Original Article, Vol. 12, No. 3, Autumn, 2024, pp 1-14

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

The Effect of Afforestation with Diverse Species on Carbon Sequestration in Semi-Arid Areas of Kurdistan Province (Case Study: Sanandaj)

H. Joneidi[1*], M. A. Soofi[2], B. Gholinejad[3]

1.Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran & Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Graduated, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
* Corresponding Author: Hjoneidi@ut.ac.ir

Received date: 16/09/2024 **Accepted date: 24/10/2024**

10.22034/JDMAL.2024.2041263.1482

Abstract

This study aimed to evaluate the impact of afforestation with broadleaf, coniferous, and mixed species on carbon sequestration rates in 40-year-old afforested areas of the Sarnjianeh region, Sanandaj. The treatments included pure stands of *Cupressus sempervirens* and *Fraxinus rotundifolia*, as well as a mixed stand of *F. rotundifolia* and *Robinia pseudoacacia*. Soil samples (0–30 cm depth) were collected alongside measurements of aboveground, belowground, and litter biomass within the afforested stands and an adjacent rangeland. Carbon sequestration in the aboveground and belowground biomass, litter, and soil was quantified. Data analysis was performed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan's test in SPSS software. Results revealed that afforestation significantly enhanced organic carbon storage compared to rangelands. The total organic carbon storage in the control rangeland was 49.05 tons ha^{-1} yr^{-1}, which was significantly lower than the afforested stands. The highest organic carbon storage was observed in the *C. sempervirens* stand, at 95.26 tons ha^{-1} yr^{-1}. No significant difference was detected between the mixed stand (81.61 tons ha^{-1} yr^{-1}) and the *F. rotundifolia* stand (74.84 tons ha^{-1} yr^{-1}) regarding total organic carbon storage. The annual carbon sequestration rates per unit area were estimated at 1.11 tons ha^{-1} yr^{-1} for the *C. sempervirens* stand, 0.82 tons ha^{-1} yr^{-1} for the mixed stand, and 0.163 tons ha^{-1} yr^{-1} for the *F. rotundifolia* stand. The findings demonstrate that mixed-species afforestation promotes greater carbon sequestration compared to monoculture stands of Fraxinus due to species diversity. Furthermore, the study highlights the varying carbon sequestration potentials of different tree species. Coniferous species, such as *C. sempervirens*, exhibit higher carbon sequestration rates than broadleaf species, making them more suitable for semi-arid regions like Kurdistan Province. However, given that some conifers are non-native, careful consideration of their ecological impacts is essential when incorporating them into afforestation projects.

Keywords: Desertification; Carbon sequestration; Tree species; Soil protection; Greenhouse gases

How to cite this article
Joneidi, H., Soofi, M. A. and gholinejad, B. (2024). The Effect of Afforestation with Diverse Species on Carbon Sequestration in Semi-Arid Areas of Kurdistan Province (Case Study: Sanandaj). *Desert Management*, *12*(3), 1-14. DOI: 10.22034/JDMAL.2024.2041263.1482

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Extended Abstract

Introduction

The occurrence of climate change, desertification, and destruction of natural resources necessitates the use of afforestation to protect soil, water and atmospheric carbon sequestration (3). Arid and semi-arid areas are suitable options for conducting carbon sequestration operations. In many parts of the world, forestry projects in semi-arid areas have been widely used to restore destroyed ecosystems and control soil erosion (39). Numerous studies in Iran and worldwide have shown that afforestation with various species has a positive impact on the process of carbon sequestration and improving soil quality (3, 14, 31, 9, 16). The purpose of this research is to examine the impact of an afforestation project on the reserve and carbon sequestration levels in the 40-year-old afforested regions of the Seranjiane region of Sanandaj. Due to the differing carbon sequestration potential of tree species, this research is aimed at evaluating the capacity of forestry with broad-leaved, coniferous, and mixed species to sequester carbon in the ecosystem.

Material and Methods

Seranjiane Forestry - Dushan with an area of 96.7 hectares is located in the geographical longitude of 47° 0' 20" to 47° 1' 25" and latitude of 35° 13' 22" to 35° 14' 4" (Fig 1). Saranjayaneh Forest Park is a type of hand-planted forest park, which includes 40-year-old tree stands of pure *Fraxin*, pure *Cupressus* and mixed *Fraxinus* and *Robinia*. The control area is a natural rangeland that is next to the afforested area and has similar climate conditions and topography. The statistical method for determining sampling volume was used to calculate the appropriate number of sampling plots. The minimum area method was used to determine the appropriate plot size. Random-systematic sampling method was used to sample tree cover in each forest plot in the 6 plots measuring 20 x 10 square meters. In forestry stands and nearby rangeland, soil (0-30 cm depth), aboveground, underground, and litter biomass were sprayed using a random-systematic method. The amount of carbon sequestered in biomass (aerial and underground), litter, and soil was measured. The data was analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan's test by SPSS version 24 software.

Results

The findings revealed that afforestation has resulted in an increase in organic carbon storage compared to rangelands. The amount of organic carbon stored in rangelands, which is 49.05 tons per hectare, differs significantly from other treatments (Table 1). The cypress stand had the highest amount of organic carbon storage, which was 95.26 tons per hectare. The total amount of organic carbon stored per unit area in two mixed stands (81.61 tons per hectare) was not significantly different from that in sparrow's tongue (74.84 tons per hectare). Comparing the average carbon sequestration in underground biomass revealed that the mass of cypress with a carbon reserve of 0.25 tons per hectare exhibits a significant difference with a mixed mass of Fraxinus and rangeland at a level of 1% (Table 2). There was no discernible difference in the carbon reserves of the underground biomass between the other treatments and the rangeland. The comparison of the relative share of carbon sequestered in different forests revealed that there has been a significant increase in the average organic carbon storage compared to rangeland in all three forests. The highest amount of soil organic carbon (157.17 tons per hectare) was observed in the cypress forest. Calculating the Organic Carbon Reserves of the soil, it was calculated that there were 50.79 tons per hectare in the mixed mass and 27.76 tons per hectare in the Fraxinus mass. Rangeland was associated with the lowest amount of soil carbon deposition (48.50 tons per hectare). *Fraxinus* and two mixed stands had no significant differences in soil organic carbon reserves. The soil, plant biomass, and litter components in afforested stands and control rangeland revealed that the soil was the most important area for accumulating organic carbon storage in all the study treatments (Table 3).

