علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره پانزدهم، شماره چهار، زمستان ۹۲

امکان سنجی بهبود اقلیم و خاک از طریق توسعه فضای سبز در یک منطقه خشک

آزاده صالحی[۱]

مسعود طبری کوچکسرایی[۲*]

mtabari@modares.ac.ir

تاریخ دریافت:۸۸/۱/۱۵ **تاریخ پذیرش:۸۸/۱۱/۴**

چکیده

ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راهکار کاهش CO_2 آتمسفری و تعدیل اقلیم، ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک می‌باشد که از طریق ایجاد پوشش گیاهی و توسعه فضای سبز ممکن می‌باشد. در تحقیق حاضر تاثیر جنگل‌کاری و حاصلخیزی خاک روی میزان ترسیب کربن خاک و در نتیجه بهبود اقلیم، در دو توده ۱۵ ساله سوزنی برگ کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و پهن برگ اقاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه و یک عرصه کنترل (فاقد جنگل‌کاری) در منطقه اقلیمی خشک شهر ری بررسی شد.

برای این منظور قطعات نمونه ۳۰ × ۳۰ متر در هر توده مورد بررسی انتخاب گردید. در هر قطعه نمونه، نمونه‌های خاک از ۴ پروفیل حفر شده در عمق‌های ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت و در آزمایشگاه درصد کربن آلی نمونه‌های خاک با روش سرد والکی-بلاک تعیین شد.

نتایج نشان داد که در هر توده، در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری در میزان ذخیره کربن خاک دو تیمار آبیاری (فاضلاب شهری و آب چاه) وجود دارد. میزان ترسیب کربن خاک دو توده کاج تهران و اقاقیا تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در هر یک، همواره بیش از منطقه کنترل (بدون جنگل‌کاری) بود. در هر دو توده، با افزایش کربن آلی خاک، پارامترهای رشد (قطر، ارتفاع و حجم) و بیوماس درختان به طور خطی افزایش یافتند ($p<۰/۰۱$).

در مجموع، به لحاظ معدل بیوماس چوبی و ذخیره کربن درخت، می‌توان گفت که جنگل‌کاری کاج تهران در مقایسه با اقاقیا، نقش بیشتری در کاهش آلودگی هوا و در نتیجه تعدیل اقلیم دارد. همیشه سبز بودن کاج تهران می‌تواند از محسنات برجسته آن در تقلیل آلودگی هوا و بهبود شرایط اقلیمی قلمداد شود.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، ترسیب کربن، فضای سبز، فاضلاب شهری، کاج تهران، اقاقیا.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس *(مسئول مکاتبات).

مقدمه

افزایش سریع دمای کره زمین طی ۶۰ سال گذشته که عمدتاً به انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت داده می‌شود (۱) از سال ۱۹۷۵ تبدیل به بحران زیست محیطی شده است (۲). گازهای گلخانه‌ای عموماً شامل بخار آب، دی اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و مونوکسید نیتروژن (N_2O) می‌باشد (۳). امروزه اکثر محققان بر این باورند که در بین گازهای گلخانه‌ای، افزایش CO_2 جو ناشی از فعالیت‌های انسان، عامل اصلی افزایش درجه حرارت کره زمین است (۴). از آن‌جا که افزایش محتوای ماده آلی خاک می‌تواند به طور موثری در کاهش CO_2 مفید باشد، لذا مسئله ترسیب و یا ذخیره کربن به عنوان یکی از موضوعات پژوهشی مهم در علوم خاک در طی سال‌های اخیر مطرح گردیده است (۵، ۶). تقریباً ۷۵٪ کل کربن خشکی در خاک ذخیره می‌شود، به‌طوری که خاک بزرگ‌ترین انبار کربن در بین اکوسیستم‌های زمینی شناخته شده است (۷) و خاک‌های جنگلی حدوداً ۴۰٪ این کربن را نگه‌داری می‌کنند (۸). قسمت اعظم ذخیره زمینی کربن در ۲ متر بالای خاک معدنی است (۹) بنابراین، در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل‌کاری می‌توان علاوه بر ایجاد فضای سبز و تولید چوب و سایر مزایای جنگل، به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز نایل آمد (۱۰). تاثیر جنگل‌کاری بر تغییرات ایجاد شده در وضعیت کربن خاک و نتیجتا" کاهش آلودگی‌های جوی و بهبود وضعیت اقلیمی عوامل متعددی چون عمق و حاصلخیزی خاک، نوع گونه، سن جنگل‌کاری، عملیات پرورشی، جنگل‌شناسی و ... تاثیر گذار است (۱۱).

از طرفی، یکی از مسایل مهم مرتبط با توسعه فضای سبز و جنگل‌کاری، به خصوص در مناطق خشک، تامین آب مورد نیاز آن‌ها می‌باشد. با توجه به تولید حجم انبوهی از فاضلاب‌ها در اثر افزایش شهر نشینی و صنعتی شدن، در اغلب کشورهایی که با کمبود آب مواجه هستند، فاضلاب ارزان‌ترین و قابل دسترس-ترین منبع جهت آبیاری فضای سبز است (۱۲). به دلیل بالا بودن غلظت عناصر غذایی در برخی فاضلاب‌ها، استفاده از آن ها می تواند افزایش غلظت عناصر غذایی خاک و تقویت حاصلخیزی آن را به همراه داشته باشد (۱۳، ۱۴). در حقیقت، نظر به کمبود عناصر غذایی خاک در نواحی خشک، نقش عناصر غذایی فاضلاب در افزایش حاصلخیزی خاک سودمند بوده و می‌تواند به عنوان کود برای اصلاح خاک مورد استفاده قرار گیرد (۱۵، ۱۶).

