

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و هفت، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ (۱۶۴-۱۵۱)

ارزیابی زی توده و ترسیب کربن خاک در تیپ‌های مختلف بلوط

(مطالعه موردی: جنگل‌های آرموده بانه)

سامان ملکی^۱

بابک پیله ور^{۲*}

pilehvar.b@lu.ac.ir

محمدعلی محمودی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۵

چکیده

زمینه و هدف: از مهم‌ترین مزایای درختان در اکوسیستم‌های جنگلی مقدار زی توده و توان ترسیب کربن خاک است. این پژوهش در جنگل‌های زاگرس شمالی (واقع در آرموده) با هدف تعیین برآورد زی توده روی زمینی، زی توده زیرزمینی و ترسیب کربن خاک با استفاده از معادلات زیست‌سنجی در ۳ تیپ مازودار- ویول (*Q.infectoria- Q.libani*)، ویول خالص (*Pure Q.libani*) و ویول- برودار- مازودار (*Q.libani- Q.brantii- Q.infectoria*) انجام شد.

روش بررسی: از قطعه نمونه‌های ۴۰۰ مترمربعی جهت برداشت ویژگی‌های جنگل‌شناسی در هر تیپ جنگلی استفاده شد. تعداد ۵ نمونه خاک مرکب از عمق ۰- ۱۰ سانتی‌متری نیز به صورت تصادفی جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک برداشت شد. مقادیر زی توده روی - زمینی، زی توده زیرزمینی و ترسیب کربن خاک با استفاده از معادلات زیست‌سنجی به عنوان یک روش غیرمستقیم (غیر مخرب) محاسبه گردید. آزمون تجزیه واریانس برای بررسی ویژگی‌های خاک و آزمون توکی جهت مقایسه میانگین‌ها و تفاوت مقدار زی توده و ترسیب کربن خاک بین تیپ‌های مختلف جنگلی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار زی توده روی زمینی در تیپ مازودار- ویول ۷۵۹۵/۳۵ کیلوگرم در هکتار، در تیپ ویول خالص ۹۴۳۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار و در تیپ ویول- برودار- مازودار ۱۲۹۹۸/۶۳ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین مقدار زی توده زیرزمینی در تیپ‌های مازودار- ویول، ویول خالص و ویول- برودار- مازودار به ترتیب ۱۱۳۹/۳۰، ۱۴۱۵/۹۱ و ۱۹۴۹/۷۹ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار زی توده کل در تیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود، به طوری که در تیپ آمیخته ویول- برودار- مازودار بیشترین (۱۴۹۴۸/۴۳ کیلوگرم در هکتار) و در تیپ مازودار- ویول کمترین (۸۷۳۴/۶۶ کیلوگرم در هکتار) مقدار را نشان داد. در نهایت مقدار ترسیب کربن خاک در تیپ

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- استاد گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

ویول خالص با ۱۳۱/۳۲ تن در هکتار به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیپ‌ها بود. مقدار ترسیب کربن خاک در تیپ‌های ویول- برودار- مازودار و مازودار- ویول به ترتیب ۱۱۰/۳۴ و ۱۰۰/۳۷ تن در هکتار بود.

بحث و نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده متفاوت بودن مقدار زی‌توده و ترسیب کربن خاک در تیپ‌های مختلف است. مدیریت صحیح جنگل‌های بلوط به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم دارای اهمیت بسزایی است. در نهایت می‌توان با توجه به اهمیت موضوع تجارت کربن از این موضوع در راستای احیاء و نگهداری پایدار این اکوسیستم‌های طبیعی بهره‌مند شد.

واژه‌های کلیدی: بلوط، زی‌توده روی زمینی، زی‌توده زیرزمینی، معادلات زیست‌سنجی.

Assessment of biomass and soil carbon sequestration in different Oak stand types (Case study: Armardeh forests, Baneh)

Saman Maleki ¹

Babak Pilehvar ^{2*}

pilehvar.b@lu.ac.ir

Mohammad Ali Mahmoodi ³

Date of Acceptance: January 29, 2024

Date of Submission: November 26, 2023

Abstract

Background and Objective: Among the most important benefits of trees in forest ecosystems are their biomass production and soil carbon sequestration potential. This research was conducted in the northern Zagros forests (Armardeh) to estimate the aboveground biomass, belowground biomass, and soil carbon sequestration using allometric equations in three forest types: *Q.infectoria- Q.libani*, Pure *Q.libani* and *Q.libani- Q.brantii- Q.infectoria*.

Material and Methodology: In each forest types, 400 m² sample plots were used to record forest characteristics. 5 composite soil samples were randomly collected from a depth of 0–10 cm to measure soil properties. The amounts of aboveground biomass, belowground biomass, and soil carbon sequestration were calculated using species-specific allometric equations as a non-destructive (indirect) method. One-way ANOVA was used to analyze soil characteristics, and Tukey's test was applied to compare the means and differences in biomass and soil carbon sequestration among the different forest types.

Findings: The results showed that the amount of aboveground biomass in *Q.infectoria- Q.libani* types was 35.7595 kg/ha, in Pure *Q.libani* types was 9439.42 kg/ha, and in *Q.libani- Q.brantii-Q.infectoria* types was 12998.63 kg/ha. Also, belowground biomass was 1139.30, 1415.91, and 1949.79 kg/ha in *Q.ifectoria- Q.libani*, Pure *Q.libani*, and *Q.libani- Q.brantii- Q.infectoria* types, respectively. The amount of total biomass was different in the examined types so that in the mixed type of *Q.libani- Q.brantii- Q.infectoria*, the highest (14948.43 kg/ha), and the types of *Q.infectoria-Q.libani* the lowest (8734.66 kg/ha) showed. Finally, the amount of soil carbon sequestration in Pure *Q.libani* types, with 131.32 Mg/ha, was significantly higher than in other types. The amount of soil carbon sequestration was 110.34 and 100.37 Mg/ha in *Q.libani- Q.brantii- Q.infectoria* and *Q.infectoria- Q.libani* types, respectively.

Discussion and conclusion: Overall, the findings of this research indicate that the amounts of biomass and soil carbon sequestration vary among different forest types. Proper management of oak forests is crucial for mitigating greenhouse gas emissions and addressing climate change. Ultimately, given the importance of carbon trading, these results can be utilized to support the restoration and sustainable conservation of these natural ecosystems.

