پویایی جریان گازهای خاک در ارتباط با ریزتوپوگرافی چاله و کپُه[1] در یک جنگل پهن‌برگ

یحیی کوچ[2]

استادیار گروه جنگلداری؛ yahya.kooch@modares.ac.ir

دریافت: 92/11/13 و پذیرش: 94/3/26

چکیده

هدف تحقیق حاضر، بررسی پویایی جریان‌های دی اکسید کربن، متان و نیتروز اکسید در ارتباط با تغییرپذیری برخی مشخصه‌های خاک در سنین مختلف چاله و کپّه، ریزتوپوگرافی حادث شده از ریشه‌کن شدن درختان، می‌باشد. به این منظور، قطعه شاهد سری لالیس واقع در استان مازندران پیمایش شده و تعداد 24 درخت ریشه‌کن شده از گونه راش شناسایی شد. سن چاله و کپّه معادل سن خشکه‌دار در نظر گرفته شد و بر همین اساس، 6، 7، 5 و 6 خشکه‌دار به ترتیب به چاله و کپّه‌های جوان، میانسال، بالغ و کهنسال اختصاص داشته است. نمونه‌های خاک از سه موقعیت بالای کپّه، ته چاله و زیر تاج پوشش بسته و از عمق 15 - 0 سانتی‌متری گرفته شد. برخی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژی خاک (بافت، محتوی رطوبت، کربن آلی، نیتروژن کل، تعداد و زیتوده کرم‌های خاکی) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آنست که چاله‌ها (0/55 میلی‌گرم دی اکسیدکربن ، 0/10 میلی‌گرم نیتروز اکسید و 0/32- میلی-گرم متان در متر مربع در روز) در مقایسه با کپّه‌ها (0/19 میلی‌گرم دی اکسیدکربن ، 0/03 - میلی‌گرم نیتروز اکسید و 0/52- میلی‌گرم متان در متر مربع در روز) مقادیر بیشتری از گازهای دی اکسید کربن و نیتروز اکسید را تولید کرده و همچنین مقادیر کمتری از گاز متان را جذب می‌کنند. با گذشت زمان، قابلیت تولید دی اکسید کربن و نیتروز اکسید و همچنین جذب گاز متان توسط چاله و کپّه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج این بررسی می‌تواند در ارزیابی و مدیریت بوم نظام‌های جنگلی باد افتاده مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: درختان ریشه‌کن شده، راش، دی اکسید کربن، متان، نیتروز اکسید

---

1. Pit and mound

[1]: نویسنده مسئول، آدرس: نور، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، گروه جنگلداری

مقدمه

در اتمسفر، گازهایی وجود دارند که به گازهای گلخانه‌ای[1] شهرت داشته و باعث ایجاد یک شبکه گرمایی در سطح زمین می‌شوند که با نام اثر گلخانه‌ای شناخته شده‌اند. اگر چنانچه هیچ گازی در اتمسفر وجود نداشته باشد درجه حرارت جهانی زمین 33 درجه کمتر از حالت فعلی خواهد بود. بنابراین اگر چنانچه میانگین درجه حرارت جهانی کره زمین 15 درجه سانتی‌گراد تصور گردد در این صورت در غیاب این گازها، درجه حرارت جهانی 18- درجه سانتی‌گراد خواهد بود (آی پی سی سی، 1990). بنابراین می‌توان دریافت که وجود اثر گلخانه‌ای برای پایداری شکل‌های مختلف حیات بر روی کره زمین ضروری می‌باشند. مستندات حاکی از آنست که غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در حال افزایش است که منجربه افزایش گرمای جهانی زمین می‌شود. دی اکسید کربن[2]، متان[3] و نیتروز اکسید[4] مهمترین گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند که تقریباً 80 درصد گرمایش جهانی زمین را منجر می‌شوند (کریستینسن و همکاران، 2012). پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آنست که با تقویت چاهک‌های[5] جذب گاز و همچنین کاهش منابع[6] تولید گاز می‌توان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر را کاهش داد. بوم نظام جنگل می‌تواند از هر دوی این طرق به کاهش خروج گازها به داخل اتمسفر کمک نماید (وون آرنولد، 2004).

