Archive of SID

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۵۵۲-۱۵۴۲

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1542-1552

بکارگیری روش آماری تحلیل علیت جهت تفسیر شاخص‌های زیستی خاک

یحیی کوچ[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

چکیده

چگونگی ارتباط شاخص‌های زیستی (معدنی شدن نیتروژن و تنفس میکربی) با برخی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک، مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ۵۵ نمونه خاک از جنگل آموزشی – پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در شرایط نسبتاً همگن و یکنواخت، انتخاب و روابط موجود بررسی گردید. نتایج همبستگی ساده بین شاخص‌های زیستی مورد بررسی با مشخصه‌های مختلف خاک بیانگر آنست که بین این شاخص‌ها و درصد رس، کربن آلی و نیتروژن کل همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشته در حالی که سایر مشخصه‌های مورد مطالعه (جرم مخصوص ظاهری، سیلت، شن و ظرفیت تبادلی کاتیونی) همبستگی معنی‌داری را ارائه نداده‌اند. استفاده از روش آماری تحلیل فاکتورها به شیوه تحلیل مؤلفه‌های اصلی گویای آن است که رفتار این دو شاخص زیستی در خاک شبیه به هم بوده و بوسیله عوامل مشابهی کنترل می‌شود. به منظور ریشه‌یابی ارتباط شاخص‌های زیستی مذکور با مشخصه‌های تأثیرگذار، تحلیل علیت بکار گرفته شد. مطابق با نتایج، بیشترین تأثیر مستقیم بر روی مشخصه معدنی شدن نیتروژن به مشخصه نیتروژن (۰/۹۸) تعلق داشته در حالی که مشخصه کربن آلی اثر غیر مستقیم بالایی (۰/۹۱) را بر مشخصه مذکور داشت. در ارتباط با مشخصه تنفس میکربی نیز کربن آلی خاک بیشترین تأثیر را داشت (۰/۸۹) و مشخصه نیتروژن کل بالاترین اثر غیرمستقیم (۰/۸۱) را ارائه داده است. می‌توان اذعان نمود که در ارتباط با معدنی شدن نیترون خاک، مشخصه نیتروژن و در ارتباط با تنفس میکربی خاک، مشخصه کربن آلی مهمترین مؤلفه‌های تأثیرگذار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ضرایب مسیر، خاک، رگرسیون

مقدمه

در میان مجموعه منابع طبیعی موجود در عالم هستی، خاک، یکی از مهمترین اجزای محیط زیست به حساب می‌آید. خاک، فراهم آورنده غذا برای کلیه موجودات زنده است. حفاظت و بهبود خصوصیات این منبع با ارزش، نیازمند مجموعه اقدامات همه جانبه و هماهنگ است که تنها در سایه درک عمیق و کمی (نه تنها شناخت کیفی) منشأ، پراکنش و عاملیت خاک‌ها در یک اکوسیستم طبیعی عملی می‌گردد. در دو دهه اخیر، مجموعه علوم خاک با چالش‌های بسیار جدی روبرو گردیده است. این چالش‌ها، عموماً متأثر از رشد و توسعه دیگر رشته‌های علوم و ایجاد فناوری‌های نوین است. به عبارت دیگر پیشرفت جوامع و بروز مشکلات و ناهنجاری‌های زیست‌محیطی باعث گردیده است که انتظارات و مطالب جدید و وسیع‌تری از علوم کاربردی و محیطی نظیر علوم خاک مطرح و خواسته شود (۱۸). یکی از خصوصیات مهم خاک، به عنوان یک سیستم طبیعی، آن است که برای توصیف چنین سیستمی نیازمند در اختیار داشتن مجموعه‌ای از خصوصیات مختلف و متنوع آن می‌باشد. از نقطه نظر آماری، سیستم-های مزبور را "چند متغیره" می‌نامند و تجزیه و تحلیل آنها نیازمند در اختیار داشتن ابزارها و تکنیک‌های آماری خاصی است. در مطالعه خاک‌ها غالباً بیش از یک خصوصیت اندازه‌گیری می‌شود و اطلاع پیدا کردن از تأثیرگذاری و یا تأثیرپذیری آنها از یکدیگر بسیار مورد توجه خاکشناسان است. از سوی دیگر در سیستم طبیعی خاک، به ندرت می‌توان دو خصوصیت از خاک را که از نقطه نظر آماری مستقل از یکدیگر باشند پیدا کرد. بطور کلی روش‌های آماری چند متغیره، مجموعه‌ای متنوع از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های آماری پردازش داده‌ها می‌باشند که به منظور تعدیل حجم داده‌ها، رتبه‌بندی و طبقه‌بندی داده‌ها، تخمین و برآورد، آزمون فرض‌ها و بررسی همبستگی بین متغیرهای مختلف بکار گرفته می‌شوند.

تحلیل مسیر[۲] که برای نخستین بار از سوی سوول رایت[۱] (۱۹۳۴)

۱- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: yahya.kooch@modares.ac.ir)