Key words: Oak, Aboveground biomass, Belowground biomass, Allometric equations.

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran.

2- Professors, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. *(Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, I. R. Iran.

مقدمه

جنگل‌ها حدود ۳۱ درصد از مساحت زمین را پوشش می‌دهند و از نظر تنوع زیستی و ذخایر کربن جزو غنی‌ترین اکوسیستم‌ها هستند (۱). اکوسیستم‌های جنگلی نه تنها در کمک به معیشت انسان‌ها، بلکه نقش حیاتی در تولید انرژی زیستی، جذب دی‌اکسید کربن و کاهش تغییرات آب و هوایی دارند (۲). همچنین بر اساس برآوردهای جهانی جنگل‌ها نزدیک به ۱۲ درصد از دی‌اکسید کربن تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی را جذب می‌کنند (۳). ذخایر کربن در اکوسیستم‌های زمینی شامل زی-توده روی زمینی^۴، زی‌توده زیرزمینی^۵، لاشبرگ^۶ و چوب‌های ریز و ماده آلی خاک^۷ است (۴). زی‌توده روی زمینی به طور کلی بیشترین بخش از کل زی‌توده زنده را در یک جنگل به خود اختصاص می‌دهد که با عوامل زیادی از قبیل حجم، طول عمر و رشد درختان در سال بستگی دارد (۵). از آنجایی که گونه های درختی با قطر و ارتفاع مختلف تفاوت‌های زیادی را از سطح تک‌درخت تا تپ جنگلی و در نهایت منطقه به وجود می‌آورند، تغییرات در تپ‌های جنگلی تأثیرات قابل توجهی بر بهره‌وری جنگل و زی‌توده روی زمینی دارد (۶). زی‌توده زیرزمینی که تمام ریشه‌های زنده را تشکیل می‌دهد، با انتقال و ذخیره کربن در خاک نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کند (۷). مقادیر لاشبرگ و خرده چوب‌ها منبع اصلی کربن نیستند، زیرا صرفاً بخش کوچکی از ذخایر کربن جنگل‌ها را تشکیل می‌دهند. همچنین مواد آلی خاک سهم اصلی در ذخایر کربن جنگل‌ها دارند (۸). برآورد زی‌توده انباشته شده جهت ارزیابی بهره‌وری و پایداری در اکوسیستم‌های جنگلی مهم است. همچنین ایده‌ای از مقدار بالقوه کربنی که می‌تواند به شکل دی‌اکسید کربن در هنگام برداشت چوب یا آتش‌سوزی جنگل‌ها منتشر شود، به ما می‌دهد. ارزیابی دقیق تخمین زی‌توده یک جنگل در بسیاری از موارد مانند استخراج الوار، تغییرات ذخیره کربن و چرخه جهانی کربن مهم است (۹).

مقدار زی‌توده کربن را در یک جنگل می‌توان با روش‌های مستقیم یا غیرمستقیم تخمین زد. روش مستقیم به روش مخرب اندازه‌گیری زی‌توده درختان معروف است. این روش شامل برداشت تمام درختان در منطقه مورد نظر و اندازه‌گیری وزن اجزای مختلف درخت مانند تنه، برگ‌ها، شاخه‌ها و ریشه‌ها است و اندازه‌گیری وزن این اجزا پس از خشک شدن در کوره است. اگرچه این روش زی‌توده را به طور دقیق برای یک منطقه تعیین می‌کند، اما در عین حال زمان‌بر، دشوار، مخرب و گران است و برای تجزیه و تحلیل در مقیاس‌های بزرگ امکان‌پذیر نیست. همچنین این روش برای جنگل‌های حاوی گونه‌های در معرض تهدید قابل اجرا نیست (۱۰). پرکاربردترین روش برای تخمین زی‌توده جنگل از طریق معادلات زیست‌سنجی است. معادلات زیست‌سنجی برای ارزیابی زی‌توده و ذخایر کربن جنگل‌ها توسعه یافته است. بسیاری از محققان معادلات پیش‌بینی زیست‌توده تعمیم یافته را برای انواع مختلف گونه‌های جنگلی و درختی توسعه داده‌اند. معادلات زیست‌سنجی برای تخمین زی‌توده با ایجاد رابطه بین پارامترهای فیزیکی مختلف درختان مانند قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع درخت، سطح تاج پوشش، گونه‌های درختی و غیره ایجاد می‌شود و بر این اساس برای تپ‌های خالص و آمیخته تخمینی از زی‌توده برای مکان‌های خاص و برای مقایسه‌های منطقه‌ای و جهانی ارائه می‌کند (۱۱). در این رابطه براون و همکاران (۱۲) معادلات رگرسیون زیست‌سنجی را برای تخمین زی‌توده تک‌درختان در جنگل‌های استوایی به عنوان تابعی از قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع کل و تراکم چوب توسعه دادند. در تحقیق دیگری توسط نلسون و همکاران (۱۳) روابط زیست‌سنجی برای ۸ گونه درختی

- 1- Aboveground biomass
- 2- Belowground biomass
- 3- Litterfall
- 4- Soil organic matter

