



## اثرات آتش سوزی بر بیولوژی خاک جنگل

- ساناز اشرفی سعیدلو، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه
- محسن برین، استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه
- میرحسن رسولی صدقیانی، دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

### چکیده

ویژگی های میکروبی خاک به دلیل ارتباط بین تنوع میکروبی، کیفیت خاک و گیاه و پایداری اکوسیستم به عنوان شاخص های حساس سلامت خاک مورد ارزیابی قرار می گیرند. آتش سوزی می تواند میکروارگانیسم ها را بطور مستقیم از طریق افزایش دما و بطور غیرمستقیم از طریق تغییر خصوصیات خاک تحت تأثیر قرار دهد. هم چنین میکروارگانیسم ها از فاکتورهای زیست محیطی پس از آتش سوزی و استقرار مجدد پوشش گیاهی تأثیر می پذیرند. مهم ترین عامل تأثیرگذار بر میکروب های خاک شدت سوختگی می باشد که توسط فاکتورهایی نظیر شدت و مدت آتش سوزی و خواص خاک کنترل می شود. تغییر کیفیت مواد آلی در اثر وقوع آتش سوزی نیز در کاهش فعایت میکروارگانیسم های خاک نقش دارد. در کوتاه مدت افزایش عناصر غذایی و کربن محلول منجر به افزایش باکتری های هتروتروف شده و افزایش تنفس پایه را در پی دارد. در ادامه با تخلیه ترکیبات سهل الوصول آلی و افزایش ترکیبات مقاوم به تجزیه میکروبی، تنفس پایه کاهش می یابد. ممکن است تنوع زیستی میکروارگانیسم ها توسط آتش سوزی بر اساس میزان حساسیت به گرما، مکانیسم های کلنیزاسیون و میزان حساسیت به تغییرات خاک و میکروکلیمای تغییر نماید. تخریب و ایجاد آشیانه های اکولوژیکی و تغییرات بیومس و تشکیل گونه های گیاهی در اثر آتش سوزی نیز، بر تنوع زیستی میکروارگانیسم ها تأثیر می گذارد. با توجه به مطالعات انجام شده تأثیر آتش سوزی بر خواص خاک چشمگیر بوده و لذا حاصلخیزی و جامعه میکروبی آن را به طور قابل-ملاحظه ای تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین ارزیابی اثرات آتش سوزی بر خاک می تواند به شناخت و بهبود خصوصیات آن کمک به-سزایی نماید.

**کلمات کلیدی:** آتش سوزی، بیومس میکروبی، فعالیت آنزیمی و خاک جنگل

### مقدمه

آتش سوزی یکی از رخداد های مهم و رایج در بیشتر اکوسیستم های جنگلی است که تأثیرات قابل توجهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد و گاهی باعث بروز تغییرات دائمی و غیرقابل برگشت در خاک می شود. تأثیر آتش بر خاکی که در معرض آتش سوزی قرار گرفته است واضح می باشد. به طوری که سطح خاک بسته به شدت آتش سوزی توسط لایه ای از خاکستر سیاه پوشانده می شود. تغییر در خصوصیات خاک در اثر آتش سوزی را می توان در سه مقطع کوتاه مدت، طولانی مدت و دائمی بررسی نمود که با توجه به خصوصیات، شدت و تکرار آتش سوزی و هم چنین شرایط آب و هوایی

پس از آتش سوزی، دوام اثرات متفاوت است (۱). بسته به شدت آتش، ممکن است تغییراتی که در خصوصیات خاک اتفاق می افتد برای کل اکوسیستم مفید و یا زیان آور باشند (۲). آتش سوزی های شدید از جمله آتش سوزی های کنترل نشده اصولاً دارای اثرات منفی بیشتری بر روی مشخصه های مختلف خاک هستند (۳). بیشترین اثر آتش بر خاک، از دست دادن ماده آلی خاک و افزودن خطر فرسایش و هم چنین تأثیر بر زادآوری گونه های گیاهی و شرایط زیست محیطی است. از دیگر اثرات آتش سوزی میتوان به اثر این پدیده مهم بر فعالیت میکروبی خاک در اکوسیستم جنگل اشاره کرد که به دو دسته اثرات مستقیم (مرگ و



میر میکروارگانسیم ها و کاهش زیست توده میکروبی) و اثرات غیرمستقیم (تغییر شرایط محیطی خاک و در دسترس قرار دادن مواد مغذی) تقسیم می شود.

