

نقش جنگلهای شاخه‌زاد بلوط در ذخیره کربن و جذب CO₂ (مطالعه موردی: جنگلهای اندیل خلخال)

امین خادمی^{۱*}، ساسان بابایی کفاکی^۲ و اسداله متاجی^۳

*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر. پست الکترونیک: khademi_54a@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲

چکیده

به منظور بررسی توان ذخیره کربن و جذب CO₂ در جنگلهای شاخه‌زاد بلوط، مطالعه‌ای در منطقه جنگلی شاخه‌زاد اوری در شمال‌شرقی خلخال در مساحتی حدود ۲۷۸ هکتار انجام شد. پس از تلفیق نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع و درصد تاج‌پوشش، تعداد واحدهای همگن و مساحت آنها تعیین شده ۶۰ جست‌گروه اوری به‌عنوان نمونه انتخاب و به‌گونه‌ای در عرصه پراکنده شدند که کلیه شرایط محیطی و تیپولوژی توده در آن لحاظ شده باشد. پس از کف‌بردن نمونه‌ها، ریشه‌ها نیز جمع‌آوری شدند. وزن تر اندام‌ها جداگانه توزین و برای تعیین وزن خشک، اندام‌ها به کوره چوب خشک‌کنی منتقل شدند که بر این اساس میزان بیوماس اندام‌ها محاسبه شد. پس از کسر خاکستر اندام‌ها از میزان بیوماس، کربن آلی ذخیره شده در آنها تعیین و میزان CO₂ جذب شده محاسبه گردید. برای تعیین میزان کربن ذخیره شده در خاک، نمونه‌هایی از عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. نتایج نشان می‌دهد که توده جنگلی سالانه به‌طور متوسط ۱/۵۱ تن در هر هکتار از طریق بیوماس و ۰/۱ تن در هکتار در خاک کربن ذخیره می‌کند. بر این اساس جذب سالانه CO₂ در هر هکتار از توده به‌طور متوسط ۵/۹۴ مگاگرم (۵/۵۲ مگاگرم از طریق بیوماس و ۰/۴۲ مگاگرم از طریق خاک) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تثبیت کربن، CO₂، جنگل شاخه‌زاد، زی‌توده، اوری، گازهای گلخانه‌ای.

مقدمه

گرم شدن هوا یک پدیده جهانیست و ناشی از افزایش ممتد گازهای گلخانه‌ای مانند گاز کربنیک در اتمسفر و حاصل مصرف رو به ازدیاد سوختهای فسیلی، از بین رفتن جنگلهای، چرای بی‌رویه مراتع، تغییر کاربری و برخی فعالیت‌های منجر به توسعه در زندگی بشر است (بابایی کفاکی، ۱۳۸۲).

تولید گازهای گلخانه‌ای در دوران انقلاب صنعتی به‌طور چشمگیری افزایش یافت، به‌ویژه در قرن اخیر که غلظت دی‌اکسید کربن از ۲۸۰ ppm قبل از انقلاب صنعتی به ۳۸۶ ppm در سال ۲۰۰۶ افزایش یافته است. دی‌اکسید

کربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ایست که به‌تدریج باعث افزایش درجه حرارت کره زمین می‌شود (Qin & Zhou, 2006) و تغییرات اقلیمی سبب کاهش جذب کربن در گیاهان می‌گردد که در این صورت کل ذخیره کربن خاک تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱۱ درصد کاهش خواهد داشت (Ju & Chen, 2007). در اکوسیستم‌های خشکی، گیاهان مهمترین جذب کننده‌های دی‌اکسید کربن محسوب می‌شوند. گیاهان دی‌اکسید کربن را از اتمسفر جذب و طی فرایند فتوسنتز در بیوماس خود ذخیره می‌کنند. به‌طوری که در تنفس بخشی از کربن ذخیره شده به اتمسفر منتشر می‌شود که به اختلاف بین این دو، تولید خالص اولیه گفته می‌شود (Sun et al., 2004). اختلاف

با بررسی و اندازه‌گیری کربن ترسیب شده در بیوماس و خاک جنگل در درصدهای مختلف تاج‌پوشش، امکان برگشت هزینه مدیریت علمی این منابع از طریق افزایش درصد توده و جذب CO_2 در اندام‌های گیاهی قابل ارزیابی خواهد بود. هدف از این تحقیق تعیین میزان ذخیره کربن و جذب CO_2 در بیوماس و خاک رویشگاه مورد مطالعه و بررسی ارتباط آن با ویژگی‌های توده جنگلی (قطر، ارتفاع و میزان بیوماس) و همچنین بررسی جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ترسیب کربن در جنگلهای شاخه‌زاد اوری می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از لحاظ جنس گونه غالب (اوری) و عوامل تخریب (حضور دام در عرصه، تبدیل اراضی جنگلی و سرشاخه‌زنی اوری برای تعلیف دام) مشابه جنگلهای زاگرس و رویشگاه‌های جنوب البرز است و بر این اساس نتایج تحقیق می‌تواند به‌طور تقریبی قابل تعمیم به مناطق مشابه باشد.