مطالعات گسترده‌ای در اکثر کشورهای جهان برای ارزیابی پتانسیل تثبیت و ذخیره کربن پوشش گیاهی در سطوح ناحیه-ای و ملی انجام یافته است که در پی آن روش‌هایی برای افزایش تثبیت کربن به دست آمده است (۱۷، ۱۸). این در حالی است که ذخیره کربن از طریق جنگل‌کاری و فضای سبز در بهبود اقلیم نقش مؤثری ایفا می‌نماید. در کشور ما علی‌رغم وسعت زیاد و پتانسیل مناسب ذخیره کربن، در این مورد، تاکنون تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. لذا تحقیق حاضر در صدد است تا تاثیر جنگل‌کاری، نوع گونه و حاصلخیزی خاک روی بهبود ترسیب کربن خاک، در دو توده ۱۵ ساله سوزنی برگ کاج تهران (*Pinus eldarica*) و پهن برگ اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه و همچنین یک منطقه کنترل (فاقد جنگل‌کاری)، در منطقه اقلیمی خشک شهر ری را مورد مطالعه و مقایسه قرار دهد.

مکان مورد مطالعه

محل تحقیق در ۵ کیلومتری جنوب شهر تهران (شهر ری) (′۲۳ °۵۱ طول شرقی و و ′۳۷ °۳۵ عرض شمالی) در ارتفاع ۱۰۰۵ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تهران (مهر آباد)، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۴۶ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۲۳۲/۴ میلی‌متر، میانگین دمای سردترین ماه سال (دی) ۵/۴۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۱ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای مطلق (تیر) ۴۲/۶، حداقل دمای مطلق (بهمن) ۸/۶-، حداکثر بارندگی ماهیانه (اسفند) ۴۱/۳۲ میلی‌متر، حداقل بارندگی ماهیانه (مرداد) ۰/۸۹ میلی‌متر و طول دوره خشکی ۷/۵ ماه می‌باشد. با استفاده

از تقسیمات اقلیمی خلیلی مبتنی بر شاخص گسترش یافته دومارتن (۱۹)، منطقه دارای اقلیم خشک سرد است.

روش تحقیق

تحقیق حاضر در سال ۱۳۸۵ در دو توده دست کاشت ۱۵ ساله سوزنی برگ کاج تهران (*Pinus eldarica*) و پهن برگ اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) در دو عرصه با تیمارهای آبیاری فاضلاب شهری و آب چاه انجام یافت. همچنین، یک عرصه فاقد جنگل‌کاری در نزدیکی دو توده بالا انتخاب گردید. خاک توده‌ها در عرصه‌های مورد بررسی یکسان و لومی- رسی بود. در هر یک از عرصه‌های تحت تیمار آبیاری در هر توده، چهار قطعه نمونه ۳۰×۳۰ متر به صورت تصادفی- سیستماتیک انتخاب شد (۲۰). در هر یک از قطعات نمونه ۴ پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از ۳ عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت گردید (۲۱). جهت تقلیل تعداد نمونه‌ها برای آنالیز میزان درصد کربن آلی، نمونه‌های خاک هم افق هر قطعه نمونه با هم مخلوط شدند (۲۲). در منطقه کنترل (فاقد جنگل‌کاری) نیز دو پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از عمق‌های ذکر شده برداشت شد. در آزمایشگاه درصد کربن آلی نمونه‌های خاک از روش سرد والکی- بلاک (۲۳) تعیین گردید.

جهت تعیین وضعیت رشد دو توده کاج تهران و اقاقیا، در قطعات نمونه انتخابی، آماربرداری ۱۰۰٪ از پارامترهای رویشی قطر برابر سینه و ارتفاع کل به عمل آمد و حجم هر اصله درخت نیز با استفـــاده از ضریب شآآآکل ۰/۵ و فرمـــول $V = 0.4 \times h \times d^2$ تعیین شد (۲۴) که در آن d قطر برابرسینه (cm) و h ارتفاع کل درخت (m) می‌باشد. محاسبه زی‌توده (بیوماس) هر درخت نیز با استفاده از فرمول‌های زیر که برای جنگل‌کاری در مناطق خشک ارائه شده است، انجام یافت (۲۵، ۲۶).

برای سوزنی برگان:

$$Y = \exp\{-1.170 + 2.119 \times \ln (D)\}$$

و برای پهن برگان:

$$Y = \exp\{-1.996 + 2.32 \times \ln (D)\}$$

که در آن‌ها Y بیوماس هر درخت (kg) و D قطر برابر سینه درخت (cm) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SPSS (Ver.۱۲) استفاده گردید. در ابتدا، توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای بررسی تاثیر حاصلخیزی خاک (ناشی از تیمار آبیاری) روی پارامترهای رشد و میزان کربن آلی خاک، و همچنین برای مقایسه پارامترهای رشد و بیوماس دو توده و دو تیمار آبیاری در هر توده از آزمون تی غیر جفتی و برای مقایسه میزان کربن آلی خاک توده‌های کاج تهران، اقاقیا و منطقه کنترل از آزمون دانکن استفاده شد. برای تعیین همبستگی کربن آلی خاک با پارامترهای رشد و بیوماس نیز از رگرسیون حداقل مربعات استفاده گردید (۲۷).

