمردی[۱]✉ | بهروز توکلی[۲] | مصطفی میراب‌زاده اردکانی[۳] | زهرا رحمتی احمدآباد[۴] | ندا همت[۵] | محمدحسن کارگر شورکی[۶] | متین احسانی اردکانی[۷]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: shirmardi@ardakan.ac.ir
۲. مدیر پشتیبانی و زیرساخت، مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو، اردکان، ایران. رایانامه: b.tavakili@gmail.com
۳. مشاور فضای سبز مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: mostafamirabzade@ardakan.ac.ir
۴. گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: z.rahmati1996@ardakan.ac.ir
۵. گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: hematneda5@ardakan.ac.ir
۶. گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: mh.kargar1375@ardakan.ac.ir
۷. گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: matinehsaniea@ardakan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
تغییر اقلیم،
دی‌اکسیدکربن،
کربن آلی خاک،
کیفیت هوا،
گرمایش جهانی.

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در توسعهٔ پایدار، افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن در اتمسفر و به‌دنبال افزایش دمای زمین و تغییر اقلیم می‌باشد. ترسیب کربن توسط گیاهان یک راهکار عملی برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌باشد. طی فرآیند فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن اتمسفر جذب و به‌صورت کربن آلی ذخیره می‌شود. این مطالعه با هدف اندازه‌گیری قابلیت ترسیب دی‌اکسیدکربن توسط شش گونهٔ گیاهی (خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس، کاج و تاغ) که در مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو اردکان کشت شده‌اند، انجام شد. در بخش خاک، مطالعه‌ای به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام و میزان ترسیب کربن در هفت کاربری (منطقهٔ شاهد و شش گیاه) و دو عمق (۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر کاربری، عمق و برهمکنش آن‌ها بر میزان ترسیب معنی‌دار بود ($P<0/05$). نتایج نشان داد که ترسیب کربن در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری به‌طور معنی‌داری بیش از عمق ۵۰-۲۵ بود و همهٔ گیاهان به‌طور معنی‌داری نسبت به منطقهٔ شاهد، ترسیب کربن بیشتری داشتند. کاج بیشترین میزان ترسیب در بخش خاک ($ton.h^{-1}$ ۲۴/۵۹ دی‌اکسیدکربن) را داشت که به‌طور معنی‌داری بیش از سایر گیاهان بود. میزان ترسیب کربن در لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی شش گیاه در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین میزان ترسیب در لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب در خرزهره، کاج و خرما (به‌ترتیب ۳۱، ۲۳/۳۲ و ۷۸/۷۵ $ton.h^{-1}$ دی‌اکسید کربن) مشاهده شد. کمترین میزان ترسیب کربن در لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی در تاغ (به‌ترتیب ۱/۲۳، ۱/۹۴ و ۱۹/۶ $ton.h^{-1}$ دی‌اکسیدکربن) مشاهده شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کل ترسیب کربن در بخش‌های خاک، لاشبرگ ریشه و اندام هوایی در کاج (۱۶۱/۳۹ $ton.h^{-1}$) نسبت به سایر گیاهان به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. کمترین مقدار کل ترسیب کربن در تاغ (۵۲/۳ $ton.h^{-1}$) مشاهده شد. با توجه به نتایج این مطالعه، از بین گیاهان مورد بررسی، کاج بالاترین توان ترسیب دی‌اکسیدکربن را داشته و به‌عنوان گیاه مناسب برای کشت در فضای سبز مناطق مشابه توصیه می‌گردد. به‌نظر می‌رسد با انتخاب گیاهان سازگار با شرایط اقلیمی، خاکی و آب منطقه، ضمن ایجاد فضای سبز مناسب، بتوان غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر را کاهش و باعث بهبود کیفیت هوا شد.

استناد: شیرمردی، مصطفی؛ توکلی، بهروز؛ میراب‌زاده اردکانی، مصطفی؛ رحمتی احمدآباد، زهرا؛ همت، ندا؛ کارگر شورکی، محمدحسن؛ و احسانی اردکانی،محسن (۱۴۰۲). بررسی قابلیت ترسیب کربن توسط گونه‌های گیاهی مستقر در فضای سبز (مطالعهٔ مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو). *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۴)، ۶۳۰-۶۱۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.360364.2567

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

مهم‌ترین چالش محیط‌زیستی قرن بیست و یکم، افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2) در اتمسفر و به‌دنبال آن افزایش دمای کرهٔ زمین و پدیدهٔ تغییر اقلیم می‌باشد (IPCC climate change, 2013). در دهه‌های اخیر، توسعهٔ صنایع در ایران و به‌ویژه در مناطق مرکزی مانند شهرستان اردکان، مصرف سوخت‌های فسیلی را به‌شدت افزایش داده است. استفاده از سوخت‌های فسیلی در صنایع و وسایل نقلیه، دلیل اصلی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌باشد، به‌طوری که ۶۶ درصد دی‌اکسیدکربن منتشر شده در جو، توسط احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Lal, 2004). به‌دلیل بروز نگرانی‌ها در زمینهٔ افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر و عوارض اقلیمی ناشی از آن، کشورهای جهان از جمله ایران طبق کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل و همچنین دستورالعمل کیوتو، به‌دنبال راهکارهایی جهت تعدیل غلظت گازهای گلخانه‌ای و محدود کردن انتشار آن‌ها می‌باشند (UNFCCC, 2010). از این‌رو، استفاده از روش‌هایی با کارایی مطلوب، جهت کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن و ایجاد پایداری در طبیعت، ضروری به‌نظر می‌رسد. روش‌های مختلفی جهت جذب و ترسیب دی‌اکسیدکربن وجود دارد اما برخی از روش‌ها مانند کاربرد فیلترها، هزینهٔ سنگینی در پی دارد. یکی از روش‌های کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر، استفاده از گیاهان جهت ترسیب دی‌اکسیدکربن می‌باشد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که گیاهان مختلف توان ترسیبی متفاوتی داشته و استفاده از گیاهان با توان ترسیبی بالا، در کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر اثربخش‌تر خواهد بود.