مواد و روشها

توده مورد مطالعه با مساحت ۲۷۸/۴ هکتار در ۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان خلخال و در ارتفاع ۱۹۸۰ تا ۲۵۲۷ متری از سطح دریا ($28^{\circ} 34' 48''$ تا $36^{\circ} 16' 36''$ طول شرقی و $37^{\circ} 38' 43''$ تا $40^{\circ} 06' 37''$ عرض شمالی) واقع شده است. براساس آمارهای هواشناسی، میزان بارندگی سالیانه در منطقه ۳۸۴/۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۸/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. توان تبخیر و تعرق سالانه ۱۲۰۰ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان ۹۲/۵ روز در سال است. نوع اقلیم منطقه با توجه به ضریب آمبرژه ($Q_2 = 57/2$) نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. تعداد ماه‌های خشک سال ۴ ماه بوده و از خردادماه شروع و تا شهریورماه ادامه دارد (Anon., 2007). منطقه مورد بررسی عمدتاً دارای جهت جغرافیایی شمالی و جنوبی بوده و بیش از ۹۲ درصد رویشگاه در طبقات شیب ۳۰ تا ۸۰ درصد و حدود ۷۹ درصد در طبقه ارتفاعی ۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد (خادمی، ۱۳۸۰). بافت

بین کربن جذب شده و انتشار یافته را ترسیب کربن (Carbon sequestration) می‌گویند که امروزه به‌عنوان بحث مهمی در سطح جهان مطرح است (Woodbury, 2007). جنگلهای جزء مهمترین اکوسیستم‌های خشکی بوده که نقش عمده‌ای در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو، بین زمین و اتمسفر بازی کرده (Sun et al., 2004) و حدود ۷۵ درصد ذخیره کربن این اکوسیستم‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهند (Geng et al., 2000). همچنین ۴۹ درصد از ذخیره کل کربن در تنه درختان افتاده و سرپا، ۲۷ درصد در لاشریزه، شاخه‌ها و سایر محصولات چوبی و بقیه در خاک و کف جنگل انباشته شده است (Woodbury, 2007). جنگلهای چین سالانه ۱۱۸/۱ میلیون تن کربن در نتیجه رویش درختان و ۱۸/۴ میلیون تن کربن در خاک جنگل ذخیره می‌کنند و نیز ۳۸/۹ میلیون تن کربن در اتمسفر رها می‌سازند که بدین ترتیب میزان جذب خالص برابر ۹۷/۶ میلیون تن خواهد بود (Zhang, 2003). بررسی‌ها نشان می‌دهد که جنگلهای پهن‌برگ همیشه‌سبز توان بیشتری برای جذب CO_2 دارد و هدایت جنگل سوزنی‌برگ به پهن‌برگ همیشه‌سبز می‌تواند جذب کربن را افزایش دهد (Kooten, 2004). همچنین ذخیره کربن در بیوماس گیاهان در جنگلهای مدیریت شده، جنگلهایی با مدیریت به‌روش سنتی و مراتع به‌ترتیب ۳۳۵، ۱۴۵ و ۴۶ تن در هکتار می‌باشد و ذخیره کربن تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک صورت می‌گیرد (Kirby, 2007). از این رو بین حاصل‌خیزی خاک و شاخص سطح برگ با رویش درختان و میزان بیوماس و در نتیجه میزان ذخیره کربن رابطه مستقیمی وجود دارد (Arias, 2007). پالایش کربن با روشهای مصنوعی مانند فیلتر هزینه‌های سنگینی را در بردارد، به‌طوری که در آمریکا این هزینه را حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ دلار برای هر تن کربن تخمین زده‌اند (Finer, 1996). مهمترین هزینه جذب کربن حفاظت از جنگلهاست که حدود ۴۶/۶ تا ۲۶۰/۳ دلار برای هر تن کربن محاسبه می‌شود (Kooten, 2004). در این تحقیق

یعنی شهریورماه برداشت شدند. پس از کف‌بر کردن جست‌گروه‌ها، قطورترین جست به‌عنوان پایه اصلی و سایر جست‌ها به‌عنوان شاخه در نظر گرفته شدند. با حفر خاک اطراف کنده تا شعاع یک متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر، ریشه‌های اصلی و فرعی با قطر بیش از یک میلی‌متر جمع‌آوری شدند. با توجه به قطر متوسط پایه‌های اوری و سنین برآورد شده از دیسک‌ها در قطرهای مختلف، سن متوسط توده برآورد شد. وزن تر اندام‌ها (تنه، شاخه، ریشه، برگ و لاشریزه) جداگانه تا دقت صد گرم توزین و برای تعیین وزن خشک، اندام‌ها به کوره چوب خشک‌کنی منتقل و به مدت ۳ روز در حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و مجدداً تا دقت صد گرم توزین شدند و بر این اساس میزان بیوماس اندام‌های هوایی و زیرزمینی محاسبه شد. در نهایت با سوزاندن اندام‌های هوایی و زیرزمینی، وزن خاکستر آنها تعیین و با کسر وزن خاکستر از وزن بیوماس، میزان ماده آلی ذخیره شده در پایه‌ها محاسبه شد (بردبار، ۱۳۸۳؛ Anon., 1996). پس از اعمال ضریب ۱۲:۴۴ (Anon., 1996) در میزان کربن آلی ذخیره شده در اندام‌های مختلف، میزان جذب CO₂ در طول دوره رشد توده و در تراکم‌های مختلف تاج‌پوشش محاسبه شد. برای محاسبه وزن لاشریزه از زیر تاج‌پوشش پایه‌هایی که به‌منظور برداشت انتخاب شده بودند در سطحی به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر، لاشریزه‌های موجود جمع‌آوری و وزن آنها تا دقت یک گرم تعیین شد و با توجه به میانگین درصد تاج‌پوشش هر واحد همگن (۲/۵، ۱۵، ۳۷/۵، ۶۲/۵ و ۸۷/۵ درصد) به سطح یک هکتار تعمیم داده شد (بردبار، ۱۳۸۳). برای تعیین میزان کربن ذخیره شده در خاک، نمونه‌هایی از عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد، همچنین به‌منظور تعمیم میزان کربن در نمونه‌های اندازه‌گیری شده به میزان کربن در هکتار منطقه، وزن مخصوص ظاهری خاک نیز در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. بررسی ارتباط

