

بررسی ساختار مکانی خصوصیات خاک در یک توده جنگلی راش با استفاده از روش زمین‌آمار

یحیی کوچ^{۱*}، سید محسن حسینی^۱، جهانگرد محمدی^۲ و سید محمد حجتی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱۴)

چکیده

به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در با ارزش‌ترین توده‌های جنگلی شمال کشور به کمک تکنیک زمین‌آمار، ۲۰ هکتار از جنگل آموزشی-پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس واقع در استان مازندران مورد پیمایش قرار گرفت. نمونه‌های خاک از لایه‌های سطحی (۱۵ - ۰ سانتی‌متری) و عمقی (۳۰ - ۱۵ و ۴۵ - ۳۰ سانتی‌متری) محل‌های پیت، ماند، حفره تاج پوشش، موقعیت تک درختان جنگلی و سطوح زیر تاج پوشش بسته برداشت گردید. متغیرهای اسیدیته و ماده آلی در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری و مقادیر نسبت کربن به نیتروژن و میزان ترسیب کربن خاک نیز محاسبه گردید. نتایج حاکی از آن است که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در لایه‌های سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های خطی می‌باشند و تنها اسیدیته خاک در سه لایه مورد بررسی و میزان ترسیب کربن در لایه سوم دارای مدل‌های نمایی می‌باشد. نتایج ساختار مکانی مشخصه‌های مورد بررسی نیز بر این امر دلالت دارد که مشخصه اسیدیته خاک در هر سه لایه مورد بررسی دارای ساختار مکانی متوسط، ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک فاقد ساختار مکانی (اثر قطعه‌ای خالص)، ترسیب کربن در دو لایه بالایی دارای ساختار مکانی ضعیف و در لایه سوم دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، تغییرنما، تنوع خاک، جنگل طبیعی

۱. به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و دانشیار جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yahya.kooch@yahoo.com

مقدمه

تغییرات مکانی در خاک، به عنوان سیستمی پویا و چند مرحله‌ای، را می‌توان در دو دسته کلی تغییرات ساختاری (سیستماتیک) و غیرساختاری (تصادفی) تقسیم نمود. یکی از اهداف اصلی زمین‌آمار ارائه مدلی مناسب جهت توصیف تغییرات مکانی یک متغیر مکانی با در نظر گرفتن هر دو مؤلفه ساختاری و تصادفی می‌باشد. تغییرات ساختاری در برگیرنده تغییرات مشخص و تدریجی ویژگی‌های خاک به عنوان تابعی از برهم کنش‌های عوامل خاکساز است. این نوع تغییرات را می‌توان با توجه به داده‌ها و آگاهی از عوامل دخیل در تشکیل خاک و ارتباط آنها با چشم‌انداز (Landscape) اراضی درک و مورد شناسایی قرار داد. گاهی اوقات نیز تغییرات بسیار زیاد مقادیر ویژگی‌های خاک در دو نقطه با فاصله اندک از یکدیگر در یک واحد نقشه خاک نیز مشاهده می‌گردد. این نوع تغییرات مکانی را اصطلاحاً تغییرات غیرساختاری و یا تصادفی می‌نامند. تغییرات تصادفی برخلاف تغییرات ساختاری عموماً در محدوده‌های کوچکتر جغرافیایی رخ داده و به همین دلیل آنها را تغییرات کوتاه دامنه نیز می‌نامند (۱۶). در مطالعه خاک‌های جنگل اگر از آمار کلاسیک استفاده شود برای نتیجه‌گیری بهتر و کاهش واریانس بین نمونه‌ها از روش‌های افزایش تعداد نمونه‌ها، بلوک‌های تصادفی و فاکتوریل استفاده می‌شود. کاربرد تکنیک زمین‌آمار در علوم خاک با تأکید بر توصیف‌های کمی تنوع مکانی ویژگی‌های خاک، موجب بهبود دقت تخمین ویژگی‌های خاک برای درون‌یابی داده‌ها و نقشه‌سازی می‌گردد. به هر حال انتخاب تعداد نمونه مناسب برای مطالعه ویژگی‌های خاک جنگل از دغدغه‌های همیشگی خاک‌شناسان است که با تکنیک‌های کلاسیک نمی‌توان به آن رسید و تنها استفاده از تکنیک زمین‌آمار می‌تواند معیاری مناسب برای رسیدن به دقت مشخص و انتخاب تعداد نمونه مناسب در خاک باشد (۵).