میکروارگانسیم های خاک نقش اساسی در تنظیم چرخه های بیوژئوشیمیایی در اکوسیستم های خاکی بر عهده دارند چراکه مسئول تجزیه تقریباً تمام ترکیبات آلی می باشند (۴). تأثیرات آتش بر میکروب های خاک بسته به شدت آتش سوزی و تغییر در برخی خواص خاک و شرایط زیست محیطی پس از آتش سوزی، متفاوت است. هر یک از این فاکتورها بسته به نوع ارگانسمی که در نظر گرفته می شود دارای طیف وسیعی از اثرات می باشند (۵). در حین وقوع آتش سوزی، حداکثر افزایش درجه حرارت در خاک سطحی اغلب به اندازه ای است که منجر به از بین رفتن اکثر میکروارگانسیم ها می شود. برخی از میکروارگانسیم ها در مقایسه با سایر میکروب ها حساسیت بیشتری نسبت به حرارت دارند. به عنوان مثال برخی از باکتری های نیتروبیفیکاتور، پروتوزوآها و قارچ های بدون اسپور در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد از بین می روند (۶).

در حالی که برخی از میکروارگانسیم ها نظیر قارچ *Neosartorya fischeri* گرمادوست بوده و در اثر تنش های حرارتی رشد می کنند (۷). اگرچه دماهای بالا باعث مرگ بیشتر میکروب ها و دنا تورا سیون بسیاری از آنزیم ها می شوند. اما به دلیل اینکه بلافاصله پس از آتش سوزی، خاک از نظر عناصر قابل دسترس آزاد شده از مواد آلی سوخته و میکروب های کشته شده، غنی می شود، برخی از میکروارگانسیم ها نظیر باکتری های هتروتروف به سرعت بهبود می یابند. بنابراین، تغییراتی که در اثر آتش سوزی در خاک (به عنوان سوبسترای میکروب-ها) ایجاد می شوند بخش قابل توجهی از تکامل میکروبی پس از آتش سوزی را توضیح می دهند.

## ۱- تأثیر آتش سوزی بر خواص بیولوژیکی خاک

### ۱-۱ مزو و میکروفون خاک

بی مهرگان خاکری نقش مهمی در تجزیه لاشبرگ ها، معدنی شدن کربن و عناصر غذایی، تغییر و تبدیلات و تشکیل ساختمان خاک ایفا می کنند (۲). تأثیرات آتش سوزی بر بی مهرگان خاکری به دو دسته اثرات مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند. بطور کلی تأثیرات مستقیم آتش بر بی مهرگان خاکری به دلیل توانایی تحرک آن ها

Certini (۱) نیز در مطالعاتی که راجع به تأثیر آتش سوزی بر خصوصیات خاک انجام داده بود، مشاهده کرد که آتش سوزی به صورت غیرمستقیم منجر به کاهش شدید بیومس و تعداد گونه هایی از بی مهرگان خاکری می شود.

### ۱-۲ ماکروفون خاک

ماکروفون خاک یکی از آشکارترین مؤلفه های تنوع زیستی در بیشتر اکوسیستم ها هستند و ارگانسیم های بزرگ تر از دو میلی متر را دربر می گیرند و جمعیت آن ها به شیوه های مدیریتی اکوسیستم ها بستگی دارد (۱۱). عموماً "تأثیرات مستقیم آتش سوزی بر ماکروفون خاک در مقایسه با میکروارگانسیم ها و گیاهان به دلیل توانایی تحرک آن ها کمتر می باشد، این موجودات یا از آتش فرار می کنند و یا به لایه های زیرین خاک می روند و میزان تأثیرپذیری از آتش را به حداقل می رسانند (۱۲).