خاک جنگل با ذخیره حدود 700 میلیارد تن، بزرگترین مخزن ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی جهان می‌باشد (گوور و همکاران، 1997). ذخیره و ترسیب کربن در خاک‌های جنگلی تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی واقع می‌گردد (کوچ، 1391). ریشه‌کن شدن درختان و تشکیل ساختار ریزتوپوگرافی چاله و کپّه[7] یکی از متداول‌ترین برهم خوردگی‌های طبیعی می‌باشد که در بوم نظام‌های جنگلی مختلف اتفاق می‌افتد و منجربه تغییرپذیری ذخایر کربن و نیتروژن خاک می‌گردد (کوچ و همکاران، 2012؛ کوچ و همکاران، a 2014؛ کوچ و همکاران، b 2014). تقریباً 10 تا 50 درصد سطح بوم نظام‌های جنگلی در مناطق معتدله بوسیله ریزتوپوگرافی چاله و کپّه اشغال شده است (کوچ، 1391). لذا این عوامل می‌توانند تأثیر بسزایی در تغییرپذیری جریان‌های گازی خاک در مقیاس جهانی داشته باشند. با درک اینکه بوم نظام‌های جنگلی شمال ایران دارای ساختار کوهستانی می‌باشند لذا می‌توان تصور نمود که گونه‌های درختی مختلف که ارتفاعات بالادست این ساختارهای کوهستانی را پوشانده‌اند به تعداد زیاد ریشه‌کن می‌شوند. به همین دلیل می‌توان مجموعه وسیعی از ساختارهای چاله و کپّه را در این بوم نظام‌های جنگلی مشاهده نمود. هدف از انجام تحقیق حاضر، مطالعه و بررسی جریان‌های گازی خاک در موقعیت چاله و کپّه توده جنگلی راش، با ارزش‌ترین توده جنگلی شمال کشور از جنبه‌های اکولوژیکی و تجاری، می‌باشد که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل‌های سری لالیس و دلدره از حوزه آبخیز طرح جنگلداری گلبند انجام شده است که جزء بخش کرکرود شهرستان نوشهر محسوب می‌شود. جنگل ناحیه مورد بررسی با مساحت 1672 هکتار در محدوده ′29 °36 و ′32 °36 عرض جغرافیایی شمالی و ′23 °51 و ′28 °51 طول جغرافیایی شرقی با محدوده ارتفاعی 2000 - 1000 متر از سطح دریا قرار دارد. بیشتر سطح قطعه دارای شیب 30 - 0 درصد و با جهت غالب شمالی می‌باشد. نوع سنگ مادر سنگ آهک مارنی, مخلوط با مارن سیلتی به صورت تخریب یافته است. نفوذپذیری سنگ مادر ضعیف بوده و حرکات توده‌ای به همراه لغزش هم در آن دیده می‌شود. تیپ خاک قرمز پودزولیک همراه با قهوه‌ای شسته شده و پسدوگلی است. بافت خاک نیمه‌سنگین تا خیلی سنگین بوده و عمق خاک از نیمه‌عمیق تا عمیق و با حداکثر عمق بیش از 1 متر است. تیپ پوششی غالب، راش به همراه گونه‌های ممرز، توسکا، افرا شیردار، پلت، نمدار، ملج، گیلاس وحشی و بارانک است (شعبانی، 1387).

