

ترسیب کربن در یک توده جنگلکاری شده با اقاچیا (*Robinia pseudoacacia L.*)

امین خادمی*

* نویسنده مسئول، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه مهندسی فضای سبز، ملایر، ایران. پست الکترونیک: aminkhademi28@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۰۱

چکیده

افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به جنگل و خاک و توانایی آنها در ترسیب کربن به صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود. جنگل‌کاری در اراضی بایر و مدیریت بهینه آن اثر زیادی بر افزایش ترسیب کربن خاک دارد، به طوری که خاک اکوسیستم جنگل در تعادل با پوشش درختی و گیاهی، مخزن اصلی کربن آلی است. به منظور بررسی مقدار ذخیره کربن در پارک جنگلی بام ملایر، واحدهای همگنی که گونه اقاچیا در آن حضور داشت، در روی نقشه مشخص شد و آماربرداری صددرصد از آنها انجام شد. پنج پایه از قطر متوسط هر طبقه قطری به عنوان نمونه برداشت و با استفاده از روش قطع و توزین، مقدار زی توده و در نهایت کربن آلی ذخیره شده و CO_2 جذب شده محاسبه شد. برای تعیین مقدار کربن ذخیره شده در خاک، ۴۰ نمونه از عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد. نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی ذخیره شده سالانه در هر هکتار از توده موردتحقیق ۱/۶ تن است که از این مقدار ۰/۳۵۱ تن در زی توده اقاچیا و ۱/۲۵۳ تن در خاک ذخیره می‌شود. جذب سالانه CO_2 در هر هکتار از توده به طور متوسط ۵/۸۷ تن است. همچنین نتایج آزمون دانکن نشان داد که میانگین ذخیره کربن در طبقات قطری موردبررسی از اختلاف معنی دار آماری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، جذب CO_2 ، جنگلکاری، اقاچیا، ملایر.

مقدمه

تلطیف هوا و تعدیل شرایط اقلیمی به عنوان یک منبع تولیدی مانند تولید غذا، چوب، علوفه و پارک گردشگری منافع بسیاری را نصیب جوامع نماید (Schuman et al., 2002). تغییر اقلیم با تأثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک و همچنین چرخه عناصر غذایی، بر پوشش گیاهی و ترکیب گونه‌ها اثر می‌گذارد و به دلیل تغییر در زی توده به نظر می‌رسد بر ذخیره کربن آلی و در نتیجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز اثرگذار است. به عبارت دیگر تخریب خاک به کاهش حاصل خیزی، کاهش مقدار و کیفیت زی توده برگشتی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌انجامد (Lal, 2004). افزایش گازهای گلخانه‌ای منجر به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی شده و آثار زیانباری بر حیات انسان در روی کره زمین گذاشته است. دی‌اکسیدکربن

امروزه گرم شدن کره زمین بر اثر انتشار وسیع گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی متأثر از آن، یکی از مهم‌ترین موضوعات علمی و مخاطرات زیست‌محیطی جامعه جهانی شده است در میان گازهای گلخانه‌ای، CO_2 انتشار وسیعی را داراست. سالانه ۳/۳ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن وارد اتمسفر می‌شود که این مقدار ۳۰ درصد بیشتر از زمان قبل از انقلاب صنعتی است (Hopmans & Elms, 2009). یکی از مهم‌ترین اقدامات برای جلوگیری از بروز وضعیت فوق، علاوه بر تغییر مصرف نوع انرژی، جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و مراتع و احیاء پوشش گیاهی است که موجب ذخیره کربن هوا می‌شود. ترسیب این گاز از طریق جنگل‌کاری می‌تواند علاوه بر حفاظت منابع آب و خاک،

دلار برای هر تن کربن تخمین زده‌اند (Finer, 1996). در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل کاری می‌توان علاوه بر ایجاد فضای سبز، تولید چوب و مزایای زیست‌محیطی، به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز دست یافت. با توجه به اهمیت تأثیر سیستم‌های مدیریتی بر ترسیب کربن، محققان در تلاشند تا از ویژگی‌های حاکم بر جنگل شهری و نحوه مدیریت آنها بیشتر استفاده را در افزایش مقدار ترسیب کربن انجام دهند. افاقیا گونه‌ای کم‌توقع و سازگار با شرایط آب‌وهوایی بیشتر مناطق رویشی ایران است و به دلیل خزان برگ‌ها در زمستان تحت تأثیر سرمای بیش از حد زمستان قرار نمی‌گیرد. هدف از این تحقیق تعیین مقدار ذخیره کربن و جذب CO₂ در زی‌توده و خاک رویشگاه پارک جنگلی بام ملایر و بررسی ارتباط آن با ویژگی‌های توده جنگلی (قطر، ارتفاع و مقدار زی‌توده) و همچنین بررسی جنبه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی ترسیب کربن در جنگل کاری است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پارک جنگلی بام ملایر واقع در شمال شرقی شهر ملایر با ارتفاع ۱۸۰۶ تا ۱۹۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. براساس آمارهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ملایر، مقدار بارندگی سالانه در منطقه ۳۰۰/۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد است. قابلیت تبخیر و تعرق سالانه ۱۲۰۰ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان ۶۷/۵ روز در سال است. نوع اقلیم منطقه با توجه به ضریب آمبرژه ($Q_2 = ۴۳/۴$) نیمه‌خشک سرد است. تعداد ماه‌های خشک پنج ماه است که از اوایل خرداد شروع و تا اوایل آبان ادامه دارد (Anonymous, 2008).