آتش می تواند ماکروفون خاک را مستقیماً از طریق گرمای پدید آمده یا به طور غیرمستقیم با تغییر فاکتورهای خاکی و شرایط محیطی، دگرگون سازد. بنابراین پاسخ ماکروفون خاک به آتش می تواند سریع و کوتاه مدت و یا کند و بلندمدت باشد (۱۳).

اثر مستقیم فاکتورهای محیطی ایجاد شده پس از آتش سوزی بر ماکروفون خاک خیلی روشن نبوده و گزارش های گوناگونی در این رابطه وجود دارد که برخی از آن ها این اثر را

در خاک، در مقایسه با میکروارگانسیم ها کمتر بوده (۱) و این اثرات می توانند به صورت مکانسیم های مختلفی از جمله مرگ-ومیر مستقیم یا مهاجرت اجباری رخ دهند. آتش می تواند از طریق تغییر ترکیب گونه های گیاهی، ساختار پوشش گیاهی، کاهش ضخامت لایه لاشبرگ سطحی و تغییر رطوبت و دمای خاک به طور غیرمستقیم جامعه بی مهرگان خاکری را تحت تأثیر قرار دهد (۸). احتراق می تواند منجر به افزایش pH خاک و نوسانات بیشتر دما و رطوبت شود و از این طریق بر ترکیب پوشش گیاهی تأثیر بگذارد. این تغییرات ایجاد شده در زیستگاه خاک، بندپایان را در معرض دما و نور بالاتری قرار می دهند. مطالعات مختلف نشان می دهند که به دنبال وقوع آتش سوزی، جمعیت بندپایان به شکل های مختلف دستخوش تغییر قرار می گیرند. پژوهش های انجام شده در جنگل های اکالیپتوس استرالیا حاکی از عدم تأثیرپذیری جمعیت بندپایان از آتش سوزی می باشد (۹). در حالی که Coleman و Rieseke (۱۰) دریافته اند که آتش سوزی کنترل شده با کاهش ضخامت لاشبرگ ها، حداقل تا ۵/۱ سال پس از وقوع آتش سوزی منجر به کاهش جمعیت بندپایان می شود. آن ها این تغییرات را به تخریب پوشش گیاهی، کاهش ضخامت افق های آلی فوقانی، کاهش مقدار آب و افزایش دمای خاک نسبت دادند.



بر روی جمعیت ماکروفون خاک مثبت (۱۴) و برخی دیگر منفی (۱۵) و برخی نیز وابسته به زمان دانسته‌اند (۱۶).

### ۱-۳ میکروارگانسیم‌های خاک

میکروارگانسیم‌های خاک نقش اساسی در تنظیم چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در اکوسیستم‌های خاکی بر عهده دارند چراکه تقریباً مسئول تجزیه تمام ترکیبات آلی می‌باشند (۴). تأثیرات آتش بر میکروارگانسیم‌های خاک بسته به شدت آتش سوزی و تغییر در برخی خواص خاک و شرایط زیست-محیطی پس از آتش سوزی، متفاوت است. هر یک از این فاکتورها بسته به نوع ارگانسمی که در نظر گرفته می‌شود دارای طیف وسیعی از اثرات می‌باشند. اثر مستقیم و آبی آتش بر میکروارگانسیم‌های خاک کاهش زیست توده میکروبی می‌باشد. حداکثر افزایش درجه حرارت در خاک سطحی اغلب به اندازه‌ای است که منجر به از بین رفتن اکثر میکروارگانسیم‌ها می‌شود (۱۷). برخی از میکروارگانسیم‌ها در مقایسه با سایر میکروارگانسیم‌ها حساسیت بیشتری نسبت به حرارت دارند. به عنوان مثال برخی از باکتری‌های نیتروبیفیکاتور، پروتوزوآها و قارچ‌های بدون اسپور در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌روند (۶). در حالی که برخی از میکروارگانسیم‌ها نظیر قارچ *Neosartorya fischeri* گرمادوست بوده و در اثر تنش‌های حرارتی رشد می‌کنند (۷).