نتایج

نتایج اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای رشد (قطر، ارتفاع، و حجم) و بیوماس درختان کاج تهران و اقاقیا در دو تیمار آبیاری در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، درختان کاج تهران و اقاقیا در تیمار آبیاری با فاضلاب شهری به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) از رشد و تولید بیوماس بیشتری نسبت به تیمار آب چاه برخوردارند. مقایسه پارامترهای رشد دو گونه مورد مطالعه نیز نشان دهنده رشد و تولید بیوماس بهتر درختان کاج تهران در مقایسه با درختان اقاقیا می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه پارامترهای رشد و بیوماس درختان اقاقیا و کاج تهران در دو تیمار آبیاری (میانگین ± انحراف معیار)

پارامترهای رشد	اقاقیا		کاج تهران	
	آبیاری با فاضلاب	آبیاری با آب چاه	آبیاری با فاضلاب	آبیاری با آب چاه
قطر (cm)	۱۶/۶۲ ± ۰/۹۶ [a]	۱۲/۰۳ ± ۰/۵۱ [b]	۱۷/۹۵ ± ۱/۳۳[a]	۱۲/۸۸ ± ۰/۶۱ [b]
ارتفاع (m)	۹/۳۱ ± ۰/۱۸ [a]	۶/۷۳ ± ۰/۱۵ [b]	۱۰/۰۴ ± ۰/۱۵ [a]	۸/۶۴ ± ۰/۱۲ [b]
حجم (m^3)	۰/۱۱۰ ± ۰/۰۱۱ [a]	۰/۰۴۷ ± ۰/۰۰۳ [b]	۰/۱۳۹ ± ۰/۰۱۳ [a]	۰/۰۶۰ ± ۰/۰۰۶ [b]
بیوماس (kg)	۹۲/۶۱ ± ۱۲/۵۷ [a]	۴۳/۵۹ ± ۴/۲۷ [b]	۱۴۱/۶۹ ± ۲۲/۰۲ [a]	۶۹/۹۲ ± ۷/۰۳ [b]

حروف انگلیسی متفاوت در ردیف، معنی‌داری را بین میانگین گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

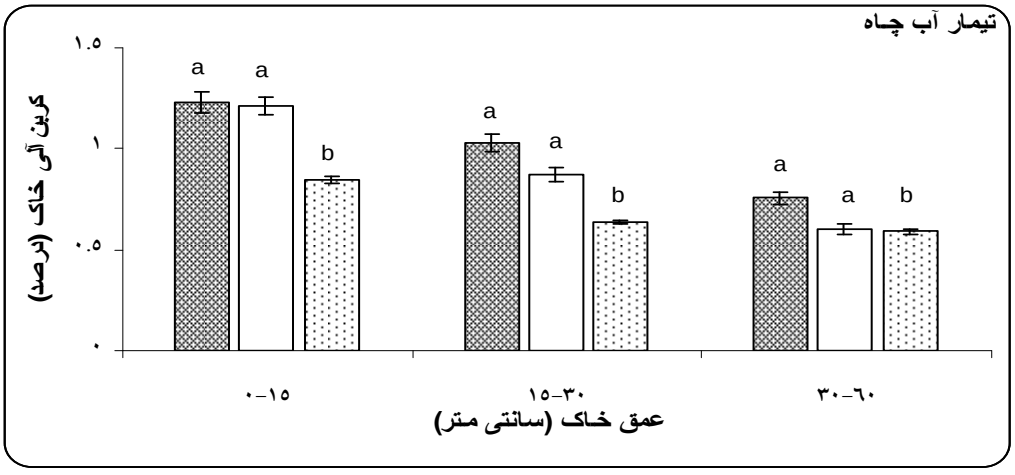
جدول ۲- مقایسه پارامترهای رشد و بیوماس (میانگین ± انحراف معیار)دو توده کاج تهران و اقاقیا در هر تیمار آبیاری