ترسیب کربن به‌معنای تبدیل دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر به ترکیب آلی طی فرآیند فتوسنتز می‌باشد (Lal, 2004). ترسیب کربن توسط گیاهان روشی عملی جهت کاهش دی‌اکسیدکربن هوا بوده که کربن را در اندام‌های مختلف گیاهی و همچنین خاک رسوب می‌دهد (William, 2002). عوامل مختلفی از جمله نوع گیاه، مدیریت و اقلیم بر ترسیب کربن مؤثر می‌باشد و به‌همین دلیل مطالعاتی در زمینهٔ ارزیابی توان ترسیب گیاهان در مناطق مختلف تحت کشت رویشگاه‌های طبیعی و دست‌کاشت صورت گرفته است (Rangel-Castro *et al*., 2005).

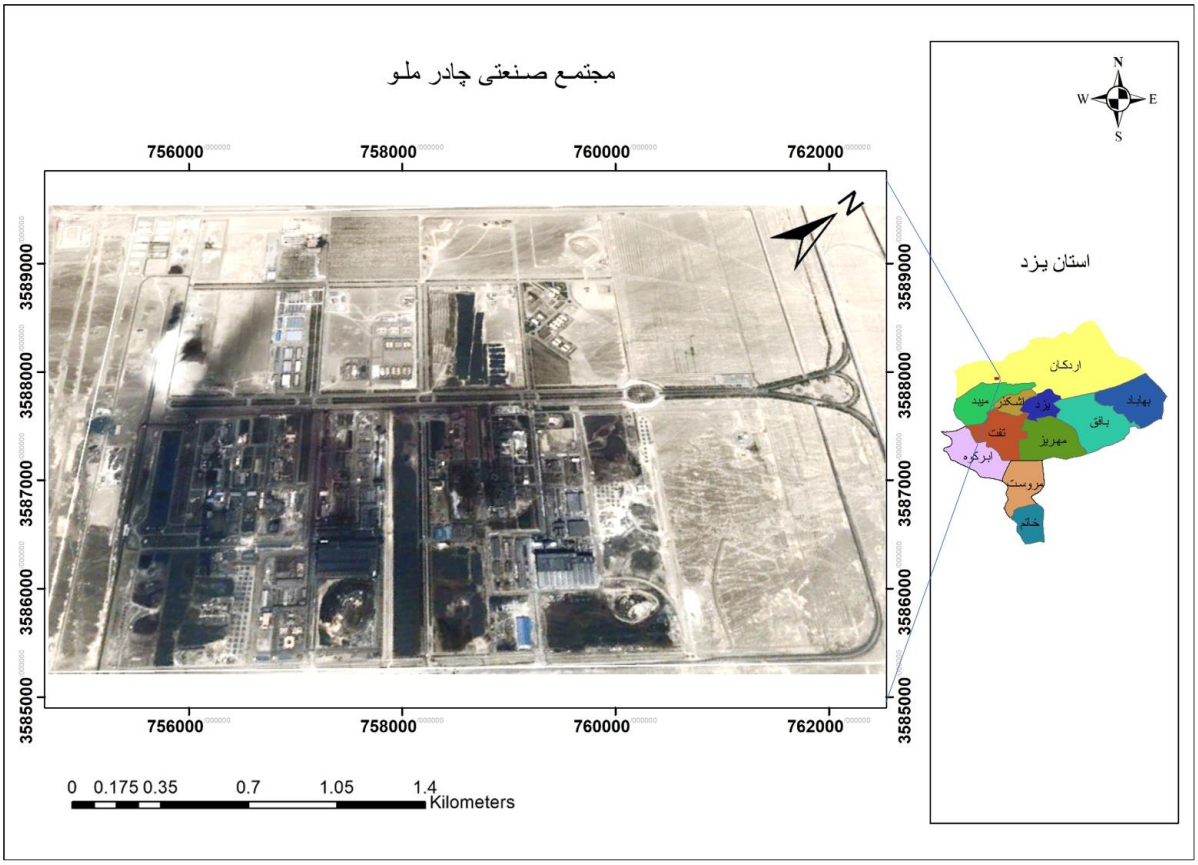
براساس مطالعه‌ای که بر روی گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در پارک جنگلی چیتگر انجام گرفت، گزارش شد که درخت‌کاری موجب افزایش میزان کربن خاک در منطقهٔ مورد مطالعه شد. در این مطالعه، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) نسبت به کاج تهران (*Pinus eldarica*) میزان ترسیب کربن بیشتری داشت (Varamesh *et al*., 2011). در مطالعه‌ای که روی اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis Dehnh*) و اکاسیا (*Acacia salicina Linda*) در جنگل‌های غرب فارس انجام گرفت، گزارش شد که میزان ترسیب کربن در گونهٔ اکاسیا بیش از اکالیپتوس بود (Bordbar and Mortazavi Jahromi, 2006). براساس نتایج تحقیقی، نشان داده شد که اثر گونه‌های جنگلی بیشتر از گونه‌های استپی می‌باشد و این عدد تا ۶ برابر نیز گزارش شده است (Kulakova, 2012). میزان ترسیب کربن توسط سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*) در مناطق جنگل‌کاری ذوب‌آهن اصفهان تعیین و گزارش شد که سرو نقره‌ای توان ترسیبی بالاتری نسبت به کاج تهران داشته و اندام چوبی بیشترین مقدار ترسیب را دارا بودند (Narimani *et al*., 2015). در تحقیقی در شهر نانجینگ کشور چین، میزان کربن آلی خاک در جنگل‌های طبیعی و مناطق کاج‌کاری شده مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که کربن آلی خاک در جنگل‌های طبیعی به‌طور معنی‌داری بیش از مناطق کاج‌کاری بود (Yuan *et al*., 2022). فعالیت‌های کشاورزی و کاشت گیاهان مختلف باعث جذب کربن از اتمسفر شده و هر چه زی‌تودهٔ تولیدی گیاهان بیشتر باشد، نقش بیشتری در ترسیب کربن دارند. بر این اساس، خصوصیات خاک مانند شوری و حاصلخیزی خاک تأثیر به‌سزایی بر رشد گیاهان و در نتیجه ترسیب کربن دارند (Kumara *et al*., 2023). در مطالعه‌ای میزان ترسیب کربن در کاربری کشاورزی، مرتع و نخلستان مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که بیشترین میزان ترسیب به‌ترتیب در ساقه، ریشه و برگ گیاهان هر کاربری مشاهده شد (Khordehbin *et al*., 2023). نوع کاربری و گیاه کشت شده تأثیر به‌سزایی بر میزان ترسیب کربن داشته و به‌همین دلیل انتخاب گیاه مناسب و منطبق با شرایط اقلیمی منطقه، منجر به ترسیب بیشتر کربن و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر می‌شود (Singh *et al*., 2013).