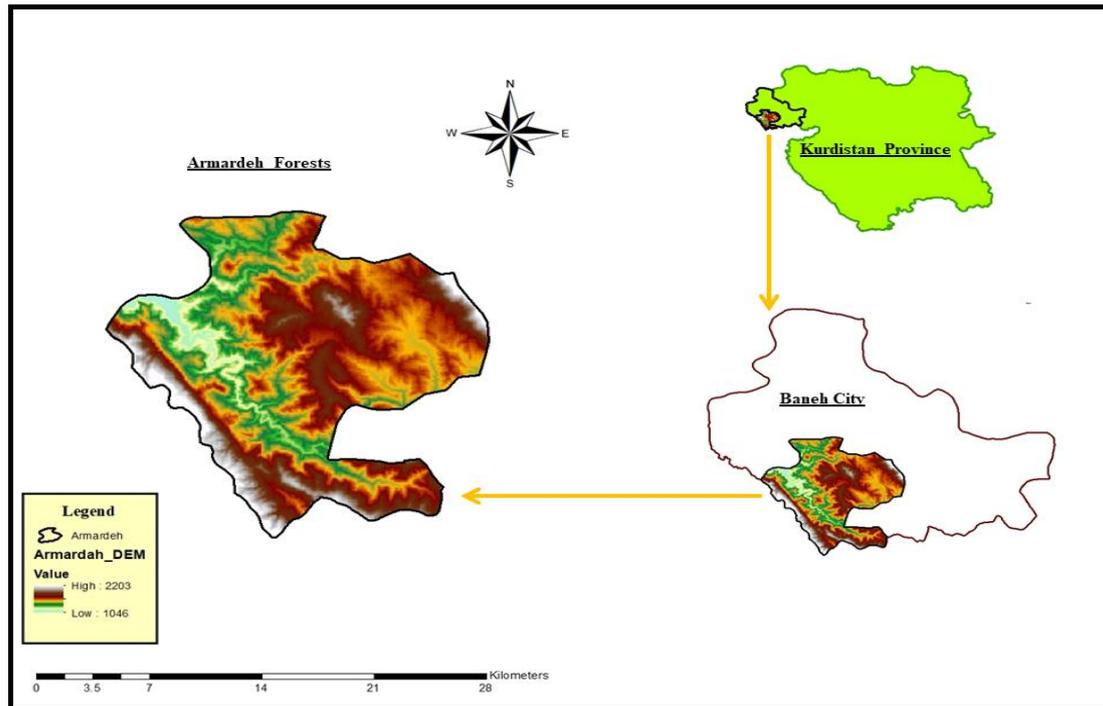
انجام شده است و منطقه آرمیده بانه می‌تواند به دلیل داشتن هر سه نوع گونه‌ی بلوط و ترکیب این گونه‌ها و متعاقباً تشکیل تیپ‌های مختلف مقدار زی توده کربن را تحت تأثیر قرار دهد. به دلایل ذکر شده در رابطه با استفاده از روش مستقیم در اندازه‌گیری زی توده کربن، از معادلات زیست‌سنجی به عنوان یک روش غیر مخرب جهت تخمین و مقایسه زی توده کربن و ترسیب کربن خاک در تیپ‌های غالب منطقه استفاده شد. سوالات تحقیق به صورت زیر تعریف شدند: (۱) آیا مقدار زی توده روی‌زمینی و زیرزمینی در تیپ‌های مختلف بلوط دارای تفاوت معنی‌داری است؟ (۲) آیا مقدار ترسیب کربن خاک در تیپ‌های مختلف بلوط متفاوت است؟

مواد و روش

جنگل‌های آرمیده در جنوب غربی شهرستان بانه و در شمال غربی استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). بر اساس داده‌های آماری سازمان هواشناسی کشور میانگین بارندگی و دمای سالانه به ترتیب حدود ۶۵۷ میلی‌متر و ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه دارای زمستان‌های سرد و طولانی و توام با برف و یخبندان و تابستان‌های معتدل است. در طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه بانه دارای اقلیم نیمه مرطوب و سرد است. منحنی آمبروترمیک منطقه نشان‌دهنده فصل خشک چهار ماهه است. پوشش عمده گیاهی شامل جوامع گیاهی گون همراه با خانواده گندمیان، نخودیان، علف‌ها و درختچه‌ها است (۱۷).

جهت تخمین زی توده روی زمینی در جنگل‌های آمازون انجام گرفت. ژیاو و همکاران (۱۴) مطالعه‌ای را بر روی یک کاج ۱۰ ساله انجام دادند و با استفاده از شاخه و برگ روابط زیست-سنجی زی توده را برای درختان به دست آوردند و نتایج مطالعات قبلی انجام شده را تأیید کردند. هلمپساری و همکاران (۱۵) در فنلاند مطالعه‌ای بر روی کاج اسکاتلندی در جنگل‌های مرطوب گرمسیری برای توسعه مدل‌های زیست‌سنجی جهت تخمین زی توده زیرزمینی و روی زمینی انجام دادند. نتایج مقدار زی توده زیرزمینی را ۲۵، ۲۱ و ۱۳ درصد از ۱۰۰ درصد را به ترتیب برای نهال‌ها، مرحله تیرک و بلوغ نشان داد. مقدار زی توده روی‌زمینی ۳۱ تا ۵۴ درصد را در مراحل مختلف آزمایشی نشان دادند. مقدار زی توده و اندوخته کربن روی‌زمینی در دو فرم رویشی دانه‌زاد و جست‌گروه بلوط ایرانی در جنگل‌های چهارمحال و بختیاری نشان‌دهنده دو برابر بودن متوسط زی توده درختان دانه‌زاد نسبت به جست‌گروه‌ها بود (۱۶).

جنگل‌های زاگرس وسیع‌ترین و مهم‌ترین بوم‌سازگان ایران بوده و به عنوان دومین منبع زی توده جنگلی ایران اهمیت زیست محیطی ویژه‌ای دارد. محققان این جنگل‌ها را به ۳ بخش شمالی، میانی و جنوبی تقسیم‌بندی کرده‌اند. تنوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای در جنگل‌های زاگرس بسیار زیاد است، اما گونه بلوط بیش‌ترین درصد ترکیب گونه‌ای این جنگل‌ها را دارد. در این جنگل‌ها ظرفیت زی توده کربن می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد؛ اما الگوهای مدیریتی و فعالیت‌های انسانی باعث تغییر ساختار جنگل، از بین رفتن زادآوری و پوشش علفی کف، خارج شدن جنگل‌های زاگرس از حالت بکر و نهایتاً کاهش زی توده و ترسیب کربن گشته است. با این حال مطالعات کمی بر روی زی توده کربن در تیپ‌های مختلف بلوط در زاگرس شمالی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The geographical location of study area

روش پژوهش

انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و از الک دو میلی‌متر رد شدند و یک نمونه از آن‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. pH خاک با روش پتانسیومتری و با استفاده از دستگاه pH متر تعیین شد. EC با استفاده از به‌کارگیری مخلوط ۲/۵: ۱ خاک و آب مقطر به دست آمد. کربن آلی خاک با استفاده از روش تیتراسیون والکلی- بلاک اندازه‌گیری شد (۲۰). جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد (۲۱).