خاک منطقه لومی، لومی-رسی و لومی-سیلتی بوده و با افزایش ارتفاع از سطح دریا به دلیل افزایش رطوبت (تحت شرایط میکروکلیمای منطقه و وجود مه در ارتفاعات بالا) میزان اسیدیته کاهش می‌یابد (خادمی، ۱۳۸۷). همچنین در ارتفاعات بالاتر میزان نیتروژن قابل جذب و کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. در این بررسی پس از برداشت موقعیت محدوده مناطق جنگلی با استفاده از دستگاه GPS و پیاده کردن آن بر روی نقشه توپوگرافی، مساحت منطقه در محیط GIS تعیین و نقشه‌های جهات جغرافیایی، شیب و ارتفاع منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نقشه پوشش گیاهی منطقه با توجه به تاج‌پوشش و تصویر عمودی اندام‌های هوایی بر روی زمین تعیین شد. براساس میزان درصد تاج‌پوشش، منطقه به ۵ طبقه کمتر از ۵، ۵ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و بیش از ۷۵ درصد تقسیم شد (مقدم، ۱۳۸۰).

پس از تلفیق نقشه‌های درصد، شیب، جهات‌های جغرافیایی و ارتفاع، ۶۳ واحد همگن تفکیک و مساحت آنها تعیین گردید. ۶۰ جست‌گروه از گونه اوری به‌عنوان نمونه انتخاب (با توجه به مجوز سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور) و از ۵۱ واحد همگن با مساحت بیش از ۱/۵ هکتار برداشت شد (در واحدهایی با مساحت بیش از ۱۰ هکتار دو نمونه برداشت شد). نمونه‌ها به‌گونه‌ای در عرصه پراکنده شدند که تمام تنوع شرایط محیطی و تیپولوژی توده در آن لحاظ شده باشد. نمونه‌ها به‌صورت تصادفی در واحدهای همگن تعیین شده و بر روی نقشه جانمایی شدند و سپس این نقاط با استفاده از GPS در عرصه مشخص و جست‌گروه‌های مورد نظر کف‌بر شدند. برای بررسی میزان رویش و تعیین تعداد جست‌گروه‌ها در هر هکتار، آماربرداری از توده به‌صورت تصادفی و با قطعات نمونه مربعی ۱۵ آری انجام شد (طهماسبی، ۱۳۷۴). پایه‌های برداشت شده در هر واحد همگن به‌عنوان مرکز قطعه نمونه در نظر گرفته شدند. نمونه‌های تعیین شده در انتهای دوره رویش و قبل از خزان برگها

اوری در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳/۲۳ سانتی متر و ۲/۱۸ متر محاسبه شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطقی با تراکم زیاد تاج پوشش میزان رویش نیز بیشتر می شود (جدول ۱). با توجه به سن متوسط توده (۱۴ سال)، رویش سالانه قطر برابر سینه و ارتفاع به ترتیب ۰/۲۳ و ۱۵/۶ سانتی متر تعیین شد. متوسط سالانه تولید بیوماس اندام های مختلف ۱/۵۸ تن در هکتار برآورد گردید که بیوماس اندام های هوایی بیش از بیوماس اندام زیرزمینی بود، به نحوی که از اندام های مختلف بیشترین بیوماس در تنه (قطرترین پایه هر جست گره) ذخیره شده بود (جدول ۲).

بیوماس با قطر برابر سینه و ارتفاع جست ها از طریق رگرسیون بررسی و برای مقایسه اختلاف میانگین ها، میزان کربن ذخیره شده و CO₂ جذب شده توسط اندام ها در درصدهای مختلف تاج پوشش از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج

در بررسی منطقه ۱۵ گونه درختی و درختچه ای و ۷ تیپ جنگلی در توده مورد مطالعه شناسایی شدند. اوری (*Quercus macranthera*) و کرب (*Acer campestre*) فراوانترین گونه های موجود در منطقه هستند و تیپ بلوط خالص و بلوط- کرب بیش از ۸۲ درصد سطح منطقه را تشکیل می دهند. میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع گونه