### ۱-۳-۱ باکتری‌ها

تأثیر آتش سوزی بر قارچ‌ها به مراتب بیشتر از باکتری‌ها می‌باشد. کاهش جمعیت باکتریایی خاک فقط در لایه‌های سطحی خاک (۲-۰ سانتی‌متری) گزارش شده است (۱۸). برخی مطالعات حاکی از آنند که وقتی خاک به مدت ۱۵ دقیقه در معرض دمای ۷۰۰-۱۰۰ درجه سانتی-گراد قرار می‌گیرد جمعیت باکتری‌ها به طور قابل-ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (۱۹). در حالی که برخی دیگر نشان می‌دهند بین خاک‌های سوخته و شاهد از نظر تعداد باکتری‌ها تفاوت معنی داری وجود ندارد (۲۰) چراکه رطوبت بالای خاک مانع افزایش دما و سرعت گسترش آتش می‌شود اما از طریق افزایش میزان انتقال گرما در خاک، فعالیت فیزیولوژیکی باکتریایی و میزان مقاومت آن‌ها در برابر حرارت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان تأثیرپذیری گروه‌های مختلف باکتریایی از آتش-سوزی و افزایش دما متفاوت است به طوری که باکتری‌های گرم منفی در مقایسه با انواع گرم مثبت حساسیت بیشتری نسبت به گرمایش دارند. Bowen و Theodorou (۲۱) دریافتند که باکتری‌های سودوموناس فلورسنت (باسیلوس‌های

گرم منفی) بیشترین حساسیت را نسبت به افزایش دما دارند. درحالی که باکتری‌هایی نظیر *Bacillus spp.* یا *Clotridium spp.* می‌توانند از طریق تشکیل فرم‌های مقاوم در دماهای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد زنده بمانند (۲۲). تأثیرات غیر مستقیم آتش بر جمعیت باکتریایی، بسته به میزان تغییر خصوصیات خاک در اثر وقوع آتش سوزی متفاوت است. از جمله تأثیرات کوتاه مدت آتش سوزی، افزایش قابل توجه باکتری‌های هتروتروف در خاک‌های سوخته می‌باشد. محققان این افزایش را ناشی از رسوب خاکستر در سطح خاک (که منجر به افزایش pH خاک و متعاقباً افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌شود)

### ۱-۳-۱۲ اکتینومیست‌ها

رفتاری مشابه به جمعیت باکتریایی در مورد اکتینومیست‌ها نیز مشاهده شده است. به دنبال وقوع آتش سوزی در چند سانتی متری خاک سطحی جمعیت اکتینومیست‌ها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (۱۸). اما برخی از محققان دریافته‌اند که احتراق تأثیری بر تعداد اکتینومیست‌های خاک سطحی ندارد. رطوبت خاک یکی از عواملی است که می‌تواند دلیل



عدم تأثیرپذیری اکتینومیست‌ها را از آتش سوزی توضیح دهد (۲۰). با این حال، تیمارهای دمایی مختلفی برای جداسازی گونه‌های خاصی از اکتینومیست‌ها استفاده می‌شود. بطوری که برای جداسازی *Micromonospora*، *Actinomadura*، *Microbispora*، *Microtetraspora*، *Streptosporangium* و *Thermomonospora* خاک هوا خشک به مدت یک ساعت در معرض دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود.

جداسازی انتخابی جنس *Streptomyces* فراوانترین جنس اکتینومیست موجود در خاک) نیز طی فرآیند گرمایشی در ۶۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد (۲۵). بنابراین چنین استنباط می‌شود که میزان مقاومت گونه‌های مختلف به گرما در ارتباط با توانایی آن‌ها برای تشکیل اسپور می‌باشد.

و نیز توانایی بالای باکتری‌ها در استفاده از ترکیبات آلی محلول آزاد شده در اثر گرما می‌دانند. نتایج مطالعات Jokinen و همکاران (۲۳) نشان داد اثرات مستقیم و غیرمستقیم pH پس از ایجاد خاکستر، دلیل اصلی افزایش فعالیت باکتریایی است.