2- Path analysis

www.SID.ir

Archive of SID

توسعه یافت، گسترش روش‌های رگرسیون و در حقیقت کاربرد رگرسیون چند متغیری در ارتباط با تدوین بارز مدل‌های علی[2] است. هدف آن به دست آوردن برآوردهای کمی روابط علی بین مجموعه‌ای از متغیرهاست. روابط بین متغیرها در یک جهت جریان می‌یابد و به عنوان مسیرهای متمایزی در نظر گرفته می‌شود. مفاهیم تحلیل مسیر در بهترین صورت از طریق ویژگی عمده آن یعنی نمودار مسیر که پیوندهای علی احتمالی بین متغیرها را آشکار می‌سازد، تبیین می‌شود. به این منظور نمودار درونداد از پیش برای کمک به تحلیل رسم می‌شود و بیانگر پیوندهای علی پیش‌بینی شده از سوی فرضیه پژوهشگر است اما نمودار برونداد آنچه را که واقعاً در نتیجه تحلیل آماری بدست آمده است نشان می‌دهد (۱۲). در هر حال تحلیل مسیر دارای مزایا و برتری‌هایی نسبت به روش‌های تحلیل رگرسیونی می‌باشد که در ذیل به مهمترین آنها اشاره می‌گردد: ۱- در تحلیل رگرسیون، وابستگی یک متغیر (متغیر وابسته) به متغیرهای دیگر (مستقل) تنها در یک معادله بررسی می‌شود که همان معادله خط رگرسیونی استاندارد شده می‌باشد در صورتی که در تحلیل مسیر، بتاهای محاسبه شده (P) ضرایب مسیری هستند که مجموعه معینی از متغیرهای مستقل را به متغیرهای وابسته وصل می‌کنند و در چندین معادله بررسی می‌شوند. ۲- رگرسیون و ضرایب رگرسیونی تأثیر مستقیم یک متغیر مستقل بر روی یک متغیر وابسته را نشان می‌دهد، اما تحلیل مسیر علاوه بر نمایش تأثیر مستقیم متغیر مستقل (علت) بر روی متغیر وابسته (معلول)، تأثیرات غیرمستقیم یک متغیر مستقل بر روی متغیر وابسته را نیز نشان می‌دهد. ۳- تحلیل مسیر میزان کذب روابط میان متغیرها را نشان می‌دهد یعنی اینکه چقدر از این روابط ناشی از متغیر مستقل مورد نظر است و چقدر ناشی از متغیرهای خارج از تحلیل می‌باشد (۴).

بسیاری از محققین معتقدند به خاطر عکس العمل‌های سریع موجودات زنده خاک در برابر تغییرات محیطی، بررسی وضعیت زیستی خاک در تخمین کیفیت خاک اهمیت بیشتری نسبت به خصوصیات شیمیایی و فیزیکی دارد. در بررسی شاخص‌های زیستی، شاخصی که بتواند سریع و آسان اندازه‌گیری شود از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۶). به این منظور در بسیاری از مطالعات از شاخص‌های تنفس میکربی و معدنی شدن نیتروژن استفاده شده است (۱۶، ۲۰ و ۲۴). هدف از تحقیق حاضر نیز مطالعه و تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک بر روی مهمترین شاخص‌های زیستی (معدنی شدن نیتروژن و تنفس میکربی) می‌باشد که تاکنون به آن توجه دقیقی نشده است، لذا مطالعه حاضر به عنوان اولین تحقیق مستند ارائه می‌گردد تا بتواند در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های آینده علوم خاک مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل آموزشی – پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس واقع در صلاح‌الدین‌کلا از توابع شهرستان نوشهر انجام گردید (شکل ۱). این منطقه در سری ۳ حوزه آبخیز آغوزچال واقع گردیده که دارای دامنه ارتفاعی ۱۷۰۰ – ۱۰۰ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی ″۳۹ ′۴۷ °۵۱ تا ″۲۰ ′۴۳ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۶ ′۳۲ °۳۶ تا ″۲۳ ′۲۹ °۳۶ شمالی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی اقلیمی ایران، جزء نواحی با بارش متوسط ۵۰۰ – ۳۰۰ میلی‌متر و اختلاف ارتفاع بیش از ۲۰۰ متر واقع شده و بر اساس دما در اقلیم خیلی سرد قرار می‌گیرد. میانگین بارندگی سالیانه ۱۳۰۸/۸ میلی‌متر بوده که با گرادیان منفی به سمت ارتفاعات به حدود ۲۴۰ میلی‌متر در بالا دست کاهش می‌یابد (بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی). حداکثر و حداقل متوسط بارندگی ماهیانه به ترتیب در مهرماه و تیرماه با ۲۸۰/۴ و ۳۷/۴ میلی‌متر رخ می‌دهد و حداکثر و حداقل میانگین دمای ماهیانه به ترتیب در تیر و مرداد ۲۵ و در بهمن ۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به منظور انجام این پژوهش، قطعه شماره ۳۰۱ واقع در جنگل مذکور مد نظر قرار گرفت. این پارسل با مساحت ۷۸ هکتار، عرصه حفاظتی بوده و در آن راش با گونه‌های ممرز، انجیلی، نمدار، شیردار، پلت و بارانک همراه می‌باشد. ساختار توده، دانه‌زاد ناهمسال و دو اشکوبه بوده و کیفیت توده نیز مناسب می‌باشد. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا بترتیب ۲۵۰ تا ۸۰۰ متر بوده و اکثر سطوح این عرصه دارای شیب تند می‌باشند. جهت عمومی پارسل، شمال‌شرقی بوده و دارای سنگ مادر آهکی – دولومیتی می‌باشد. خاک محدوده مورد مطالعه، آلفی سول و بافت خاک، سیلتی – کلی – لومی می‌باشد (۱۷).

نمونه‌گیری، آنالیز خاک و تحلیل‌های آماری

به منظور انجام این پژوهش، یک محدوده ۲۰ هکتاری از پارسل شماره ۳۰۱ واقع در جنگل مذکور مورد توجه قرار گرفت. پس از جنگل‌گردشی و پیمایش کل محدوده مورد نظر، تعداد ۵۵ نمونه خاک از عمق ۱۵ – ۰ سانتی‌متری برداشت گردید. به منظور دقت بیشتر کلیه نمونه‌های خاک از بخش تحتانی تاج پوشش بسته اکوسیستم برداشت شد و تلاش گردید شرایط نسبتاً همگن و یکنواختی از نظر شرایط طبیعی برای همه نمونه‌ها وجود داشته باشد.