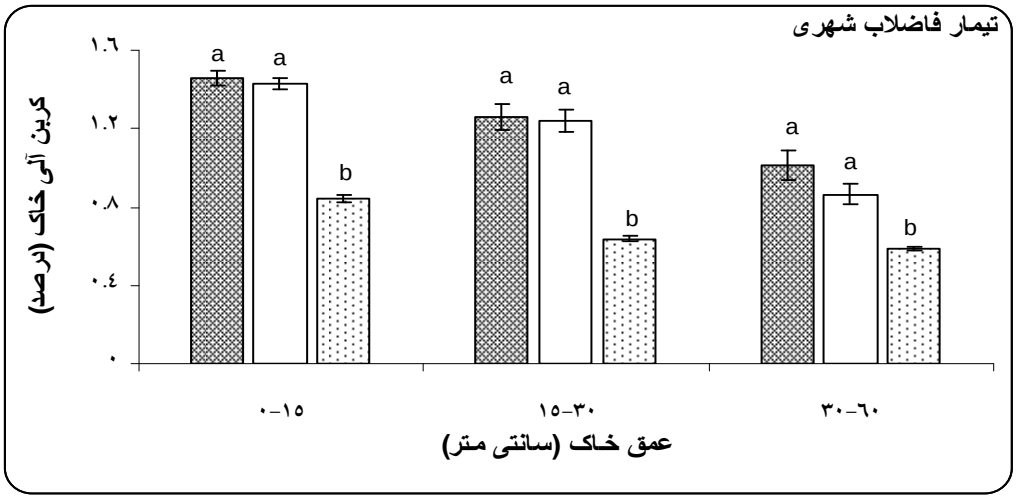
پارامترهای رشد	آبیاری با فاضلاب			آبیاری با آب چاه		
	کاج تهران	اقاقیا	*P sig.*	کاج تهران	اقاقیا	*P sig.*
قطر (cm)	۱۷/۹۵ ± ۱/۳۳[a]	۱۶/۶۲ ± ۰/۹۶ [a]	۰/۱[ns]	۱۲/۸۸ ± ۰/۶۱ [a]	۱۲/۰۳ ± ۰/۵۱ [a]	۰/۰۷[ns]
ارتفاع (m)	۱۰/۰۴ ± ۰/۱۵ [a]	۹/۳۱ ± ۰/۱۸ [b]	۰/۰۰۲ [**]	۸/۶۴ ± ۰/۱۲ [a]	۶/۷۳ ± ۰/۱۵ [b]	۰/۰۰۱ [**]
حجم (m^3)	۰/۱۳۹ ± ۰/۰۱۳ [a]	۰/۱۱۰ ± ۰/۰۱۱ [b]	۰/۰۱ [*]	۰/۰۶۰ ± ۰/۰۰۶ [a]	۰/۰۴۷ ± ۰/۰۰۳ [b]	۰/۰۴ [*]
بیوماس (kg)	۱۴۱/۶۹ ± ۲۲/۰۲ [a]	۹۲/۶۱ ± ۱۲/۵۷ [b]	۰/۰۰۸ [**]	۶۹/۹۲ ± ۷/۰۳ [a]	۴۳/۵۹ ± ۴/۲۷ [b]	۰/۰۰۱ [**]

حروف انگلیسی متفاوت در ردیف، معنی‌داری را بین میانگین گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

[**] معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱؛ [*] معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵؛ [ns] عدم تفاوت معنی‌دار

مقایسه میزان کربن آلی خاک دو توده کاج تهران و اقاقیا عدم تفاوت معنی‌دار آماری را نشان می‌دهد. اما هر توده در مقایسه با عرصه کنترل (فاقد جنگل‌کاری) میزان کربن آلی بیشتری را در خاک ترسیب و ذخیره کرده است (نمودار ۱).





نمودار ۱- مقایسه میزان کربن آلی عمق‌های مشابه خاک توده‌های اقاقیا ▨ کاج تهران □و منطقه کنترل (بدون جنگل-کاری)▨ ؛ حروف انگلیسی متفاوت، معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) را بین میانگین گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

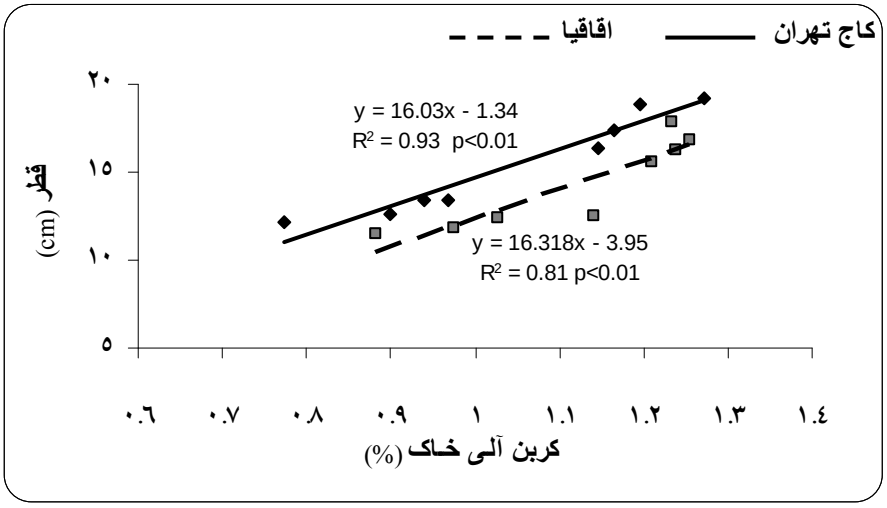
مقایسه درصد کربن آلی خاک دو تیمار آبیاری نشان می‌دهد که میزان کربن آلی خاک هر دو توده در تیمار فاضلاب شهری به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بیشتر از تیمار آب چاه است (جدول ۳).

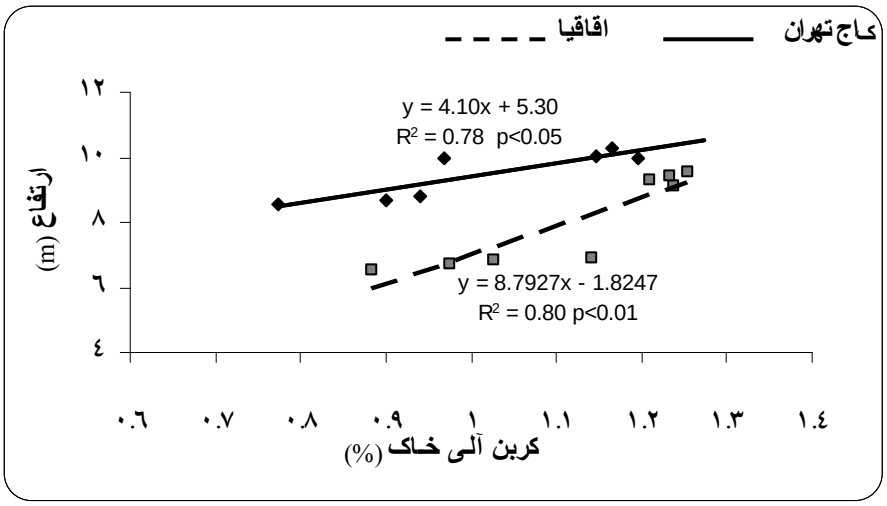
جدول ۳- مقایسه درصد کربن آلی عمق های مختلف خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری و آب چاه در هر یک از توده های اقاقیا و کاج تهران (میانگین ± انحراف معیار)