سایر محققان نیز بارندگی را به عنوان یکی از فاکتورهای بسیار مهمی که منجر به آغاز این افزایش می‌شود مطرح کردند زیرا عناصر معدنی آزاد شده در اثر احتراق مواد آلی، تا زمانی که توسط باران حل نشوند غیرقابل دسترس خواهند بود (۱۸). سایر فاکتورها نظیر افزایش دما یا کاهش رقابت برای عناصر مختلف نیز می‌توانند تکثیر کوتاه مدت باکتری‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. در بلندمدت، جمعیت باکتری‌ها، تمایل به بازگشت به سطوح قبل از آتش سوزی دارد دلیل این امر احیای پوشش



مشابه جمعیت باکتریایی، آتش سوزی به صورت غیر مستقیم منجر به افزایش جمعیت اکتینومیست ها در طول چندین هفته پس از آتش سوزی می-شود (۱۸). رهاسازی عناصر موجود در خاکستر دلیل اصلی این افزایش می باشد. pH و دمای خاک در اثر کاهش رطوبت، افزایش می یابند و بدین ترتیب شرایط مطلوبی برای رشد اکتینومیست ها ایجاد می شود چراکه این میکروارگانیسم ها در خاک های قلیایی به وفور یافت می شوند و اسپور آن ها قابلیت بقا در مکان های خشک و با دمای بالا را داراست (۲۶).

### ۱-۳-۳ قارچ ها

به نظر می رسد قارچ ها میکروارگانیسم هایی هستند که بیشتر تحت تأثیر آتش سوزی قرار می گیرند و در مقایسه با باکتری ها حساسیت بیشتری نسبت به احتراق دارند (۲۷). این امر می تواند ناشی از حساسیت این میکروارگانیسم ها به دما باشد. در مطالعاتی که شدت آتش سوزی کم بود (آتش-سوزی کنترل شده) محققان تغییرات اندکی در قارچ ها مشاهده نمودند (۲۹). یک روز پس از آتش سوزی، Mataix-Solera و همکاران (۲۴) دریافتند که اسپورهای قارچی در نتیجه افزایش اندک دما افزایش یافتند درحالی که باکتری ها تحت تأثیر قرار نگرفتند. این گرمایش باعث مرگ میکروب ها نشد اما جوانه زنی اسپورهای قارچی را تحریک نمود (۷). آتش سوزی منجر به تلفات قابل توجه بیومس قارچی در اقیانوس های آلی خاک می شود و لذا فراوانی قارچ های مایکوریز در این سطوح به شدت کاهش می یابد. بطور کلی آتش-سوزی تأثیرات متنوعی بر قارچ ها دارد: قارچ ها در مقایسه با باکتری ها در دماهای پایین تری از بین می روند و کاهش چشمگیری در طول میسلیموم های آن ها رخ می دهد (۳۰)، افزایش pH خاک برای قارچ ها مطلوب می باشد (۲۷)، قارچ ها به برخی از ترکیبات سمی موجود در خاک های سوخته حساس می باشند (۳۱) و نهایتاً برخی از تغییراتی که پس از وقوع آتش سوزی در اجزای آلی خاک نظیر سلولز اتفاق می افتند تأثیر منفی بر قارچ ها دارند.

### ۱-۴ آذیم ها

آذیم ها منجر به تسریع واکنش های بیولوژیکی می شوند و لذا اطلاعات مهمی در ارتباط با سرعت مراحل خاصی از چرخه های بیوژئوشیمیایی عناصر غذایی ضروری ارائه می-دهند. برخی از آذیم ها به طور عمده توسط میکروارگانیسم های موجود در خاک ترشح می گردند، اما می توانند توسط گیاهان نیز تولید شوند. فعالیت شیمیایی بیشتر آذیم های خاک با افزایش دما تا حدود ۶۰ الی ۷۰ درجه سانتی-گراد افزایش می یابد اما در دماهای بالاتر به دلیل دنا تراسیون حرارتی میزان فعالیت آن ها کاهش می یابد. غیرفعال شدن کامل آذیم ها نیز در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد (۳۲). بلافاصله پس از وقوع آتش سوزی در جنگل، مقادیر پایین تری از فعالیت آذیمی به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش بیومس میکروبی، تغییر خصوصیات خاک و دنا تراسیون حرارتی در خاک های سوخته مشاهده شده است (۳۳).