Discussion and Conclusion

This research revealed that afforestation in the studied area has resulted in a significant increase in carbon sequestration in aerial, underground, and litter biomass. Carbon sequestration rates for Sanandaj in cypress, mixed cypress, and Fraxinus stands are 1.15, 0.82, and 0.63 tons per hectare per year, respectively. The results of the present study showed that the amount of carbon stored in the aboveground and underground parts of the forest stands was significantly higher than the control rangeland, but there was also a significant difference between the forest stands in terms of the carbon sequestration capacity in the aboveground parts. The highest biomass carbon storage was observed in the *C. sempervirens* stand, and the mixed stands and *F. rotundifolia* had similar capacities in this respect. This is due to the *C. sempervirens* species' resiliency to cold and drought

(24) and the low number of losses experienced by the *C. sempervirens* stand compared to the mixed stand and *F. rotundifolia*. This has resulted in an increase in plant biomass in the *C. sempervirens* stand and, consequently, an increase in the rate of carbon sequestration per unit area. Quantitative characteristics indicate that the *C. sempervirens* species is superior to the *R. pseudoacacia* species (20), as shown by research. In the soil sector, afforestation has also caused a significant increase in carbon sequestration compared to pasture, which was calculated to be 82.1% in the *C. sempervirens* stand, which was higher than in the mixed and *F. rotundifolia* stands. The amount of soil carbon sequestration in the mixed stand was 64% and in the *F. rotundifolia* stand was 51%. The amount of soil organic carbon reserves in ecosystems is affected by two factors: organic carbon input through plant biomass and organic carbon loss through decomposition (34). The greater the production capacity of aboveground and belowground biomass in different species, areas, and habitats, the greater the carbon storage in the tree trunk, litter, and soil. If the rate of factors leading to decomposition and loss of carbon from trees, litter, and soil is lower, the survival of carbon stored in ecosystems will increase and the amount of carbon sequestration will increase (21). Based on the findings, the accumulation of litter on the soil surface in the C sempervirens stand is deemed the primary factor responsible for elevating soil carbon sequestration. The C. Sempervirens species is the most suitable species for carbon sequestration in afforestation, as it can quickly grow, produce high litter volume, meet ecological needs appropriate for the region, and can withstand drought and cold condition. Planting trees in arid and semi-arid areas can lead to carbon sequestration in biomass (airborne and underground), litter, and soil, as evidenced by this outcome. In the study area, coniferous plants have a more significant impact on carbon sequestration than broad-leaved plants during afforestation. The research found that mixed cultivation has a more significant impact on carbon sequestration than pure Fraxinus cultivation because of the diversity of composition. Different tree species have different potentials for carbon sequestration. In the semi-arid regions of Kurdistan province and similar regions, coniferous species are the preferred option for carbon sequestration rates over broad-leaved species due to their lower water requirements.

Keywords: Desertification; Carbon sequestration; Tree species; Soil protection; Greenhouse gases

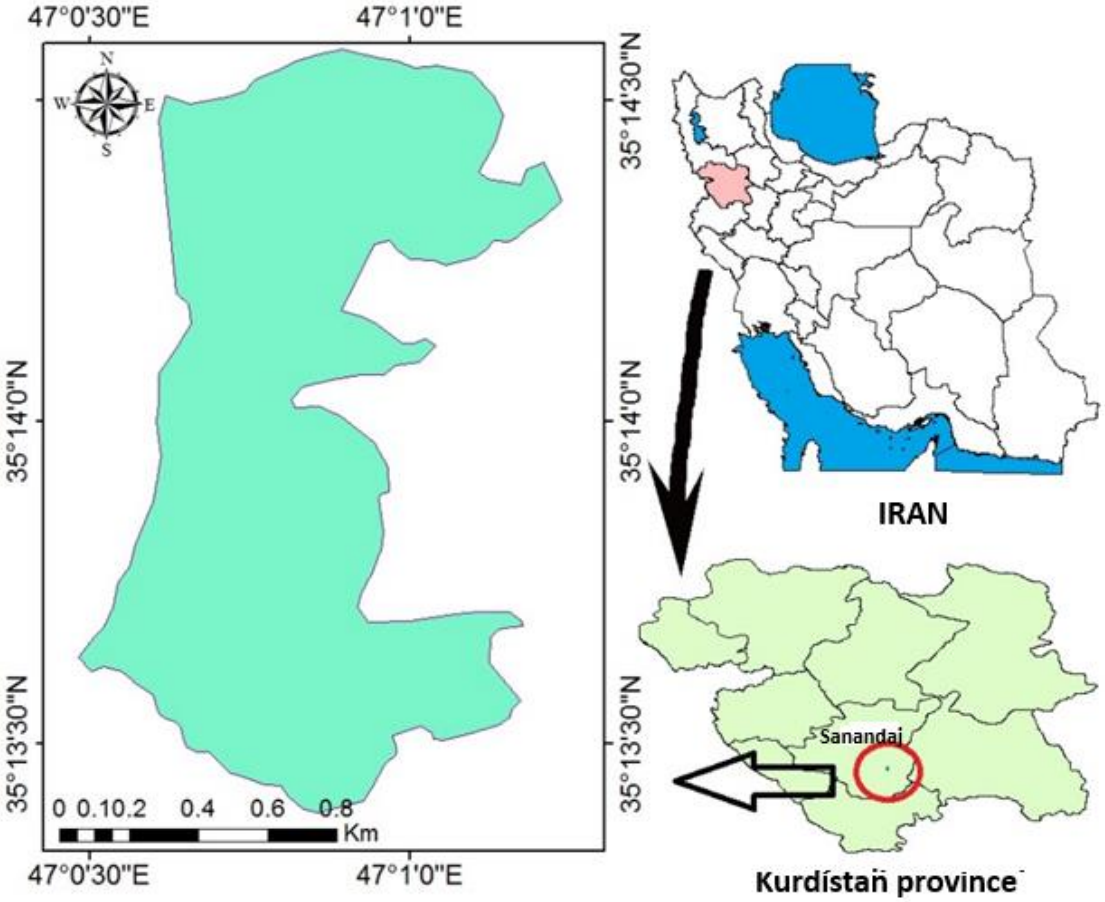


Fig 1. Location of the study area in Iran and Kurdistan Province

Table 1. Comparison of the mean (± standard deviation) amount of soil carbon sequestration in afforestation and rangeland

Treatment	Bulk density (gr /cm3)-1	Carbon sequestration (ton ha-1yr-1)
Rangeland	1.0±23.040 a	48.5±3.52 c
Mixed mass	1.0±17.01 a	79.50±10.65 b
C. sempervirens	1.0±18.03 a	157.17±8.89 a
F. rotundifolia	17.01± 1.0 a	76.27±5.73 b

Significant differences between means at 1% level are indicated by the different letters in each column

Table 2. Comparison of mean (± standard deviation) of carbon sequestration in different ecosystem segments in afforested and rangeland

Source of variation	Rangeland	Mixed mass	*C. sempervirens*	*F. rotundifolia*
Aboweground	0.35 ± 0.05^{c}	1.70 ± 0.0513^{b}	4.66 ± 0.45^{a}	1.14 ± 0.10^{b}
Root	0.10 ± 0.01^{b}	0.15 ± 0.02^{b}	0.25 ± 0.06^{a}	0.10 ± 0.01^{b}
Litter	0.10 ± 0.01^{b}	0.26 ± 0.06^{b}	1.18 ± 0.08^{a}	0.33 ± 0.04^{b}
Soil	48.50 ± 3.52^{c}	79.50 ± 10.65^{b}	89.17 ± 8.15^{a}	73.27 ± 5.76^{b}
Total	49.05 ± 5.11^{c}	81.61 ± 8.32^{b}	95.26 ± 10.43^{a}	74.84 ± 7.73^{b}

Significant differences between means at 1% level are indicated by the different letters in each column

Table 3. Comparison of the relative percentage of organic carbon sequestered in ecosystem components compared to the total ecosystem in planted forest stands and rangelands