تخمین زی‌توده روی‌زمینی، زی‌توده زیرزمینی و ترسیب

کربن خاک

زی‌توده روی‌زمینی و زیرزمینی بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی قطر در ارتفاع برابر سینه درخت و با استفاده از مدل چاو و همکاران (۲۲) به عنوان یکی از بهترین معادلات زیست-سنجی برآورد شدند. این مدل برای مناطق با آب و هوای نیمه خشک و با بارندگی سالانه کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر قابل

با استفاده از نظرات متخصصین جنگل‌شناسی و همچنین با استفاده از آماربرداری در منطقه مورد بررسی تیپ‌های (*libani- infectoria*) (*pure libani*) (*brantii- infectoria*) انتخاب شدند. تعداد ۵ قطعه نمونه ۲۰*۲۰ متری (۴۰۰ مترمربعی) و مجموعاً ۱۵ قطعه نمونه در هر یک از تیپ‌های موجود به صورت تصادفی پیاده و آماربرداری شد و مشخصه‌های کمی شامل تعداد درختان، قطر برابر سینه و ارتفاع درخت با استفاده از نوار قطر سنج (سانتی‌متر) و شیب‌سنج سونو اندازه‌گیری شد. در ادامه تعداد در هکتار و مساحت تاج پوشش در هر یک از تیپ‌های مورد بررسی محاسبه شد (۱۸). به منظور بررسی خاک نمونه‌برداری از چهار گوشه و وسط هر تیپ برداشت، به طوری که نمونه خاک‌ها نماینده تیپ مورد نظر باشند (هر نمونه‌برداری خاک خود در چهار طرف درخت و ترکیب به عنوان یک نمونه خاک مرکب شناخته شد) (۱۹). مجموعاً ۱۵ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری از تیپ‌های مشخص شده در فصل رشد برای بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک برداشت شد. پس از

استفاده است. از این رو، می‌توان از آن برای منطقه آرموده میلی‌متر است. استفاده کرد که میانگین بارندگی سالانه آن بین ۶۰۰ تا ۷۰۰

جدول ۱- معادلات زیست‌سنجی برای تخمین زی توده

Table 1. Allometric equations for biomass estimation

متغیرهای مورد بررسی	معادله
زی توده روی زمینی	$AGB = 34.4703 - 8.0671D + 0.6589D^2$ D is the DBH (cm) (22)
زی توده زیرزمینی	$BGB = AGB \times (15/100)$ (23)
زی توده کل	$Total\ Biomass = AGB + BGB$
ترسیب کربن	$Cs = 10000 \times OC (\%) \times Bd \times e$ OC is the organic carbon (%) Bd is the Bulk density (cm^3) e is the soil depth (cm) (24)

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای مقایسه کلی سه تیپ از نظر ویژگی‌های خاک از تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک و زی توده کربن از آزمون توکی در سطح ۹۵ درصد استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Origin pro و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

نتایج حاصل از میانگین مشخصه‌های کمی درختان در بین تیپ‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. تیپ ویول خالص بیشترین مقادیر ارتفاع کل (۷/۵ متر) و قطر برابر سینه (۳۹/۸۶ سانتی‌متر) را نشان داد. تعداد در هکتار برای تیپ

ویول- برودار- مازودار با مقدار (۱۹۷ اصله در هکتار) بیش‌ترین تعداد بود. از سوی دیگر مساحت تاج پوشش تیپ ویول خالص و ویول- برودار- مازودار با ۱۲ مترمربع از بهترین وضعیت برخوردار بودند (جدول ۲). نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که در بین ویژگی‌های فیزیکی خاک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳) و فقط بافت خاک در تیپ مازودار- ویول (لومی) با بقیه تیپ‌ها متفاوت است (جدول ۳). تیپ‌های مختلف از نظر برخی متغیرهای شیمیایی شامل واکنش خاک، هدایت الکتریکی و کربن آلی اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۴). اما نتایج تجزیه واریانس برای وزن مخصوص ظاهری اختلاف معنی‌داری را بین تیپ‌های مختلف نشان داد و مقایسه میانگین برای این پارامتر خاک در سه گروه رتبه‌بندی شد (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مشخصه‌های کمی درختان در ارتباط با تیپ‌های مورد بررسی

Table 2. Mean of quantitative characteristics in related with studied types

مساحت تاج پوشش (مترمربع)	تعداد در هکتار		قطر برابر سینه (سانتی‌متر)			ارتفاع کل درخت (متر)			تیپ‌ها / مشخصه‌ها
	تعداد	گونه	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	
۱۱/۵	۹۰	مازودار	۴۳/۳	۳۴/۲	۸	۷/۹	۶/۷	۳/۴	مازودار- ویول
	۴۰	ویول							
	۱۰	سایر گونه‌ها							
۱۲	۱۴۵	ویول	۴۸/۶	۳۹/۸۶	۹/۳	۸/۶	۷/۵	۴/۶	ویول خالص
	۲۵	سایر گونه‌ها							
۱۲	۸۸	ویول	۴۵/۴	۳۹/۴۰	۸/۶	۸/۴	۷/۴	۴	ویول- برودار- مازودار
	۶۹	برودار							
	۳۸	مازودار							
	۲	سایر گونه‌ها							

جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی خاک در تیپ‌های مختلف

Table 3. Mean (± standard error) of soil physical properties in different types

معنی داری	F	ویول - برودار - مازودار	ویول خالص	مازودار - ویول	مشخصه‌های مورد بررسی
۰/۱۷۸ ^{ns}	۱/۷۴	۳۴/۸±۳/۳۸ ^a	۲۳/۴±۵/۱۹ ^a	۲۷/۸±۴/۶۸ ^a	شن (درصد)
۰/۳۲۰ ^{ns}	۱/۲۵	۳۷±۲/۳۰ ^a	۴۹/۲±۷/۵۵ ^a	۴۳±۶/۴۵ ^a	سیلت (درصد)
۰/۶۱۶ ^{ns}	۰/۶۷	۲۸/۲±۳/۹۹ ^a	۲۷/۴±۴/۰۵ ^a	۲۹/۲±۵/۵۴ ^a	رس (درصد)
		لومی - رسی	لومی - رسی	لومی	بافت

ns و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری است.