روش پژوهش

برای تعیین مقدار ذخیره کربن در زی‌توده موجود در گونه افاقیا در پارک جنگلی بام ملایر از روش قطع و برداشت پایه‌ها و تعیین زی‌توده با استفاده از توزین مستقیم

عمده‌ترین گاز گلخانه‌ای است که جنگل‌های شهری نیروی بالایی در جذب و ترسیب آن در زی‌توده و خاک دارند (Varamesh et al., 2011).

با توجه به این‌که ترسیب کربن یکی از معیارهای پایداری اکوسیستم است، بنابراین با شناخت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن دارند و همچنین بررسی عامل‌های مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب کربن، می‌توان اصلاح و احیای اراضی را از منظر ترسیب کربن دنبال کرد (Houghton, 2003). هرچه نیروی تولید زی‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی در گونه‌ها، عرصه‌ها و رویشگاه‌های مختلف بیشتر باشد، ذخیره کربن در پیکره درختان، لاشبرگ و خاک نیز بیشتر می‌شود و در صورتی که کارایی و سرعت عوامل منجر به تجزیه و هدررفت کربن از درخت، لاشبرگ و خاک کمتر باشد، بقای کربن ذخیره شده در اکوسیستم بیشتر می‌شود و مقدار ترسیب کربن افزایش خواهد یافت (Vallet, 2009).

گروه انرژی ایالات متحده، تسخیر و حفظ کربنی که از اتمسفر آزاد می‌شود یا در اتمسفر می‌ماند را ترسیب کربن (Carbon sequestration) نامیده است. منظور از تسخیر، جلوگیری از انتشارات کربن تولیدشده در فعالیت‌های انسانی به اتمسفر از راه حفظ و تبدیل آنها به ذخیره‌ای مطمئن یا حذف کربن اتمسفری به شیوه‌های مختلف و نگهداری آن است (Vallet, 2009). ترسیب کربن فرایندی است که طی آن دی‌اکسید کربن اتمسفر جذب شده و در بافت‌های گیاهی به صورت هیدرات کربن تجمع و رسوب می‌کند (Abdi et al., 2008). مرکز توسعه پایدار در آمریکا ترسیب کربن را تبدیل دی‌اکسید کربن اتمسفری به ترکیبات آلی کربن‌دار توسط گیاهان بیان می‌کند که طی عمل فتوسنتز انجام می‌شود (Allen Dias, 1996).

بین حاصلخیزی خاک و شاخص سطح برگ با رویش درختان و مقدار زی‌توده و در نتیجه مقدار ذخیره کربن رابطه مستقیمی وجود دارد (Arias, 2007). پالایش کربن با روش‌های مصنوعی مثل فیلتر هزینه‌های سنگینی را دربر دارد، به طوری که در آمریکا این هزینه را حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰

بعد از اعمال ضریب $\frac{44}{12}$ (وزن مولکولی دی‌اکسیدکربن (m.v.44) و وزن مولکولی کربن (m.v.12) است که برای برآورد مقدار CO₂ جذب شده ضریب ۴۴:۱۲ در مقدار کربن ذخیره شده، ضرب می‌شود؛ (Anonymous, 2000) در مقدار کربن آلی ذخیره شده در اندام‌های مختلف، میزان جذب CO₂ در طول دوره رشد توده موردتحقیق محاسبه شد (Anonymous, 1996; Khademi et al., 2010).

باتوجه به اینکه بیشترین مقدار ذخیره کربن خاک در سطوح فوقانی انجام می‌شود، برای تعیین مقدار ذخیره کربن خاک در مجموع ۴۰ نمونه خاک (۲۰ نمونه از هر عمق) از عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین به منظور تعیین مقدار کربن در نمونه‌ها به مقدار کربن ذخیره شده در هر هکتار از منطقه، وزن مخصوص ظاهری خاک نیز اندازه‌گیری شد (Bordbar & Mortazavi Jahromi, 2004; Marlen, 2002).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS_{۱۳} انجام شد. برای مقایسه اختلاف میانگین‌ها (مقدار زی‌توده در طبقات قطری مختلف) از آزمون دانکن و برای تعیین تأثیر عامل‌های محیطی بر ذخیره کربن از آزمون F استفاده شد. همچنین برای تعیین رابطه بین قطر برابرسینه و ارتفاع کل با زی‌توده اندام‌های هوایی و ضریب همبستگی از رگرسیون استفاده شد.