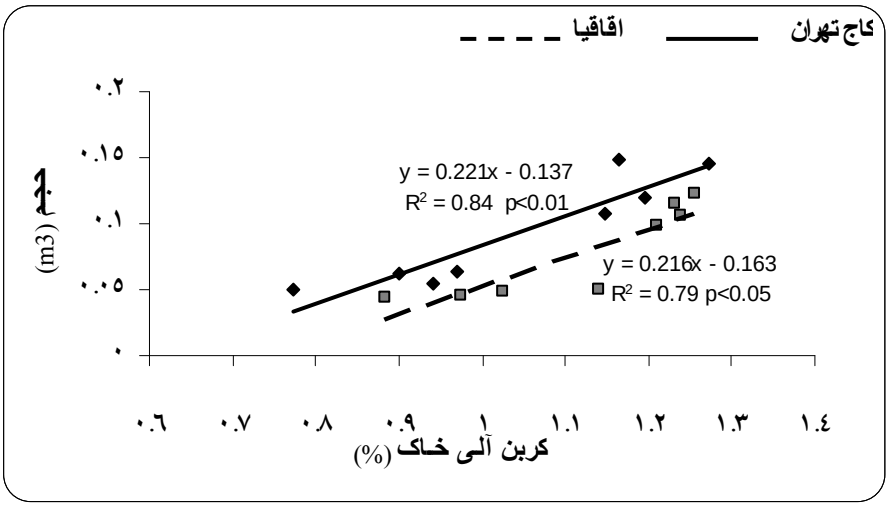
تیمار آبیاری	عمق خاک (سانتی‌متر)	اقاقیا	کاج تهران
فاضلاب شهری	۰-۱۵	۱/۴۶ ± ۰/۰۳ ^{a}	۱/۴۳ ± ۰/۰۴ ^{a}
آب چاه		۱/۲۳ ± ۰/۱۶ ^{b}	۱/۲۱ ± ۰/۱۴ ^{b}
فاضلاب شهری	۱۵ -۳۰	۱/۲۶ ± ۰/۰۵۳ ^{a}	۱/۲۴ ± ۰/۰۹ ^{a}
آب چاه		۱/۰۳ ± ۰/۱۲۶ ^{b}	۰/۸۷۲ ± ۰/۱۴ ^{b}
فاضلاب شهری	۳۰-۶۰	۱/۰۱ ± ۰/۰۵۱ ^{a}	۰/۸۶۴ ± ۰/۱۰۳ ^{a}
آب چاه		۰/۷۵۶ ± ۰/۰۸۰ ^{b}	۰/۶۰۲ ± ۰/۰۴۴ ^{b}

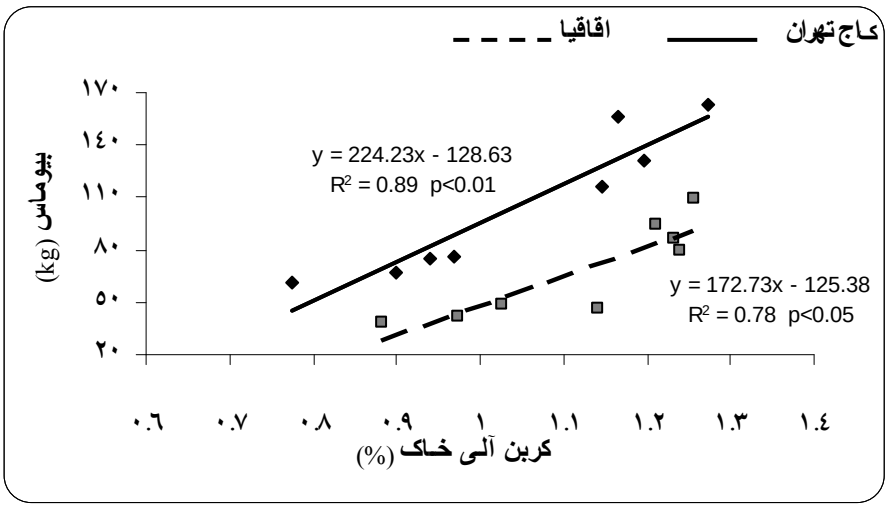
حروف انگلیسی متفاوت، معنی‌داری را بین میانگین‌های دو تیمار آبیاری نشان می‌دهد.

آنالیز همبستگی درصد کربن آلی خاک با پارامترهای رشد و بیوماس با استفاده از رگرسیون خطی، همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین پارامترهای رشد (قطر، ارتفاع و حجم سرپا) و بیوماس درختان با میزان کربن آلی خاک نشان داد (نمودار ۲).