با توجه به اینکه در مناطق صنعتی انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن دارای اهمیت بوده و ترسیب کربن بسیار ضروری می‌باشد و نظر به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در شرکت معدنی و صنعتی چادرملو به‌عنوان یک شرکت مهم در صنعت فولاد ایران صورت نگرفته است؛ بنابراین مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی توان ترسیب کربن در شش گیاه شامل کاج، خرزهره، خرما،

اکالیپتوس، تاغ و زیتون در بخش خاک، لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی گیاه صورت گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: شرکت معدنی و صنعتی چادرملو در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان اردکان در استان یزد و با موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۳ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۲ ثانیهٔ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه دشتی نسبتاً هموار بوده که در ارتفاع تقریبی ۱۵۰۰ متر از سطح دریا با متوسط دمای سالیانهٔ ۱۹ درجهٔ سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۶۴/۹ میلی‌متر می‌باشد. فعالیت شرکت در زمینهٔ تولید کنسانتره از سنگ آهن، گندله و محصولات فولادی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی شرکت صنعتی و معدنی چادرملو اردکان

گیاهان مورد مطالعه: در این مطالعه، قابلیت ترسیب کربن توسط شش گیاه مستقر در فضای سبز شرکت صنعتی و معدنی چادرملو مورد بررسی قرار گرفت که اسامی علمی گیاهان مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. زیتون، خرما، اکالیپتوس و کاج گونهٔ درختی و خرزهره و تاغ گونه درختچه‌ای می‌باشند.

نمونه‌برداری از خاک و تعیین ویژگی‌های مورد نیاز: پس از بازدید از منطقه و شناسایی دقیق موقعیت مکانی اراضی تحت کشت خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس، کاج و تاغ، به روش تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. بدین‌منظور، در سایه‌انداز گیاهان، از دو عمق ۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت. برای هر گیاه در هر عمق، سه نمونه خاک به‌عنوان سه تکرار تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است که برای هر تکرار، از نقاط مختلف هر کاربری نمونه‌برداری صورت گرفت، نمونه‌ها با هم مخلوط و از آن یک نمونه جدا و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها، از الک دو میلی‌متر عبور داده و درصد سنگریزه تعیین شد. وزن مخصوص ظاهری به روش استوانهٔ فلزی و کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک تعیین شدند (Soil Survey Staff, 1996).در نهایت با استفاده رابطهٔ ۱ میزان ترسیب کربن در هر عمق محاسبه شد (IPCC, 2003):

جدول ۱- اسامی علمی گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق

ردیف	نام علمی	نام گیاه
۱	*Olea europaea L.*	زیتون
۲	*Nerium oleander*	خرزهره
۳	*Phoenix dactylifera*	خرما
۴	*Haloxylon scoparium*	تاغ
۵	*Eucalyptus camaldulensis*	اکالیپتوس
۶	*Pinus mugo*	کاج

$$SOC = OC \times BD \times D \times (1 - C_{Frag.}) \times 10$$ رابطهٔ ۱

در این رابطه، SOC، OC، BD، D و $C_{Frag.}$: به‌ترتیب محتوای کربن آلی ($ton\ C\ ha^{-1}$)،کربن آلی خاک ($g\ kg^{-1}$)، وزن مخصوص ظاهری خاک ($ton\ m^{-3}$)، عمق خاک (m) و درصد سنگریزه می‌باشد. با توجه به اینکه ترسیب هر تن کربن معادل ترسیب ۳/۶۷ تن دی‌اکسیدکربن می‌باشد، مقادیر کربن آلی محاسبه شده در ضریب ۳/۶۷ ضرب و میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در هکتار محاسبه شد (Snyder *et al.*, 2009).

اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی جهت تعیین میزان ترسیب کربن: به‌منظور تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی در هر کاربری کوادرات ۵۰×۵۰ متر در نظر گرفته و تراکم گیاهان به روش آماربرداری صد در صد تعیین شد. سپس سه گیاه به‌صورت تصادفی انتخاب و از بخش‌های مختلف شامل اندام هوایی[1]، ریشه[2] و لاشبرگ[3] نمونه تهیه و پس از خشک شدن وزن آن‌ها تعیین شد. برای تهیهٔ لاشبرگ گیاهان مورد مطالعه، کل شاخ و برگ زیر تاج پوشش در کوادرات مشخص شده جمع‌آوری و پس از خشک شدن توزین شدند. با حفر پروفیل در ناحیهٔ گسترش ریشهٔ گیاه، ریشه‌های با قطر بیش از دو میلی‌متر از خاک جدا و پس از شستشو، نمونه‌ها خشک و وزن آن‌ها تعیین شد.