نتایج

۱۶٫۴ هکتار از منطقه با گونه اقاچیا جنگل‌کاری شده است که با توجه به تعداد پایه‌های جنگل‌کاری شده و پایه‌های موجود، زنده‌مانی پایه‌های اقاچیا در منطقه موردتحقیق ۸۰٫۳ درصد است. طبق نتایج به دست آمده بیشترین رویش ارتفاعی در طبقه قطری پنج سانتی‌متری و بیشترین رویش قطری در طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طبقات قطری، رویش قطری افزایش اما رویش ارتفاعی کاهش می‌یابد (جدول ۱).

اندام‌ها استفاده شد. پس از تعیین محدوده جنگل‌کاری، نقشه جهت‌های جغرافیایی، شیب منطقه و تیپ توده موردتحقیق تهیه (با توجه به اختلاف ارتفاع کم منطقه، نقشه ارتفاع تهیه نشد) و بر این اساس واحدهای همگن تفکیک و مساحت آنها تعیین شد.

با توجه به کاشت لکه‌ای گونه‌ها، محدوده حضور گونه اقاچیا روی نقشه مشخص شد و با روش آماربرداری صددرصد، مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع کل پایه‌های اقاچیا اندازه‌گیری شدند. برای تعیین مقدار زی‌توده و ذخیره کربن، تعداد ۲۰ اصله (با توجه به مجوز اداره منابع طبیعی، شرایط تقریباً یکنواخت محیطی و دامنه محدود قطری و ارتفاعی، ۲۰ پایه انتخاب شد) از پایه‌هایی که در محدوده میانگین قطری (پنج پایه از هر طبقه قطری) هر یک از طبقات قطری قرار داشتند، با در نظر گرفتن کلیه شرایط محیطی (شیب، جهت‌های جغرافیایی و خصوصیات خاک) انتخاب شد. نمونه‌های تعیین شده در انتهای دوره رویش و قبل از خزان برگ‌ها یعنی شهریورماه برداشت شدند. نمونه‌های انتخاب شده کف‌بر و اندام‌های تنه، شاخه و برگ پس از خروج از منطقه توزین شدند و برای تعیین وزن اندام زیرزمینی، کلیه ریشه‌های قطورتر از یک میلی‌متر به شعاع یک متر از یقه و تا عمقی که ریشه‌دوانی انجام شده بود، جمع‌آوری شد. با توجه به این‌که جنگل‌کاری در دوره‌های مختلف انجام شده بود، سن متوسط توده به منظور برآورد مقدار ذخیره سالانه زی‌توده و کربن از طریق برداشت دیسک از یقه و قطر برابرسینه پایه‌ها تعیین شد. رویش قطری و ارتفاعی از تقسیم متوسط قطر برابرسینه و ارتفاع کل بر سن متوسط توده محاسبه شد. در نهایت اندام‌ها به کوره چوب‌خشک‌کنی منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا وزن خشک (زی‌توده) آنها تعیین شود و با سوزاندن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و تعیین وزن خاکستر اندام‌ها، مقدار کربن ذخیره شده در پایه‌ها محاسبه شد (Bordbar & Khademi et al., 2010; Mortazavi Jahromi, 2004).

جدول ۱- نتایج به دست آمده از مطالعات کمی افاقیا در پارک جنگلی بام ملایر

طبقه قطری (سانتی متر)	تعداد پایه‌ها	مساحت (هکتار)	سن متوسط	متوسط قطر برابرسینه (سانتی متر)	رویش قطری (میلی متر)	متوسط ارتفاع (متر)	رویش ارتفاعی (سانتی متر)
۵	۱۷۴۹	۲٫۸	۱۴٫۸	۶٫۰۷	۴٫۱	۲٫۸۶	۱۸٫۳۲
۱۰	۵۲۸۶	۸٫۴۶	۲۳	۹٫۶۶	۴٫۲	۳٫۴۸	۱۵٫۱۳
۱۵	۲۲۶۳	۳٫۶۲	۳۲٫۸	۱۴٫۷۶	۴٫۵	۴٫۳۴	۱۳٫۲۳
۲۰	۹۴۵	۱٫۵	۴۰٫۵	۱۸٫۲۲	۴٫۵	۴٫۷۹	۱۲٫۸
میانگین توده			۲۵٫۳۹	۱۰٫۸	۴٫۲۵	۳٫۶۸	۱۴٫۵
اشتباه معیار				۲٫۶۹	۰٫۱۰۳	۰٫۴۳۲	۱٫۲۵۶