شناخت ویژگی‌های خاک یکی از پایه‌های مدیریت اصولی جنگل است که بسیاری از گزینه‌های اکولوژی و جنگل‌شناسی تحت تأثیر آن قرار دارند. فرآیند خاکساز در اکوسیستم‌های

جنگلی تحت کنترل فاکتورهای مستقل زیادی (آب و هوا، توپوگرافی، ارگانیزم‌ها، مواد مادری و زمان) قرار دارد و در کنار این عوامل، گروهی از کنترل‌کننده‌های طبیعی و مصنوعی دیگری هم وجود دارد (فعالیت‌های انسانی، بی‌نظمی و آشفتگی‌های طبیعی) که می‌توانند مؤثر واقع گردند. سالانه تعداد زیادی از درختان در اکوسیستم‌های جنگلی در اثر وزش بادهای سنگین ریشه‌کن می‌شوند. در طی عمل ریشه‌کن شدن، درخت همراه با حجم بزرگی از ریشه‌هایش بر روی زمین می‌افتد بنابراین این ریشه‌ها از خاک بیرون می‌آیند. آشفتگی ایجاد شده (پیت) شکل ویژه‌ای در ساختار ریشه‌ها می‌باشد. ریشه‌های خارج شده از خاک یک ساختار بشقابی شکلی را در مجاورت پیت‌های ایجاد شده به وجود می‌آورد که این ساختار بشقابی شکل قسمتی از محتویات خاک را نیز در بر دارد. به چنین ساختاری، ماند گفته می‌شود (۱۸). با توجه به طولانی بودن فرآیند پیدایش خاک، بر هم خوردن خاک می‌تواند نقش بسزایی در پدیده تشکیل خاک داشته باشد (۲۲). ریشه‌کن شدن درختان اثرات متفاوتی را بر خاک اکوسیستم‌های جنگلی ایجاد می‌نماید. درهم آمیختن اجزای خاک، وارونه کردن پروفیل‌های خاک، پراکنش منطقه‌ای ذرات خاک و ایجاد ساختارهای پیت و ماند (میکروتوپوگرافی‌های حادث شده در اثر ریشه‌کن شدن درختان جنگلی) اثرات مستقیم ریشه‌کن شدن درختان و در معرض فرسایش قرار گرفتن سطوح لخت و بدون پوشش، ایجاد میکروسایت‌های مختلف، دینامیک و پویایی مواد آلی خاک و ایجاد میکروکلیم‌های مختلف در ساختار پیت و ماند به‌عنوان آثار غیرمستقیم آن به حساب می‌آید (۲۱).

حفرات تاج پوشش جنگلی (بازشدگی تاج پوشش) نمونه دیگری از آشفتگی‌هایی هستند که می‌توانند اثرات مستقیمی بر عوامل مؤثر در فرآیندهای خاکساز (مثل آب و هوا و ارگانیزم‌های خاک) داشته باشند. حفرات هم‌چنین باعث ایجاد شرایطی در اکوسیستم‌های جنگلی می‌شوند که تحت عنوان "نقاط گرم غذایی" و یا "جزایر حاصل‌خیزی" خوانده می‌شوند. ایجاد چنین شرایطی در رویشگاه‌های جنگلی باعث افزایش

دو فرضیه بوده‌ایم. فرض اول آنکه با توجه به وجود عوامل مؤثر بسیار زیاد بر تغییر و تحول خاک در یک اکوسیستم جنگلی کوهستانی (که غالب جنگل‌های هیرکانی ایران را شامل می‌شود) مشخصه‌های سطحی خاک دارای ساختار مکانی ضعیفی می‌باشند. فرض دوم بر آنست که با افزایش عمق، مشخصه‌های خاک ساختار مکانی پیدا می‌کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