برای تعیین درصد کربن آلی در نمونه‌های گیاهی از روش احتراق در کورهٔ الکتریکی استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند و سپس دو گرم از نمونه درون کورهٔ الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت پنج ساعت قرار داده شد و سپس درصد خاکستر تعیین شد. در نهایت با استفاده از رابطهٔ ۲ درصد کربن آلی نمونه‌های گیاهی تعیین شد (Allen *et al.*, 1986). با داشتن وزن اندام هوایی، ریشه و لاشبرگ در واحد سطح و همچنین درصد کربن آلی در این سه بخش، مقدار ترسیب کربن در هکتار محاسبه و مقدار به‌دست آمده در ضریب ۳/۶۷ ضرب و میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در هکتار محاسبه شد (Snyder *et al.*, 2009).

$$C\ (\%) = (100 - \%Ash) \times 0.58$$ رابطهٔ ۲

آنالیز آماری داده‌ها: به‌منظور انجام آنالیز واریانس داده‌ها، ابتدا تست نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف انجام شد. سپس آنالیز واریانس داده‌های کربن آلی بخش خاک، در دو عمق و هفت کاربری (شامل منطقهٔ شاهد (منطقهٔ عاری از پوشش گیاهی)، اراضی تحت کشت خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس، کاج و تاغ) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در ارتباط با داده‌های لاشبرگ، ریشه، اندام هوایی و کل ترسیب صورت گرفته نیز داده‌ها در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی مورد آنالیز قرار گرفتند.

[1] Shoot
[2] Root
[3] Litter

یافته‌های پژوهش

ترسیب کربن در بخش خاک: آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر عمق نمونه‌برداری و نوع کاربری بر میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در سطح یک درصد و تأثیر برهمکنش نوع کاربری و عمق بر ترسیب دی‌اکسیدکربن در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- آنالیزواریانس اثر نوع کاربری و عمق بر ترسیب ترسیب دی‌اکسیدکربن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات CO_2
تکرار	۲	^{ns}۱۵/۸۷
گیاه	۶	۲۵۳/۳۸**
عمق	۲	۵۹۰/۴۷**
گیاه × عمق	۶	۵۸/۳*
خطا	۲۶	۲۱/۰۷
کل	۴۱	
ضریب تغییرات (CV) (٪)		۲۲/۸۹

^{ns}، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار در سطح پنج درصد، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد CV: Coefficient of Variation

نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها به روش دانکن در سطح پنج درصد نشان داد که از بین هفت کاربری (شامل منطقهٔ شاهد (منطقهٔ عاری از پوشش گیاهی)، اراضی تحت کشت خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس، کاج و تاغ)، کمترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در منطقهٔ شاهد مشاهده شد. میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در مناطق تحت کشت خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس، کاج و تاغ به‌ترتیب ۲/۶۴، ۱/۳۱، ۴/۱۷، ۱/۹۸، ۳/۴ و ۲/۱ برابر منطقهٔ شاهد بود (شکل ۱-الف). مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که میزان ترسیب کربن در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۵۰-۲۵ سانتی‌متری به‌طور معنی‌داری افزایش داشته است (۶۴/۶۵ درصد افزایش) (شکل ۱-ب). مقایسهٔ میانگین برهمکنش عمق و نوع کاربری نشان داد که در کاربری‌های شاهد، خرما و خرزهره با افزایش عمق تغییر معنی‌داری در میزان ترسیب کربن رخ نداد. این در حالی است که در کاربری‌های زیتون، کاج، اکالیپتوس و تاغ با افزایش عمق، میزان ترسیب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری تحت کشت کاج مشاهده شد که نسبت به دیگر کاربری‌ها افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۱-ج).

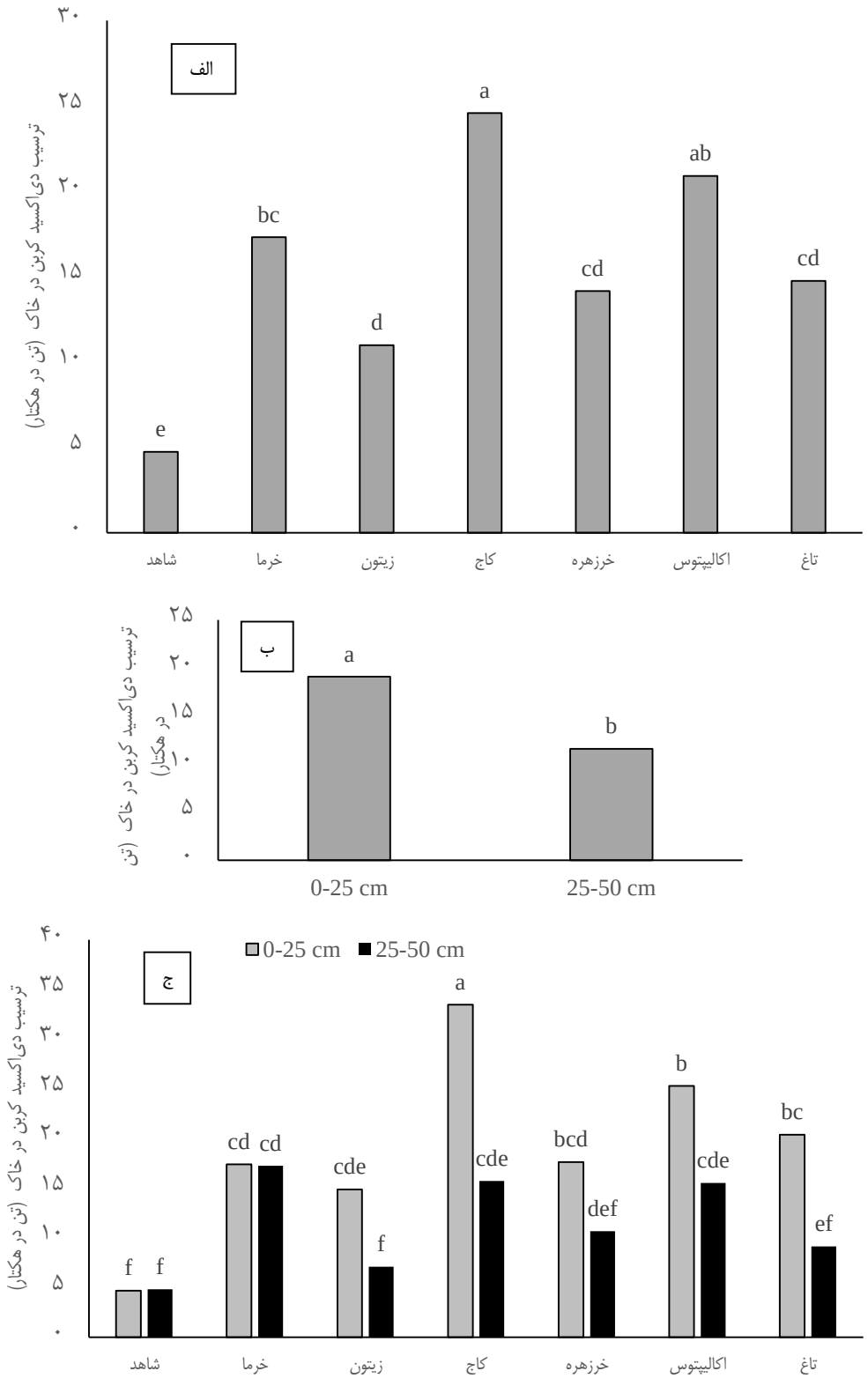
ترسیب کربن به تفکیک در بخش لاشبرگ، اندام هوایی و ریشهٔ گیاهان: آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع گیاه بر میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر نوع گیاه بر میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن به تفکیک بخش‌های مختلف گیاه شامل لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی در شکل ۲ ارائه شده است.