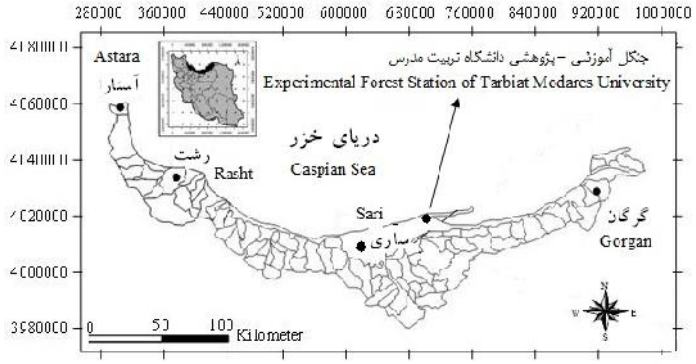
نمونه‌های خاک در فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خاک حاصله خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. جرم مخصوص

1- Swell Wright
2- Causal models

www.SID.ir

Archive of SID

ظاهری خاک به روش سیلندر بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (۱۳)، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، کربن به روش والکلی‌بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال (۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی پس از آماده کردن مواد مورد نیاز و تهیه عصاره، با استفاده از دستگاه فیلم‌فتومتر (۱۰)، سینیتیک (شدت) معدنی شدن نیتروژن بعد از انکوباسیون آزمایشگاهی به روش اسپکتروفتومتری (آمونیوم در طول موج ۶۳۰ نانومتر و نیترات در طول موج ۴۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر) (۲۸) و تنفس میکربی خاک با استفاده از روش بطری بسته (۱) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شمال ایران
Figure 1- Location of study area in Mazandaran Province, northern Iran

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل به عنوان بانک اطلاعات ذخیره شد. جهت تعیین ارتباط بین شاخص‌های زیستی و مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک از آزمون همبستگی پیرسون و تحلیل فاکتورها به شیوه تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. به منظور بررسی کلیه روابط مستقیم و غیرمستقیم موجود بین شاخص‌های زیستی و مشخصه‌های مختلف خاک از روش آماری تحلیل علیت (تحلیل ضرایب مسیر) استفاده گردید. ساده‌ترین راه برای بررسی تحلیل علیت بکارگیری روش رگرسیون معمولی می‌باشد، مشروط بر آنکه مفروضه‌های رگرسیون برقرار باشد (۱۲). در این مرحله به منظور تعیین آزمون رگرسیون و تثبیت فرضیه‌های مرتبط با آن، موارد زیر انجام گرفت. آزمون نرمال بودن داده‌های متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف انجام شد. معیار نرمال بودن، مقدار احتمال بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد، به این معنی که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استاندارد شده انجام شد. در این مرحله پراکنش یکنواخت مد نظر است. آزمون عدم خود همبستگی بین خطاها با استفاده از آماره دوربین - واتسون[1] انجام شد. در این بخش مقادیر نزدیک به دو قابل قبول است. تحلیل نقاط پرت با استفاده از آماره کیسی‌دیاگنوستیکس[2] انجام شد. نقاطی که در محدوده سه برابر انحراف معیار قرار نگیرند، پرت تشخیص داده می‌شوند. بعد از تأیید تمامی فرضیه‌های فوق اقدام به تعیین رابطه با انجام رگرسیون بین متغیرهای مستقل و وابسته گردید. جهت تعیین این ارتباط، آزمون ارتباط رگرسیون خطی چندگانه مورد استفاده قرار گرفت. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 11.5 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

مقادیر توصیفی مشخصه‌های خاک محدوده مورد مطالعه در جنگل آموزشی - پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در جدول ۱ ارائه شده است. ضریب تغییرات پایین اکثر مشخصه‌های مورد بررسی حاکی از شرایط نسبتاً همگن و یکنواخت اکوسیستم جنگلی مورد بررسی می‌باشد در حالی که ضریب تغییرات بالای مشخصه تنفس میکربی نشان دهنده تغییرپذیری بالای شاخص میکربی خاک است. حبشی (۱۱) نیز در تحقیق خود به تغییرپذیری زیاد این مشخصه خاک در سطوح کوچک اکوسیستم‌های جنگلی اشاره داشته است. نتایج همبستگی ساده بین شاخص‌های زیستی مورد بررسی (معدنی شدن نیتروژن و تنفس میکربی) با مشخصه‌های مختلف خاک بیانگر آنست که بین این شاخص‌ها و درصد رس، کربن آلی و نیتروژن کل همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشته در حالی که سایر مشخصه‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری را ارائه نداده‌اند (جدول ۲). با

1- Durbin - Watson

2- Casee Diagnostics

www.SID.ir

Archive of SID

این تفاسیر چنین به نظر می‌رسد که رفتار این دو شاخص زیستی در خاک شبیه به هم بوده و بوسیله عوامل مشابهی کنترل می‌شوند. استفاده از روش آماری تحلیل فاکتورها به شیوه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (*PCA*) گویای آن است که معدنی شدن نیتروژن، تنفس میکربی، کربن آلی، نیتروژن کل و درصد رس دارای بردارهایی با راستاهای نزدیک به هم بوده که نشان می‌دهد همگی آنها به نوعی به یکدیگر مربوط می‌باشند (شکل ۲). این ارتباط از آن جهت است که کربن و نیتروژن هر دو در قالب مولکولهای آلی در خاک قرار دارند. این یافته با آنچه در تحلیل همبستگی‌های خطی ملاحظه شد (جدول ۲) مطابقت دارد. همچنین وجود زاویه نزدیک به قائمه بین بردارهای هر یک از سایر مشخصه‌های خاک و شاخص‌های زیستی مورد بررسی نشان دهنده آنست که این شاخص‌ها با دیگر مشخصه‌های مورد بررسی ارتباطی ندارند (شکل ۲) که این نتیجه نیز تأیید کننده بخش دیگری از نتایج همبستگی‌های ساده خطی است (جدول ۲).