Source of variation	Rangeland	Mixed mass	*C. sempervirens*	*F. rotundifolia*
Aboweground	2.0	2.0	4.9	1.5
Root	0.2	0.2	0.26	0.13
Litter	0.2	0.3	1.2	0.45
Soil	98.9	97.4	93.6	97.9
Total	100	100	100	100

مقاله پژوهشی، سال دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۱ تا ۱۴

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بر مقدار ترسیب کربن در منطقهٔ نیمه استپی سنندج

حامد جنیدی[۱*]، محمد امین صوفی[۲]، بهرام قلی نژاد[۳]

۱. دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران و دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۲. دانش آموخته گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: Hjoneidi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

doi 10.22034/JDMAL.2024.2041263.1482

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تاثیر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ، سوزنی‌برگ و آمیخته بر مقدار ذخیره و ترسیب کربن در عرصه‌های جنگل‌کاری شده ۴۰ سالهٔ منطقهٔ سرنجیانه سنندج انجام‌شد. تیمارهای بررسی‌شده در توده‌های ۴۰ ساله خالص سرو نقره‌ای (*Cupressus sempervirens* L.)، زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) و آمیخته (*F. rotundifolia*) و اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) همراه با مراتع مجاور شاهد انتخاب شد. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰cm، زیست توده‌هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ به‌صورت نظام‌مند-تصادفی در توده‌های جنگل‌کاری و مرتع مجاور انجام شد و مقدار کربن ترسیب شده در زیست‌تودهٔ اندام هوایی و زیرزمینی، لاشبرگ و خاک اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد جنگل‌کاری موجب افزایش ذخیره کربن آلی نسبت به مرتع شده است. مقدار ذخیرهٔ کربن آلی کل در مرتع شاهد با ۴۹/۰۵ton $ha^{-1}yr^{-1}$ دارای تفاوت معنی دار با توده‌های دیگراست. بیشترین مقدار ذخیره کربن آلی مربوط به توده *C. sempervirens* معادل ۹۵/۲۶ ton $ha^{-1}yr^{-1}$ بود. در توده آمیخته با مقدار ۸۱/۶۱ton $ha^{-1}yr^{-1}$ و توده *F. rotundifolia* معادل ۷۴/۸۴ton $ha^{-1}yr^{-1}$ تفاوت معنی‌داری از نظر ذخیره کل کربن آلی در واحد سطح مشاهده نشد. نرخ سالانهٔ ترسیب کربن در واحد سطح بوم‌سازگان جنگل‌کاری سرنجیانه سنندج در توده *C. sempervirens* ۱/۱۵ton $ha^{-1}yr^{-1}$، در توده آمیخته ۰/۸۲ ton $ha^{-1}yr^{-1}$ و در توده *F. rotundifolia* معادل ۰/۶۳ton $ha^{-1}yr^{-1}$ برآورد شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهد که توان ترسیب کربن در گونه‌های درختی مختلف با یکدیگر متفاوت است و در مناطق نیمه خشک استان کردستان و مناطق مشابه، کشت گونه‌های سوزنی برگ به دلیل نیاز آبی کمتر، نسبت به گونه‌های پهن برگ برای افزایش نرخ ترسیب کربن ارجحیت دارد. البته به دلیل غیر بومی بوده برخی از سوزنی برگان، در بکارگیری آنها در اجرای پروژه‌های جنگل‌کاری، دیگر جنبه‌های بوم‌شناختی کشت این گونه‌ها می‌باید مد نظر قرارگیرد.

واژگان کلیدی: ذخایر کربن آلی؛ گونه‌های درختی؛ حفاظت خاک؛ گازهای گلخانه‌ای

استناد به این مقاله

جنیدی، حامد، صوفی، محمد امین و قلی نژاد، بهرام، (۱۴۰۳). تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بر مقدار ترسیب کربن در منطقهٔ نیمه استپی سنندج. *مدیریت بیابان*، ۱۲(۳)، ۱۴-۱. DOI: 10.22034/JDMAL.2024.2041263.1482

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

با توجه به تغییر اقلیمی، شیوع پدیده بیابان‌زایی و روند نابودی و تخریب منابع طبیعی، جنگل‌کاری برای حفاظت از خاک، آب و ترسیب کربن مازاد اتمسفری امری ضروری است (۳). افزایش سطح جنگل‌ها از راه جنگل‌کاری در بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش آثار گرم شدن زمین، مورد توجه و تأکید قرار گرفته است (۲۹). منافع جنگل‌کاری، علاوه بر حفاظت آب و خاک، تلطیف هوا و تعدیل شرایط اقلیمی، منبع تولیدی و پارک گردشگری شامل ترسیب کربن دی‌اکسید می‌باشد (۱،۳۳).

جنگل‌کاری اصطلاحاً به ایجاد جنگل در زمین باز، یا زمینی که سابقاً در آن به زراعت می‌پرداختند و اینک به جنگل‌کاری و درخت‌کاری تخصیص داده شده، یا عرصه‌ای که پیش از این در آن جنگلی وجود نداشته و یا اگر وجود داشته است به دلایل گوناگون از بین رفته باشد اطلاق می‌شود (۱۵). در بسیاری از نقاط دنیا پروژه‌های جنگل‌کاری در مناطق نیمه‌خشک به‌طور گسترده‌ای برای احیای بوم‌سازگان تخریب شده و کنترل فرسایش به‌کار گرفته شده‌است (۳۹). پوشش گیاهی به‌عنوان بازیگر اصلی چرخه کربن است که این عملکرد به واسطه نقش آن در فتوسنتز، پویایی چرخهٔ تولید و تجزیه عناصر بین زیست توده، گیاه و خاک است (۳۵). ترسیب کربن در پوشش گیاهی و خاک‌های زیر آن ساده‌ترین و به لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش کربن اتمسفری محسوب می‌شود.

بررسی‌های متعدد در ایران و جهان بیانگر تأثیر مثبت جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف در فرآیند ترسیب کربن و افزایش کیفیت خاک است. نتایج جنگل‌کاری با گونه *Acer pseudoplatanu* L. در لاویج مازندران (۳)، کشت *Populus sp.* در خرم‌آباد (۱۴)، کشت گونه‌های مختلف سوزنی برگ و پهن برگ در مخملکوه خرم آباد(۳۱)، جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف در حسن اباد سنندج (۹)، نهال‌کاری با سیاه تاغ (*Haloxylon ammodendron* C.A.Mey) در اراضی خشک استان سمنان (۱۶،۱۹)، اجرای طرح‌های نهال‌کاری با *Atriplex canecens* در شهریار (۱۰) و جنگل‌کاری با *Quercus sp.* در استان ایلام (۱۸)، نمونه هایی از این دست هستند. بررسی که در یک عرصه جنگل‌کاری با *Eucalyptus sp.* در غرب استان فارس انجام‌شد، مقدار ذخیرهٔ‌کربن سالیانه در بخش پوشش گیاهی را $۷/۸ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ برآورد کرده است (۶).

جنگل‌های حاشیه مناطق شهری یکی از با ارزش‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی هستند که به دلیل ارتباط مستقیم با انسان و نیز کارکردهای متنوع خود از قبیل زیبایی منظر، ترسیب کربن جوّ، کاهش انواع آلودگی‌ها، تولید اکسیژن و تلطیف هوا ارزش قابل توجهی دارند (۲۸).