قارچ ها از جمله میکروارگانیسم های مهم تجزیه کننده سلولز در خاک های جنگلی می-باشند. به دلیل حساسیت بالای قارچ ها به گرما، فعالیت آذیم سلولز در خاک های سوخته (۳۸) نسبت به خاک های شاهد پایین تر می باشد. فعالیت آذیم کیتیناز نیز، پس از کاهش اولیه در اثر دنا تراسیون حرارتی، می تواند به سطوح پیش از آتش سوزی افزایش یابد چراکه این آذیم عمدتاً توسط باکتری هایی ترشح می-شود که در خاک های سوخته به سرعت رشد می نمایند.

فعالیت آذیم هایی نظیر دهیدوژناز که آذیمی درون سلولی است به جمعیت میکروب های فعال خاک بستگی دارد. فعالیت برخی از آذیم ها نظیر کیتیناز و فسفاتاز اسیدی در درجه اول توسط میکروکلیم و فاکتورهای شیمیایی خاک تنظیم می شود، درحالی که فعالیت برخی دیگر از آن ها همچون گلوکوزیداز و فنل اکسیداز توسط فراهمی سوبسترا کنترل می گردد. بنابراین کیفیت مواد آلی پس از وقوع آتش سوزی می-تواند توسط فراوانی آذیم هایی که وابسته به کیفیت سوبسترا هستند، توضیح داده شود.

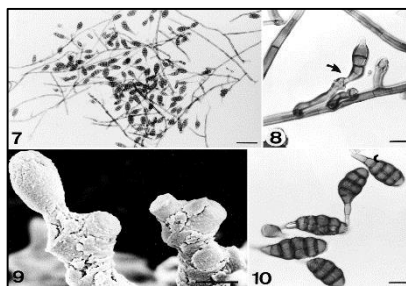
### ۱-۵ شاخص های فعالیت میکروبی

#### ۱-۵-۱-۵ تنفس پایه

تنفس پایه یا معدنی شدن کربن آلی خاک، فرآیندی است که طی آن، اکسیژن به عنوان گیرنده ی نهایی الکترون عمل می کند. تنفس پایه یکی از قدیمی ترین و متداول ترین پارامترهای بیولوژیک مورد استفاده در سنجش فعالیت های میکروبی خاک می باشد. فعالیت میکروبی خاک (شامل تنفس خاک) نقشی کلیدی در تجزیه مواد آلی بومی و همچنین بقایای افزوده شده به سطح خاک دارد (۴۰). از سوی دیگر تنفس خاک یکی از عوامل مؤثر در تغییرات جهانی اقلیم و ورود دی اکسید کربن به اتمسفر تلقی می گردد (۴۱). مقادیر بیشتر دی اکسید کربن آزاد شده طی فرآیند تنفس، نشان دهنده فعالیت عمومی میکروب ها بویژه فعالیت هتروتروف ها بوده و شاخصی برای تعیین بخش قابل معدنی شدن کربن آلی خاک محسوب می شود. تنفس میکروبی خاک که تحت شرایط کنترل شده و در آزمایشگاه تعیین می گردد، معیاری برای ارزیابی فعالیت کل جمعیت میکروبی می باشد. از مهم ترین عواملی که بر شدت تنفس خاک مؤثرند: فراهمی سوبستراهای کربن برای ریزجانداران، فعالیت و تراکم ریشه های گیاهی، جمعیت جانداران خاک، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و زهکشی خاک می باشند.

دماهای بالا باعث مرگ بیشتر میکروب ها و دنا تراسیون بسیاری از آذیم ها می شوند. اما برخی از میکروارگانیسم ها نظیر باکتری های هتروتروف به سرعت بهبود می یابند. تغییراتی که در اثر آتش سوزی در خاک (به عنوان سوبسترای میکروب ها) ایجاد می شوند بخش قابل توجهی از تکامل میکروبی پس از آتش سوزی را توضیح می دهند.