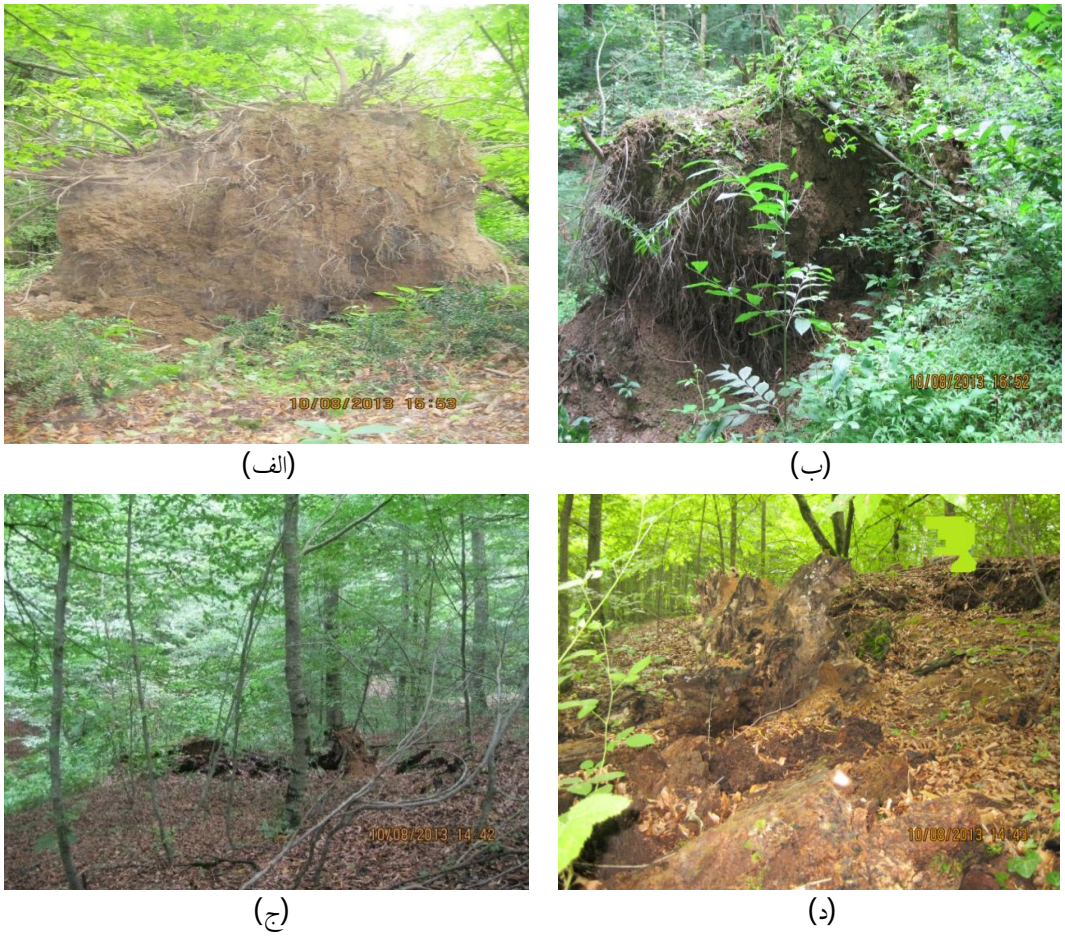
نمونه‌گیری خاک

به منظور انجام این پژوهش، مساحت 20 هکتار از قطعه شاهد (مساحت کل این قطعه 58 هکتار می‌باشد) در جنگل مذکور مورد پیمایش صد درصد قرار گرفت. در عرصه مورد نظر، کلیه چاله و کپّه‌های موجود از گونه راش ثبت شد. بر اساس مستندات موجود، شدت پوسیدگی خشکه‌دارهای افتاده (حاوی ساختار چاله و کپّه) به چهار درجه پوسیدگی به ترتیب زیر تعریف شد (موتا و همکاران، 2006)، که تشخیص شدت پوسیدگی از طریق بصری امکان‌پذیر می‌باشد (شکل 1). درخت تازه خشک شده، برگ و جوانه وجود ندارد و پوست و ظاهر

---

1. Greenhouse gases
2. CO_2
3. CH_4
4. N_2O
5. Sinks
6. Sources
7. Pit and mound

درخت هنوز تغییر رنگ فاحشی نکرده است (درجه پوسیدگی 1، این نوع خشکه‌دار کمتر از 5 سال از زمان خشک شدن آن گذشته است). درخت شروع به تجزیه کرده، رنگ چوب تغییر نموده، قهوه‌ای شده و سفیدک دیده می‌شود ولی هنوز چوب سفت است و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن عوض نشده است (درجه پوسیدگی 2، این خشکه‌دار بین 10- 5 سال از زمان خشک شدن آن گذشته است). پوسیدگی پیشرفته‌تر است، رنگ آن کاملاً تغییر یافته و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب کاملاً عوض شده است و ترک می‌خورد و رنگ آن تیره‌تر شده و فرم و شکل اولیه را از دست داده است (درجه پوسیدگی 3، این خشکه‌دار بین 15 - 10 سال از زمان خشک شدن آن گذشته است). چوب کاملاً پوسیده شده است و اصطلاحاً ذوب شده است و چوب براحتی در مقابل ضربه خرد شده و ریز می‌شود (درجه پوسیدگی 4، این خشکه‌دار بیش از 15 سال از زمان خشک شدن آن گذشته است).



(الف) (ب)

(ج) (د)

شکل 1- نمایی از چاله و کپّه در سنین مختلف: 5- 0 سال (الف)، 10- 5 سال (ب)، 15- 10 سال (ج) و 20- 15 سال (د)

از آنجا که خشکه‌دارهای افتاده در مجاورت چاله و کپّه واقع شده بودند سن چاله و کپّه معادل سن خشکه-دار در نظر گرفته شد (اوهیمب و همکاران، 2007). پس از جنگل‌گردشی و پیمایش کل محدوده مورد نظر، تعداد 24 درخت ریشه‌کن شده از گونه‌راش شناسایی شد که 6 خشکه‌دار به درجه پوسیدگی 1 (چاله و کپّه جوان)، 7 خشکه‌دار به درجه پوسیدگی 2 (چاله و کپّه میانسال)، 5 خشکه‌دار به درجه پوسیدگی 3 (چاله و کپّه بالغ) و 6 خشکه‌دار به درجه پوسیدگی 4 (چاله و کپّه کهنسال) اختصاص داشته است. نمونه‌های خاک از سه موقعیت بالای کپّه، ته چاله و زیر تاج پوشش بسته به کمک استوانه‌ای مدور با سطح مقطع 81 سانتی‌متر مربع و از عمق 15 - 0 سانتی‌متری گرفته شد.

اندازه‌گیری جریان‌های گازی

به منظور اندازه‌گیری جریان‌های گازی، نمونه‌های تازه خاک مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور مقدار

50 گرم خاک مربوط به هر یک از موقعیت‌ها در بطری‌های شیشه‌ای با حجم یکسان قرار داده شد و درب بطری‌ها به مدت 3 ساعت بطور کامل بسته شد به طوری که هیچ ارتباطی با محیط بیرون نداشته باشد. سپس نمونه‌های گاز موجود، بعد از زمان‌های مختلف (بلافاصله بعد از محفوظ کردن درب بطری، 1 ساعت بعد از آن، 2 ساعت بعد از آن و 24 ساعت بعد از آن) از داخل بطری‌های محفوظ شده با استفاده از سرنگ برداشت شد. نمونه‌های گاز به آزمایشگاه منتقل شده و توسط دستگاه گاز کروماتوگراف، نوع گازهای موجود (دی اکسید کربن، متان و نیتروز اکسید) در بطری و غلظت آنها بر حسب ذره در هر میلیون قرائت شد. جریان‌های گازی بر مبنای نسبت خطی تغییرات غلظت آنها در طول زمان‌های مختلف محاسبه شد (دوودن و همکاران، 1998).