نکته لازم توجه اینکه پژوهش‌های متعدد نشان داده است که قابلیت ترسیب کربن در یک ناحیه برحسب نوع گونه های گیاهی کشت شده متفاوت است (۱۶،۱۸). مطالعه تأثیر نوع پوشش گیاهی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داده است که کمیت کربن آلی خاک بیش از سایر پارامترها تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار می‌گیرد (۳۰). به‌عنوان نمونه هرچند که گونه‌های تند رشد قادر اند مقدارهای زیادی از کربن آلی را در زمان کوتاه‌تری نسبت به گونه‌های کند رشد در زیست‌توده خود ترسیب کنند، اما در درازمدت گونه‌های کند رشد به دلیل داشتن توانایی در حفظ و انباشت کربن آلی برای مدت‌زمان بیشتر، در اولویت هستند (۸). از این‌رو انتخاب نوع گونه گیاهی برای اجرای پروژه های زیست مهندسی یکی از ابزارهای مدیریتی برای افزایش ذخیره و ترسیب کربن است و به همین دلیل ارزیابی کربن ترسیب شده در جوامع مختلف گیاهی یکی از موضوعات مهم پژوهشی در دنیا است (۳۱).

نتایج برخی پژوهش ها در استان فارس نشان داده است که از نظر توان ترسیب کربن، بوته کاری برخی از گونه ها بر بذر پاشی با گونه های دیگر اولویت دارد (۲۵). همچنین نتیجه پژوهش‌ها در مناطقی از استان مازندران بیانگر توان بیشتر گونه های سوزنی برگ نسبت به پهن برگ از نظر ترسیب کربن است (۱۳). بنابراین انتخاب دقیق نوع گونه در جنگل‌کاری می تواند ترسیب کربن را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد بدون اینکه پایداری در بوم‌سازگان به خطر بیفتد (۱۱).

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر جنگل‌کاری بر میزان ذخایر و ترسیب کربن در عرصه‌های جنگل‌کاری شده ۴۰ ساله از سال ۱۳۶۰ منطقه سرنجیانه سنندج،

انجام شده است. باتوجه به این که قابلیت ترسیب کربن در بین گونه‌های درختی متفاوت می‌باشد، هدف دیگر پژوهش حاضر ارزیابی کارایی جنگل‌کاری با گونه‌های پهن برگ، سوزنی برگ و آمیخته در ترسیب کربن بوم¬سازگان است.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

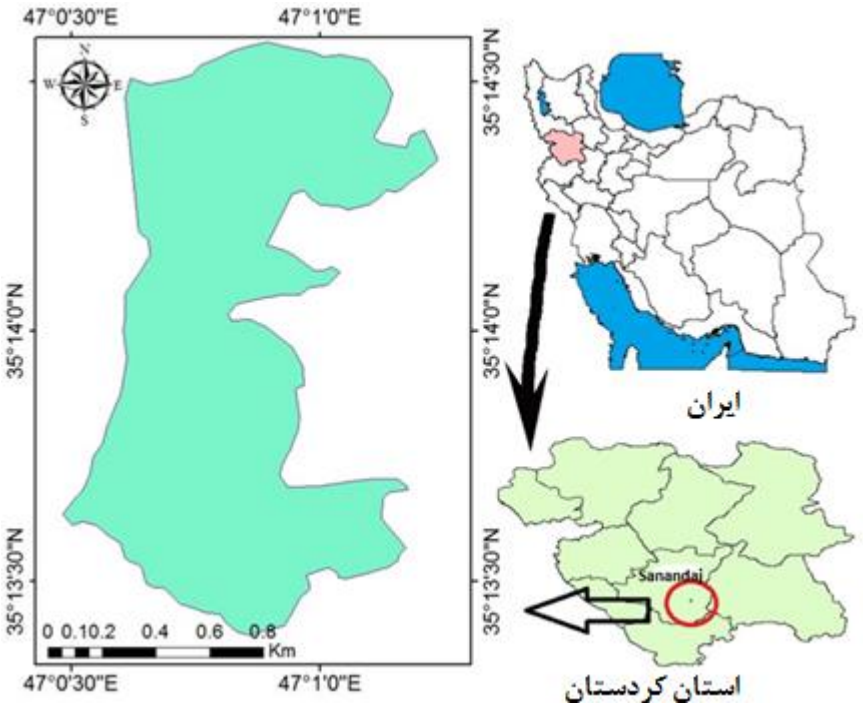
جنگل‌کاری سرنجیانه - دوشان با مساحت ۹۶/۷ha هکتار در طول جغرافیایی "۴۷°۰۰'۲۰ تا "۴۷°۰۱'۲۲ و عرض جغرافیایی "۳۵°۱۳'۲۲ تا "۳۵°۱۴'۰۴ و در حاشیه جاده ورودی شهر سنندج در فاصله ۲km محور اصلی جاده سنندج - کرمانشاه قرار گرفته است (شکل۱). سیمای کلی منطقه حالت تپه ماهور دارد و بیشنه و کمینه ارتفاع به ترتیب ۱۴۷۹ و ۱۳۸۸m از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارندگی و دما سالانه به ترتیب ۴۰۰mm و ۱۳/۳°C است. پارک جنگلی سرنجیانه از نوع پارک جنگلی دست کاشت است که توده‌های ۴۰ ساله درختی آن شامل: توده خالص *F. rotundifolia* ، توده‌خالص *C. sempervirens* و توده آمیخته *F. rotundifolia* و *R. pseudoacacia* می‌باشد. در مجاورت محدوده جنگلکاری شده مرتع طبیعی با تیپ بوته ای-علفی با شرایط اقلیمی و پستی‌بلندی مشابه به‌عنوان منطقه شاهد انتخاب شده است. لازم به ذکر است همه توده‌های جنگلی هم‌سن بودند و در یک زمان کشت شده‌اند و بنابراین سن همه پایه‌های کشت شده ۴۰ سال است.

روش‌کار

روش‌های نمونه‌برداری

نمونه‌برداری پوشش گیاهی و خاک مرتع

پس از شناسایی و تعیین مرز منطقه مورد بررسی، در سال ۱۴۰۱، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و لاشبرگ مرتع به روش نظام‌مند-تصادفی انجام شد. تعداد مناسب قطعه نمونه‌های نمونه‌برداری با استفاده از روش آماری تعیین حجم نمونه گیری محاسبه شد (۲۲). اندازه مناسب قطعه نمونه به روش سطح حداقل و معادل $1m^2$ تعیین شد (۲۴). نمونه‌برداری از زیست‌توده هوایی با استقرار ۴ ترانسکت با طول ۵۰m با فاصله ۱۰۰m از هم و موازی با جهت شیب انجام گرفت و جمعا ۴۰ قطعه نمونه مورد نمونه برداری قرار گرفت. در داخل هر قطعه نمونه لیست گونه‌های گیاهی موجود، درصد تاج پوشش، درصد سنگ و سنگ ریزه، درصد خاک لخت و لاشبرگ ثبت شد. برای برآورد بیومس هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ از روش اندازه‌گیری مستقیم استفاده شد (۲۳).