میانگین ذخیره سالانه زی توده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی افاقیا در این جنگل کاری ۳۹۸ کیلوگرم در هکتار بود که با افزایش طبقات قطری مقدار آن به شدت افزایش می‌یابد. در مجموع بیشترین مقدار ذخیره زی توده به ترتیب در تنه، شاخه، ریشه و برگ مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- ذخیره سالانه زی توده در اندام‌های مختلف در هر هکتار از جنگل کاری گونه افاقیا (کیلوگرم در هکتار)

طبقات قطری (سانتی متر)	سن متوسط (سال)	تنه	شاخه	برگ	ریشه	اندام‌های هوایی	مجموع
۵	۱۴٫۸	۶۹٫۱۲	۳۴٫۵۳	۲۵٫۸۷	۴۱٫۶۲	۱۲۹٫۵۲	۱۷۱٫۱۴
۱۰	۲۳	۱۴۰٫۲۶	۷۹٫۳۹	۳۲٫۳۹	۸۲٫۴۸	۲۵۲٫۰۴	۳۳۴٫۵۲
۱۵	۳۲٫۸	۲۱۵٫۳۷	۱۴۰٫۶۷	۳۷٫۶۸	۱۲۲٫۳۵	۳۹۳٫۷۲	۵۱۶٫۰۷
۲۰	۴۰٫۵	۲۵۳٫۵۸	۱۴۸٫۸۶	۴۵٫۷۵	۱۲۱٫۳۱	۴۴۸٫۱۹	۵۶۹٫۵
میانگین	۲۵٫۳۹	۱۶۹٫۵۸	۱۰۰٫۸۶	۳۵٫۴۲	۹۱٫۹۴	۳۰۵٫۸۶	۳۹۷٫۸
اشتباه معیار	۵٫۶۱۵	۴۰٫۹۳	۲۷٫۰۰	۴٫۲۱	۱۹٫۱۷	۷۱٫۸۶	۹۰٫۷۵

بررسی روابط آلومتریکی بین مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع کل با زی توده اندام‌های هوایی در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که قطر برابرسینه با ضریب همبستگی ۰/۹۶۹ و متغیر مستقل ارتفاع کل با ضریب همبستگی ۰/۸۸۸ با زی توده اندام‌های هوایی همبستگی مناسبی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج رگرسیون نشان داد که رابطه بین دو متغیر قطر برابرسینه و ارتفاع کل با زی توده اندام‌های هوایی (y=۲/۶۷۳۳x - ۱۳/۲۴۵) و ارتفاع کل با زی توده اندام‌های هوایی (y=۱۲/۱۹۱x - ۲۷/۸۳۲) در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی‌دار است. نتایج آزمون F نشان می‌دهد که از بین عوامل فیزیوگرافیک، شیب با زی توده اندام‌های هوایی ارتباط معنی‌داری دارد (جدول ۳).

جدول ۳- آزمون F زی توده اندام‌های هوایی در هکتار و درصد شیب

مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
۲۸۴۵/۱۸۳	۲	۱۴۲۲/۵۹۲	۵۰/۹۹۲	۰/۰۲۷
۴۷۴/۲۷۵	۱۷	۲۷/۸۹۹		
۳۳۱۹/۴۵۸	۱۹			

نسبت وزن خاکستر به وزن خشک در تنه، شاخه، ریشه و برگ به ترتیب ۱۱/۷۶، ۱۱/۵۴، ۱۰/۹ و ۹/۸۷ درصد محاسبه شد. مقدار ذخیره کربن آلی در اندام‌های مختلف افاقیا در طول دوره رشد توده مورد تحقیق به طور میانگین ۸/۹ تن در هکتار بود که تنه، شاخه، ریشه و برگ به ترتیب بیشترین مقدار ذخیره را انجام داده بودند.

مقدار ذخیره سالانه کربن در هر هکتار از طبقات قطری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متری به ترتیب ۱۴۵، ۲۹۶، ۴۵۷ و ۵۰۴ کیلوگرم برآورد شد. همچنین میانگین ذخیره سالانه توده با توجه به سن متوسط (۲۵/۳۹ سال) ۳۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۴). مقدار CO₂ ذخیره شده سالانه در هر هکتار از طبقات قطری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متری به ترتیب ۵۳۴، ۱۰۸۷، ۱۶۷۱ و ۱۸۵۰ کیلوگرم برآورد شد. همچنین میانگین CO₂ ذخیره شده سالانه در هر هکتار از جنگلکاری افاقیا در منطقه مورد تحقیق ۱۲۸۵ کیلوگرم تعیین شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقدار ذخیره سالانه کربن و جذب CO₂ در هکتار از طبقات قطری (کیلوگرم در هکتار)