جدول ۴- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های شیمیایی خاک در تیپ‌های مختلف

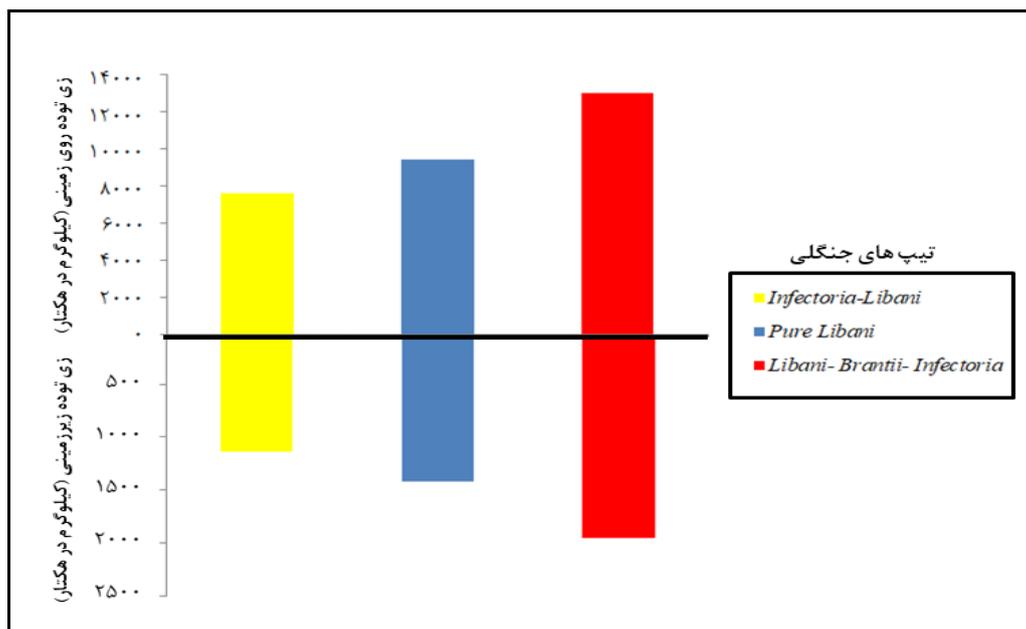
Table 4. Mean (± standard error) of soil chemical properties in different types

معنی داری	F	ویول - برودار - مازودار	ویول خالص	مازودار - ویول	مشخصه‌های مورد بررسی
۱/۴۹۵ ^{ns}	۲/۷۹	۶/۵۸±۰/۰۲ ^a	۶/۶۱±۰/۰۳ ^a	۶/۳۸±۰/۰۲ ^a	pH واکنش خاک
۰/۰۵۸ ^{ns}	۲/۰۴	۳۸۹/۶±۳۶/۹۹ ^a	۴۷۶/۲±۳۶/۸۶ ^a	۵۰۴/۶±۱۶/۶۴ ^a	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)
۰/۱۳ ^{ns}	۱/۶۱	۰/۷۳±۰/۰۵ ^a	۰/۸۸±۰/۰۷۹ ^a	۰/۶۵±۰/۰۶ ^a	کربن آلی خاک (درصد)
۰/۰۰۴*	۵/۴۱	۱/۵۱±۰/۰۱ ^{ab}	۱/۴۸±۰/۰۱ ^b	۱/۵۳±۰/۰۰۵ ^a	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)

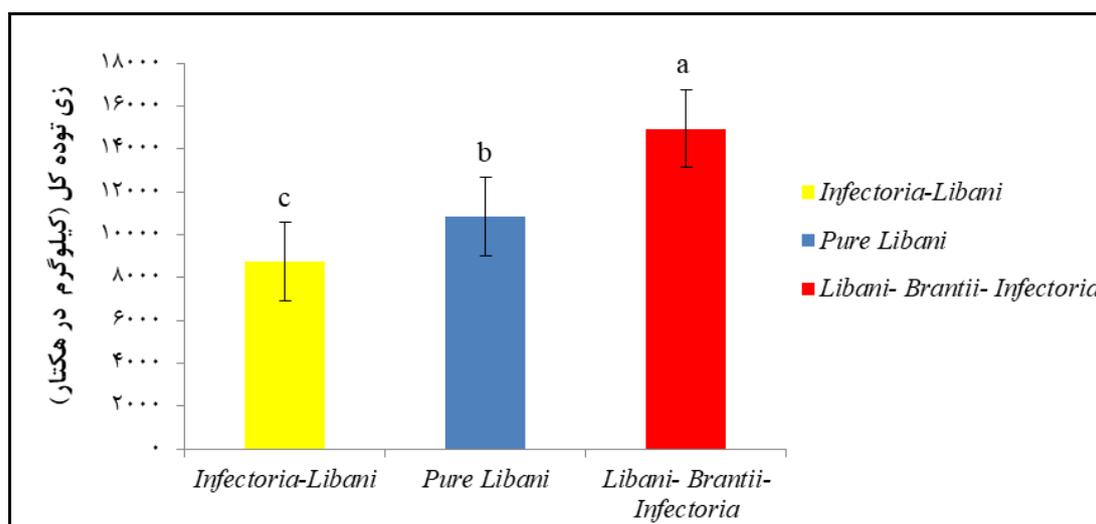
حروف متفاوت لاتین نشان دهنده اختلاف معنی داری و حروف مشابه و ns نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی داری است.

بود (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای زی توده کل در تیپ‌های مورد بررسی مقادیر متفاوتی را نشان داد، به طوری که در تیپ آمیخته ویول- برودار- مازودار بیشترین (۱۴۹۴۸/۴۳ کیلوگرم در هکتار) و در تیپ مازودار- ویول کمترین (۸۷۳۴/۶۶ کیلوگرم در هکتار) مقدار را نشان داد.

مقدار زی توده روی زمینی در تیپ ویول- مازودار ۷۵۹۵/۳۵ کیلوگرم در هکتار، در تیپ ویول خالص ۹۴۳۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار و در تیپ ویول- برودار- مازودار ۱۲۹۹۸/۶۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). همچنین مقدار زی توده زیرزمینی در تیپ های مازودار- ویول، ویول خالص و ویول- برودار- مازودار به ترتیب ۱۱۳۹/۳۰، ۱۴۱۵/۹۱ و ۱۹۴۹/۷۹ کیلوگرم در هکتار