تجزیه فیزیکوشیمیایی و بیولوژی خاک

نمونه‌های خاک در فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. بافت با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت با خشک کردن نمونه‌های خاک در دمای 105 درجه سانتی‌گراد و به مدت 24 ساعت، کربن به روش والکلی‌بلاک، نیتروژن (ازت) کل به روش کجلدال (غازانشاهی، 1385)، تعداد کرم‌های خاکی بر مبنای شمارش دست‌چین و زیتوده هر یک به روش توزین (پس از نگهداری در دمای 60 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (کوچ و همکاران، 2014 b).

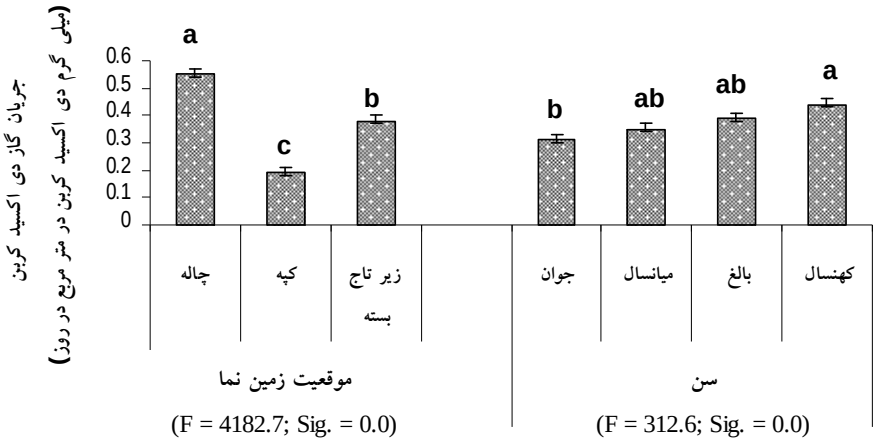
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک در موقعیت‌های مختلف چاله و کپّه و سنین مختلف آنها از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. در صورت نرمال نبودن داده‌ها از روش جزری جهت نرمال کردن داده‌ها استفاده شد. آزمون دانکن نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین بکار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 11.5 انجام شد.

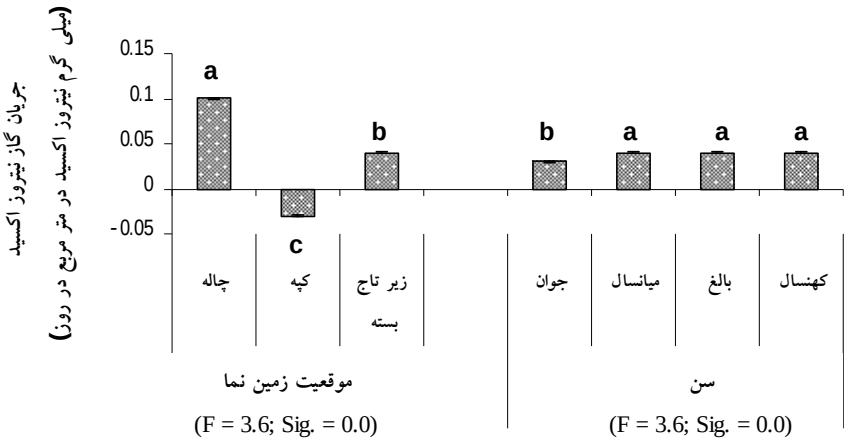
نتایج

جریان‌های گازی خاک

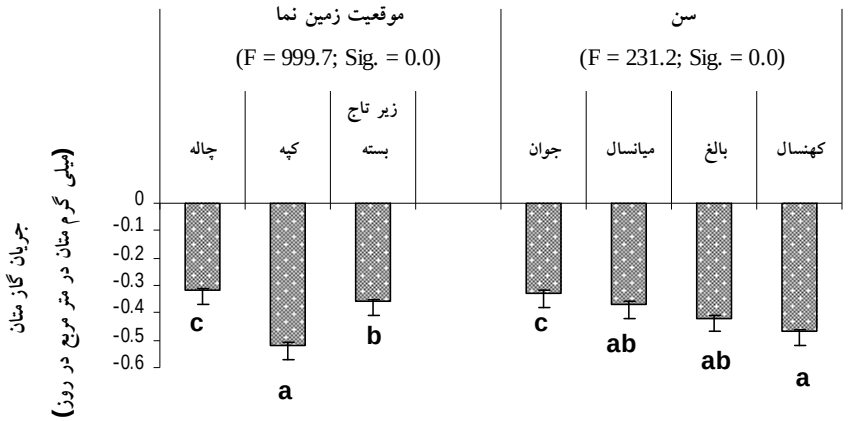
تجزیه واریانس مقادیر جریان‌های گازی خاک حاکی از آنست که بیشترین مقدار خروج گاز دی اکسید کربن در موقعیت چاله و کمترین مقدار این مشخصه در موقعیت کپّه بصورت معنی‌دار مشاهده شد. همچنین با گذشت زمان، مقدار خروج گاز مذکور روند صعودی داشته است (شکل 2). اثرات متقابل موقعیت زمین‌نما و سنین مختلف چاله و کپّه بر مقادیر جریان گاز دی اکسید کربن نیز معنی‌دار نشان داده شد (F - value = 3.5; Sig. = 0.0). بیشترین مقادیر خروج گاز نیتروز اکسید در موقعیت چاله و کمترین مقدار تولید این گاز در موقعیت کپّه مشاهده شد و تفاوت‌های آماری معنی‌داری را به نمایش گذاشته‌اند. چاله و کپّه‌های جوان کمترین مقدار این مشخصه را نشان داده و با گذشت زمان این مقدار افزایش یافته است (شکل 3). اثرات توأم موقعیت‌های چاله و کپّه و سنین مختلف آنها بر جریان گاز نیتروز اکسید نیز معنی‌دار بدست آمد (F - value = 67.1; Sig. = 0.0). کپّه‌ها بیشترین مقدار جذب گاز متان و چاله‌ها کمترین مقدار آن را شامل شدند و تفاوت‌های آماری معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش سن چاله و کپّه‌ها مقادیر جذب گاز متان در خاک نیز روند افزایشی معنی‌داری به نمایش گذاشته است (شکل 4). اثرات متقابل هر یک از پارامترهای مستقل مورد بررسی بر جریان گاز متان نیز معنی‌دار بدست آمد (F - value = 12.3; Sig. = 0.0).