طبقات قطری (سانتی متر)	تنه*	شاخه*	برگ*	ریشه*	اندامهای هوایی*	مجموع*	مجموع اندامها**
۵	۶۰/۹۵	۳۰/۵۴	۲۳/۱۸	۳۰/۸۴	۱۱۴/۶۷	۱۴۵/۵۱	۵۳۴
۱۰	۱۲۳/۶۵	۷۰/۱۷	۲۹/۲۲	۷۳/۴۸	۲۲۳/۰۴	۲۹۶/۵۲	۱۰۸۷
۱۵	۱۹۰/۳۴	۱۲۴/۴۵	۳۳/۹۶	۱۰۹/۰۲	۳۴۸/۷۵	۴۵۷/۷۷	۱۶۷۱
۲۰	۲۲۳/۵۸	۱۳۱/۷	۴۱/۲۳	۱۰۸/۰۵	۳۹۶/۵۱	۵۰۴/۵۶	۱۸۵۰
میانگین	۱۴۹/۶۳	۸۹/۲۲	۳۱/۹۰	۸۰/۳۵	۲۷۰/۷۵	۳۵۱/۱	۱۲۸۵
استثابهمعیار	۳۶/۱۳	۲۳/۸۹	۳/۸۱	۱۸/۴۶	۶۳/۶۰	۸۱/۷۴	۲۹۸/۸۰

* مقدار ذخیره سالانه کربن در اندامهای مختلف افاقیا در هر هکتار از طبقات قطری
** مقدار مجموع جذب سالانه CO₂ در اندامهای مختلف افاقیا در هر هکتار از طبقات قطری

نتایج آزمون دانکن در مورد ذخیره کربن در اندامهای مختلف افاقیا در هر هکتار از طبقات قطری مختلف نشان می‌دهد که میانگین ذخیره کربن در تمام طبقات قطری مورد بررسی از اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد اطمینان برخوردار است (جدول‌های ۵ و ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی گونه افاقیا

مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
۱۰۲۹/۲۵۳	۳	۳۴۳/۰۸۴	۳۶/۲۱۰	۰/۰۰۱
۱۵۱/۵۹۸	۱۶	۹/۴۷۵		
۱۱۸۰/۸۵۰	۱۹			

جدول ۶- نتایج آزمون دانکن در مورد ذخیره کربن گونه افاقیا در طبقات قطری مختلف

طبقات قطری (سانتیمتر)	فراوانی نمونه‌ها	گروه‌بندی			
		۱	۲	۳	۴
۵	۵	۱/۹۲۱a			
۱۰	۵		۵/۱۶۰b		
۱۵	۵			۱۲/۴۵۱c	
۲۰	۵				۱۶/۱۴d

مقدار درصد کربن آلی در خاک زیر پوشش افاقیا در عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۷۸ محاسبه شد که مقدار آن با افزایش عمق کاهش می‌یافت. مقدار ذخیره کربن در خاک جنگلکاری افاقیا در طول دوره رشد در عمق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۳۰ سانتی متری به ترتیب ۱۱/۵۳ و ۲۰/۲۸ تن در هکتار برآورد شد. همچنین جذب سالانه CO₂ در هر هکتار از خاک جنگلکاری با توجه به سن متوسط توده، ۳/۵۸۵ تن تعیین شد (جدول ۷).

جدول ۷- مقدار ذخیره کربن و جذب CO₂ در خاک جنگلکاری موردتحقیق (تن در هکتار)

عمق خاک (سانتی‌متر)	درصد کربن آلی	وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm ³)	مقدار ذخیره کربن در طول دوره رشد	مقدار ذخیره سالانه کربن	مقدار جذب سالانه CO ₂
صفر تا ۱۰	۰٫۹۳	۱٫۲۴	۱۱٫۵۳	۰٫۴۵۴	۱٫۶۵۵
۱۰ تا ۳۰	۰٫۷۸	۱٫۳	۲۰٫۲۸	۰٫۷۹۹	۲٫۹۳
مجموع			۳۱٫۸۱	۱٫۲۵۳	۳٫۵۸۵

بحث

می‌یابد. با توجه به معادله‌های رگرسیون، قطر برابر سینه و ارتفاع با ضریب همبستگی ۰٫۹۶۹ و ۰٫۸۸۸ به ترتیب بیشترین همبستگی را با زی توده اندام‌های هوایی داشتند که نتایج بررسی Khademi و همکاران (۲۰۱۰) و Honda و همکاران (۲۰۰۰) نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