با وجود ارتباط قوی و معنی‌دار بین نیتروژن با کربن آلی خاک (r = ۰/۹۴**) و بطور مشابه ارتباط قوی و معنی‌دار بین معدنی شدن نیتروژن و کربن آلی (r = ۰/۸۴**) انتظار می‌رود که با افزایش کربن آلی در اکوسیستم خاکی، معدنی شدن نیتروژن نیز بیشترین مقدار باشد. در همین رابطه نوربخش و همکاران (۲۳) اذعان داشتند که زمینه معدنی شدن نیتروژن به نیتروژن آلی خاک وابسته است و با توجه به اینکه نیتروژن آلی خاک از نیتروژن کل خاک برگرفته می‌شود و ارتباط قوی بین نیتروژن کل خاک و کربن آلی وجود دارد. بنابراین علت معدنی شدن بیشتر نیتروژن در خاک‌های مختلف می‌تواند به علت جمع شدن کربن و نیتروژن آلی در سطح خاک و عدم محدودیت این دو عنصر باشد. این نتایج با مطالعه نورتون و همکاران (۲۱) و وود و همکاران (۳۰) هماهنگی کامل دارد. ابراهیمی و همکاران (۹) عنوان نمودند که چنانچه نسبت C/N خاک بیشتر از ۳۰ باشد فرآیند عدم تحرک، آلی شدن، بدنی شدن میکربی، جذب نیتروژن یا توقف معدنی شدن رخ می‌دهد. برای نسبت‌های بین ۲۰ و ۳۰ معمولاً ساکن شدن و آزاد شدن نیتروژن معدنی اتفاق نمی‌افتد و تعادل برقرار می‌ماند و چانچه اگر نسبت C/N کمتر از ۲۰ باشد آزادسازی خالص نیتروژن در خاک افزایش خواهد یافت. در تحقیق حاضر نیز خاک‌های مورد بررسی دارای مقادیر C/N کمتر از ۲۰ بوده‌اند (میانگین ۱۵/۸۰)، لذا فرآیند معدنی شدن نیتروژن در محدوده مورد مطالعه اتفاق افتاده است (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر توصیفی مشخصه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

Table 1-Descriptive amounts of soil characters in study area

مشخصه‌ها Character	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	ضریب تغییرات CV
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr/cm^3)	1.09	1.20	1.11	1.80
شن Sand (%)	28.12	35.14	29.85	4.92
سیلت Silt (%)	34.18	40.19	37.57	3.54
رس Clay (%)	28.87	35.72	32.59	5.09
کربن آلی Organic carbon (%)	2.10	2.70	2.37	7.59
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	0.13	0.18	0.15	6.66
ظرفیت تبادلی کاتیونی CEC ($cmol_{(+)}\ kg^{-1}$)	9.74	12.74	11.13	7.63
معدنی شدن نیتروژن Nitrogen mineralization ($mg\ N\ kg^{-1}$ soil)	51	51.16	51.06	0.09
تنفس میکربی Microbial respiration ($mg\ co_2$-c/gr soil. day)	0.19	0.75	0.45	44.44

جدول ۲- مقادیر همبستگی شاخص‌های زیستی و مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک

Table 2-Correlation values of soil biological indices and physico-chemical characters

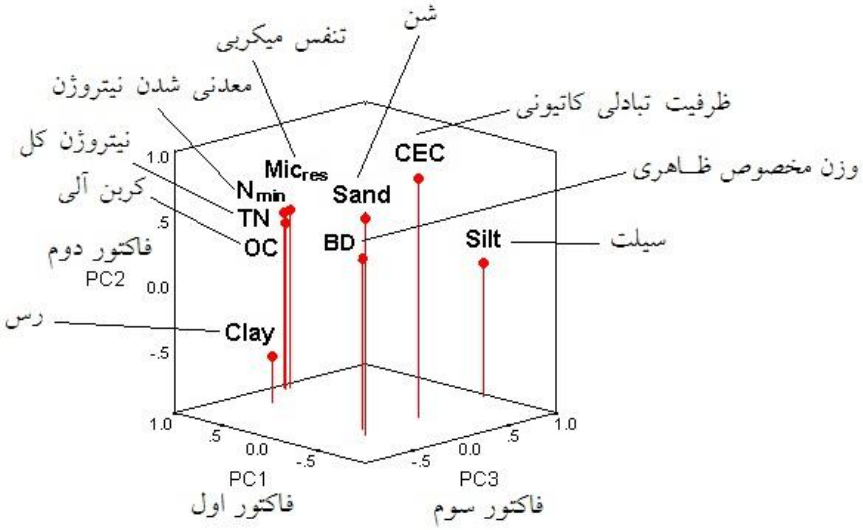
شاخص‌های زیستی / مشخصه‌های خاک Biological indices/soil characters	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	ظرفیت تبادلی کاتیونی CEC
معدنی شدن نیتروژن Nitrogen mineralization	-0.13ns	- 0.26ns	- 0.20ns	0.39**	0.84**	0.91**	-0.12 ns
تنفس میکربی Microbial respiration	-0.24ns	- 0.20ns	- 0.21ns	0.34*	0.94**	0.89**	-0.00 ns

ns معنی‌دار نیست، * در سطح ۵ درصد معنی‌دار معنی‌دار است و ** در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

ns non-significant, * significant at 5 percent level, ** significant at 1 percent level

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تحلیل عاملی مشخصه‌های خاک به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (فاکتور اول: مقدار ویژه = ٤/٢٤، درصد واریانس متناظر با عامل = ٤٧/١٧، درصد واریانس تجمعی = ٤٧/١٧؛ فاکتور دوم: مقدار ویژه = ٢/١٢، درصد واریانس متناظر با عامل = ٢٣/٥٦، درصد واریانس تجمعی = ٧٠/٧٣ و فاکتور سوم: مقدار ویژه = ١/٣٢، درصد واریانس متناظر با عامل = ١٤/٧٠، درصد واریانس تجمعی = ٨٥/٤٤)

Figure 2- Factor analysis of soil characters using PCA (PC1: Eigen value = 4.24, percent of variance = 47.17, cumulative percent of variance = 47.17; PC2: Eigen value 2.12, percent of variance = 23.56, cumulative percent of variance = 70.73; PC3: Eigen value 1.32, percent of variance = 14.70, cumulative percent of variance = 85.44)