شکل۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کردستان

برای نمونه‌برداری از زیست‌توده اندام هوایی در طول هر نوار (ترانسکت) به‌طور تصادفی سه قطعه نمونه انتخاب شد. کل اندام‌های هوایی و لاشبرگ در هر قطعه نمونه به طور کامل جمع‌آوری و به طور جداگانه در کیسه پلاستیکی تهیه شده ریخته شد. بعد از برداشت اندام‌های هوایی و لاشبرگ، داخل هر قطعه نمونه چاله ای با ابعاد ۳۰cm×۳۰cm×۳۰cm حفر شد و از عمق صفر تا ۳۰cm از چهار وجه دیواره هر چاله نمونه‌برداری خاک صورت گرفت و در نهایت نمونه‌ها به آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان منتقل شد. نمونه‌های اندام هوایی و لاشبرک پس از خشک شدن در هوای آزاد با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک دهم گرم توزین و وزن آنها یاداشت‌شد.

روش‌نمونه‌برداری در اراضی جنگل‌کاری

نمونه‌برداری از پوشش درختی در هرتوده جنگل‌کاری با توجه به وسعت هر توده و یکنواختی محیطی با استفاده از روش تصادفی - سیستماتیک در قالب ۶ قطعه نمونه ۱۰m×۲۰m برای توده خالص *C. sempervirens*، توده خالص *F. rotundifolia* و توده آمیخته *R. pseudoacacia* - *F. rotundifolia* انجام شد.

برای محاسبه زیست‌توده در توده‌های جنگل‌کاری، درآغاز محاسبه حجم تنه، تاج پوشش، زیست توده هوایی و زیرزمینی درخت، از دستورالعمل (۱۲)، به‌شرح زیر بهره‌گیری‌شد:

سطح مقطع درخت با استفاده از رابطهٔ ۱، حجم درخت با استفاده از رابطهٔ ۲ و زیتوده تنه بر اساس رابطهٔ ۳ برحسب kg محاسبه شد (۱۲). ضریب شکل درخت بر اساس نوع گونه تعیین شد (۱۷). همچنین سطح مقطع پایه ها بر حسب نوع گونه و منابع موجود از ارتفاع متفاوتی اندازه‌گیری شد (۴).

$$A_b = \pi \times r^2 \quad (۱)$$

$$V = A_b \times H \times k_c \quad (۲)$$

$$Biomass = V \times WD \times 1000 \quad (۳)$$

که در آن:

π= ۳/۱۴

WD= چگالی (gr/cm3)

V= حجم درخت (m3)

X=سطح مقطع درخت در ارتفاع Ab (m^2)

r= شعاع درخت (m)

H= ارتفاع درخت (m)

Kc = ضریب شکل درخت ۰/۵۴ تا ۰/۵۱

در هر قطعه نمونه تعداد سه پایه درخت به صورت تصادفی انتخاب گردید و از هر پایه یک شاخه شامل برگ و ساقه قطع شد. شاخه‌ها به قطعات کوچکتر تقسیم شده و تعداد ۱۰ نمونه به طور تصادفی از آنها جدا گردید. اندازه طول، قطر میانه و قطر دو سر آنها ثبت گردید. و وزن آنها نیز با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس به قطعات کوچکتر ۵cm بریده شده و تعداد ۱۰ نمونه به صورت تصادفی از آنها برداشته و در داخل کیسه پلاستیکی قرارداده شد. برگ‌ها نیز از شاخه جدا شده به طور جداگانه در داخل کیسه پلاستیکی گذاشته شد. پس از آن نمونه‌ها برای اندازه‌گیری وزن سرپا در هکتار و متعاقب آن تعیین کربن آلی زیست‌توده هوایی به آزمایشگاه منتقل شد (۱۲).

به‌منظور نمونه‌برداری از اندام زیرزمینی، به هنگام حفر چاله خاک با ابعاد ۰/۳m×۰/۳ m ×۰/۳m در هر کدام از تیمارها، تمامی ریشه‌های موجود در هر چاله جمع‌آوری شده به طور جداگانه در داخل پاکت قرار داده و همراه با نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد.

برای تعیین مقدار کربن ترسیب شده در بخش لاشبرگ، نمونه‌برداری لاشبرگ در میکرو قطعه نمونه ۳۰cm ×۳۰cm هر پروفیل درسطح زمین انجام شده و لاشبرگ موجود در داخل میکروقطعه نمونه جمع‌آوری و به‌طور جداگانه در داخل پاکت قرار داده‌شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه خشک شده و وزن خشک شده هر نمونه پس از توزین بر روی پاکت آن یاداشت شد.

به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل درصد کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری در هر توده جنگل‌کاری در داخل هر قطعه نمونه تعداد ۳ پروفیل با ابعاد ۳۰cm × ۳۰cm × ۳۰cm جمعاً به تعداد ۱۸ پروفیل به طور تصادفی در زیر و خارج از پوشش تاجی درختان حفر شد و

از عمق صفر تا ۳۰cm از چهار وجه دیواره هر چاله نمونه‌گیری خاک انجام شد. نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک شد و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و ناخالصی‌ها، از الک ۲mm عبور داده شد. پس از آن وزن و درصد سنگ و ریشه و دیگر ناخالصی‌ها، در هر نمونه محاسبه شده و از وزن و درصد کل خاک کسر گردید (۵). جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (۷) ودرصد کربن آلی به روش والکی و بلک محاسبه شد (۲۲). برای تعیین کربن آلی نمونه‌های گیاهی از روش احتراق در کوره استفاده شد (۲۲).

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف – اسمیرنوف (۳۷) بررسی شد. برای بررسی و مقایسه میزان ترسیب کربن زیست‌توده گیاهی، خاک و لاشبرگ در دو تیمارهای مرتع و جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف از تحلیل واریانس یک‌طرفه و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. در پژوهش حاضر آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 24 انجام شد.

■ نتایج

ذخایرکربن و وزن مخصوص ظاهری

نتایج نشان داد که در هر سه توده جنگل‌کاری متوسط ذخایر کربن آلی در مقایسه با مرتع افزایش معنی‌داری داشته است. بیشترین مقدار کربن آلی ترسیب شده خاک معادل $157/17 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$در توده *C. sempervirens* مشاهده شد. ذخایر کربن آلی خاک در توده آمیخته $79/50 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ و در توده *F. rotundifolia* رقمی معادل $76/27 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ محاسبه شد. کمترین مقدار ترسیب کربن خاک معادل $48/50 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ مربوط به توده مرتعی بود. دو توده آمیخته و *F. rotundifolia* از نظر ذخایر کربن آلی خاک با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۱).

از نظر میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک بین هیچ یک از تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

ترسیب کربن زیتوده‌گیاهی و لاشبرگ

نتایج مقایسه میانگین مقادیر کربن ترسیب شده در اندام هوایی نشان داد که بیشترین مقدار کربن ترسیب شده مربوط به توده *C. sempervirens* معادل $4/66 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ بوده که با دیگر توده‌های کشت‌شده و مرتع مجاور دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد. مقدار کربن ذخیره شده در زیتوده‌گیاهی توده‌ی آمیخته$1/70 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ و در توده *F. rotundifolia* معادل $1/14 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ اندازه‌گیری شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر می‌باشند.

کمترین مقدار انباشت کربن در مرتع مجاور و به میزان $0/35 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ محاسبه شد که با همه توده‌های جنگلی دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد بود.