در بین اندام‌های مختلف اقاچیا، تنه، شاخه، ریشه و برگ به ترتیب با ۳/۸، ۲/۲۷، ۲/۰۴ و ۰/۸۱ تن در هکتار بیشترین میزان ذخیره کربن را انجام داده‌اند. همچنین بیشترین مقدار ذخیره کربن در اندام‌های هوایی رخ داده است که نتایج بررسی Khademi و همکاران (۲۰۱۰)، Peichl (۲۰۰۶) و Woodbury (۲۰۰۷) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. اقاچیا در جنگلکاری موردتحقیق بطور متوسط سالانه ۳۵۱/۱ کیلوگرم در هر هکتار کربن ذخیره کرده است که نسبت به نتایج تحقیقات Vesterdal (۲۰۰۲) در جنگلکاری اقاچیا یک تا ۱۹ ساله در کانادا (۰/۸ تن در هکتار در سال) کمتر است. این اختلاف می‌تواند ناشی از حاصلخیزی متفاوت دو منطقه باشد. میزان کربن آلی ذخیره شده در اندام‌های مختلف در طول دوره رشد بطور متوسط ۸/۹۱ تن در هکتار برآورد شد که این مقدار در طبقات قطری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری به ترتیب ۱/۹۲، ۵/۱۶، ۱۲/۴۵ و ۱۶/۱۴ تن در هکتار است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که میانگین ذخیره کربن در تمام طبقات قطری از اختلاف معنی‌داری برخوردار است. مقدار ازت خاک در طبقات قطری بالا به دلیل افزایش سطح تماس ریشه با قارچ‌های میکوریز، بیشتر افزایش پیدا می‌کند که این امر می‌تواند سبب افزایش ذخیره کربن در طبقات قطری بالا باشد. نتایج بررسی Sun و همکاران (۲۰۰۴) در فنلاند

متوسط قطر برابر سینه و ارتفاع کل اقاچیا در جنگلکاری موردتحقیق به ترتیب ۱۰/۸ سانتی‌متر و ۳/۶۸ متر بود. با توجه به انجام جنگلکاری در سال‌های مختلف، براساس قطر متوسط توده و سنین برآورد شده از دیسک‌ها، سن متوسط توده ۲۵/۳۹ سال برآورد شد که در نهایت متوسط رویش سالانه قطر برابر سینه و ارتفاع به ترتیب ۴/۳۵ میلی‌متر و ۱۴/۵ سانتی‌متر تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طبقه قطری مقدار رویش قطری افزایش و مقدار رویش ارتفاعی کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل عدم نیاز به رقابت نوری در بین پایه‌ها باشد. شروع و سرعت رویش قطری در مناطق مختلف تابع وضعیت آب‌وهوایی و شرایط رویشگاهی است. در رویشگاه‌های کم حاصلخیز به ویژه در پایه‌های کم ارتفاع، تابستان کم‌آب می‌تواند موجب عدم رویش قطری در بخش وسیعی از طول ساقه شود (Namiranian, 2008). رویش طولی سالانه و ارتفاع درخت به شرایط رویشگاه و مواد ذخیره شده در پایه‌ها و همچنین آب‌وهوای فصل رویش و آب‌وهوای سال قبل به ویژه در دوره‌ای که جوانه‌ها ساخته شده و مواد غذایی ذخیره می‌شود، بستگی دارد. رویش طولی در ابتدا کند و سپس به سمت اوج رفته و دوباره از شدت آن کاسته می‌شود (Peichl, 2006; Namiranian, 2008). در مناطق کم‌شیب خاک از حاصلخیزی بهتری برخوردار است و این امر سبب شده است که مقدار رویش قطری و ارتفاعی و در نتیجه مقدار زی توده افزایش یابد. نتایج تحقیق Bordbar و Mortazavi Jahromi (۲۰۰۴) در جنگلکاری اکالیپتوس استان فارس نشان داد که در رویشگاه حاصلخیز مقدار ذخیره زی توده و کربن افزایش

یافته و این افزایش تا رسیدن به تعادل پایدار ادامه دارد. نتایج بررسی Vesterdal (۲۰۰۲) در جنگل‌کاری افاقیای یک تا ۱۹ ساله نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز کربن در عمق پنج سانتی‌متری خاک انجام می‌شود و با افزایش عمق مقدار کربن کاهش می‌یابد. همچنین نتایج تحقیق Schuman و Derner (۲۰۰۷) در شرق پاناما نشان می‌دهد که کربن تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک ذخیره می‌شود. فرایند فرسایش خاک موجب هدررفت کربن می‌شود، بنابراین از هر گونه عملیاتی که موجب سیر قهقرایی خاک و پوشش گیاهی شود، باید اجتناب شود.

مقدار جذب سالانه CO₂ در اندام‌های هوایی و زیرزمینی افاقیا به‌طور متوسط ۹۹۳ و ۲۹۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین مقدار جذب سالانه در طبقات قطری پنج، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ به ترتیب ۵۳۴، ۱۰۸۷، ۱۶۷۱ و ۱۸۵۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. مقدار جذب سالانه CO₂ در خاک جنگل‌کاری مورد تحقیق تا عمق ۳۰ سانتی‌متری ۳/۵۸۵ تن در هکتار برآورد شد. نتایج بررسی Schuman و Derner (۲۰۰۷) در جنگل‌کاری افاقیا در پاناما با سن متوسط ۵۰ سال نشان می‌دهد که مقدار جذب سالانه CO₂ در خاک منطقه ۸/۶ تن در هکتار است که بیشتر از دوبرابر جنگل‌کاری منطقه مورد تحقیق است. این افزایش مقدار جذب به دلیل تفاوت در حاصلخیزی رویشگاه‌ها و سن بیشتر پایه‌هاست، چون با افزایش سن جنگل‌کاری مقدار ترسیب و جذب کربن در خاک افزایش می‌یابد (Vallet, 2009). نتایج تحقیقات Mahmoudi Talegani و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که حجم در هکتار جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار بر ترسیب کربن است، بنابراین برای افزایش کربن در خاک، باید فعالیت‌های مدیریتی مانند افزایش میزان کربن وارد شده به خاک مثل لاشبرگ و بقایای گیاهی و کاهش مقدار تجزیه کربن خاک اعمال شوند.