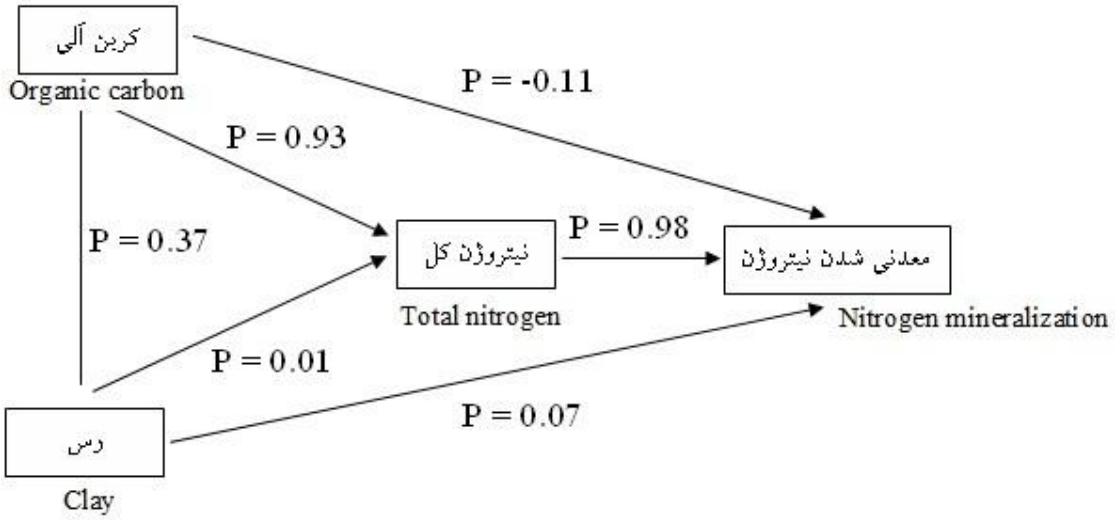
خاک دربرگیرنده انواع گوناگونی از جانداران است که پی بردن به فعالیت بیولوژیکی آن‌ها می‌تواند معیار مناسبی برای سلامت و کیفیت خاک باشد. در تفسیر نتایج آزمایشگاهی غالباً تنفس میکربی بیشتر را معرف خاک با کیفیت بالا می‌دانند، زیرا هر چقدر تنفس میکربی بیشتر باشد فعالیت بالقوه میکربی بیشتر خواهد بود (۱۴ و ۲۶). جمعیت و فعالیت ریزجانداران در شرایط مختلف محیطی تغییرات زیادی دارد (۳). علت وجود تنفس میکربی بالا در محدوده مورد مطالعه، مناسب بودن شرایط برای فعالیت میکربی از جمله عرضه کافی کربن آلی که مورد استفاده ریزجانداران خاک قرار می‌گیرد، می‌باشد. وجود همبستگی بالا (r = ۰/۹۴**) بین میزان کربن آلی و تنفس میکربی نیز مبین این مطلب است. این نتایج با مطالعه بوهم و اندرسون (۶) مشابه است. در هر حال به نظر می‌رسد که کربن آلی خاک نقش تعیین کننده‌ای در میزان تنفس میکربی دارد بطوری که نتایج مشابهی توسط نائل (۲۰) بدست آمده است. از آنجایی که تنفس میکربی شاخصی از معدنی شدن کربن آلی است، بنابراین در مکان‌هایی بیشترین مقدار را دارد که کربن آلی حداکثر است (۷). ساگار و همکاران (۲۷) مشاهده کردند که با کاهش ورود مواد آلی تازه به خاک و کاهش میزان کربن و نیتروژن خاک، میزان توده زنده میکربی خاک نیز کاهش می‌یابد. خادمی و همکاران (۱۵) عنوان نمودند که تولید مواد گیاهی بیشتر و به تبع آن تجمع مواد آلی بیشتر در خاک، بر جمعیت‌های میکربی خاک نیز اثر گذاشته و از این رو باعث افزایش پتانسیل فعالیت‌های میکربی در خاک می‌گردد. یوسفی‌راد و همکاران (۳۱) بیان نمودند که تنفس میکربی با افزایش مواد آلی زیاد می‌شود چرا که فعالیت میکربی به عرضه سوبسترای کربن وابسته می‌باشد. چنتون و لاوادو (۸) نشان دادند خاک‌هایی که نسبت کربن آلی به نیتروژن بیشتری دارند ریزجانداران خاک بیشتر بوسیله کمبود مواد غذایی تحت فشار هستند و کربن آلی محدود کننده نمی‌باشد. نتایج مشابهی نیز توسط شکل آبادی و همکاران (۲۹) گزارش شده است.

از طرفی، بافت سنگین‌تر خاک (محتوی رس) در سطح جنگل باعث حفظ بیشتر ذخایر آلی خاک می‌شود. بطور کلی چنین استنباط می‌گردد که تفاوت اصلی خاکها در درصد اجزای تشکیل دهنده بافت آن‌ها بوده و تفاوت مقادیر کربن آلی خاکها نیز ناشی از تفاوت همین اجزاست. زیرا ایجاد کمپلکس‌های آلی – معدنی در خاک‌های با بافت سنگین‌تر باعث افزایش نگهداری هوموس در خاک می‌شود (۲۵) که این موضوع می‌تواند بصورت غیرمستقیم بر روی مقادیر معدنی شدن نیتروژن و تنفس میکربی اثرگذار باشد. با این تفسیر می‌توان فرض نمود که مشخصه‌های مختلف علاوه بر اثرات مستقیمی که می‌توانند بر روی شاخص‌های مختلف زیستی خاک داشته باشند همچنین نیز می‌توانند بصورت غیرمستقیم اثرات قابل توجهی را نشان دهند. برای بررسی این موضوع و درک دقیق‌تر این روابط و ریشه‌یابی آنها، از روش آماری تحلیل علیت (تحلیل ضرایب مسیر) استفاده گردید بطوری که کلیه روابط مستقیم و غیرمستقیم موجود بین شاخص‌های