نمودار ۲- ارتباط کربن آلی خاک با پارامترهای رشد و بیوماس

بحث

عوامل متعددی (اقلیم، بافت خاک، وضعیت خاک، نوع گونه درختی، سن جنگل‌کاری، عملیات پرورشی و مراقبتی، مدیریت رویشگاه، بهره‌برداری و ...) وسعت تغییرات ایجاد شده در کربن آلی خاک تحت جنگل‌کاری را متاثر می‌سازد (۱۱، ۲۸). در تحقیق حاضر، با توجه به متغیر بودن نوع گونه درختی و حاصلخیزی خاک ناشی از تیمار آبیاری و یکسان بودن سایر عوامل بین دو توده مورد مطالعه، تاثیر جنگل‌کاری، نوع گونه درختی و حاصلخیزی خاک بر روی میزان ترسیب کربن خاک مورد مطالعه قرار گرفت. در تحقیق حاضر، درختان اقاقیا و کاج تهران آبیاری شده با فاضلاب شهری در مقایسه با تیمار آب چاه از رشد و تولید بیوماس بیشتری برخوردارند (جدول ۱). در واقع، فاضلاب شهری به علت دارا بودن مواد آلی و افزایش میزان عناصر غذایی، به ویژه عناصر میکروی قابل دسترس، باعث بهبود شرایط خاک برای رشد و تولید بیوماس بیشتر و افزایش بازدهی محصول (۲۹، ۳۰) شده، لذا درختان در این شرایط می‌توانند بیوماس گیاهی بیشتری را نسبت به درختان آبیاری شده با آب چاه تولید کنند (۳۱، ۳۲). مقایسه پارامترهای رشد دو توده درختی نیز نشان دهنده رشد و تولید بیوماس بیشتر درختان کاج تهران در مقایسه با درختان اقاقیا می‌باشد (جدول ۲).

افزایش رشد از طریق تسهیل برگ‌دهی و در نتیجه افزایش تعداد برگ (از طریق تأثیر بر جریان فیزیولوژیک) در گیاه و جذب بیشتر انرژی خورشید و CO_2 جو اتفاق می‌افتد (۳۳، ۳۴). از طرفی، کیفیت حاصلخیزی خاک و نوع گونه گیاهی می‌تواند سبب افزایش رشد و تولید بیوماس گیاهی و بهبود ذخیره کربن آلی خاک گردد (۳۵). نتایج تحقیق حاضر نیز حاکی از رشد و تولید بیوماس بیشتر درختان و افزایش معنی‌دار (p<۰/۰۱) میزان کربن آلی خاک در تیمار فاضلاب شهری نسبت به تیمار آب چاه می‌باشد (جدول ۳). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین پارامترهای رشد (قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم) و بیوماس درختان با مقدار کربن آلی خاک نیز مؤید این نتیجه است (نمودار۲). در همین راستا بردبار و مرتضوی جهرمی (۴)، ضمن بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) و آکاسیا (*Acacia salicina* Lindl.) در مناطق غربی استان فارس، نشان دادند که گونه‌های مورد بررسی در رویشگاه‌های حاصل‌خیز با افزایش تولید بیوماس (عمیق بودن خاک و بالا بودن سفره آب زیر زمینی) باعث ترسیب بیشتر ذخیره کربن خاک شده‌اند.

نظر به این‌که معمولاً ۵۰٪ بیوماس خشک را کربن تشکیل می‌دهد (۳۶)، در تحقیق حاضر علی‌رغم رشد و تولید بیوماس بیشتر درختان کاج تهران نسبت به درختان اقاقیا، تفاوت معنی‌داری بین میزان کربن آلی خاک این دو توده درختی مشاهده نشد (نمودار ۱). تحقیقات به عمل آمده توسط مجد

طاهری و جلیلی (۳۷) و Turner و Lambert (۳۸) نیز هر کدام به نوعی این مطلب را تایید می‌نمایند. در واقع، این عدم تغییر را می‌توان به تجزیه کند و آهسته لاشبرگ و میزان پایین‌تر کربن برگ سوزنی‌برگان در مقایسه با پهن‌برگان نسبت داد (۳۹، ۴۰). از طرفی، هر توده به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) در مقایسه با منطقه کنترل (فاقد جنگل‌کاری)، کربن آلی بیشتری را در خاک ترسیب و ذخیره کرده است (نمودار ۱) که مؤید تاثیر مثبت پوشش گیاهی روی ذخیره کربن آلی خاک می‌باشد. طوری که همراه با جنگل‌کاری تغییراتی در کیفیت، کمیت و توزیع زمانی و مکانی کربن آلی خاک اتفاق می‌افتد (۴۱). تغییرات ایجاد شده در ذخیره کربن آلی خاک همراه با جنگل‌کاری در مطالعات متعددی بیان شده است (۴۰، ۴۲، ۴۳، ۴۴) که همگی یک کاهش اولیه مربوط به آمادگی رویشگاه (۴۵) و به دنبال آن یک روند افزایشی را در میزان ذخیره کربن خاک بعد از جنگل‌کاری گزارش کرده‌اند (۴۶، ۴۷).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج تحقیق حاضر و پژوهش‌های پیشین، ایجاد و توسعه فضای سبز و جنگل‌کاری‌ها می‌تواند در ارتباط با ذخیره کربن نقش مفیدی را ایفا نماید. بنابراین، در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل‌کاری علاوه بر ایجاد فضای سبز و تولید چوب و سایر مزایای جنگل، CO_2 جو می‌تواند از طریق عمل فتوسنتز به صورت ترکیبات کربن‌دار در بیوماس، خاک و تولیدات چوبی تثبیت و ذخیره شود که این امر، حاصلخیزی رویشگاه‌های ضعیف از نظر کربن، کاهش دی اکسید کربن جو و در نهایت کاهش تغییرات جوی را به دنبال خواهد داشت (۴۸). طوری‌که افزایش تثبیت و ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی به عنوان یک روش بالقوه سودمند برای خنثی کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای تشخیص داده شده است (۲۸). در کشور ما نیز می‌توان با جنگل‌کاری در مناطق خشک، علاوه بر ایجاد فضای سبز مناسب، تولید چوب و ذخیره میزان قابل توجهی از کربن آتمسفر، در امر کاهش اثر گلخانه‌ای، جلوگیری از افزایش دمای کره زمین، کاهش آلودگی آب و هوا و بالاخره تعدیل اقلیم اقدام نمود. از طرفی با توجه به کمبود منابع آبی در سال‌های اخیر، کمبود منابع آب به عنوان عامل محدود کننده ایجاد و توسعه فضای سبز و ماهیت دوگانه فاضلاب (به عنوان یک منبع تامین آب و یک آلاینده)، می‌توان از فاضلاب شهری در چهارچوب برنامه‌های پایش و کنترل مستمر، به عنوان یک راهکار و فرصت کلیدی جهت جبران کمبود آب، توسعه فضای سبز (۱۶، ۴۹) و بهبود وضعیت اقلیمی استفاده کرد که علاوه بر آن راه حلی مناسب برای دفع سالم زیست محیطی و اقتصادی فاضلاب نیز فراهم می‌شود. این واقعیت را نیز نباید از نظر دور داشت که استفاده از فاضلاب جهت آبیاری به علت بالا بودن غلظت فلزات سنگین، عناصر غذایی و بار میکروبی آن می‌تواند به عنوان برهم‌زننده اکوسیستم عمل کند. بنابراین، تصمیم‌گیری در مورد کاربرد فاضلاب در امر آبیاری باید به صورت کنترل شده و بر اساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل باشد (۵۰).