با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای و اهمیت موضوع ترسیب کربن توجه به مواردی از قبیل بررسی توان تثبیت کربن بوسیله گونه‌های قابل‌استفاده در

Zhang (۲۰۰۷) در چین نشان می‌دهد که با افزایش ازت مقدار رویش و تولید افزایش یافته و در نتیجه ذخیره کربن بیشتر می‌شود. افزایش مقدار ورودی مواد آلی و عناصر غذایی خاک از طریق افزایش مقدار لاشریز ورودی به کف جنگل‌کاری، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، تغییر در میکروکلیم، افزایش فعالیت‌های ریشه در گردش عناصر و همچنین تأثیر مثبت تاج‌پوشش درختان در کاهش آبهویی عناصر و فرسایش از دلایل قابل ذکر برای افزایش در عناصر غذایی و مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در زی‌توده گونه‌ها و خاک جنگل‌کاری در طبقات قطری بالا در مقایسه با Hagen-Thorn *et al.*, (2004).

مقدار ذخیره کربن در خاک این جنگل‌کاری در طول دوره رویش در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر ۱۱/۵۳ و در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر ۲۰/۲۸ تن در هکتار بود که با افزایش عمق خاک مقدار ذخیره کربن کاهش نشان می‌داد. مقدار کربن ترسیب‌شده در سطح بالایی خاک بیشتر از لایه زیرین بود که با یافته‌های Schuman و همکاران (۲۰۰۲) و Varamesh و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد و دلیل آنرا می‌توان تجمع زیاد لاشبرگ در سطح خاک و روند تدریجی آن دانست. Varamesh و همکاران (۲۰۱۰) ترسیب کربن خاک در توده ۴۰ ساله افاقیا در جنگل‌کاری پارک چیتگر تهران را ۷۸/۲ تن در هکتار تعیین کردند که مقدار نیتروژن خاک یکی از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک بود. توانایی زیاد گیاهان خانواده Legumnoae در تثبیت ازت و رابطه مستقیم ترسیب کربن و تثبیت ازت می‌تواند گزینه‌ای برای افزایش سطح جنگل‌کاری‌ها با این گونه باشد. نتایج تحقیقات Khademi و همکاران (۲۰۱۰) و Richards و همکاران (۲۰۰۷)، ازت را مهم‌ترین عامل خاکی موثر بر ذخیره کربن آلی خاک معرفی می‌کند. تفاوت ترسیب کربن در خاک منطقه مورد تحقیق و پارک چیتگر ارتباط زیادی با سن جنگل‌کاری دارد، به‌طوری‌که نتایج تحقیق Vallet (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که با افزایش سن جنگل‌کاری، کربن آلی خاک افزایش

- native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 247: 185-193.
- Bordbar, S.K. and Mortazavi Jahromi, S.M. 2004. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. *Pajouhesh & Sazandegi*, 70: 95-103 (In Persian).
 - Derner, J. and Schuman, E. 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62: 77-85.
 - Finer, L. 1996. Variation in the amount and quality of litter fall in a *pinus sylvestris* L. stand growing on a bog. *Forest Ecology and Management*, 80:1-11.
 - Hagen-Thorn, A., Neff, S. and Rich, L. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195: 373-384.
 - Honda, Y., Yamamoto, H. and Kajiwar, K. 2000. Biomass information in central Asia. Center for Environmental Remote Sensing, 263: 1-33.
 - Hopmans, P. and Elms, S.R. 2009. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of *Pinus radiata* on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management*, 258: 2183-2193.
 - Houghton, R.A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 9: 500-509.
 - Khademi, A., Babaei Kafaki, S. and Mataji, A. 2010. The role of coppice oak stand in carbon storage and CO₂ uptake (Case study: Khalkhal, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18: 252-263 (In Persian).
 - Lal, R. 2004. Soil Carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma*, 123: 1-22.
 - Mahmoudi Talegani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, E. and Sagheb Talebi, Kh. 2006. Assessment of Carbon sequestration in soil layers of managed forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 3:241-252 (In Persian).
 - Marlen, D. 2002. National-scale estimation of change in soil carbon stocks on agricultural

جنگلکاری مناطق خشک و نیمه‌خشک، بررسی تأثیر عملیات حفاظتی، حمایتی و جنگل‌شناسی در تغییر میزان ذخیره کربن در توده‌های جنگل‌کاری‌شده، در نظر گرفتن ارزش‌ها و کارکردهای زیست‌محیطی جنگل‌کاری به‌ویژه جذب و ترسیب کربن و برآورد ارزش اقتصادی دقیق این نوع کارکردها و دخالت دادن آن در بیان طرح به‌طور کامل ضروری به‌نظر می‌رسد.