www.SID.ir

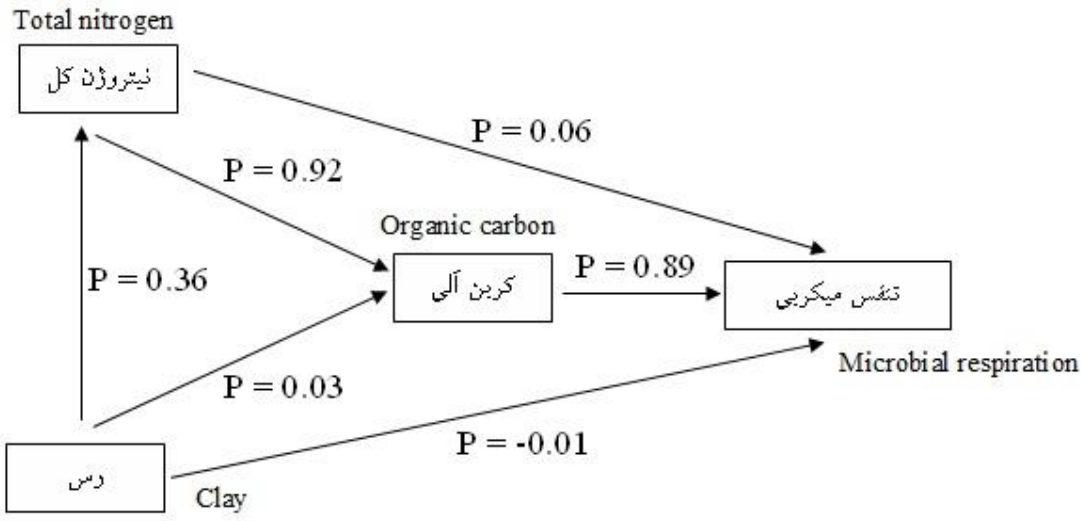
Archive of SID

زیستی و مشخصه‌های مختلف خاک مورد بررسی قرار گرفت (شکل-های ۳ و ۴؛ متذکر می‌گردد مقادیر P در تحلیل مسیر همان ضریب رگرسیون استاندارد شده یا *Beta* می‌باشد). این دیاگرام‌ها به گونه‌ای طراحی شده است که بتوان اثرات مستقیم و غیرمستقیم مشخصه‌های مختلف خاک را بر مقادیر معدنی شدن نیتروژن و تنفس میکربی ارزیابی کرد. نتایج کلی این اثرات در جداول ۳ و ۴ ارائه گردیده است. مطابق با این یافته‌ها، بیشترین تأثیر مستقیم بر روی مشخصه معدنی شدن نیتروژن به مشخصه نیتروژن (۰/۹۸) تعلق داشته در حالی که مشخصه کربن آلی اثر غیرمستقیم زیادی (۰/۹۱) را بر مشخصه مذکور نشان داده است. در ارتباط با مشخصه تنفس میکربی نیز کربن آلی خاک بیشترین تأثیر را داشته (۰/۸۹) و مشخصه نیتروژن کل بالاترین اثر غیرمستقیم (۰/۸۱) را ارائه داده است. مطابق با نتایج ارائه شده همانطور که ملاحظه می‌گردد درصد رس اثرات مستقیم، غیرمستقیم و اثرات کلی چندانی را بر روی شاخص‌های زیستی مورد بررسی ارائه نداده است. بنابراین می‌توان بیان داشت که در ارتباط با معدنی شدن نیتروژن خاک، مشخصه نیتروژن و در ارتباط با تنفس میکربی خاک، مشخصه کربن آلی مهمترین مؤلفه‌های تأثیرگذار می-باشند.



شکل ۳- دیاگرام تجزیه ضرایب مسیر معدنی شدن نیتروژن با مشخصه‌های خاک

Figure 3-Path analysis diagram of nitrogen mineralization with soil characters



شکل ٤- دیاگرام تجزیه ضرایب مسیر تنفس میکربی با مشخصه‌های خاک

Figure 4- Path analysis diagram of microbial respiration with soil characters

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- اثرات مستقیم و غیرمستقیم مشخصه‌های خاک (متغیر مستقل) بر روی معدنی شدن نیتروژن (متغیر وابسته)

Table 3- Direct and indirect effects of soil characters (independent variable) on nitrogen mineralization (dependent variable)

متغیرها Variables	تأثیر متغیرهای مستقل بر روی متغیر وابسته Effect of independent variables on dependent variable	اثر مستقیم Direct effect	جمع اثرات غیر مستقیم Sum of indirect effects	جمع اثرات مستقیم و غیر مستقیم Sum of direct and indirect effects
کربن آلی Organic carbon	Organic carbon کربن آلی ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن	-0.11	0.91	0.80
	Organic carbon کربن آلی ⟶ Nitrogen نیتروژن ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن			
رس Clay	Clay رس ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن	0.07	-0.03	0.04
	Clay رس ⟶ Nitrogen نیتروژن ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن			
	Clay رس ⟶ Carbon کربن ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن			
نیتروژن Nitrogen	Nitrogen نیتروژن ⟶ Nitrogen mineralization معدنی شدن نیتروژن	0.98	-	0.98

آثار غیر مستقیم از طریق حاصل ضرب ضرایب هر مسیر محاسبه می‌شود

Indirect effects are calculable using the multiply of path coefficients

جدول ٤- اثرات مستقیم و غیرمستقیم مشخصه‌های خاک (متغیر مستقل) بر روی تنفس میکربی (متغیر وابسته)

Table 4- Direct and indirect effects of soil characters (independent variable) on microbial respiration (dependent variable)

متغیرها Variables	تأثیر متغیرهای مستقل بر روی متغیر وابسته Effect of independent variables on dependent variable	اثر مستقیم Direct effect	جمع اثرات غیر مستقیم Sum of indirect effects	جمع اثرات مستقیم و غیر مستقیم Sum of direct and indirect effects
نیتروژن Nitrogen	Nitrogen نیتروژن ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی	0.06	0.81	0.87
	Nitrogen نیتروژن ⟶ Organic carbon کربن آلی ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی			
رس Clay	Clay رس ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی	-0.01	0.04	0.03
	Clay رس ⟶ Organic carbon کربن آلی ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی			
	Clay رس ⟶ Nitrogen نیتروژن ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی			
کربن آلی Organic carbon	Organic carbon کربن آلی ⟶ Microbial respiration تنفس میکربی	0.89	-	0.89

آثار غیر مستقیم از طریق حاصل ضرب ضرایب هر مسیر محاسبه می‌شود

Indirect effects are calculable using the multiply of path coefficients

www.SID.ir

Archive of SID

بطور کلی اندازه‌گیری آزمایشگاهی تنفس میکربی بیانگر فعالیت و تنفس ریزجانداران خاک می‌باشد. بنابراین از شاخص تنفس میکربی که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است می‌توان به منظور برآورد رهاسازی عناصرغذایی بویژه ازت استفاده کرد (۱۹). چنین استنباط می‌شود که افزایش ماده آلی خاک از یک سو نیتروژن بیشتری برای معدنی شدن فراهم می‌نماید و از سوی دیگر امکان استقرار آنزیم‌های مؤثر را در فرآیند معدنی شدن نیتروژن بر سطح کلوئیدهای آلی فراهم نموده و در نتیجه باعث افزایش مقادیر شاخص بیولوژیک قابلیت جذب نیتروژن می‌گردد (۲۲). با این تفاسیر می‌توان بیان نمود که هر گونه کوششی در ارزیابی جریان عناصر غذایی و انرژی در سیستم خاک با توجه به نقش جامعه میکربی خاک انجام می‌گیرد (۵).