تعیین CO<sub>2</sub> تولید شده (یا اکسیژن مصرف شده)، به عنوان روشی برای اندازه گیری فعالیت هتروتروفی کل در خاک، مورد استفاده قرار می-گیرد. دماهای ۵۰۰-۱۰۰ درجه سانتی گراد در خاک منجر به افزایش خالص ترکیباتی (نظیر کربوهیدرات ها) می شود که به راحتی معدنی می-گردند (۳۵). بسیاری از مطالعات بیانگر افزایش میزان کربن آلی محلول در خاک های سوخته در مقایسه با خاک های شاهد می باشند. به طوری که افزایش ۳ (۱۹) تا ۱۲ برابر (۴۲) در مقدار قندهای محلول گزارش شده است. به علاوه، مقدار آمونیوم و فسفر قابل استفاده نیز در خاک های سوخته افزایش می یابد. به این ترتیب افزایش میزان عناصر غذایی منجر به افزایش سرعت احیای باکتری های هتروتروف شده و نهایتاً افزایش شدید تنفس پایه را در پی دارد (۱۹).





### ۱-۵-۳ ضریب متابولیکی

ضریب متابولیکی یا  $qCO_2$  عبارت است از نسبت تنفس پایه به کربن زیست توده میکروبی.  $qCO_2$  شاخص اکوفیزیولوژیک می‌باشد که بر اساس تئوری اکولوژیکی ادوم (Odum) توسعه یافته است.

بر پایه این تئوری، با افزایش تنوع و نزدیکی شدن جامعه به کلیماکس، میزان کربن حاصل از تجزیه، بیشتر در توده زنده میکروبی تجمع یافته و کمتر بصورت تنفس به هدر می‌رود و راندمان میکروارگانیسم‌های خاک بر کربن سوبسترای موجود بیشتر می‌گردد (۴۸).

در دهه‌های اخیر  $qCO_2$  به‌طور وسیعی به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی تأثیرات تنش‌ها (شامل آتش‌سوزی جنگل)، کارآیی مصرف کربن، تکامل توالی اکولوژیکی و تغییرات ایجاد شده در ترکیب و فعالیت میکروبی مورد استفاده قرار گرفته است (۴۹). بلافاصله پس از وقوع آشفته‌گی‌هایی نظیر آتش‌سوزی مقدار این شاخص به دلیل تأثیر هم‌زمان چندین فاکتور افزایش می‌یابد (۱۹). عموماً "در خاک‌های شاهد، بیومس قارچی بیش از بیومس باکتریایی است و تأثیرات منفی آتش‌سوزی بر بیومس قارچ‌ها بیشتر از بیومس باکتری‌ها می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

بطور کلی آتش‌سوزی فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک را از طریق تغییر شرایط زیستگاه و خصوصیات خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته میزان تأثیرگذاری بسته به شدت و مدت آتش‌سوزی متفاوت می‌باشد. به دنبال وقوع آتش‌سوزی، خاک از نظر عناصر قابل دسترس آزاد شده از مواد آلی سوخته و میکروبی‌های کشته شده، غنی می‌شود.

لذا میکروارگانیسم‌ها به سرعت رشد می‌نمایند اما به دلیل وجود تنش‌هایی نظیر افزایش pH، بخش عمده انرژی آن‌ها صرف بقا می‌شود و لذا بیومس میکروبی کاهش می‌یابد. فعالیت آنزیم‌ها نیز به دلیل دنا توراسیون حرارتی کم می‌شود. اما تمام این تأثیرات موقت بوده و با گذشت مدت زمان مشخص، خاک از نظر فعالیت میکروبی و آنزیمی به تعادل می‌رسد.

لازم به ذکر است که تأثیر آتش‌سوزی بر خواص بیولوژیک خاک در مقایسه با خواص شیمیایی و فیزیکی به مراتب شدیدتر بوده و احیا آن‌ها به زمان بیشتری نیاز دارد.