جدول ۱- نتایج حاصل از مطالعات کمی گونه اوری در درصدهای مختلف تاج پوشش

ارتفاع تاج پوشش (متر)	قطر برابر سینه (سانتی متر)	قطر بن (سانتی متر)	تعداد متوسط جست گره ها در هکتار	سطح جنگل (هکتار)	درصد
۱/۷۷	۲/۵۶	۵/۱	۳۳۱	۴۵/۱	< ۵
۲/۱۱	۲/۹۹	۵/۴۸	۱۰۱۹	۷۴/۳	۵-۲۵
۲/۱۸	۳/۱۴	۵/۵۸	۱۹۲۴	۳۸/۲	۲۵-۵۰
۲/۳۲	۳/۵۰	۵/۷۳	۳۱۷۶	۴۴/۲	۵۰-۷۵
۲/۵۴	۳/۹۴	۶/۰۶	۴۴۰۰	۷۶/۶	۷۵ <
۲/۱۸	۳/۲۳	۵/۵۹			متوسط
۰/۰۸۲	۰/۱۸۲	۰/۲۱۷			اشتباه معیار

جدول ۲- میزان سالیانه ذخیره بیوماس اندام های هوایی و زیرزمینی به تن در هکتار در درصدهای مختلف تاج پوشش

مجموع	اندام زیرزمینی	اندام های هوایی	لاشریزه	ریشه	برگ	شاخه	تنه	درصد تاج پوشش
۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	< ۵
۰/۷۸	۰/۲۵	۰/۵۳	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۲	۰/۲۷	۵-۲۵
۱/۱۹	۰/۴۶	۰/۷۳	۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۳۸	۲۵-۵۰
۲/۶۴	۰/۷۸	۱/۸۶	۰/۱۳	۰/۷۸	۰/۲	۰/۷۲	۰/۹۵	۵۰-۷۵
۳/۱۷	۰/۹۱	۲/۲۵	۰/۲۷	۰/۹۱	۰/۲۳	۰/۸	۱/۲۲	۷۵ <
۱/۵۸	۰/۴۹	۱/۰۹	۰/۰۹	۰/۴۹	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۵۷	میانگین
۰/۱۷۹۲	۰/۰۴۱۹۳	۰/۱۳۷۹	۰/۰۱۱۷۸	۰/۰۴۱۹۳	۰/۰۱۲۸۳	۰/۰۵۴۶۷	۰/۰۷۵۳	اشتباه معیار

گیاهی و خاک، بیشترین میزان ذخیره کربن به ترتیب در تنه، ریشه، شاخه، خاک، برگ و لاشریزه اتفاق می‌افتد. میزان ذخیره کربن آلی در اندام‌های هوایی بیش از دو برابر اندام زیرزمینی است (جدولهای ۳، ۴ و ۶). میزان جذب CO₂ در هر هکتار از رویشگاه به‌طور متوسط سالیانه حدود ۵٫۵۲ مگاگرم در بیوماس و ۰٫۴۲ مگاگرم در خاک می‌باشد (جدولهای ۵ و ۶).

وزن خاکستر اندام‌های مختلف گونه اوری حدود ۱۰٫۱ درصد وزن خشک را تشکیل می‌دهد که این نسبت در اندام‌های مختلف متفاوت بوده، به‌طوری که در تنه ۱۱٫۲، شاخه ۱۱، برگ ۹٫۲ و ریشه ۸٫۹ درصد می‌باشد. میزان کربن آلی ذخیره شده در بیوماس اندام‌های گیاهی و خاک منطقه جنگلی مورد مطالعه به‌طور متوسط سالیانه ۱٫۶۱ تن در هکتار (۱٫۵۱ تن از طرق بیوماس و ۰٫۱ تن از طریق خاک) می‌باشد. در بین اندام‌های مختلف

جدول ۳- میزان کربن آلی ذخیره شده در اندام‌های مختلف در طول دوره رشد (۱۴ سال) به تن در هکتار

تنه	شاخه	برگ	ریشه	لاشریزه	اندام‌های هوایی	اندام زیرزمینی	مجموع
۷/۱	۵/۲۸	۱/۴	۶/۲۳	۱/۱۶	۱۳/۷۸	۶/۲۳	۲۱/۱۷

جدول ۴- میزان سالیانه کربن آلی ذخیره شده در اندام‌ها به تن در هکتار در درصدهای مختلف تاج‌پوشش

درصد تاج‌پوشش	تنه	شاخه	برگ	ریشه	لاشریزه	اندام‌های هوایی	اندام زیرزمینی	مجموع
< ۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۸۳	۰/۰۴۳	۰/۱۲۶
۵-۲۵	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۰۴۶	۰/۲۲	۰/۰۵۴	۰/۵۳۶	۰/۲۲	۰/۸۱
۲۵-۵۰	۰/۳۴۲	۰/۲۵	۰/۰۶۵	۰/۴۲	۰/۰۴۵	۰/۶۵۷	۰/۴۲	۱/۱۲۲
۵۰-۷۵	۰/۸۴	۰/۶۳۶	۰/۱۸	۰/۷۱	۰/۱۰۴	۱/۶۵۶	۰/۷۱	۲/۴۷
۷۵ <	۱/۰۸	۰/۷۱۱	۰/۲	۰/۸۳	۰/۲۱۱	۱/۹۹۱	۰/۸۳	۳/۰۳۲
میانگین	۰/۵۰۸	۰/۳۶۷	۰/۱	۰/۴۴۵	۰/۰۸۳	۰/۹۸۵	۰/۴۴۵	۱/۵۱