منابع

1. Rosso, D., Stenstrom, M.K., 2008. The carbon-sequestration potential of municipal wastewater treatment. Chemosphere, 70: 1468-1475.
2. Mann, M.E., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Keimig, F.T., 2003. Optimal surface temperature reconstructions using terrestrial borehole data. Journal of Geophysical Research, 108: 4203-4213.
3. Follett, R.F., 2001. Soil management concepts and carbon sequestration zin cropland soils. Soil & Tillage Research, 61: 77-97.

۴. بردبار، ک. و مرتضوی جهرمی، م. ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌کاری‌های اکالیپتوس و آکاسیا در مناطق غربی استان فارس. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۷۰، ص ۱۰۳-۹۰.

5. Batjes, N.H., 1998. Mitigation of atmospheric CO_2 concentrations by

increased carbon sequestration in the soil. Biology and Fertility of Soils, 27: 230-235.

6. Brevik, E., Fenton, T., Moran, L., 2002. Effect of soil compaction organic carbon amounts and distribution, South-Central Iowa. Environmental Pollution, 116: 137-141.
7. Toyota, A., Kaneko, N., T.Ito, M., 2006. Soil ecosystem engineering by the train millipede Parafontaria laminata in a Japanese larch forest. Soil Biology & Biochemistry, 38: 1840-1850.
8. Huntington, T.G., 1995. Carbon sequestration in an aggrading forest ecosystem in the southeastern USA. Soil Science Society of America Journal, 59: 1459-1467.
9. Korner, C., 2003. Carbon limitation in trees. Journal of ecology, 91: 4-17.
10. Yemshanov, D., McKenney, D., Fraleigh, S., D'Eon, S., 2007. An integrated spatial assessment of the investment potential of three species in southern Ontario, Canada inclusive of carbon benefits. Forest Policy and Economics 10: 48-59.
11. Yan, H., Cao, M., Liu, J., Tao, B., 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 121: 325-335.

۱۲. ترابیان، ع. و هاشمی، ف. ۱۳۷۸. آبیاری فضای سبز با پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های تهران. مجله آب و فاضلاب، شماره ۲۹، ص ۳۶ – ۳۱.

13. Gasco´, G., Lobo, M.C., 2007. Composition of Spanish waste water sludge and effects on treated soil and olive trees. Waste Manage, 27 (11): 1494-1500.
14. Meli, S., Porto, M., Belligno, A., Bufo, S.A., Mazzatura, A., Scopa, A., 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. Science of the Total Environment, 285: 69-77.
15. Ramirez-Fuentes, E., Lucho-Constantino, C., Escamilla-Silva, E., Dendooven, L., 2002. Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with waste water for different lengths of time. Bioresource Technology, 85 (2): 179-187.
16. Toze, S., 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. Agricultural water Management, 80 (1-3): 147-159.
17. Marland, G., West, T.O., Schlamadinger, B., Canella, L., 2003. Managing soil organic carbon in agriculture: the net effect on greenhouse gas emissions. Chemical and physical Meteorology, 55: 613-621.
18. Dendoncker, N., Wesemael, B.V., Rounsevell, M.D.A., Roelandt, C., Lettens, S., 2004. Belgium's CO_2 mitigation potential under improved cropland management. Agriculture, Ecosystems & Environment, 103: 101-116.

۱۹. جزیره‌ای، م. ح. ۱۳۸۱. جنگل‌کاری در خشک‌بوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۵۸ ص.