ترسیب دی‌اکسیدکربن در لاشبرگ: نتایج نشان داد که در بخش لاشبرگ، خرزهره با ترسیب ۳۱ تن در هکتار دی‌اکسیدکربن، بیشترین توان تثبیت دی‌اکسیدکربن را داشته که نسبت به سایر گیاهان افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد. بعد از خرزهره بیشترین میزان ترسیب مربوط به کاج (۱۰/۱۴ تن در هکتار) بود. بین زیتون (۸/۱۷ تن در هکتار) و اکالیپتوس (۷/۸۵ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و کمترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در لاشبرگ متعلق به خرما (۱/۹۲ تن در هکتار) و تاغ (۱/۲۳ تن در هکتار) بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۲-الف).

ترسیب دی‌اکسیدکربن در ریشهٔ گیاهان: نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش ریشه، متعلق به کاج (۲۳/۳۲ تن در هکتار) و کمترین میزان در تاغ (۱/۹۴ تن در هکتار) مشاهده شد. بعد از کاج، بیشترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش ریشه در زیتون (۱۲/۵۸ تن در هکتار) و خرزهره (۱۲/۴۵ تن در هکتار) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری بین این دو گیاه وجود نداشت. میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در خرما (۱۰/۷۷ تن در هکتار) نسبت به زیتون و خرزهره به‌طور معنی‌داری کمتر بود اما نسبت به اکالیپتوس (۹/۰۶ تن در هکتار)، افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۲-ب).

ترسیب دی‌اکسیدکربن در اندام هوایی گیاهان: در ارتباط با میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه،



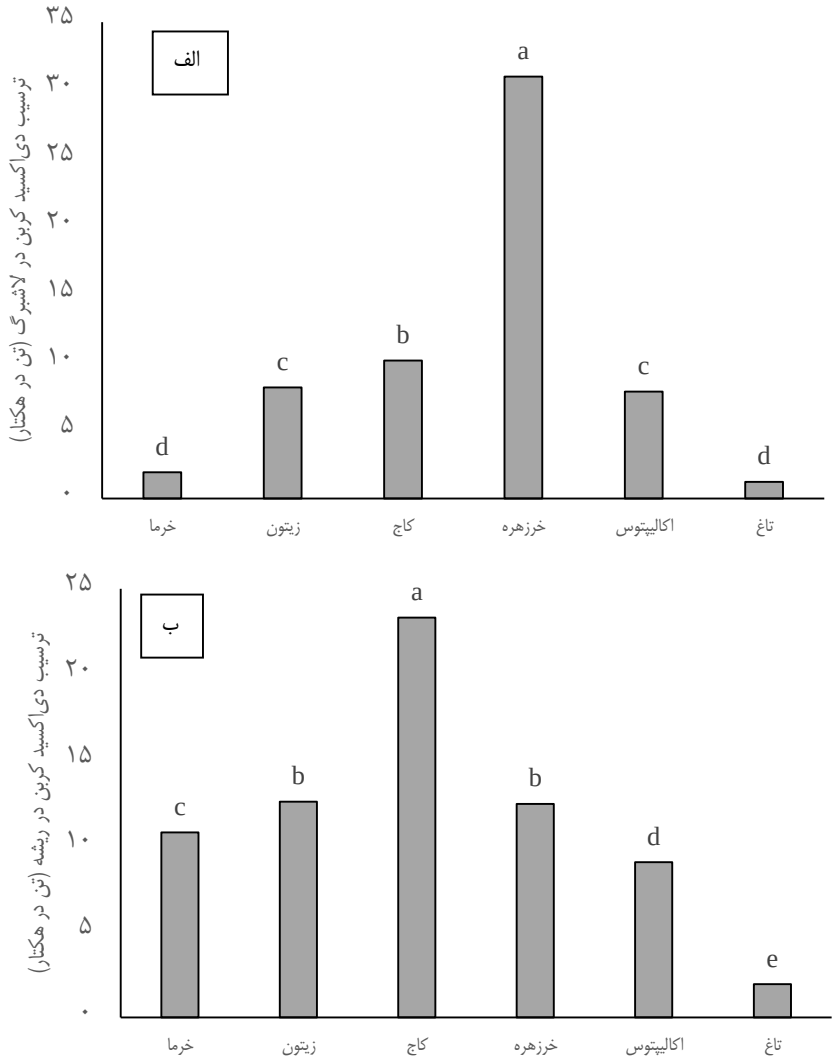
شکل ۱- مقایسهٔ میانگین اثر نوع گیاه (الف)، عمق (ب) و برهمکنش گیاه و عمق (ج) بر شاخص میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در هفت و در سطح پنج درصد انجام شد و وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود LSDکاربری مختلف. مقایسهٔ میانگین به روش تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسهٔ میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین میزان ترسیب به‌ترتیب در خرما و تاغ به میزان ۹۸/۶۱ و ۱۹/۶ تن در هکتار مشاهده شد. بعد از کاج بیشترین میزان ترسیب به‌ترتیب در کاج و زیتون به میزان ۷۸/۷۵ و ۷۵/۰۶ تن در هکتار مشاهده شد که