جدول ۵- میزان معادل جذب سالیانه CO₂ در اندام‌های هوایی و زیرزمینی به مگاگرم در هکتار در درصدهای مختلف تاج‌پوشش

درصد تاج‌پوشش	تنه	شاخه	برگ	ریشه	لاشریزه	اندام‌های هوایی	اندام زیرزمینی	مجموع
< ۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۵۹	۰/۱۶	۰/۷۵
۵-۲۵	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۱۷	۰/۸۲	۰/۰۲	۱/۷۴	۰/۸۲	۲/۵۸
۲۵-۵۰	۱/۲۵	۰/۹۱	۰/۲۴	۱/۵۳	۰/۱۶۵	۲/۴	۱/۵۳	۴/۱
۵۰-۷۵	۳/۱	۲/۳۳	۰/۶۵	۲/۶۱	۰/۳۸	۶/۰۵	۲/۶۱	۹/۰۴
۷۵ <	۳/۹۵	۲/۶۱	۰/۷۴	۳/۰۴	۰/۷۷	۷/۳	۳/۰۴	۱۱/۱۱
میانگین	۱/۸۶	۱/۳۴	۰/۴۲	۱/۶۳	۰/۲۷	۳/۶۲	۱/۶۳	۵/۵۲

جدول ۶- درصد کربن آلی، میزان ذخیره کربن و جذب CO₂ در خاک توده مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی متر)	درصد کربن آلی	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	میزان ذخیره کربن* (تن در هکتار)	میزان ذخیره سالانه کربن** (تن در هکتار)	میزان جذب CO ₂ * (مگاگرم بر هکتار)	میزان جذب سالانه CO ₂ ** (مگاگرم بر هکتار)
۰-۱۰	۲/۴۳	۱/۳۵	۰/۵۰	۰/۳۵	۱/۸۳	۰/۱۳
۱۰-۳۰	۲/۲۴	۱/۴	۰/۹۲	۰/۶۵	۴/۰۶	۰/۲۹
مجموع			۱/۴۲	۰/۱	۵/۸۹	۰/۴۲

* میزان ذخیره کربن و جذب CO₂ در خاک جنگل مورد مطالعه در طول دوره رشد (۱۴ سال)** میزان سالیانه ذخیره کربن و جذب CO₂ در خاک جنگل مورد مطالعه

نتایج آزمون دانکن نشان داد که میزان درصد تاج پوشش اختلاف معنی داری دارد سالانه CO₂ جذب شده در هکتار در بین تمامی طبقات (جدولهای ۷ و ۸).

جدول ۷- تجزیه واریانس میزان جذب CO₂ در بیوماس گونه اوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	معنی داری
تیمار	۴	۱۰۱۸,۰۸۰	۲۵۴,۵۲۰	۲۹۷۷۴,۳۵	۰,۰۰۰
خطا	۵۸	۰,۴۹۶	۰,۰۰۹		
کل	۶۲	۱۰۱۸,۵۷۵			

جدول ۸- آزمون دانکن میزان جذب سالانه CO₂ در بیوماس و خاک جنگل مورد مطالعه در هر هکتار در درصدهای مختلف تاج پوشش

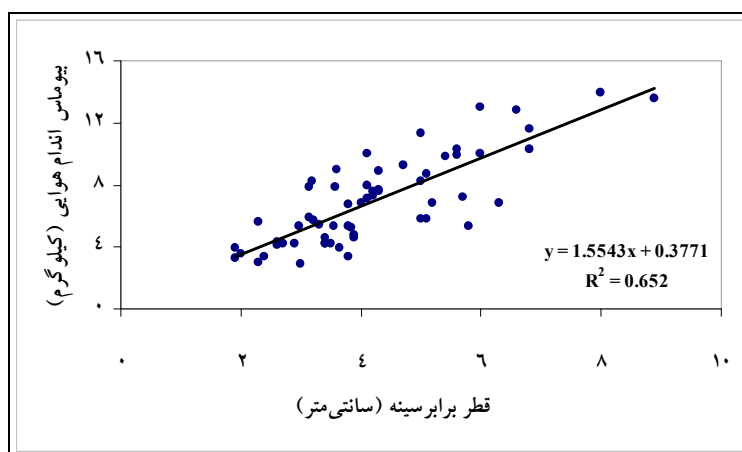
سطح اطمینان ۹۹ درصد					تعداد	درصد تاج پوشش
۵	۴	۳	۲	۱		
				۱/۱۷۴ A	۱۲	< ۵
			۳/۰۲۲ B		۱۸	۵-۲۵
		۴/۵۱۴ C			۸	۲۵-۵۰
	۹/۴۶ D				۱۱	۵۰-۷۵
۱۱/۵۲۸ E					۱۴	۷۵ <
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰		معنی داری

هوایی با قطر برابر سینه ($R^2 = ۰,۶۵۲$) و ارتفاع هوایی با قطر برابر سینه و ارتفاع گونه اوری، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که بین بیوماس اندام های

معادله های مختلف رگرسیون بین بیوماس اندام های هوایی با قطر برابر سینه و ارتفاع گونه اوری، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که بین بیوماس اندام های