▪ منابع مقاله در دفتر فصلنامه موجود می‌باشد

### ۱-۵-۲ کربن بیومس میکروبی

کربن بیومس میکروبی بخشی از کربن آلی خاک است که در بدن میکروبی‌های زنده متمرکز شده و ۱ تا ۳ درصد از کربن آلی کل خاک را شامل می‌شود (۴۳). تأثیر آتش‌سوزی بر کربن زیست توده میکروبی بسته به عمق خاک و مدت زمانی که از وقوع آتش‌سوزی می‌گذرد متفاوت می‌باشد. توزیع نرمال بیومس میکروبی در طول پروفیل خاک به دلیل شیب دمایی ایجاد شده در طول آتش‌سوزی تغییر می‌کند (۳۳).

بلافاصله پس از آتش‌سوزی، ممکن است در لایه‌های سطحی خاک به دلیل تأثیر مستقیم آتش‌سوزی (افزایش دما)، تمام میکروبی‌ها از بین بروند درحالی‌که در لایه‌های زیرسطحی نصف بیومس میکروبی اولیه باقی می‌ماند (۴۴). البته برخی از مطالعات حاکی از عدم تأثیرپذیری بیومس میکروبی از آتش‌سوزی کنترل‌شده می‌باشند (۴۵) و یا اینکه تأثیرات آتش‌سوزی را محدود به خاک سطحی می‌دانند (۴۶).

قارچ‌ها که بیش‌ترین بیومس میکروبی را در خاک به خود اختصاص می‌دهند و راندمان متابولیکی بالاتری در تثبیت کربن دارند، در مقایسه با باکتری‌ها حساسیت بیشتری نسبت به احتراق دارند (۲۷). بطوری‌که آتش‌سوزی منجر به تلفات قابل توجه بیومس قارچی در افق‌های آلی خاک می‌شود و لذا به دلیل سرعت احیای پایین قارچ‌ها (در اثر تغییر سوبسترای آلی یا ایجاد مواد بازدارنده رشد در نتیجه احتراق) (۳۹) بیومس میکروبی کاهش می‌یابد.

افزایش تنفس پایه همبستگی بالایی با تعداد باکتری‌ها و میزان کربن آلی محلول دارد. البته پیش از این افزایش شدید، یک فاز تأخیری و بدون فعالیت مشاهده می‌شود.

بزرگی این فاز تأخیری مستقیماً در ارتباط با درجه حرارت می‌باشد که میزان استریل شدن خاک را نشان می‌دهد. افزایش جمعیت باکتری‌ها حدود ۴۸ ساعت پس از مرطوب نمودن خاک سوخته (در دمای ۵۰۰-۱۰۰ درجه سانتی-گراد) مشاهده می‌شود.

میزان بالاتری از تنفس پایه، در خاک‌های سوخته با زمان انکوباسیون بیشتر (چندین هفته تا ۹ ماه) مشاهده شده است (۱۹). طول مدت زمان انکوباسیون به میزان دما و سرعت مصرف ترکیبات قابل جذب وابسته می‌باشد (۱۹). در آتش‌سوزی‌هایی با شدت بالا ( $>500^{\circ}C$ ) کاهش قابل توجه (یا حذف کامل) در میزان ترکیبات آلی محلول رخ می‌دهد.

در این صورت تنفس پایه در خاک‌های سوخته نسبت به خاک‌های شاهد کاهش می‌یابد. در برخی از شرایط نیز، مقادیر منفی  $CO_2$  (ترسیب کربن) در نخستین روزهای پس از وقوع آتش‌سوزی شدید مشاهده می‌شود. ترسیب کربن احتمالاً ناشی از کربوناسیون هیدروکسیدهایی است که در طول احتراق تشکیل شده‌اند.

وجود بسترهای سوختی بالا منجر به افزایش شدت آتش‌سوزی می‌شوند، اما برخی از شرایط اقلیمی (نظیر رطوبت‌های بالا) از طریق تجزیه‌ی ناقص یا تجزیه‌ی نسبی پوشش گیاهی سوخته، باعث افزایش بقایای آلی خاک می‌شوند. در این شرایط انتظار می‌رود میزان تنفس برای چندین ماه پس از وقوع آتش‌سوزی افزایش یابد.