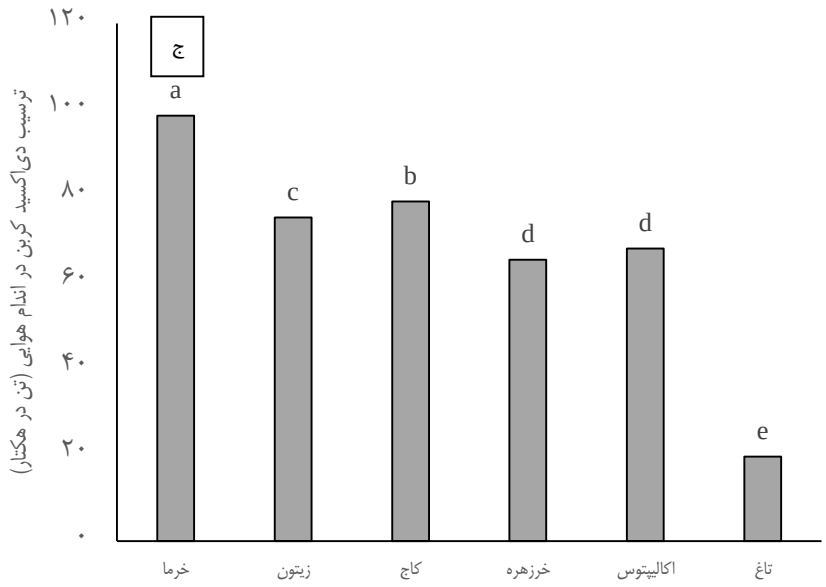
جدول ۳- آنالیزواریانس اثر گیاه بر ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ترسیب CO_2 در لاشبرگ	ترسیب CO_2 در ریشه	ترسیب CO_2 در اندام هوایی
تکرار	۲	^{ns}۰/۷۹	^{ns}۰/۰۲	^{ns}۱۱
گیاه	۵	۳۵۴/۶۴**	۱۴۳/۶۹**	۲۰۷۰/۷۸**
خطا	۱۰	۰/۵	۰/۰۲	۳/۳۳
کل	۱۷			
ضریب تغییرات (CV) (٪)		۱۷/۰۴	۱۱/۱۶	۱۲/۷

^{ns}، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار در سطح پنج درصد، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد CV: Coefficient of Variation



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین اثر نوع گیاه بر شاخص میزان ترسیب کربن در بخش‌های لاشبرگ (الف) و ریشه (ب) مقایسهٔ میانگین به روش LSD و در سطح پنج درصد انجام شد و وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۲- شکل ۲- مقایسهٔ میانگین اثر نوع گیاه بر شاخص میزان ترسیب کربن در بخش اندام هوایی (ج). مقایسهٔ میانگین به روش LSD و در سطح پنج درصد انجام شد و وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول٤- آنالیزواریانس اثر گیاه بر کل ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش‌های خاک، لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی

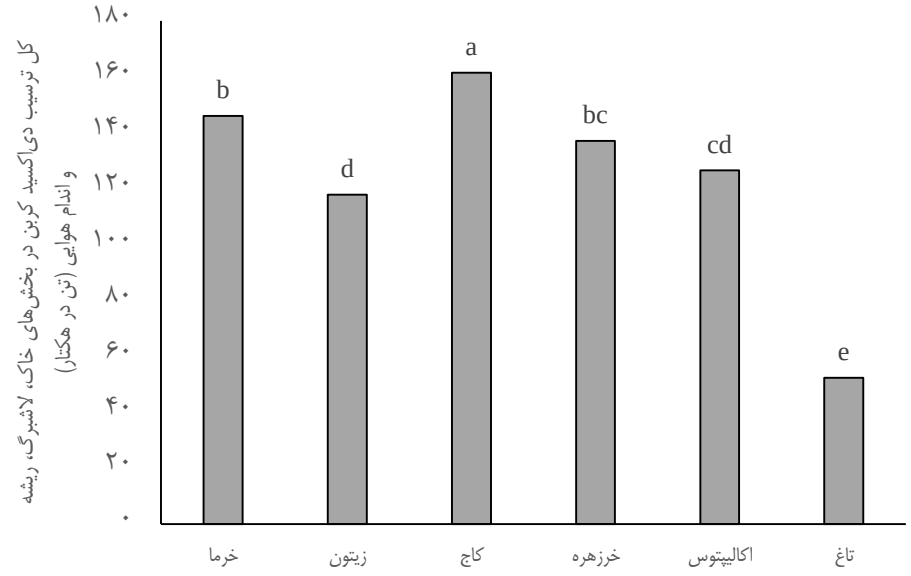
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات CO_2
تکرار	۲	۵۶/۴^{ns}
گیاه	۵	۴۳۴۱/۲۴**
خطا	۱۰	۵۱/۰۳
کل	۱۷	
ضریب تغییرات (٪)CV ( )		۱۵/۷۸

CV: Coefficient of Variation ^{ns}، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار در سطح پنج درصد، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

با هم تفاوت معنی‌دار داشتند. بین خرزهره (۶۵/۲۶ تن در هکتار) و اکالیپتوس (۶۷/۸۳ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری از نظر توان ترسیب مشاهده نشد ولی نسبت به تاغ افزایش معنی‌داری نشان دادند (شکل ۲-ج).