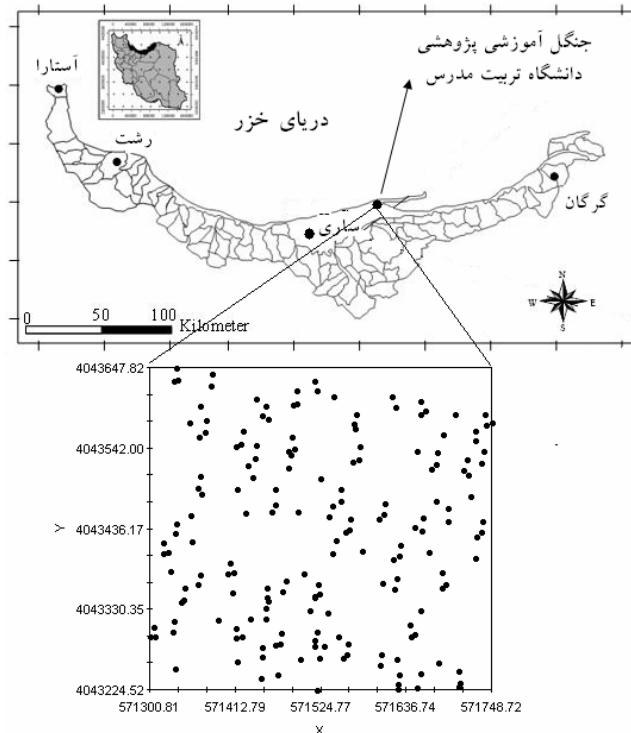
این تحقیق در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (آغوزچال) واقع در صلاح‌الدین کلا از توابع شهرستان نوشهر انجام گردید. این منطقه در سری ۳ حوزه آبخیز آغوزچال واقع گردیده که دارای طول جغرافیایی $51^{\circ}47'39''$ تا $51^{\circ}43'20''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}32'56''$ تا $36^{\circ}29'23''$ شمالی می‌باشد. به منظور انجام این پژوهش، پارسل شماره ۳۰۱ واقع در جنگل مذکور انتخاب شد. این پارسل با مساحت ۷۸ هکتار، عرصه حفاظتی بوده (تقریباً دست نخورده) 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 در پارسل مورد نظر به ترتیب 250 تا 800 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، راندزین تکامل یافته تا راندزین شسته شده و بافت خاک، لوم رسی سیلتی می‌باشد (۳). جهت انجام مطالعه حاضر، محدوده 20 هکتاری از پارسل مذکور با شرایط فیزیوگرافی تقریباً یکسان انتخاب گردید (شکل ۱).

نمونه‌برداری و آنالیز خاک

با توجه به شرایط موجود در جنگل و سوابق تحقیق در ارتباط با عوامل تأثیرگذار بر تغییرپذیری خصوصیات خاک در یک

حاصل‌خیزی و در حالت کلی باعث ایجاد تنوع در اکوسیستم خاکی می‌شود (۲۳). تک درختان جنگلی ممکن است اثرات مختلف معنی‌داری بر روی مورفولوژی و ویژگی‌های مختلف خاک داشته باشند. مفهوم "چرخه تأثیر تک درخت" اولین بار در مطالعات مربوط به ویژگی‌های خاک از قبیل کاتیون‌های قابل تبادل و اسیدیته خاک عنوان شده است. اثر تک درختان جنگلی هم‌چنین در ارتباط با تخلیه رطوبت خاک، باران‌ربایی، و فور کرم‌های خاکی، جذب عناصر غذایی، تثبیت نیتروژن و نیتروفیکاسیون، اسیدیته لاشبرگ و تغییر مواد معدنی خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (۲۳). گونه‌های درختی منفرد می‌توانند بر چرخه و پراکنش عناصر غذایی در رویشگاه جنگلی و در خاک‌های معدنی تأثیر بسزایی داشته باشند. تک درختان جنگلی اثرات بیوژئوشیمیایی مثبتی را در اکوسیستم‌های جنگلی ایجاد می‌کنند. اثر گونه‌های درختی منفرد بر روی خاک‌ها با عناوین مختلفی چون "جزیره حاصل‌خیزی"، "چرخه اثر تک درخت"، "میکروسایت‌های تجدیدحیات" و یا "تئوری مدل لوله" نام‌گذاری شده‌اند (۲۳).

با توجه به اینکه اکوسیستم جنگلی هیرکانی ایران، اکوسیستمی کوهستانی محسوب شده و دارای درختانی مسن با قطرهای بالا می‌باشد لذا تصور بر آنست که آشفته‌گی‌های متعددی (پیت و مانده‌های ناشی از ریشه‌کن درختان و حفرات مختلف تاج پوشش) در چنین اکوسیستمی قابل ملاحظه باشد (۲۰). با درک به این موضوع که عوامل آشفته‌گی و بی‌نظمی در اکوسیستم جنگلی راش بیشتر از سایر اکوسیستم‌های جنگلی موجود در دیگر نقاط کشور ایران است (با توجه به ریشه‌دهی سطحی گونه راش، ریشه‌کن شدن درختان و ایجاد حفره‌های تاجی در این اکوسیستم بیشتر مشاهده می‌گردد)، بنابراین می‌تواند از دیدگاه تنوع خاک بیشتر مورد ملاحظه قرار گیرد (۱۹). با هدف بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک در با ارزش‌ترین توده جنگلی شمال کشور (راشستان) به کمک تکنیک زمین‌آمار، پژوهش حاضر مورد توجه قرار گرفته است که در این تحقیق به دنبال قبول و یا رد



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و موقعیت محل نمونه‌برداری خاک در استان مازندران، شمال ایران

در عرصه مورد مطالعه دارای قطرهای کمتر از ۴۵ سانتی‌متر بوده‌اند.