مقایسه میانگین ترسیب کربن در زیتوده زیرزمینی نشان‌داد که توده *C. sempervirens* با ذخیره کربنی معادل$0/25 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ تفاوت معنی‌دار با توده‌های آمیخته، *F. rotundifolia* و مرتع در سطح یک درصد دارد. در بین سایر توده‌ها و همچنین مرتع شاهد تفاوتی از نظر میزان ذخایر کربن اندام زیرزمینی مشاهده نشد. مقایسهٔ انباشت کربن آلی لاشبرگ نیز نشان داد که توده *C. sempervirens* با ذخیره‌ای معادل $1/18 ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ دارای اختلاف معنی‌دار با سایر توده‌ها و مرتع شاهد بوده و در سایر تیمارها تفاوتی از این نظر مشاهده نشد (جدول۲).

جدول ۱. مقایسه میانگین (± انحراف معیار) مقدار ترسیب کربن خاک در اثر توده‌های جنگل‌کاری و مرتع

تیمار	وزن مخصوص ظاهری $Bulk\ den(gr/cm^3)^{-1}$	ترسیب کربن $(ton\ ha^{-1}yr^{-1})$
مرتع	۱/۰±۲۳/۰۴a	۴۸/۵۰±۳/۵۲a
توده آمیخته	۱/۰±۱۷/۰۱a	۷۹/۵۰±۱۰/۶۵a
C. sempervirens	۱/۰±۱۸/۰۳ a	۱۵۷/۱۷±۸/۸۹c
F. rotundifolia	۱/۱۷±۰/۰۱ a	۷۶/۵±۲۷/۷۳ b

حروف متفاوت هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح یک درصد است.

جدول ۲. مقایسه میانگین (± انحراف معیار) مقادیر ذخیره کربن در بخش‌های مختلف بوم¬سازگان در توده‌های جنگل‌کاری و مرتع

منبع تغییرات	مرتع	آمیخته	سرو	زبان
اندام هوایی	۰/۳۵±۰/۰۵a	۱/۷۰±۰/۱۳ b	۴/۶۶±۰/۴۵۱ c	۱/۱۴±۰/۱۰b
ازیرزمین	۰/۱۰±۰/۰۱ a	۰/۱۵±۰/۰۲ a	۰/۲۵±۰/۰۶ b	۰/۱۰±۰/۰۱a
لاشبرگ	۰/۱۰±۰/۰۱ a	/۲۶±۰/۰۶ a	۱/۱۸±۰/۰۸ b	۰/۳۳±۰/۰۴a
خاک	۴۸/۵۰±۳/۵۲ a	۷۹/۵۰±۱۰/۶۵b	۸۹/۱۷±۸/۱۵c	۷۳/۲۷±5/76 b
کل	۴۹/۰۵±۵/۱۱a	۸۱/۶۱±۸/۳۲ b	۹۵/۲۶±۱۰//۴۳ c	۷۴/۸۴±۷/۷۳b

حروف متفاوت هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح یک درصد است.

جدول۳. مقایسهٔ درصد نسبی کربن آلی ترسیب شده در اجزای بوم¬سازگان نسبت به کل بوم‌سازگان در توده‌های جنگل‌کاری شده و مرتع

منبع تغییرات	مرتع	آمیخته	*C. sempervirens*	*F. rotundifolia*
اندام هوایی	۲/۰	۲/۰	۴/۹	۱/۵
ریشه	۰/۲	۰/۲	۰/۲۶	۰/۱۳
لاشبرگ	۰/۲	۰/۳	۱/۲	۰/۴۵
خاک	۹۸/۹	۹۷/۴	۹۳/۶	۹۷/۹
کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

مقایسه ترسیب کربن کل در تیمارهای جنگل‌کاری و شاهد

یافته‌های تحلیل واریانس یک طرفه درخصوص کل کربن ترسیب شده در واحد سطح توده‌های جنگلکاری شده و مرتع شاهد نشان داد بطور کلی جنگلکاری باعث افزایش ذخیره کربن آلی نسبت به مرتع شده است. میزان ذخیره کربن آلی کل در مرتع شاهد با $۴۹/۰۵ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ دارای تفاوت معنی‌دار با توده‌های دیگر است. بیشترین مقدار ذخیره کربن آلی مربوط به توده *C. sempervirens* با مقدار $۹۵/۲۶ton\ ha^{-1}yr^{-1}$ بود و در دو توده آمیخته و *F. rotundifolia* تفاوت معنی‌داری از نظر ذخایر کل کربن آلی در واحد سطح مشاهده نشد (جدول۲).

نتایج مقایسه سهم نسبی کربن ترسیب شده در اجزای مختلف بوم‌سازگان شامل خاک، زیست‌توده گیاهی و لاشبرگ در توده‌های جنگل‌کاری شده و مرتع شاهد نشان داد که در تمام تیمارهای مورد بررسی، بیشنه مقدار ذخیره کربن آلی در بخش خاک انباشته شده است (جدول۳).

در مرتع شاهد از مقدار کل ترسیب کربن در واحد سطح، ۹۸/۹٪ در بخش خاک و۱/۱٪در زیست‌توده گیاهی و لاشبرگ ذخیره شده است. سهم نسبی کربن ترسیب شده در بخش خاک نسبت به کل بوم‌سازگان در توده‌های جنگل‌کاری شده آمیخته۹۷/۴٪، در توده *C. sempervirens* معادل۹۳۶/۶٪ و در توده *F. rotundifolia* معادل ۹۷/۹٪ برآورد گردید و مابقی در زیست‌توده گیاهی و لاشبرگ تجمع داشته است.

■ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جنگل‌کاری در منطقهٔ مورد بررسی، موجب افزایش قابل توجه ترسیب کربن در بیومس هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ شده است. نتایج برخی مطالعات نشان داده‌است که جنگل‌کاری با گونه‌های مناسب، توانمندی بسیار بالایی در ترسیب کربن‌دارد (۲۷، ۶).

توده‌های مختلف از توان ترسیب کربن متفاوتی در زیست‌توده هوایی، زیرزمینی و لاشبرگ برخودار هستند. یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌داد توده‌های جنگل‌کاری اثر یکسانی بر ترسیب کربن ندارند. توده سوزنی برگ *C. sempervirens* نسبت به توده پهن برگ(آمیخته و خالص) میزان کربن بیشتری در یک دوره ۴۰ ساله ترسیب کرده است. به‌عبارتی ترسیب کربن در توده *C. sempervirens* بیشتر از توده‌های آمیخته، *F. rotundifolia* و مرتع مشاهده شد. در این راستا تحقیقات مشابهی در استان لرستان نشان داده است که برخی گونه‌های سوزنی برگ نظیر *C. sempervirens* و *Pinus brutia* Miller.