کل ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش‌های خاک، لاشبرگ، اندام هوایی و ریشهٔ گیاهان: نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که بین شش گیاه مورد مطالعه از نظر توان ترسیب دی‌اکسیدکربن تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۴).

نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها به روش دانکن حاکی از آن بود که بیشترین توان ترسیب دی‌اکسیدکربن متعلق به کاج بود که افزایش معنی‌داری نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه داشت به گونه‌ای که نسبت به خرما، زیتون، خرزهره، اکالیپتوس و تاغ به‌ترتیب ۱۰/۵۶، ۳۷، ۱۷/۷۷، ۲۷/۵۱ و ۲۰۸/۵۸ درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن در تاغ به میزان ۵۲/۳ تن در هکتار مشاهده شد. بین خرما و خرزهره تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین خرزهره و اکالیپتوس تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالی که میزان ترسیب در خرما و خرزهره به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از زیتون بود.



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر نوع گیاه بر میزان کل ترسیب کربن در بخش‌های لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی. مقایسهٔ میانگین به روش LSD و در سطح پنج درصد انجام شد و وجود حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه تعیین توان ترسیب کربن توسط کاج، خرزهره، خرما، اکالیپتوس، تاغ و زیتون در بخش خاک، لاشبرگ، ریشه و اندام هوایی بود. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این بود که میزان کربن آلی خاک در عمق سطحی (۲۵-۰) بیش از عمق تحتانی (۵۰-۲۵ سانتی‌متر) بود و همهٔ گیاهان مورد مطالعه منجر به افزایش کربن الی خاک سطحی نسبت به شاهد (منطقهٔ عاری از پوشش گیاهی) شدند. این امر می‌تواند به‌دلیل فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها و همچنین بقایای ترکیبات آلی اضافه شده به خاک توسط گیاهان در طول زمان باشد. در مطالعات دیگر نیز بالاتر بودن کربن آلی در لایه‌های سطحی خاک گزارش شده است (Ajami *et al.*, 2016; Deng *et al.*, 2018). تأثیر معنی‌دار عمق و نوع کاربری بر میزان کربن آلی خاک گزارش شده است (Deng *et al.*, 2018). نتایج این تحقیق نشان داد که از بین شش گیاه مورد مطالعه، کاج بالاترین میزان ترسیب دی‌اکسیدکربن را در بخش خاک به‌خود اختصاص داد، هر چند که تفاوت معنی‌داری در این بخش با اکالیپتوس نداشت. دلیل این امر را می‌توان به اضافه شدن بقایای آلی به خاک توسط گیاه، حجم ریشه و تولید ترشحات ریشه‌ای و اضافه شدن آن‌ها به خاک و همچنین سایه‌اندازی گیاه ذکر نمود.

در بخش لاشبرگ، نتایج نشان داد که خرزهره و کاج بالاترین میزان ترسیب را دارا بودند که این امر به‌دلیل وزن بالای بقایای گیاهی این دو گیاه روی سطح خاک در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه بود. در بخش ریشه نیز کاج بالاترین میزان ترسیب را داشت که ارتباط مستقیم با حجم و میزان توسعهٔ ریشه دارد. خرما با وجود آن‌که در بخش لاشبرگ و ریشه توان ترسیبی کمتری نسبت به کاج داشت اما در بخش اندام هوایی توان ترسیبی بالاتری نسبت به سایر گیاهان از خود نشان داد. در مطالعات متعددی گزارش شده است که گیاهان مختلف با فرم‌های رویشی متفاوت، از توانایی متفاوتی در ترسیب دی‌اکسیدکربن برخوردار می‌باشند (Ghanbarian *et al.*, 2015). گیاهان با خصوصیات رشدی متفاوتی که دارند قادرند مقدار قابل توجهی کربن را در بخش زی‌توده که شامل اندام هوایی، ریشه و لاشبرگ می‌باشد ذخیره کنند (Nobakht, 2010). در گزارشی بیان شده است که گیاهان با اندام‌های چوبی از توانایی بالاتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هر چه نسبت اندام چوبی در گیاه بیشتر باشد بر قابلیت ترسیب کربن در آن گیاه می‌افزاید (Baker, 2004; Foroozeh *et al.*, 2008). تراکم و همچنین فرم تاج پوشش بر میزان تابش خورشید و انتقال حرارت به سطح خاک و همچنین حفظ رطوبت تأثیرگذار بوده و از این طریق بر تجزیهٔ بقایای گیاهی و لاشبرگ مؤثر می‌باشد (Mathew *et al.*, 2020).

نوع کاربری اثر چشمگیری بر ترسیب دی‌اکسیدکربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته و انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب و سازگار با شرایط خاکی، آبی و اقلیمی منطقه دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (Singh *et al.*, 2013). علاوه بر این مقدار ترسیب در اندام‌های مختلف گیاهی متفاوت می‌باشد (Khordehbin *et al.*, 2023). با توجه به این موضوع که تولید زی‌توده گیاهی به منزلهٔ برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده از اتمسفر می‌باشد، انتخاب گونه‌های گیاهی که تولید زی‌تودهٔ بالاتری دارند به‌عنوان راهکاری جهت کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌شمار می‌رود (Khordehbin *et al.*, 2023). نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که منطقهٔ تحت کشت کاج از نظر مجموع ترسیب دی‌اکسیدکربن در بخش‌های خاک، لاشبرگ، اندام هوایی و ریشه بالاترین میزان ترسیب را در بین گیاهان مورد مطالعه داشت. He و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان داشتند که بخش‌های با بافت چوبی گیاه توانایی بیشتری در ترسیب کربن دارد و هر چه نسبت اندام‌های چوبی در گیاه بیشتر باشد توان ترسیبی بالاتری دارد که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد.