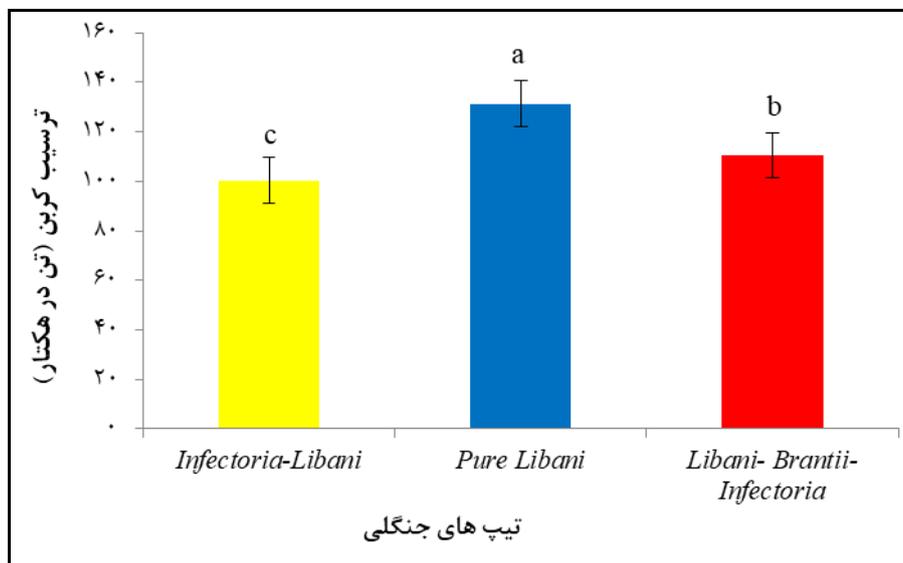
شکل ۲- مقدار زی توده روی زمینی و زیرزمینی به ترتیب در تیپ‌های مازودار- ویول، ویول خالص و ویول- برودار- مازودار
Figure 2. The amount of above-ground and below-ground in *infectoria- libani*, *Pure libani* and *libani- brantii- infectorai* types respectively



شکل ۳- مقدار زی توده کل به ترتیب در تیپ های مازودار- ویول، ویول خالص و ویول- برودار- مازودار
Figure 3. The amount of total biomass in *infectoria- libani*, *Pure libani* and *libani- brantii- infectorai* types respectively.

سایر تیپ‌ها بود. مقدار ترسیب کربن در تیپ‌های ویول-برودار-مازودار و مازودار-ویول به ترتیب ۱۱۰/۳۴ و ۱۰۰/۳۷ تن در هکتار بود (شکل ۴).

مقدار ترسیب کربن خاک با استفاده از ویژگی‌های کربن آلی خاک، وزن مخصوص ظاهری و عمق مورد بررسی برای تیپ‌های مختلف محاسبه شد و مقدار ترسیب کربن در تیپ ویول خالص با ۱۳۱/۳۲ تن در هکتار به طور معنی‌داری بیشتر از



شکل ۴- ترسیب کربن خاک به ترتیب در تیپ‌های مازودار-ویول، ویول خالص و ویول-برودار-مازودار

Figure 4. Carbon sequestration in *infectoria-libani*, *Pure libani* and *libani-brantii-infectoriai* types respectively

بحث

آرمده بانه به عنوان یک بخش از جنگل‌های زاگرس شمالی دارای سه گونه‌ی بلوط هستند و در کل گونه‌ی لیبانی در موقعیت مورد بررسی توانست به صورت خالص و آمیخته با گونه‌های دیگر تشکیل تیپ جنگلی دهد. با توجه به نتایج جدول ۲ گونه‌ی ویول در دو تیپ ویول خالص و ویول-برودار-مازودار به عنوان درخت غالب با ویژگی‌های جنگل‌شناسی برتر توانست سهمی ویژه در زی‌توده کربن داشته باشد (۲۷). قطر برابر سینه مهم‌ترین مشخصه کمی درختان جنگلی در اندازه-گیری‌ها محسوب شده و به دلیل ارتباط مستقیم با حجم، رویه زمینی و موجودی جنگل، یکی از عوامل مهم در تعیین کیفیت رویشگاه‌های جنگلی است. ولی‌پور و همکاران (۲۸) در مطالعه خود در جنگل‌های زاگرس شمالی عنوان کردند که ویژگی‌های جنگل‌شناسی از قبیل ارتفاع و مساحت تاج پوشش در تیپ ویول خالص بیشتر از سایر تیپ‌ها است. در تحقیق حاضر نیز تیپ ویول خالص از لحاظ ویژگی‌های جنگل‌شناسی نسبت به

مقدار زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگلی علاوه بر اینکه بیانگر مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل می‌باشد، بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جنگل نیز تاثیر می‌گذارد. همچنین عواملی مانند بحران گرمایش جهانی و تعیین مقدار کربن ذخیره شده در زی‌توده درختان جنگلی با اندازه‌گیری زی‌توده جنگل ارتباط مستقیم دارند (۲۵). در رابطه با برآورد زی‌توده تیپ‌های جنگلی به خصوص گونه‌های پهن‌برگ استفاده از روابط زیست-سنجی می‌تواند نسبت به استفاده از روش مستقیم ساده‌تر و منطقی‌تر باشد، زیرا شکل شاخه‌ها و بقیه اجزای درخت در این گونه‌ها خیلی پیچیده است و تفکیک اجزای مختلف این گونه‌ها دشوار است (۲۶). ویژگی‌های تراکم، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان مختلف در واحدهای شکل زمین تیپ جنگلی را تشکیل می‌دهند. این ویژگی‌ها به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده یک درخت سهم زی‌توده کربن را در درختان مختلف و در نهایت تیپ جنگلی تحت تاثیر قرار می‌دهند. جنگل‌های

کربن در این تحقیق هم راستا با تحقیق لن و همکاران (۳۷) بود. اسپینوسا و همکاران (۳۸) در بررسی معادلات زیست-سنجی زی توده دو گونه‌ی بلوط در جنگل‌های اروپای مرکزی قطر برابر سینه را به عنوان بهترین متغیر معرفی کرده و بیان کردند که استفاده از متغیرهای مربوط به تاج در شرایط خاص بوم‌سازگان قابل استفاده می‌باشد. نتایج زی توده کربن در این تحقیق نشان داد که مقدار گزارش شده در تیپ‌های مختلف بیشتر از مقدار گزارش شده در تحقیق باده‌یان و همکاران (۳۹) در منطقه حفاظت شده زاوولی در غرب استان کردستان و نزدیک به مقدار گزارش شده توسط سلیمانی پور و همکاران در جنگل‌های بلوط استان چهارمحال و بختیاری است (۴۰). به طوری که این اختلاف می‌تواند ناشی از اندازه و سلامت درختان، شرایط رویشگاهی، وضعیت تاج‌پوشش بهتر و میزان تراکم بیشتر در منطقه مورد مطالعه باشد.