شکل 2- میانگین مقادیر جریان دی اکسید کربن خاک در موقعیت زمین‌نماها و سنین مختلف



شکل 3- میانگین مقادیر جریان نیتروز اکسید خاک در موقعیت زمین‌نماها و سنین مختلف



شکل 4- میانگین مقادیر جریان متان خاک در موقعیت زمین‌نماها و سنین مختلف

مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژی خاک

تجزیه واریانس مشخصه‌های مختلف خاک حاکی از آنست که بیشترین مقادیر مشخصه‌های رطوبت، کربن، نیتروژن، تعداد و زیتوده کرم‌های خاکی به موقعیت چاله تعلق داشته است. در حالی که بیشترین مقادیر شن و نسبت کربن به نیتروژن در موقعیت کپّه و همچنین بیشترین مقادیر مشخصه‌های سیلت و رس در زیر تاج پوشش بسته مشاهده شد (جدول 1). در ارتباط با سنین مختلف چاله و کپّه نیز، بیشترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن در سنین جوان و سیلت و رس در سنین بالغ مشاهده شد و سایر مشخصه‌های دیگر در سنین کهنسالی بیشترین مقادیر را بصورت معنی‌دار نشان داده‌اند (جدول 1).

بحث

جریان دی اکسید کربن

نتایج حاکی از آنست که تشکیل ساختار چاله و کپّه تأثیر معنی‌داری بر جریان دی اکسید کربن خاک داشته و با گذشت زمان نیز تغییرات آن بسیار پویا می‌باشد. مطابق با نتایج، چاله‌ها محتوی رطوبت بیشتری نسبت به کپّه‌ها و زیر تاج پوشش بسته می‌باشند که با نتایج مطالعات پیشین (کوچ و همکاران، 2012) مطابقت دارد. دوران و همکاران (1990) در تحقیق خود نشان داد که بین میزان رطوبت و خروج دی اکسید کربن خاک همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. در تحقیق حاضر نیز محتوی رطوبت خاک می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در افزایش میزان تولید دی اکسید کربن تلقی شود (مقدار همبستگی = 0/94 و میزان معنی‌داری = 0/00). در خاک‌های خشک به دلیل کمبود رطوبت خاک فعالیت‌های میکروبی کاهش پیدا می‌کند. با افزایش تدریجی رطوبت، شرایط برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌ها فراهم شده و منجر به افزایش فعالیت میکروبی و تنفس بیشتر آنها در خاک می‌گردد که همین امر باعث افزایش تولید دی اکسید کربن در خاک می‌شود. اما وقتی خاک از آب اشباع شود اکسیژن نمی‌تواند در بین ذرات خاک انتقال یابد بنابراین جذب اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها با مشکل مواجه می‌شود و همین موضوع منجربه کاهش مقادیر تولیدی دی اکسید کربن در خاک می‌شود. بنابراین خاک‌های مرطوب (بین کاملاً خشک و کاملاً اشباع) شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت انواع میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌آورد (پنگ و توماس، 2006). در تحقیق حاضر نیز شرایط مرطوب‌تر در داخل چاله‌ها مشاهده و منجر به افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید دی اکسید کربن بیشتر شد. در حالی که کپّه‌ها با دارا بودن شرایط خشک‌تر بستر نامناسبی را برای فعالیت انواع میکروب‌ها ایجاد کرده و منجر به کاهش میزان تولید دی اکسید کربن خاک شد. زیر تاج پوشش بسته نیز با دارا بودن رطوبت کمتر از چاله و بیشتر از کپّه، شرایط بینابینی را از نظر تولید دی اکسید کربن مهیا کرده است. همچنین افزایش میزان رطوبت خاک در داخل چاله‌ها در طول زمان‌های مختلف بر روند صعودی تولید دی اکسید کربن در چاله تأثیر گذار بوده است.