گیاهان طی عمل فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر را جذب و به‌صورت ترکیبات آلی در زی‌تودهٔ خود ترسیب می‌کنند و از طرفی باعث افزایش محتوای کربن آلی خاک می‌شوند. در نتیجه این فعالیت ضمن کاهش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن و ایجاد پایداری در طبیعت، با افزایش کربن آلی خاک اثرات مثبتی بر ویژگی‌های خاک داشته و باعث حاصلخیزی خاک می‌شوند. در مناطق صنعتی که تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن قابل توجه می‌باشد، با انتخاب گونهٔ گیاهی سازگار با شرایط منطقه که توان تولید زی‌توده مناسبی دارند، ضمن ایجاد فضای سبز، تأثیر چشمگیری در بهبود کیفیت هوا و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد. با توجه به نتایج این تحقیق، کاج با توان ترسیب بیش از ۱۶۰ $ton.h^{-1}$ دی‌اکسیدکربن و سازگاری خوب با شرایط کم آبی منطقه، گیاهی مناسب جهت کاشت در فضای سبز این منطقهٔ صنعتی دارد. از طرفی خرما و خرزهره نیز با توان ترسیب به‌ترتیب بیش از ۱۴۵ و ۱۳۷ $ton.h^{-1}$ و مقاومت بالا نسبت به شوری خاک، گیاهان مناسبی جهت کاربرد در بخش فضای سبز می‌باشند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مجتمع صنعتی و معدنی چادرملو اردکان، دانشگاه اردکان و بنیاد نخبگان استان یزد به‌خاطر حمایت‌ها و در اختیار قرار دادن امکانات و تجهیزات، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

References

Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., Ayoubi, S., 2016. Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran . Geoderma 281(1), 1-10.

Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Rowland, A.P., 1986. Chemical analysis: 285-344. In: Moore, P.D. and Chapman, S.B. (Eds.). Method in Plant Ecology. Blackwell Scientific Press, Oxford, London. 589 p.

Bordbar, S.K., Mortazavi Jahromi, M., 2006. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus comaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. Journal of Pajuhesh and Sazandegi 70(1), 95-103. (In Persian)

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(1), 185-192.

Foroozeh, M.R., Heshmati, G., Ghanbarian, G., Mesbah, H., 2008. Carbon sequestration comparison of *Helianthemum lippii* (L.) Pers. *Dendrostellera lessertii* (Wikstr.) Van Tiegh. and Artemisia sieberi Besser. in arid angelands of Iran (Case study: Garbaygan Fasa plain). Journal of Environmental Studies 34(46), 65-72. (In Persian)

Ghanbarian, G.A., Hassanli, A., Rajabi, V., 2015. Comparing potential carbon sequestration of different parts of mountain almond and grape plants and soil in Fars province. Journal of Natural Environment 68(2), 257-265.

He, J., Dai, Q., Xu, F., Peng, X., Yan, Y., 2021. Variability in Carbon Stocks across a Chronosequence of Masson Pine Plantations and the Trade-Off between Plant and Soil Systems. Forests 12(10), 1342.

IPCC Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, USA.

IPCC, 2003. Good practice guidance for land use, landuse change and forestry. In J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug , D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, & F. Wagner (Eds.). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan. ISBN 4-88788-003-0

Khordehbin, S., Hojati, S., Landi, A., Ahmadianfar, A., 2023. Investigating the balance and amount of organic carbon sequestered in different parts of plants in different land uses in Behbahan city, Khuzestan province. Journal of Natural Environment 76 (1), 161-171. (In Persian)

Khordehbin, S., Hojati, S., Landi, A., Ahmadianfar, I., 2023. Investigating the balance and amount of organic carbon sequestered in different parts of plants in different land uses in Behbahan city, Khuzestan province. Journal of Natural Environment 76(1), 161-171.

Kulakova, N., 2012. Impact of plant species on the formation of carbon and nitrogen stock in soils under semi-desert conditions. European Journal Forest Research 131(6), 1717-1726.

Kumara, K., Pal, S., Chand, P., Kandpal, A., 2023. Carbon sequestration potential of sustainable agricultural practices to mitigate climate change in Indian agriculture: A meta-analysis. Sustainable Production and Consumption 35(1), 697-708.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, Geoderma 123(1), 1- 22.

Mathew, I., Shimelis, H., Mutema, M., Minasny, B., Chaplot, V., 2020. Crops for increasing soil organic carbon stocks–A global meta analysis. Geoderma 367(1), 114230.

Narimani, H., Iran Nezhad Parizi, M.H., Kiani, B., Ghorbali, R., 2015. Effects of plantation with conifers on Carbon sequestration (Case study: Zob-e-Ahan company, Isfahan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research 23*(1), 53-63.

Nobakht, A., Poormajidian, M., Hojati, S., Fallah, A., 2010. Comparison between soil carbon sequestration in hardwood and coniferous forests (Case Study: Dahmian forestry project). Final research report. 11 p. (In Persian)

Rangel-Castro, J.I., Prosser, J.I., Ostle, N., Scrimgeour, C.M., Killham, K., Meharg, A.A., 2005. Flux and turnover of fixed carbon in soil microbial biomass of limed and unlimed plots of an upland grassland ecosystem. Environmental Microbiology 7(4), 544-552.

Singh, K.P., Ghoshal, N., Singh, S., 2013. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop roductivity in a tropical dryland agroecosystem: Influence of organic inputs of varying resource quality. Applied Soil Ecology 42(3), 243-253.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment 133(3-4), 247 -266.

Soil Survey Staff, 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, No. 42. Version 3.0, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

UNFCCC, 2010. United Nations Farmework Convention on Climate Change, UNEP/WMO. Available from http://www.unfccc.int. Accessed 21th September 2011.

Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., 2011. The effect of afforestation with broadleaf species on carbon sequestration in the soil of Chitgar Forest Park. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences) 25(3), 187-196. (In Persian)

William, E., 2002. Carbon dioxid fluxes in a semiarid environment with high carbonate soils. Journal of Agricultural Meteorology 116(1-2), 91-102.

Yuan, Z., Jin, X., Xiao, W., Wang, L., Sun, Y., Guan, Q., Meshack, A.O., 2022. Comparing soil organic carbon stock and fractions under natural secondary forest and *Pinus massoniana* plantation in subtropical China. Catena 212(5), 106092.