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل علیت به عنوان یک روش مکمل تحلیل‌های رگرسیونی و تحلیل فاکتورها به شیوه تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که فعالیت مشخصه‌های زیستی خاک عمدتاً بطور مستقیم متأثر از نیتروژن (برای شاخص معدنی شدن نیتروژن) و کربن آلی (برای شاخص تنفس میکربی) خاک بوده و تأثیر ویژگی‌های مؤثر دیگر بر آنها بطور غیر مستقیم و از طریق همبستگی قوی با مشخصه‌های نیتروژن و کربن آلی خاک می‌باشد.

منابع

1-Alef K. 1995. Estimating of soil respiration. In: Methods in soil microbiology and biochemistry, Alef, K., and P. Nannipieri (Eds.). Academic Press. New York.

2-Ali Ehyayee M., and Behbahani Zadeh E. A. 1993. Description on soil chemical analysis. Volume 1, No 893, Tehran Institute. (in Persian)

3-Amador J. A., Glueksman A. M., Lyons J. B., and Gorres J. H. 1997. Spatial distribution of soil phosphates activity within a riparian forest. Soil Sciences, 11: 808 -823.

4-Bakhshi B. 2009. Application of SPSS in agriculture statistical analysis: An overview on Excel and GDA software's. Nashre Sepehr Publications. (in Persian)

5-Banerjee M. R., and Burton, D. L. 1998. Landscape induced variation in soil biological quality in Manitoba. Soil Biology and Biochemistry, 30: 1152 - 1158.

6-Bohem M. M., and Anderson D. W. 1997. A landscape scale study of soil quality in three prairie farming systems. Soil Science Society American Journal, 61: 1147 - 1159.

7-Burton D. L., Depose S., and Banerjee M. R. 1999. The functional diversity of soil microbial communities in selected Manitoba soils. Soil Biology and Biochemistry, 31: 1390 -1396.

8-Chaneton E. J., and Lavado R. S. 1996. Soil nutrients and salinity after long term grazing exclusion in flooding Pampas's grassland. Journal of Range Management, 49: 182 - 187.

9-Ebrahimi S., Bahrami H., and Malakoti M. J. 2005. The effect of organic matter for improvement of soil carbon to nitrogen. Research institute of soil and water. No. 48, Sana Publications. (in Persian)

10-Ghazanshahi J. 2006. Soil and plant analysis, Hooma Publications. (in Persian)

11-Habashi H. 2007. Relationship between soil features with spatial pattern of tree species in mixed beech forest of Shast-Kalateh. PhD thesis of Forestry, Tarbiat Modares University. (in Persian)

12-Hooman H. E. 2009. Modeling of structural equations using of Lizrel software. Samt Publications. (in Persian)

13-Jafari Haghighi M. 2003. Methods of soil analysis (sampling and physico-chemical analysis). Nedaye Zohi Publications. (in Persian)

14-Karlen D. L., Rosek M. J., Gardner J. C., Allan D. L., Alms M. J., Bezdicek D. F., Flock M., Huggins D. R., Miller B. S., and Staben M. L. 1999. Conservation research program effects on soil quality indicators. Journal of Soil Water Conservation, 54: 439 - 444.

15-Khademi H., Mohammadi J., and Nael M. 2006. Comparison some of soil quality indices in different land-uses management in Brojen region. Iranian Journal of Agriculture Research, 29: 111-124. (in Persian with English abstract)

16-Kiss S., Dragan-Bularda M., and Radulescu D. 1975. Biological significance of enzymes in soil. Advanced Agronomy, 27: 25 - 91.

17-Kooch Y., Hosseini S. M., Mohammadi J., and Hojjati S. M. 2010. The effects of gap disturbance on soil chemical and biochemical properties in a mixed beech - hornbeam forest of Iran. Ecologia Balkanica, 2: 39 - 56.

18-Mohammadi J. 2006. Pedometrics (volume 1- classic statistics), Pelk Publications. (in Persian)

19-Mohammdi J., Khademi H., and Nael M. 2005. Investigation on variability of topsoil quality in selected ecosystems of Central Zagros. Iranian Journal of Agriculture Sciences - Esfahan, 9:105-119. (in Persian with English abstract)

20-Nael M. 2001. Study on degradation of lands using of soil quality indices and theirs spatial pattern in forests and