تشکیل ساختار چاله و کپّه در بوم نظام‌های جنگلی منجربه تغییرپذیری مشخصه‌های مختلف خاک، خصوصاً ذخایر کربن، می‌شود که می‌تواند بر جریان مقادیر دی اکسید کربن خاک مؤثر واقع شود (کوچ، 1391). مطالعات متعددی (او و کی، 2001) بر تغییرپذیر بودن جریان‌های دی اکسید کربن خاک در اکوسیستم‌های جنگلی اشاره داشته‌اند. مجموعه‌ای از پارامترهای خاک از جمله عناصر غذایی (خصوصاً کربن و نیتروژن) و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک می‌توانند بر تولید بیشتر این گاز در خاک مؤثر واقع شوند (او و کی، 2001). مطابق با نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک در تحقیق حاضر نیز بیشترین مقادیر کربن و نیتروژن، فعالیت‌های بیولوژیکی (وفور و زیتوده کرم‌های خاکی) در موقعیت چاله و در سنین کهنسالی مشاهده شد. همه این عوامل در مجموع باعث افزایش تولید دی اکسید کربن بیشتر در داخل موقعیت چاله (خصوصاً در سنین بالا) شده است.

جریان نیتروز اکسید

یافته‌های بدست آمده در تحقیق حاضر نشان داد که چاله‌ها و زیر تاج پوشش بسته منجربه تولید گاز نیتروز اکسید شده در حالی که کپّه‌ها منجربه جذب این گاز شده‌اند. تولید بیشتر این گاز در داخل چاله‌ها می‌تواند به دلیل وجود رطوبت بیشتر در این میکروسایت باشد (مقدار همبستگی = 0/93 و میزان معنی‌داری = 0/00). شیندباچر و همکاران (2004) در تحقیق خود نشان داد که تولید گاز نیتروز اکسید با افزایش مقدار رطوبت خاک روند صعودی داشته است. مالجانن و همکاران (2003) نیز در مطالعه خود، رطوبت خاک را به عنوان مهمترین عامل مؤثر بر جریان این گاز در خاکهای جنگلی زهکشی شده گزارش نموده است. کویده و همکاران (2006) در پژوهش خود همبستگی مثبت معنی‌داری را بین مقادیر رطوبت خاک و غلظت این گاز نشان داده است.

جدول 1- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژی خاک در ارتباط با موقعیت‌های چاله و کپُه

خصوصیات	موقعیت			مقدار F	سن چاله و کپُه				مقدار F	مقدار F
خاک	چاله	کپُه	زیر تاج بسته	(موقعیت)	جوان	میانسال	بالغ	کهنسال	(سن)	(موقعیت × سن)
Sand	28/9(0/4)^{b}	48/9 (0/0)^{a}	19/0(0/4)^{c}	2149/2 **	31/5(3/0)^{b}	31/8(2/8)^{b}	31/1(3/3)^{b}	34/5(3/0)^{a}	16/1 **	0/0ns
Silt	40/8(0/2)^{b}	30/8(0/2)^{c}	47/8(0/2)a	2522/2 **	40/2(1/7)^{a}	40/0(1/5)^{a}	40/3(1/8)^{a}	38/7(1/6)^{b}	14/1 **	0/0ns
Clay	30/2(0/2)^{b}	20/1(0/2)^{c}	33/0(0/2)^{a}	1741/1 **	28/2(1/3)^{a}	28/0(1/2)^{a}	28/4(1/4)^{a}	26/6(1/3)^{b}	17/5 **	0/0ns
WC	55/2(0/7)^{a}	11/9(0/1)^{c}	39/3(0/6)^{b}	2076/1 **	33/6 (4/1)^{b}	35/4(4/0)^{a}	36/5(5/0)^{a}	36/6(4/5)^{a}	6/3**	3/6**
C_{org}	3/8(0/0)^{a}	2/8(0/0)^{c}	3/4(0/0)^{b}	1865/7 **	3/0(0/0)^{d}	3/3(0/0)^{c}	3/4(0/1)^{b}	3/6(0/1)^{a}	469/1**	13/1**
N_{total}	0/2(0/0)^{a}	0/1(0/0)^{c}	0/2(0/0)^{b}	236/7 **	0/2(0/0)^{d}	0/2(0/0)^{c}	0/2(0/0)^{b}	0/2(0/0)^{a}	109/8**	9/8**
C/N ratio	13/1(0/2)^{b}	14/5(0/2)^{a}	14/0(0/1)^{a}	15/6 **	14/7(0/2)^{a}	14/6(0/2)^{a}	13/6(0/2)^{b}	12/7(0/3)^{c}	19/7 **	3/1**
N_{earth}	3/3(0/4)^{a}	0/1(0/0)^{c}	1/7(0/1)^{b}	120/7 **	0/7(0/1)^{c}	1/4(0/2)^{c}	2/2(0/5)^{b}	2/7(0/5)^{a}	25/6 **	13/1**
B_{earth}	41/3(3/8)^{a}	1/5(0/8)^{c}	27/5(2/4)^{b}	129/1 **	12/5(2/7)^{c}	21/6(3/7)^{b}	28/4(5/9)^{a}	32/5(6/2)^{a}	17/5 **	7/2**

توضیحات: Sand [شن (درصد)] ; Silt [رس (درصد)] ; Clay [رس (درصد)] ; WC [رطوبت (درصد)] ; C_{org} [کربن آلی (درصد)] ; N_{total} [نیتروژن کل (درصد)] ; C/N ratio [نسبت کربن به نیتروژن] ; N_{earth} [تعداد کرم خاکی (تعداد در متر مربع)] ; B_{earth} [زیتوده کرم خاکی (میلی‌گرم در متر مربع)].