ترسیب کربن خاک در اکوسیستم‌های پیچیده از جمله جنگل‌ها سبب کاهش انتشار کربن، کاهش گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی می‌شود و برآورد دقیق این مقدار بسیار ضروری است. ذخیره کربن کل خاک، شامل اجزای فعال (مواد گیاهی تجزیه-پذیر، مواد گیاهی مقاوم، زی توده میکروبی و مواد گیاهی هوموسی شده) و غیرفعال است و از مدیریت بوم نظام‌ها و کاربری‌ها تأثیر می‌پذیرد. نتایج تحقیق حاضر بالا بودن مقدار ترسیب کربن را در تیپ ویول خالص (شکل ۴) نشان داد که می‌توان این چنین استنباط کرد به خاطر بهتر بودن شرایط در زاگرس شمالی برای گونه ویول و استقرار آن در خاک‌های حاصلخیز باشد، بدین دلیل میزان ترسیب کربن خاک در این تیپ نسبت به تیپ‌های آمیخته بیشتر است. باده‌یان و همکاران در تحقیقی بالا بودن ذخیره کربن را در تیپ خالص راش نسبت به تیپ‌های آمیخته گزارش کردند (۴۱).

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر زی توده روی زمینی و زی توده زیرزمینی با استفاده از روش غیرمستقیم برآورد شدند. در مجموع ۵۰۷ درخت متعلق به ۳ گونه بلوط در تیپ‌های مختلف مورد

سایر تیپ‌ها از وضعیت بهتری برخوردار بود (جدول ۲). بالا بودن این مقادیر در تیپ ویول خالص به سرشت فیزیولوژیک این گونه در جنگل‌های زاگرس شمالی بستگی داشته و با سایر گزارش‌های از این منطقه مطابقت دارد (۲۸). نتایج بافت خاک بیانگر این بود که بین مقادیر رس، سیلت و شن اختلاف معنی-داری بین تیپ‌ها وجود ندارد (جدول ۳) که با نتایج هگن-تورن و همکاران (۲۹) مطابقت دارد. ایشان در بررسی ۶ گونه درختی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی به این نتیجه رسیدند که بافت خاک تحت تاثیر گونه‌های مختلف قرار نگرفت. اسیدیته به عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی کیفیت خاک و هدایت الکتریکی به عنوان یک ویژگی تاثیرگذار بر رشد و تولید ماده خشک در گیاه از مهم‌ترین متغیرهای خاک هستند (۳۰).

اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک نیز در تیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند که این نتیجه بر خلاف نتایج تام و همکاران (۳۱) در جنگل‌های مختلف در جنوب غربی سوئد بود. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وزن مخصوص ظاهری، بافت خاک، ساختمان خاک و تراکم خاک هستند. بنابراین، هرچه بافت خاک رسی‌تر و ساختمان خاک مطلوب‌تر و خاک متراکم‌تر باشد، تخلخل خاک بیشتر و در نتیجه وزن مخصوص ظاهری خاک کمتر می‌شود (۳۲). نتایج تحقیق حاضر اختلاف معنی‌داری بین وزن مخصوص ظاهری در تیپ‌های مختلف نشان داد (جدول ۴). صالحی و همکاران (۳۳) به این نتیجه رسیدند که وزن مخصوص ظاهری خاک دارای تغییرات معنی‌داری در ارتباط با تغییرات گروه‌های اکولوژیک درختی است. همچنین بین جرم مخصوص ظاهری و درصد کربن آلی خاک رابطه‌ای متقابل وجود دارد، به طوری که افزایش مقدار ماده آلی خاک، وزن مخصوص ظاهری را کاهش و درصد منافذ و میزان نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد (۳۴).

نوع تیپ‌های جنگلی در میزان ترسیب کربن مؤثر است (۳۵). مقدار زی توده کربن در تیپ آمیخته ویول-برودار-مازودار بیشتر از دیگر تیپ‌ها بود (شکل ۳). مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار کربن تحت تأثیر تیپ جنگل، اقلیم، خاک، توپوگرافی و فعالیت انسانی قرار دارد (۳۶). نتایج بیشتر بودن زی توده

6. Luo Y, Wang X, Ouyang Z, Lu F, Feng L, Tao J. A review of biomass equations for China's tree species. *Earth System Science Data*. 2020;12(1):21-40.
7. Bi W, Weng B, Yan D, Zhang D, Liu C, Shi X, et al. Response of summer maize growth to drought-flood abrupt alternation. *Frontiers in Earth Science*. 2023;11:1086769.
8. Zakaria R, Chen G, Chew LL, Sofawi AB, Moh HH, Chen S, et al. Carbon stock of disturbed and undisturbed mangrove ecosystems in Klang Straits, Malaysia. *Journal of Sea Research*. 2021;176:102113.
9. Li Y, Li M, Wang Y. Forest Aboveground Biomass Estimation and Response to Climate Change Based on Remote Sensing Data. *Sustainability*. 2022;14(21):14222.
10. Mohd Zaki NA, Abd Latif Z. Carbon sinks and tropical forest biomass estimation: a review on role of remote sensing in aboveground-biomass modelling. *Geocarto International*. 2017;32(7):701-16.
11. Fradette O, Marty C, Tremblay P, Lord D, Boucher J-F. Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks in afforested open woodlands with black spruce and jack pine, in the eastern canadian boreal forest. *Forests*. 2021;12(1):59.
12. Brown S, Gillespie AJ, Lugo AE. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science*. 1989;35(4):881-902.
13. Nelson BW, Mesquita R, Pereira JL, De Souza SGA, Batista GT, Couto LB. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest*

ارزیابی و برآورد قرار گرفتند. با توجه به اهمیتی که جنگل‌های شهرستان بانه از نظر اقتصادی- اجتماعی، حفاظتی و احیایی دارند، نتایج این مطالعه اهمیت جنبه زیست‌محیطی این جنگل‌ها و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در سطح محلی و توجه به نگرش جهانی ارزش‌های متعدد ذخیره کربن را روشن ساخت. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده متفاوت بودن مقدار زی‌توده و ترسیب کربن خاک در تپه‌های مختلف است. مدیریت صحیح جنگل‌های بلوط به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم دارای اهمیت بسزایی است. در نهایت می‌توان با توجه به اهمیت موضوع تجارت کربن از این موضوع در راستای احیاء و نگهداری پایدار این اکوسیستم‌های طبیعی بهره‌مند شد.