www.SID.ir

Archive of SID

rangelands. M. Sc. thesis of Agriculture Sciences, Esfahan University. (in Persian with English abstract)
21-Norton B. J., Sandor J. A., and White C. S. 2003. Hill slope soils and organic matter dynamics within Native American agro ecosystem of the Colorado Plateau. Soil Science Society American Journal, 67: 225 - 234.
22-Nourbakhsh F., and Bahreini K. R. 2005. Study on relationship between biological index of N availability and some of soil features in soils of Esfahan Province. Iranian Journal of Agriculture and Natural Resources of Gorgan, 3: 112-119. (in Persian with English abstract)
23-Nourbakhsh F., Moneral C. M., Emtiazy G., and Dinel H. 2002. Asparagines activity in some soils of central Iran. Arid Land Resources Management, 16: 377 - 384.
24-Page A. L., Miller R. H., and Keeney D. R. 1992. Methods of soil analysis, In: II. Physical and properties. SSSA Pub. Madison.
25-Pare T., and Gregorich, E. G. 1999. Soil texture effects on mineralization of nitrogen from crop residues and the added nitrogen interaction. Plant and Soil, 30: 145 - 147.
26-Parkin T. B., Daran J. W., and Franco - Vizcaino E. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration, In: Daran, J. W., and Jones, A. J. (Eds). Methods for assessing soil quality, 233 -245, Soil Sci. Am. Special publication, No, 49, Madison, Wisconsin, USA.
27-Sagar S., Hedley C. B., and Salt G. J. 2001. Soil microbial biomass, metabolic quotient and carbon and nitrogen mineralization in 25 year old *Pinus radiata* agroforestry regimes. Australian Journal of Soil Research, 39: 491 - 504.
28-Sheikh Hasani A. R., and Norbakhsh F. 2007. The effect of soil type and plant residual on nitrogen mineralization rate. Iranian Journal of Pajohesh-Sazandegi, 75: 128-133. (in Persian with English abstract)
29-Shekl Abadi M., Khademi H., Karimian Eghbal M., and Norbakhsh, F. 2007. The effect of climate and long-time management on some of soil biological features in Central Zagros. Iranian Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences, 41: 103-115. (in Persian with English abstract)
30-Wood C. W., Westfall D. G., and Peterson G. A. 1990. Impacts of cropping intensity on carbon and nitrogen mineralization under no - till dry land agro ecosystems. Agronomy Journal, 82: 1115 - 1119.
31-Yusefi M., Khademi H., and Jalalian A. 2007. Reduction of soil quality during land use change of rangelands in Chesmeh-Aliestan region of Charmahal Bakhtiary Province. Iranian Journal of Agriculture and Natural Resources of Gorgan, 14: 109-121. (in Persian with English abstract)

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 6, Jan.-Feb. 2016, p. 1542-1552

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۶، بهمن –اسفند ۱۳۹۴، ص. ۱۵۵۲-۱۵۴۲

Application of Statistical Method of Path Analysis to Describe Soil Biological Indices

Y. Kooch[1]

Received: 03-03-2014
Accepted: 19-08-2015

Introduction: Among the collection of natural resources in the world, soil is considered as one of the most important components of the environment. Protect and improve the properties of this precious resource, requires a comprehensive and coordinated action that only through a deep understanding of quantitative (not only recognition of the quality) the origin, distribution and functionality in a natural ecosystem is possible. Many researchers believe that due to the quick reactions of soil organisms to environmental changes, soil biological survey to estimate soil quality is more important than the chemical and physical properties. For this reason, in many studies the nitrogen mineralization and microbial respiration indices are regarded. The aim of the present study were to study the direct and indirect effects of soil physicochemical characteristics on the most important biological indicators (nitrogen mineralization and microbial respiration), which has not been carefully considered up to now. This research is the first study to provide evidence to the future planning and management of soil sciences.

Materials and Methods: For this, a limitation of 20 ha area of Experimental Forest Station of Tarbiat Modares University was considered. Fifty five soil samples, from the top 15 cm of soil, were taken, from which bulk density, texture, organic C, total N, cation exchange capacity (CEC), nitrogen mineralization and microbial respiration were determined at the laboratory. The data stored in Excel as a database. To determine the relationship between biological indices and soil physicochemical characteristics, correlation analysis and factor analysis using principal component analysis (PCA) were employed. To investigate all direct and indirect relationships between biological indices and different soil characteristics, path analysis (path analysis) was used.

Results and Discussion: Results showed significant positive relations between biological indices and clay, organic carbon and total nitrogen, whereas the correlations of the other soil properties (bulk density, silt, sand and CEC) were insignificant. Factor analysis using of principle component analysis showed that the behavior of these two biological indices in the same territory and controlled by the same factors. Path analysis was employed to study the relationship among soil biological indices and the other soil properties. According to results, soil nitrogen mineralization is more imposed by nitrogen (0.98) and organic carbon (0.91) properties as direct and indirect effects respectively. Whereas the values of soil microbial respiration were affected by organic carbon (0.89) and total nitrogen (0.81). It can be claimed that total nitrogen and organic carbon are the most important soil properties in relation to nitrogen mineralization and microbial respiration, respectively. Regarding to the strong relationship between soil organic carbon and nitrogen and also similarly strong relationship between nitrogen and organic carbon mineralization, enhancing nitrogen mineralization is expected by the increase in organic carbon. In this regard, Nourbakhsh, et al. (2002) claimed that nitrogen mineralization is depended to soil organic nitrogen and derived from total nitrogen. In addition, there is a strong relationship between total nitrogen and soil organic carbon. So, the greater amounts of nitrogen mineralization can be related to more accumulation of organic carbon and nitrogen in topsoil (23). This result is in accordance with Wood, et al. (1990) and Norton, et al. (2003) findings (21, 30). Ebrahimi, et al. (2005) stated that if the C/N ratio is more than 30, the process immobility or nitrogen mineralization stopwill be occurred. The ratios between 20 and 30 usually settle and release of mineral nitrogen does not take place, and the balance remains. If the C/N ratio is less than 20 net release of nitrogen in the soil will increase (9).In the present study, the values of soil C/N ratio were less than 20 (mean 15.80), so the process of nitrogen mineralization occurred in the study area. Suitable conditions for microbial activity of soil microorganism's especially adequate supply of organic carbon increased the microbial respiration in the study area. High correlation between the amount of organic carbon and microbial respiration confirmed this claim. However; it seems that the soil organic carbon is driver of microbial respiration rate. This finding is reported by different researchers (6, 7, 15, and 20).

Conclusion: Path analysis as a complementary method of regression analysis and factor analysis using

1- Assisstant Professor of Forestry, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: yahya.kooch@modares.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

principal component analysis showed that the biological activity of the soil characteristics are directly affected by soil nitrogen (for nitrogen mineralization index) and organic carbon (for microbial respiration index) and other useful features influence them indirectly through strong correlation with the characteristics of nitrogen and organic carbon in soil.

Keywords: Biological Indicators, Microbial Respiration, Nitrogen Mineralization, Path Analysis, Regression, Soil

www.SID.ir