^{ns} معنی‌دار نیست و ** در سطح معنی‌داری 0/01 معنی‌دار است.

حروف متفاوت در هر ردیف وجود تفاوت را در سطح 95 درصد (P <0/05) یا 99 درصد (P <0/01) نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر نیز تصور می‌شود حضور رطوبت می‌تواند یکی از مهمترین عوامل مؤثر تلقی شود. در مقابل برخی تحقیقات نیز عامل رطوبت را پارامتر مؤثر چندانی در تغییرپذیری جریان گاز نیتروز اکسید گزارش نداده‌اند (زروا و منسوسینی، 2005). در هر حال بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌توانند در تغییرپذیری این مشخصه گازی مؤثر واقع شوند. با توجه به مقادیر بالاتر مقدار نیتروژن خاک در چاله‌ها، این مشخصه یکی از مهمترین پارامترها در افزایش مقدار این گاز معرفی شده است (او و کی، 2001). در هر حال برخی مشخصه‌ها دیگر خاک نظیر نسبت کربن به نیتروژن کمتر و فعالیت بیولوژیکی بیشتر (کوچ، 1391) می‌توانند در افزایش مقدار تولید نیتروز اکسید مؤثر باشند، که در تحقیق حاضر نیز مشهود است.

جریان متان

مطابق با نتایج مطالعه حاضر، کلیه موقعیت‌های مورد بررسی چاهکی برای گاز متان محسوب می‌شوند و هر یک از موقعیت‌ها توانایی متفاوت معنی‌دار در جذب گاز متان دارند. مطابق با نتایج بدست آمده، کپّه‌ها توانایی جذب بیشتری از این گاز را نشان داده‌اند. پژوهش‌های متعددی خاکهای جنگلی را به عنوان یک چاهک برای جذب گاز متان اتمسفر گزارش داده‌اند (درویت و همکاران، 2002). در تحقیق حاضر نیز کلیه موقعیت‌های مورد بررسی نقش چاهکی برای گاز متان اتمسفری ارائه داده‌اند و در بین موقعیت‌های مختلف، نقش کپّه‌ها پر رنگ‌تر بوده است. در هر حال مکانیسمی که در پشت فرآیندهای تولید و جذب این گاز در بوم نظام‌های جنگلی وجود دارد بسیار پیچیده و مبهم است (شافر و همکاران، 2012). بطور کلی وقتی که خاک‌ها گرم و خشک می‌شوند (محتوی رطوبت کمتر)، میزان تولید گاز متان کاهش می‌یابد (واشینگتون و همکاران، 199؛ کویده و همکاران، 2006). در تحقیق حاضر نیز بیشترین میزان جذب متان (کمترین میزان تولیدی این گاز) در بالای کپّه‌ها مشاهده شده است که می‌تواند در ارتباط با مقادیر پایین‌تر رطوبت خاک (جدول 1) باشد. پژوهش‌های صورت گرفته قبلی (ورشوت، 2000؛ گاک‌لند و همکاران، 2009) نیز بر این امر دلالت دارند که نرخ جذب متان با میزان رطوبت خاک رابطه عکس دارد، بطوری که هر چه خاک خشک‌تر باشد میزان تولید این گاز بیشتر متوقف شده و خاک به یک چاهک متان تبدیل می‌شود (براون و همکاران، 2013). چنین حالتی در ریزتوپوگرافی کپّه در تحقیق حاضر قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از آنست که کپّه‌ها نقش مهمی در کاهش خروج گازهای گلخانه‌ای داشته است. کپّه‌ها چاهکی برای گازهای نیتروز اکسید و متان خاک بوده و همچنین منبع تولیدی کمتری برای گاز دی اکسید کربن محسوب می‌شوند. همچنین جریان گازهای خاک در محل چاله و کپّه‌ها بسیار پویاست. بر همین اساس پیشنهاد می‌شود به درختان افتاده حاوی ساختار چاله و کپّه توجه بیشتری شود. لذا تأکید می‌شود ساختار کپّه در بوم نظام‌های جنگلی باقی گذاشته شوند و ترکیب این ساختار در بوم نظام‌های جنگلی حفظ شود. این اطلاعات می‌تواند به منظور مدیریت و ارزیابی بوم نظام‌های جنگلی بادافتاده مهم تلقی شود.

فهرست منابع:

1. شعبانی، س. 1387. رابطه سطح حفره‌های زادآوری با عوامل فیزیوگرافی و پوشش گیاهی در منطقه جنگلی لالیس-نوشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، 88 صفحه.
2. غازان‌شاهی، ج. 1385. آنالیز خاک و گیاه، انتشارات هما، 272 صفحه.
3. کوچ، ی. 1391. تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در ارتباط با پیت و ماند، حفره تاج پوشش و تک درختان در یک جنگل آمیخته راش هیرکانی، رساله دکتری تخصصی جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، 157 صفحه.
4. Braun, M., Y. Bai, B. McConkey, R. Farrell, J. T. Romo and D. Pennock, 2013. Greenhouse gas flux in temperate grassland as affected by landform and disturbance. Landscape Ecology, 28:709 -723.
5. Christiansen, J. R., L. Vesterdal and P. Gumdersen. 2012. Nitrous oxide and methane exchange in two small temperate forest catchments – effects of hydrological gradients and implications for global warming potentials of forest soils. Biogeochemistry, 107: 437 - 454.