20. Jayaraman, K., 2000. A Statistical Manual for Forestry Research. FORESPA Publication., 240 pp.
21. Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K., Minhas, P.S., 2002. Post-Irrigation Impact of Domestic Sewage Effluent on Composition of Soils,

Crops and Ground Water-a Case Study. Environment International, 28:481- 486.

۲۲. حبیبی کاسب، ح. ۱۳۷۱. مبانی خاکشناسی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص.

۲۳. زرین کفش، م. ۱۳۷۲. حاصلخیزی خاک و تولید. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ ص.

۲۴. زبیری، م. ۱۳۷۹. آماربرداری در جنگل (اندازه‌گیری درخت و جنگل). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.

25. Brown, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science, 35:881-902.
26. Peters, R., 1977. Fortalecimiento al sector forestal Guatemala inventarios y estudios dendrometricos en bosque de coniferas. FO: DP/GUA/72/006, Informe Tecnico 2, FAO, Rome, Italy.
27. Lindaman H.R., 1992. Analysis of Variance in Experimental Design. Springer-Verlag, New York.
28. Luxmoore, R.J., Tharp, M.L. Post, W.M., 2008. Simulated biomass and soil carbon of loblolly pine and cottonwood plantations across a thermal gradient in southeastern United States. Forest Ecology and Management, 254: 291-299.
29. Singh, G., Bhati, M., 2005. Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. Bioresource Technology, 96 (9):1019-1028.
30. Guo, L.B., Sims, R.E.H., Horne, D.J., 2002. Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: I. Biomass and nutrient accumulation. Bioresource Technology, 85(3): 273-283.
31. Guo, L.B., Sims, R.E.H., Horne, D.J., 2006. Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. Biomass and Bioenergy, 30: 393-404.
32. Emongor, V.E. Ramolemana, G.M., 2004. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. Physics and Chemistry of the Earth, 29: 1101-1108.
33. Ceulemans, R.J., Pontailler, F.M., Guittet, J., 1993. Leaf allometry in young poplar stands: reliability of leaf area index estimation, site and clone effects. Biomass and Bioenergy, 4: 769-776.
34. Myers, B.J., Theiveyanath, S.O., Brian, N.O., Bond, W.J., 1996. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations irrigated with effluent. Tree Physiology, 16: 211-219.

۳۵. محمودی طالقانی، ع.، زاهدی امیری، ق.، عادلی، ا.، ثاقب طالبی، خ. ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گلبند در شمال کشور). مجله تحقیقات جنگل و صنوبر، شماره ۱۵، ص۲۴۱-۲۵۲.

36. Jepsen, M.R., 2006. Above-ground carbon stocks in tropical fallows, Sarawak, Malaysia. Forest Ecology and Management, 225: 287-295

۳۷. مجد طاهری، ح.، جلیلی، ع. ۱۳۷۵. بررسی مقایسه-ای اثرات جنگل‌کاری با کاج الداریکا و اقاقیا روی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی زیر اشکوب. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۳۲، ص ۱۵-۷.

38. Delgado calvo Flores, R., Serrano Molina, G., parraga Martinez, J., 1987. Analysis of some of the modification induced by the establishment of conifers on soils of the Sierra Nevada (Granada, Spain). Agrochemical, 31: 211-225.
39. O'Connell, A.M., Sankaran, K.V., 1997. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: Nambiar, E.K.S., Brown, A.G. (Eds.), Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, ACT, Australia, pp. 443-480.
40. Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 168: 241-257
41. Yemshanov, D., McKenney, D., Fraleigh, S., D'Eon, S., 2007. An integrated spatial assessment of the investment potential of three species in southern Ontario, Canada inclusive of carbon benefits. Forest Policy and Economics, 10: 48-59
42. Harrison, A.F., Howard, P.J.A., Howard, D.M., Howard, D.C., Hornung, M., 1995. Carbon storage in forest soils. In: Greenhouse Gas Balance in Forestry. Forestry Research Coordination Committee Conference, November 1994, 335-348 pp.
43. Richter, D.D., Markewitz, D., Trumbore, S.E., Wells, C.G., 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a reestablishing. Forest Nature, 400: 56-58.
44. Binkley, D., Resh, S.C., 1999. Rapid changes in soils following Eucalyptus afforestation in Hawaii. Soil Science Society of America Journal, 63: 222-225.
45. Brand, D.G., Cowie, A., Lamb, K., 2000. Developing the products and markets for carbon sequestration in planted forests. In: The Future of Eucalypts for Wood Products, Launceston, Tasmania, Australia, March 19-24, 2000, 52-63 pp.
46. Gifford, R.M., 2000. Changes in soil carbon following land-use changes in Australia. National Greenhouse Gas Inventory Development Project Report. Environment Australia, Canberra, ACT, Australia, 1999.
47. Turner, J., Lambert, M.J., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. Forest Ecology and Management, 133: 231-247.
48. Paul, K.I., Jacobsen, K., Koul, V., Leppert, P., Smith, J., 2008. Predicting growth and sequestration of carbon by plantations growing in regions of low-rainfall in southern Australia. Forest Ecology and Management, 254: 205-216.

۴۹. نی‌ریزی، س. ۱۳۷۷. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، راهکار تامین منابع آب. مجله آب و محیط زیست، شماره ۳۴، ص۶-۴.

۵۰. ثابت رفتار، ع. ۱۳۸۰. گزارش ملی مدیریت تقاضا حفاظت و کنترل آلودگی آب در ایران. اولین کنفرانس منطقه‌ای مدیریت تقاضا حفاظت و کنترل آلودگی آب، اردن، ص ۳۰-۲۲.