موفق‌ترین گونه‌ها برای جنگل‌کاری از حیث افزایش ذخایر کربن بوم‌سازگان در این منطقه هستند (۳۲).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان کربن ذخیره در اندام هوایی و زیرزمینی توده‌های جنگلی به طور معنی‌داری بیشتر از مرتع شاهد است، اما در بین توده‌های جنگلی نیز از نظر توان ترسیب کربن در اندام هوایی تفاوت معنی‌داری وجود دارد به‌طوری که بیشترین ذخیره کربن زیست‌توده در توده *C. sempervirens* مشاهده شد و توده‌های آمیخته و *F. rotundifolia* از این نظر توان مشابهی با یکدیگر داشتند. علت این موضوع مقاومت گونه *C. sempervirens* به سرما و خشکی (۲۴) و درصد تلفات کم توده *C. sempervirens* در مقایسه با توده آمیخته و *F. rotundifolia* است. این موضوع موجب افزایش زیست-توده گیاهی در توده *C. sempervirens* و به تبع آن افزایش میزان ترسیب کربن در واحد سطح شده است. در این زمینه پژوهش‌ها نشان داده است که از نظر ویژگی‌های کمّی، گونه *C. sempervirens* بر گونه *R. pseudoacacia* برتری دارد (۲۰).

در بخش خاک نیز جنگل‌کاری موجب افزایش معنی‌دار ترسیب کربن در مقایسه با مرتع شده است که این میزان افزایش در توده *C. sempervirens* معادل ۸۲/۱٪ محاسبه شد که نسبت به توده‌های آمیخته و *F. rotundifolia* بیشتر بود. مقدار ترسیب کربن خاک در توده آمیخته ۶۴٪ و در توده *F. rotundifolia* معادل ۵۱٪ اندازه گیری شد. مقدار ذخیره‌های کربن آلی خاک در بوم‌سازگان متأثر از دو عامل ورودی کربن آلی از طریق زیست‌توده گیاهی و هدررفت کربن آلی از طریق تجزیه است (۳۴). هرچه توان تولید زیست‌توده هوایی و زیرزمینی در گونه‌ها، عرصه‌ها و رویشگاه‌های مختلف بیشتر باشد، ذخیرۀکربن در پیکرۀ درختان، لاشبرگ و خاک نیز بیشتر می‌شود و در صورتی که سرعت عوامل منجر به تجزیه و هدررفت کربن از درخت، لاشبرگ و خاک کمتر باشد، بقای کربن ذخیره شده در بوم‌سازگان بیشتر شده و مقدار ترسیب کربن افزایش خواهد یافت (۲۱). بررسی نشان داده‌است که جنگل‌کاری با گونه‌های *Celtis spp.* و *C. sempervirens* در استان کردستان موجب کاهش مقدار تصاعد کربن از سطح خاک شده و با کاهش نرخ تصاعد کربن خاک، مقدار ترسیب کربن افزایش یافته است (۳۸).

براساس نتایج بدست آمده تجمع لاشبرگ در سطح خاک در توده *C. sempervirens* مهمترین عامل افزایش ترسیب کربن خاک محسوب می‌گردد. گونه *C. sempervirens* به‌دلیل سریع الرشد بودن، تولید لاشبرگ زیاد و داشتن نیازهای بوم‌شناختی متناسب با شرایط منطقه و بسیار مقاوم به خشکی و سرما بهترین گونه با هدف ترسیب کربن برای جنگل‌کاری است.

مقایسه مقدار انباشت کربن در بخش‌های مختلف بوم‌سازگان نشان داد که در همه تیمارهای جنگل‌کاری شده و مرتع، بیش از ۹۰٪ کربن ترسیب شده در بخش خاک ذخیره شده است که بیانگر جایگاه مهم خاک در حفظ و انباشت کربن آلی بوم‌سازگان است. پژوهش‌های متعددی در این خصوص نشان‌دهندۀ این است که بیشترین مقدار کربن آلی ترسیب شده در بوم‌سازگان‌های خاکی در بخش خاک ذخیره شده است (۳۶، ۳۵).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد میانگین نرخ ترسیب کربن در واحد سطح بوم‌سازگان در جنگل‌کاری سرنجیانه سنندج در توده *C. sempervirens*، ۱/۱۵ ton $ha^{-1}yr^{-1}$ می‌باشد که این نرخ برای توده آمیخته معادل ۰/۸۲ و توده *F. rotundifolia* ۰/۶۳ton $ha^{-1}yr^{-1}$ در سال برآورد شد. این نتیجه نشان می‌دهد که جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب افزایش ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی و زیرزمینی، لاشبرگ و خاک می‌شود. هرچند که جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی برگ نسبت به گونه‌های پهن برگ در منطقه مورد مطالعه تأثیر بیشتری بر افزایش میزان ترسیب کربن دارد. پژوهش حاضر نشان داد کشت آمیخته به دلیل تنوع در ترکیب، نسبت به کشت خالص *F. rotundifolia* تأثیر بیشتری در افزایش ترسیب کربن دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که توان ترسیب کربن در گونه‌های درختی مختلف با یکدیگر متفاوت است و در مناطق نیمه‌خشک استان کردستان و مناطق مشابه، کشت گونه‌های سوزنی برگ به دلیل نیاز آبی کمتر، نسبت به گونه‌های پهن برگ در جهت افزایش نرخ ترسیب کربن

ارجحیت دارد. البته به دلیل غیر بومی بودن برخی از سوزنی‌برگان، در به‌کارگیری آنها برای طرح‌های جنگل‌کاری، دیگر ملاحظه‌های بوم‌شناختی کشت این گونه‌ها می باید مد نظر قرارگیرد.

■ **سپاسگزاری**

از حمایت های مادی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان تقدیر و تشکر می گردد..

■ References

1. Ardö, J., & Olsson, L. (2003). Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the CENTURY model. *Journal of Arid Environments*, *54*(4), 633-651. DOI:10.1006/jare.2002.1105
2. Azarnivand, H., Joneidi Jafari, H., Zare chahooki, M.A., Jafari, M., & Nikou, S. (2009). Investigation of livestock grazing on carbon sequestration and nitrogen reserve in rangeland with Artemisia sieberi in Semnan province. *Iranian Journal of Range Management Society*, *3*(4), 590-610. [In Persian]
3. Badehian, Z., Mansoori, M., & Fakhari, M.A. (2018). Determining the economic value of soil carbon sequestration in the planted afforested different species. *Environmental recearchs, 9*(17), 111-12. DOI:20.1001.1.20089597.1397.9.17.15.2 [In Persian]
4. Bakhtiarvand Bakhtiari, S., & Sohrabi, H. (2012). Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20*(3), 481-492. DOI:10.22092/ijfpr.2012.107454 [In Persian]
5. Berhane, L., Shimbahri, M., Fassil K., Zenebe, A., Ibrahim, F., & Hailay, H. (2019). Evaluation of soil physical properties of long-used cultivated lands as a deriving indicator of soil degradation, north Ethiopia. *Physical Geography, 40*(4), 323-338. DOI:10.1080/02723646.2019.1568148
6. Bordbar, S. K., & Mortazavi jahromi, S. M. (2006). Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. And *Acacia salicina* Lindl. plantation in western area of Fars province. Pajouhesh & Sazandegi (*Watershed Management Research) Journal*, *19*(1), 95-103. [In Persian]
7. Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, *56*, 464–465. DOI:10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
8. Gartzia-Bengoetxea, N., Gonza´lez-Arias, A., Merino, A., Martı´nez deArano, I. (2009). Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperateAtlantic forests. *Soil Biology & biochemistry*, 41, 1674–1683. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.05.010
9. Ghanbari, N., Azarnivand, H., Joneidi Jafari, H., & Jafari, M. (2018). Effect of converting rangeland to afforestation on carbon sequestration and some properties of soil (Case study: Hassan Abad afforestation, Sanandaj). *Journal of rangeland and watershed management, 71*(3), 747-758. DOI:10.22059/jrwm.2018-.106763.757 [In Persian]
10. Gholami, H., Azarnivand H., & Biniaz, M. (2014). Study and Comparison of the carbon sequestration by *Atriplex canescens* and *Hulthemia persica* in Nowdahak Range Research Station, Qazvin province. *Environmental erosion research journal*, *4*(2), 40-52. DOI: 20.1001.1.22517812.1393.4.2.6.7 [In Persian]
11. Hasegawa, T., Fujimori, S., Ito, A., & Takahashi, K. (2024). Careful selection of forest types in afforestation can increase carbon sequestration by 25% without compromising sustainability. *Communications Earth & Environment, 5*, 171. DOI:10.1038/s43247-024-01336-4
12. Hernandez, R., koohafkan, P., & Antoine, J. (2004.) *Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change*. Food and agriculture organization of the united nations.