6. Doran, J. W., L. N. Mielke and J. F. Power. 1990. Microbial activity as regulated by soil water-filled pore space. In Transactions 14th International Congress of Soil Science, 94 - 99.
7. Dowden, R. D., K. M. Newkirk and G. M. Rullo. 1998. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory – controlled moisture and temperature conditions. Soil Biology and Biochemistry, 12: 1591 – 1597.
8. Drewitt, G. B., T. A. Black, Z. Nesic, E. R. Humphreys, E. M. Jork, R. Swanson, G. J. Ethier, T. Griffis and K. Morgenstern. 2002. Measuring forest floor CO_2 fluxes in a Douglas-fir forest. Forest Ecology and Management, 110: 299 - 317.
9. Gower, S. T., J. G. Vogel, J. M. Norman, C. J. Kucharik, S. J. Steele, T. K. Stow. 1997. Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen jack. Applied Soil Ecology, 28: 169 - 204.
10. Guckland, A., H. Flessa, and J. Prenzel. 2009. Controls of temporal and spatial variability of methane uptake in soils of a temperate deciduous forest with different abundance of European beech (Fagus sylvatica L.). Soil Biology and Biochemistry, 41:1659 -1667.
11. IPCC, 1990. Climate change the IPCC scientific assessment (eds. Houghton J T, Jenkins G J, Ephramus JJ). Cambridge University Press, Cambridge, 365p.
12. Koide, T., R. Hatano and T. Maximov. 2006. Impact of soil temperature and soil moisture on GHG fluxes from an eastern Siberian Taiga soil at Yakutsk, Russia. Symposium of environmental change in Siberian permafrost region, Eds. Hatano R and Guggenberger G, p 27 – 38, Hokkaido University Press, Sapporo.
13. Koide, T., R. Hatano and T. Maximov. 2006. Impact of soil temperature and soil moisture on GHG fluxes from an eastern Siberian Taiga soil at Yakutsk, Russia. Symposium of environmental change in Siberian permafrost region, Eds. Hatano R and Guggenberger G, p 27 – 38, Hokkaido University Press, Sapporo.
14. Kooch, Y., C. Zaccone, N. P. Lamersdorf, G. Tonon. 2014b. Pit and mound influence on soil features in an Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest. European Journal of Forest Research (doi: 10.1007/s10342-013-0766-2).
15. Kooch, Y., S. M. Hosseini, J. Mohammadi and S. M. Hojjati. 2012. Effects of uprooting tree on herbaceous species diversity, wood species regeneration status and soil physical characteristics in a temperate mixed forest of Iran. Journal of Forestry Research, 23: 81 - 86.
16. Kooch, Y., S. M. Hosseini, P. Samonil and S. M. Hojjati. 2014a. The effect of windthrow disturbances on biochemical and chemical soil properties in the Northern mountainous forests of Iran. Catena, 116: 142-148.
17. Maljanen, M., A. Liikanen, J. Silvola and P. J. Martikainen. 2003. Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. Soil Biology and Biochemistry, 35: 689-700.
18. Motta, R., R. Berretti, E. Lingua and P. Piussi. 2006. Corse woody debris, forest structure and regeneration in the Vulbona forest reserve, Paneveggio, Italian Alps. Forest Ecology and Management, 235: 155-163.
19. Oheimb, G. V., A. Friedel, A. Bertsch and W. Hardtle. 2007. The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. Plant Ecology, 191: 47 – 65.
20. Peng, Y. and S. C. Thomas. 2006. Soil CO_2 efflux in uneven-aged managed forests: temporal patterns following harvest and effects of edaphic Heterogeneity. Plant and Soil, 289: 253 -264.
21. Schafer, C. M., L. Elsgaard, C. C. Coffmann and S. O. Petersen, 2012. Seasonal methane dynamics in three temperate grasslands on peat. Plant and Soil, 357: 339 - 353.

22. Schindlbacher, A., S. Zechmeister - Boltenstern and K. Butterbach – Bahl. 2004. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO2 and N2O emissions from European forest soils. Journal of Geophysics, 109: 126 - 139.
23. Verchot, L. V., E. A. Davidson, J. H. Cattanio and I. L. Ackerman. 2000. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soils of eastern Amazonia. Ecosystems, 3: 41-56.
24. Von Arnold, K. 2004. Forests and greenhouse gases: Fluxes of CO2, CH4 and N2O from drained forests on organic soil. Department of Water and Environmental Studies, Unitryck, Linkoping, 45 p.
25. Washington, J. W., A. W. Rose, E. J. Ciolkosz and R. R. Dobos. 1994. Gaseous diffusion and permeability in four soil profiles in central Pennsylvania. Soil Sciences, 157: 65 -76.
26. Xu, M. and Y. Qi. 2001. Soil - surface CO2 efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. Global Change Biology, 7: 667 -677.
27. Zerva, A. and M. Mencuccini. 2005. Short - term effects of clear felling on soil CO2, CH4 and N2O fluxes in a Sitka spruce plantation. Soil Biology and Biochemistry, 22: 1 - 12.