جدول ۹- تجزیه واریانس میزان بیوماس اندام‌های هوایی و قطر برابرسینه

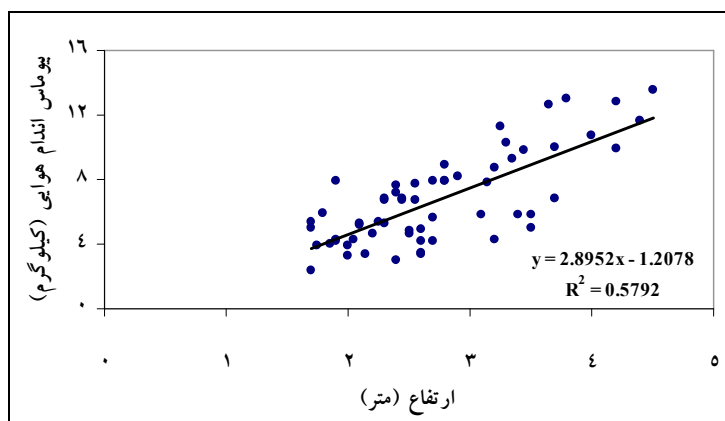
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	معنی داری
تیمار	۱	۳۱۲,۴۲۵	۳۱۲,۴۲۵	۱۰۸,۶۴۸	۰,۰۰۰
خطا	۵۸	۱۶۶,۷۸۳	۲,۸۷۶		
کل	۵۹	۴۷۹,۲۰۸			



شکل ۱- رابطه بین قطر برابرسینه و بیوماس اندام‌های هوایی در منطقه جنگلی مورد مطالعه

جدول ۱۰- تجزیه واریانس میزان بیوماس اندام‌های هوایی و ارتفاع

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره F	معنی داری
تیمار	۱	۲۶۷,۸۱۴	۲۶۷,۸۱۴	۷۹,۸۴۶	۰,۰۰۰
خطا	۵۸	۱۹۴,۵۳۹	۳,۳۵۴		
کل	۵۹	۴۶۲,۳۵۳			



شکل ۲- رابطه بین ارتفاع و بیوماس اندام‌های هوایی در منطقه جنگلی مورد مطالعه

بحث

میزان رویش سالانه قطری و ارتفاعی اوری در توده مورد مطالعه به ترتیب ۰/۲۳ و ۱۵/۶ سانتی متر می باشد که با افزایش درصد تاج پوشش میزان رویش بیشتر می شود. بر این اساس می توان ادعان داشت که با افزایش درصد تاج پوشش، کیفیت رویشگاه نیز بهتر می شود که نتایج بررسی (Arias (2007 در کاستاریکا این مطلب را تأیید می کند. میزان بیوماس تولیدی در هر هکتار از توده به طور متوسط ۱/۵۸ تن در سال می باشد. از مجموع بیوماس ۶۵/۳ درصد در اندام های هوایی، ۲۹/۳ درصد در اندام زیرزمینی و ۵/۴ درصد در لاشریزه ذخیره می شود. مناطقی با تراکم تاج پوشش کمتر از ۲۵ درصد به ویژه در شیب های جنوبی به دلیل تجزیه سریع فاقد لاشبرگ بودند.

در بین اندام های مختلف، تنه ۷/۱، ریشه ۶/۳، شاخه ۵/۳، برگ ۱/۴ و لاشریزه با ۱/۱۶ تن در هکتار بیشترین میزان ذخیره کربن را به خود اختصاص داده اند (جدول ۳). بیشترین میزان ذخیره کربن در اندام های هوایی صورت گرفته که نتایج بررسی (Peichl (2006 این موضوع را تأیید می کند. رویشگاه جنگلی مورد مطالعه به طور متوسط سالیانه ۱/۵۱ تن در هر هکتار از طریق بیوماس و ۰/۱ تن در هکتار در خاک، کربن ذخیره می کند. با افزایش عمق خاک میزان ذخیره کربن کمتر می شود، به نحوی که (Vesterdal (2002 در جنگل کاری بلوط و (Kirby (2007 در شرق پاناما در تحقیقات خود به نتایج مشابهی در این زمینه رسیده اند.

توده مورد مطالعه سالیانه در هر هکتار به طور متوسط ۵/۵۲ مگاگرم از طریق بیوماس و ۰/۴۲ مگاگرم از طریق خاک CO₂ جذب می کند، بنابراین جذب سالیانه CO₂ در هر هکتار از توده جنگلی مورد مطالعه ۵/۹۴ مگاگرم می باشد. با افزایش درصد تاج پوشش میزان جذب به شدت افزایش می یابد و در تراکم های مختلف از اختلاف معنی داری برخوردار می شوند، به طوری که میزان جذب در طبقه تاج پوشش ۵ تا ۲۵ درصد بیش از ۳ برابر طبقه