13. Hoseini, N., & Sheikholeslami, A. (2021). Comparison of carbon sequestration in natural coniferous and deciduous stands (Case study: Marzanabad-Chalous). *Natural Ecosystems of Iran*, *3*(12), 85-100. [In Persian]

14. Jahanpour, F., Badehian, Z., & Soosani, J. (2019). Investigating the efficiency of the carbon sequestration in above-ground biomass of some populous clones. *Iranian journal of forest*, *11*(2), 195-205. [In Persian]

15. Jazirehi, M.H. (2001). *To Afforest in Arid Environment*. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

16. Joneidi, H., zare Chahouki, M.A., Azarnivand, H., & Sadeghipour, A. (2012). Effect of *Haloxylon ammodendron* and *Pistachia Vera* plantation on carbon and nitrogen storage in *Artemisia sieberi* shrubland of Semnan province. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, *1*(4), 15-25. DOI: 20.1001.1.-2008790.1390.1.4.2.6 [In Persian]

17. Kalantari, H., Fallah, A., Hodjati, S.M., & Parsakhoo, A. (2012). Determination of the most appropriate form factor equation for *Cupresus sempervirence* L. Var horizentalis in the north of Iran. *Pelagia Research Library*, *3*(2), 644-648. [In Persian]

18. 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 Afforestation's in Ilam County. *Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(10), 185-199. DOI: 10.22034/jest.2019.28047.3700 [In Persian]

19. Keneshloo, M., Nikoo, SH., Kianian, M.K. (2018). Effect of planting *Haloxylon aphyllum* on carbon sequestration rate and some soil properties in an arid region in Iran. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, *4*(2), 35-39. DOI:10.53555/eijaer.v4i2.41 [In Persian]

20. Kord, B., Adeli, E., & Lashaki, A.K. (2007). Study of Quality Uality and Quantity Afforestated Species in Pardisan ECO-Park (Tehran City). *Agricultural sciences*, *13*(1), 75-84. [In Persian]

21. Liao, J.D., Boutton, T.W., & Jastrow, J.D. (2006). Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following Woody plant invasion of grassland. *Soil biology and Biochemistry*, 38, 3184-3196. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.04.003

22. McDicken, K.G. (1997). *A Guide to Monitoring carbon storage in forestry and Agro forestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program.

23. Mesdaghi, M. (2003). *Range Management in Iran*. Astan Quds Razavi Publications.

24. Mohammadnejad Kiasari, Sh., Sagheb Talebi, Kh., Rahmani, R., Adeli. E., Jafari, B. & Jafarzadeh, H. (2010). Quantitive and qualitative evaluation of plantation and natural forest at Darabkola, east of Mazandran. *Iranian Journal of forest and Poplar Research*, *18*(3), 351-337. DOI: 10.22092/ijfpr.-2010.119426 [In Persian]

25. Mohammadi, T., Dastorani, M.T., Azim Zadeh, H. R., & Jafar Poor, A. (2018). Study of Watershed Management Biological Practices on Soil Carbon SequestrationIran, Case Study: Kelestan Watershed-Fars Province), *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, *12*(41), 31-40. DOI: 20.1001.1.-20089554.1397.12.41.6.5 [In Persian]

26. Muller -Dombois, D. & Ellenberg, H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York: John Wiley and Sons.

27. Nosetto, 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 Environment, 67*, 142-156. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2005.12.008

28. Panahi, P., Pourhashemi, M. & Hasaninejad., M. (2014). Allometric equations of leaf biomass and carbon stocks of oaks in National Botanical Garden of Iran. *Plant Research* (*Iranian Biology Journal*), *27*(1), 12-21. DOI: 20.1001.1.23832592.1393.27.1.2.0 [In Persian]

29. Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G. & Khanna, P.K. (2002). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management, 168*(1-3), 241-257. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00740-X

30. Perez Bejarano, A., Mataix-Solera, J., Zornoza, R., Guerrero, C., Arcenegui, V., MataixBeneyto, J., & Cano-Amat, S. (2010). Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil Cano-Amat. European Journal Forest Research, *129*(1), 15–24. DOI: 10.1007/-s10342-008-0246-2

31. Pilehvar, B., Jafari Sarabi, H. & Mirazadi, Z. (2016). Soil carbon sequestration compression in plantations with different species in Makhmalkooh forest park, *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *29*(4), 717-727. DOI: 20.1001.1.23832592.1395.29.4.3.1 [In Persian]

32. Pilehvar, B., Seyedna, V., Soosani, J.& Jafari Sarabi, H. (2015). Assessment of Needle Leaves and Broad Leaves Afforested Stands in Makhmalkooh Forest Park. *Journal of Zagros Forests Researche*, *1*(2), 47-62. [In Persian]

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

34. Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K. & Meena, R.L. (2003). Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi- arid regions of northwestern India. *Indian forester, 129*(7), 859-864. DOI: 10.1016/j.envsoft.2005.07.005

35. Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., Kato, E., Matsuo, Y., Nishiura, O., Oshiro, K. & Otsuki, T. (2024). Residual emissions and carbon removal towards Japan's net-zero goal: a multi-model analysis. *Environmental Research Communications, 6*(5), 1-15. DOI: 10.1088/2515-7620/ad4af2

36. Tamartsh, R., yousefian, M., Mahdavi, K., & Mahdavi, M. (2012). Investigation of Enclosure Effect on Artemisia Carbon Sequestration in the Arid Zone of Semnan Province. *Natural Environment*, *65*(3), 341-352. DOI: 10.22059/jne.2012.29788 [In Persian]

37. Zare Chahouki, M. A. (2010). *Data analysis in natural resource research with SPSS software*. Tehran, University of Tehran Press. [In Persian]

38. Zareii, F., Joneidi, H. & Karami, P. (2021). Effect of conversion of rangeland to Forest cultivation on carbon emission changing in soil (case study: Sanandaj Rangeland). *Journal of Range and Watershed Management, 72*(2), 391-408. DOI: 10.22059/jrwm.2019.266486.1304 [In Persian]

39. Zheng, J.Y., Zhao, J.S., Shi , Z.H. & Wang, L. (2021). Soil aggregates are key factors that regulate erosion-related carbon loss in citrus orchards of southern China: Bare land vs. grass-covered land. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 309*, 1-10. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107254