References

1. Panda M, Lele N, Murthy T, Samal R, Pattnaik A, Sahu SC. Assessment of mangrove stand biomass in relation to forest structural attributes in Bhitarkanika National Park, India. *Vegetos*. 2023;1-11.
2. Gogoi A, Ahirwal J, Sahoo UK. Evaluation of ecosystem carbon storage in major forest types of Eastern Himalaya: Implications for carbon sink management. *Journal of Environmental Management*. 2022;302:113972.
3. Hurteau MD, North MP, Koch GW, Hungate BA. Managing for disturbance stabilizes forest carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019;116(21):10193-5.
4. Gashu G. Carbon stock variation along environmental gradient of Wacho Forest, South-Western Ethiopia. *Computational Ecology and Software*. 2022;12(3):167.
5. Billenberg M. Investigation of above-ground biomass with terrestrial laser scanning: A case study of Valls Hage in Gävle. 2023.

- different oak types in relation with soil characteristics in the forests of north Zagros (Case study: Armardeh Baneh). *Journal of Natural Environment*. 2023.
21. Blake G[†], Hartge K. Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*. 1986;5:363-75.
 22. Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 2005;145:87-99.
 23. Hou Y, He K, Chen Y, Zhao J, Hu H, Zhu B. Changes of soil organic matter stability along altitudinal gradients in Tibetan alpine grassland. *Plant and Soil*. 2021;458:21-40.
 24. Tilaki GAD, Rahmani R, Hoseini SA, Vasenev I. The effect of land management on carbon sequestration in salty rangelands of Golestan province, Iran. *Acta Ecologica Sinica*. 2022;42(1):82-9.
 25. Lorenz K, Lal R. *Carbon sequestration in forest ecosystems*: Springer; 2009.
 26. Cole TG, Ewel JJ. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*. 2006;229(1-3):351-60.
 27. Maleki S, Pilehvar B, Mahmoodi MA. Response of soil microbial respiration to environmental factors of temperature and moisture in five forest types of Zagros (case study: Armardeh Baneh forests). *Forest Research and Development*. 2023;9(2):275-89.
 28. Valipour A, Namirani M, Ghazanfari H, Heshmatol Vaezin SM, ecology and management. 1999;117(1-3):149-67.
 14. Xiao C-W, Ceulemans R. Allometric relationships for below-and aboveground biomass of young Scots pines. *Forest ecology and management*. 2004;203(1-3):177-86.
 15. Helmisaari H-S, Makkonen K, Kellomäki S, Valtonen E, Mälkönen E. Below-and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest ecology and management*. 2002;165(1-3):317-26.
 16. Iranmanesh Y, Sagheb Talebi K, Sohrabi H, Jalali SG, Hosseini SM. Biomass and carbon stocks of brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 2014;22(4):749-62.
 17. Maleki S, Pilehvar B, Mahmoodi MA. Daily and seasonal changes of soil respiration under the influence of temperature and moisture factors in different types of oak. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 2022;29(4):59-73.
 18. Padalia K, Bargali SS, Bargali K, Manral V. Soil microbial biomass phosphorus under different land use systems of Central Himalaya. *Tropical Ecology*. 2022:1-19.
 19. Maleki S, Pilehvar B, Mahmoodi MA. Response of soil microbial respiration to environmental factors of temperature and moisture in five forest types of Zagros (case study: Armardeh Baneh forests). *Forest Research and Development*. 2023.
 20. Maleki S, Pilehvar B, Mahmoodi MA. Assessing the vegetation diversity of

- engineering properties of clays. *Advances in Civil Engineering*. 2021;2021:1-11.
35. Gucinski H, Vance E, Reiners WA. Potential effects of global climate change. *Ecophysiology of coniferous forests*: Elsevier; 1995. p. 309-31.
36. Honda Y, Yamamoto H, Kajiwara K. Biomass information in central Asia. Center for environmental remote sensing, Chiba University. 2000;263:1-33.
37. Lan T, Gu J, Wen Z. Spatial distribution characteristics of carbon storage density in typical mixed fir and broadleaf forests. *Energy Reports*. 2021;7:7315-22.
38. Espinosa M, Acuña E, Cancino J, Muñoz F, Perry DA. Carbon sink potential of radiata pine plantations in Chile. *Forestry*. 2005;78(1):11-9.
39. Badehiyan Z, Foshat M. Investigation on the soil carbon sequestration in natural forest and different plantation types (case study: Chamestan forest, Mazandaran). *Forest and Wood Products*. 2016;69(3):523-34.
40. Soleimanipour SS, Adeli K, Mafi-Gholami D, Naghavi H. Economic Evaluation of Carbon Sequestration in Zagros Oak Forests (Case Study: The Pahnus Forest habitat, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*. 2022;10(20):185-206.
41. Badeban Z, Mashayekhi Z, Zebardast L, Mobrghee N. Economic valuation of carbon sequestration function in the mixed and pure beech stands (case study: Kheyroud forests). *Environmental Researches*. 2015;5(9):147-56.
- Lexer MJ, Plieninger T. Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). *Iranian journal of Forest and Poplar research*. 2013;21(1):30-47.
29. Hagen-Thorn A, Callesen I, Armolaitis K, Nihlgård B. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest ecology and management*. 2004;195(3):373-84.
30. TAWFIK AA, Noga G. Priming of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds and its effect on germination, emergence and storability. *Journal of applied botany* (1995). 2001;75(5-6):216-20.
31. Tamm CO, Hallbäcken L, editors. Changes in soil pH over a 50-year period under different forest canopies in SW Sweden. *Acidic Precipitation: Proceedings of the International Symposium on Acidic Precipitation Muskoka, Ontario, September 15–20, 1985; 1987*: Springer.
32. Kooch Y, Hosseini S, Mohammadi J, Hojjati S. Effects of uprooting tree on herbaceous species diversity, woody species regeneration status and soil physical characteristics in a temperate mixed forest of Iran. *Journal of Forestry Research*. 2012;23:81-6.
33. Salehi A, Zarin Km, Zahedi Ag, Marvi Mm. A study of soil physical and chemical properties in relation to tree ecological groups in nam-khaneh district of kheirood-kenar forest. 2005.
34. Gui Y, Zhang Q, Qin X, Wang J. Influence of organic matter content on