تاج پوشش کمتر از ۵ درصد می باشد. میزان جذب در تنه، ریشه، شاخه، خاک، برگ و لاشریزه به ترتیب ۱/۸۶، ۱/۶۳، ۱/۳۴، ۰/۴۲، ۰/۴۲ و ۰/۲۷ مگاگرم بوده که بیشترین جذب در تنه و کمترین آن در لاشریزه اتفاق می افتد. مقایسه نتایج این تحقیق و مطالعات شرکت بوم آباد (بی نام، ۱۳۸۲) در غرب کشور نشان می دهد که میزان جذب CO₂ در توده شاخه زاد اوری مورد مطالعه بیشتر از جنگلهای بلوط غرب می باشد که این اختلاف می تواند ناشی از حاصل خیزی بیشتر خاک و درصد بیشتر تاج پوشش در منطقه مورد مطالعه باشد. به دلیل عدم وجود جاده های دسترسی در ارتفاعات بالاتر، امکان حضور عوامل تخریب از جمله انسان و دام کم بوده و این امر سبب شده تا در این مناطق میزان رویش قطری و ارتفاعی و در نتیجه میزان بیوماس افزایش یابد. با توجه به این که هر هکتار از توده به طور متوسط سالانه ۱/۶۱ تن کربن ذخیره می کند و هزینه پالایش هر تن کربن به روش مصنوعی حداقل ۳۰۰ دلار تخمین زده شده است (Finer, 1996)، بنابراین ارزش زیست محیطی توده در طول دوره رشد فقط از طریق ذخیره کربن در سطحی حدود ۲۷۸ هکتار بیش از ۱۹ میلیارد ریال برآورد می گردد که بسیار بیشتر از هزینه حفظ و احیاء توده می باشد. ارزش اقتصادی هر تن چوب هیزمی حدود پانصد هزار ریال می باشد (بی نام، ۱۳۸۴)، در صورتی که ارزش تثبیت هر تن کربن بیش از ۳ میلیون ریال برآورد می گردد. همچنین با تبدیل تولیدات جنگل شاخه زاد به محصولات پایدارتری مانند نئوپان و فیبر می توان از برگشت سریع کربن به طبیعت جلوگیری کرد.

بر اساس آمار معاونت جنگلهای خارج از شمال (بی نام، ۱۳۸۵)، مساحت جنگلهای زاگرس در تاج پوشش کمتر از ۵، ۵ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰ و بیش از ۵۰ درصد به ترتیب ۱۷۷۲۵۵۰ (۳۵/۱ درصد)، ۲۷۳۲۰۵۰ (۵۴/۱ درصد)، ۳۱۸۱۵۰ (۶/۳ درصد) و ۲۲۷۲۵۰ (۴/۵ درصد) هکتار می باشد. با توجه به ذخیره سالانه کربن در هر هکتار از درصدهای مشابه در توده مورد مطالعه (کمتر از ۵، ۲۵-

منابع مورد استفاده

- بابایی کفاکی، س.، ۱۳۸۳. نقش جنگلها و مراتع کشور در جذب و انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارائه روشهایی جهت کاهش انتشار. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۱۳۸۳: ۳۲۳-۳۲۸.
- بردبار، ک.، ۱۳۸۳. بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل کاریهای اکالیپتوس و آکاسیای استان فارس. فصلنامه پژوهش و سازندگی، شماره ۷۰: ۹۵-۱۰۳.
- بی‌نام، ۱۳۸۲. مطالعه تعیین ارزش کارکردها و خدمات عمده غیر تجاری جنگلها و مراتع کشور. معاونت طرح و برنامه و آمار سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، مهندسين مشاور بوم‌آباد، ۱۵۲ صفحه.
- بی‌نام، ۱۳۸۴. فهرست جداول بخش پنجم: سوخت‌های جامد، ارزش هر واحد از تولیدات فراورده‌های جنگلی ۱۳۷۶-۱۳۸۴. سازمان انرژی ایران، ۳۱ صفحه.
- بی‌نام، ۱۳۸۵. طرح تعیین درصد تاج‌پوشش جنگلهای زاگرس. معاونت جنگلهای خارج از شمال، سازمان جنگلها و مراتع و آبخیزداری کشور، ۶۷ صفحه.
- خادمی، ا.، ۱۳۸۰. شناسایی و تیپ‌بندی رویشگاه جنگلی اندبیل خلخال. جلسه بحث کارشناسی جنگل‌داری. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نوشهر چالوس، ۴۲ صفحه.
- خادمی، ا.، ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل ذخیره کربن و جذب دی‌اکسید کربن در جنگلهای شاخه‌زاد بلوط. رساله دکتری تخصصی جنگل‌داری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۵۳ صفحه.
- طهماسبی. م.، ۱۳۷۴. بررسی مناسبترین ابعاد شبکه آماربرداری و سطح قطعه نمونه برای دقت معین در جنگلهای بلوط غرب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۹۱ صفحه.
- مقدم، م.ر.، ۱۳۸۰. اکولوژی توصیفی و آماری پوشش گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۵ صفحه.
- Anonymus, 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reference Manual. IPCC, 60 p.
- Anonymus, 2007. Internal report, data and files. Department of meteorology, Tehran, Iran, <http://www.weather.ir>.