نتایج این تحقیق نشان داد که پارک جنگلی بام ملایر از حیث ترسیب کربن حایز اهمیت فراوانی است، بنابراین پیشنهاد می‌شود که با احداث، محافظت و مدیریت مناسب جنگل‌های شهری در شهرها به‌ویژه کلان‌شهرها که به‌دلیل جمعیت زیاد و مصرف بیش از اندازه سوخت‌های فسیلی، دی‌اکسید کربن بیشتری را منتشر می‌کنند، گام مثبتی در کاهش تراکم کربن اتمسفری برداشته شود.

References

- Abdi, N., Maddah, A. and Zahedi Amiri, Gh. 2008. Estimation of Carbon sequestration in *Astragalus* rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). *Iranian Journal of Ranges and Desert Research*, 15(2): 269-282 (In Persian).
- Allen Dias, B. 1996. Rangelands in a changing climate: Impacts, adaptations and mitigation. In: Watson, R., Zinyowera, J. and Moss, R. (Eds.), *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, Cambridge, Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 131-158.
- Anonymus, 1996. Guidelines for national greenhouse gas inventories; Reference Manual. IPCC, 60p.
- Anonymus, 2000. Land-use, Land-use Change and Forestry. Cambridge University Press, IPCC, 377p.
- Anonymus, 2008. Internal report, data and files of the Department of Meteorology. Tehran, Iran (In Persian).
- Arias, D. 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index and assessment of its relationship with stand productivity in six

- pine in France as a case study. *Forest Ecology and Management*, 257: 1314-1323.
- Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N. and akbarian, M. 2010. Increment of soil Carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, 2: 25-35 (In Persian).
 - Varamesh, S., Hosseini, S.M. and Abdi, N. 2011. Estimation of urban forest potential in atmospheric carbon sequestration. *Journal of Environmental Studies*, 57:113-120 (In Persian).
 - Vesterdal, L. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management*, 169: 137-147.
 - Woodbury, P.B. 2007. Carbon sequestration in U.S. forest sector from 1990 to 2010. *Forest Ecology and Management*, 241:14-27.
 - Zhang, J.H. 2007. Seasonal variation in CO₂ exchange over a 200 year-old Chinese broad-leaved Korean pine mixed forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 150-165.
 - land. *Environmental Pollution*, 116:431-438.
 - Namiranian, M. 2008. *Measurement of the Tree and Forest Biometry*. Tehran University Press, 574p.
 - 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: 51-63.
 - Richards, A.E., Dalal, S. and Schmidt, S. 2007. Soil Carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 2078-2090.
 - Schuman, G.E., Janzen, J. and Herrick, H. 2002. Soil Carbon information and potential Carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*, 116: 391-396.
 - Sun, R., Chen, J.M., Zhou, Y., and Liu, Y. 2004. Spatial distribution of net primary productivity and evapotranspiration in Changbaishan Natural Reserve, China, using Land sat ETM⁺ data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30: 731-742.
 - Vallet, P. 2009. Species substitution for Carbon storage: Sessile oak versus Corsican

A study on carbon sequestration in an area afforested by Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.)

A. Khademi*

* Corresponding author, Department of Green Space Engineering, Malayer Branch, Islamic Azad University, Malayer, I.R. Iran. E-mail: aminkhademi28@yahoo.com

Received: 02.20.2013

Accepted: 02.01.2014

Abstract

The increasing concern on global warming and climate change has resulted in a special awareness to the potential of forest and soil for sustainable carbon sequestration. Therefore, an optimal management of afforestation established in barren lands notably influences the soil carbon sequestration which consequently turns the forest coverage (and underlying soil) to a major organic carbon sink. This study aims to quantify the amount of carbon storage in a selected area afforested Black Locust in Malayer, Iran. Initially, the land units including Black Locust trees were indicated on map polygons, followed by the measurement of all trees within the polygons. Then, five samples in each diameter class were selected, within which the amount of biomass, carbon storage and CO₂ uptake were estimated. To determine the amount of stored carbon in the soil, samples were collected from two soil depths of 0-10 and 10-30 cm. The amount of the annual sequestered carbon in biomass and soil was then estimated to be 0.351 and 1.253 tons per ha, respectively. In addition, the annual CO₂ uptake was 5.87 tons per ha. The results indicate significant differences between the amount of carbon storage in different diameter classes of *R. pseudoacacia* trees.

Key words: Carbon sequestration, CO₂ uptake, afforestation, *Robinia pseudoacacia*, Malayer.