۵، ۲۵-۵۰ و بیش از ۵۰ درصد به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۷، ۱/۱۲ و ۲/۷۵ تن در هکتار، میزان ذخیره سالانه کربن در بیوماس جنگلهای زاگرس در تاج‌پوشش کمتر از ۵، ۲۵-۵، ۵۰-۲۵ و بیش از ۵۰ درصد به ترتیب ۲۳۰۴۳۱، ۱۹۱۲۴۳۵، ۳۵۶۳۲۸ و ۶۲۴۹۳۷ تن برآورد می‌گردد. بنابراین جنگلهای زاگرس سالانه در مساحتی حدود ۵۰۵۰۰۰۰ هکتار، وزنی برابر ۳۱۲۴۱۳۲ تن در بیوماس درختان و ۵۱۵۱۰۰ تن در خاک جنگل، کربن ذخیره می‌کنند که به‌طور متوسط سالانه ۰/۷۲ تن در هکتار ذخیره کربن و ۲/۶۴ مگاگرم در هکتار جذب CO₂ صورت می‌گیرد. بر این اساس ارزش اقتصادی تنظیم گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار از جنگلهای زاگرس سالیانه ۲/۱۶ میلیون ریال برآورد می‌گردد.

به‌طور کلی با توجه به وجود مسائل پیچیده در اکوسیستم‌های طبیعی و مسائلی مانند معدنی شدن مواد آلی، تأثیر عوامل اقلیمی و سایر عوامل بر روی جذب دی‌اکسید کربن در درختان، ضروریست تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گیرد و توان جنگلهای طبیعی و گونه‌های قابل استفاده در جنگل‌کاری در ذخیره‌سازی کربن در سایر مناطق رویشی ایران بررسی شود و همچنین تأثیر عملیات حفاظتی، حمایتی و جنگل‌شناسی در تغییر میزان ذخیره کربن در توده‌های مختلف جنگلی تعیین گردد. همچنین باید با بررسی روند برگشت کربن ذخیره شده در اندام‌ها و قسمت‌های مختلف توده به طبیعت و تعیین راه‌کارهای مناسب به‌منظور کاهش سرعت این برگشت از انتشار میزان قابل توجهی از CO₂ به اتمسفر جلوگیری کرد. با توجه به وسعت و توان جنگلهای شاخه‌زاد کشور می‌توان با کاهش فشار وارده به جنگلهای اجتماعی و کم کردن وابستگی جنگل‌نشینان به جنگل ضمن احیاء جنگل و افزایش درصد تاج‌پوشش توده‌های جنگلی، گام مؤثری در کاهش گازهای گلخانه‌ای برداشت.

- Peichl, M., 2006. Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest meteorology*, 140 (1-4): 51-63.
- Qin, D.H. and Zhou, G.S., 2006. *Global Cycling*. China Meteorological Press, Beijing (in Chinese).
- Journal of Environmental management, 85: 607-615.
- Sun, R., Chen, J., Zhou, M. and Liu, Y., 2004. Spatial distribution of net primary productivity and evapotranspiration in Changbaishan natural reserve, China, using Landsat ETM⁺ data. *Canadian Journal of Remote sensing*, 30: 731-742.
- Vesterdal, L., 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management*, 169 (1-2): 137-147.
- Woodbury, B., 2007. Carbon sequestration in U.S. forest sector from 1990 to 2010. *Forest Ecology and Management*, 241 (1-3): 14-27.
- Zhang, X., 2003. Potential carbon sequestration in China's forest. *Environmental science and Policy*, 6: 421-432.
- Arias, D., 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 247: 185-193.
- Finer, L., 1996. Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L. stand growing on a bog. *Forest Ecology and Management*, 80: 1-11.
- Geng, Y., Dong, Y. and Meng, W., 2000. Progresses of terrestrial carbon cycle studies. *Advance in Earth Science*, 19: 297-306.
- Ju, W. and Chen, J., 2007. Future carbon balance of china's forest under climate change and increasing CO₂. *Journal of Environmental management*, 86: 11-18.
- Kirby, R., 2007. Variation in carbon storage among tree species; implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 93: 23-31.
- Kooten, G., 2004. How costly are carbon offsets. A meta-analysis of carbon forest sinks. *Environmental science and Policy*, 7: 239-251.

The role of coppice oak stand in carbon storage and CO₂ uptake (Case study: Khalkhal, Iran)

A. Khademi^{1*}, S. Babaei Kafaki² and A. Mataji³

1*-Corresponding author, Assistant Prof., Islamic Azad University, Malayer Branch, Iran. E-mail: khademi_54a@yahoo.com

2- Assistant Prof., Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

3- Associate Prof., Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Abstract

Regarding to the importance of forest in carbon sequestration, this study attempted to investigate the carbon storage potential and CO₂ uptake in a coppice oak stand. An area of 278 ha of Khalkhal forest located in Ardebil province, north of Iran was selected as the study area. After combining slope, aspect and hypsometric maps, 63 land units (polygons) as well as their area were determined. Then 60 sample trees were selected in such a way that all environmental and typological conditions were taken into account. After determining the fresh weight of different parts of trees in the field, their dry weight and biomass was determined after drying in the kiln. The humus was collected and weighted from an area of 400 cm² under canopy of each tree. To determine the organic carbon content of the biomass, ash content was deduced from dry biomass. To determine the amount of stored carbon in soil, samples were collected from 0-10 and 10-30 cm soil depths. The amount of annual sequestrated carbon in biomass and soil was estimated as 1.51 and 0.1 tons per hectare, respectively. The annual carbon dioxide uptake was 5.94 tons per ha.

Key words: Carbon sequestration, CO₂, coppice stand, biomass, oak tree, greenhouse gases.