نمونه‌برداری خاک از محل تمامی پیت و ماندها (همراه با نمونه‌های شاهد هر یک در زیر تاج پوشش بسته در یک آزیموت تصادفی)، حفرات تاج پوشش (همراه با نمونه‌های شاهد هر یک در زیر تاج پوشش بسته در یک آزیموت تصادفی) و از هر یک از گونه‌های راش و مرمرز و از هر کلاسه قطری موجود تعداد سه تک درخت (درختانی که تاج پوشش آنها با تاج پوشش درختان اطرافش درگیر نباشد و سایه‌انداز آنها مشخص باشد) جهت نمونه‌برداری خاک مدنظر قرار گرفت. نمونه‌برداری خاک در هر یک از محل‌های مذکور (شکل ۱) به کمک استوانه‌ای مدور با سطح مقطع ۸۱ سانتی‌متر مربع (۷) و از سه عمق ۱۵ - ۰، ۳۰ - ۱۵ و ۴۵ - ۳۰ سانتی‌متری انجام پذیرفت. نمونه‌های خاک در فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خاک حاصله خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. اسیدیته خاک در گل اشباع به‌وسیله دستگاه pH متر، ماده آلی به

اکوسیستم جنگلی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات شناسایی گردید. این عوامل شامل میکروتوپوگرافی پیت و ماند ایجاد شده در اثر ریشه‌کن شدن درختان، حفره تاج پوشش و حضور تک درختان جنگلی می‌باشد. این سه مکانیسم بیانگر تأثیر پوشش گیاهی بر روی ویژگی‌های خاک و هم‌چنین معرف فرایندها و کنش‌هایی است که در قسمت‌های فوقانی و تحتانی رویشگاه جنگلی رخ می‌دهند (۲۳). لذا به منظور دقت بیشتر، در عرصه ۲۰ هکتاری مورد نظر، کلیه پیت و ماندها با عمق و ارتفاع حداقل ۰/۳ متر، حفرات تاج پوشش با سطح حداقل ۳۰ مترمربع و درختانی با قطر در ارتفاع برابر سینه حداقل ۴۵ سانتی‌متر برداشت و ثبت گردید (۲۳). پس از جنگل‌گردشی و پیمایش کل محدوده مورد نظر، تعداد ۳۴ درخت ریشه‌کن شده حاوی پیت و ماند، ۲۱ حفره تاج پوشش و مجموعاً ۲۶ پایه درختی راش (تعداد در هکتار) و ۹/۶ پایه درختی مرمرز (تعداد در هکتار) با قطرهای مورد نظر ثبت شد. لازم به ذکر است که سایر گونه‌های درختی موجود

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_s - R_o)}{n} \quad [2]$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_s - R_o)}{n} \quad [3]$$

در این روابط R_s مقدار برآورد شده، R_o مقدار اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه می‌باشد.

نتایج

توصیف آماری متغیرها

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری هر خصوصیت، توزیع فراوانی با کمک ویژگی‌های آن شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی و ضریب تغییرات مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. تست توزیع نرمال داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف اسمیرنوف نشان داد که تمامی متغیرها از توزیع تقریباً نرمال برخوردارند. به علاوه مقادیر چولگی ارائه شده در جدول ۱ نیز نتایج نرمال بودن را تأیید می‌نماید که در تمامی متغیرها بین -۱ و +۱ قرار دارد.

آنالیز ساختار مکانی

برای تشخیص پدیده همسانگردی در تحقیق حاضر از تغییرنمای سطحی استفاده شده است. برای تمامی متغیرهای مورد بررسی در عمق‌های مختلف خاک، ناهمسانگردی آنها کنترل شد. با توجه به تقارن تغییرنمای سطحی، تمامی متغیرها همسانگرد هستند. مدل‌های تغییرنمای تجربی به همراه مدل‌های برازش داده شده به آنها در شکل ۲ و پارامترهای اعتبارسنجی شده آنها همراه با معیارهای اعتبارسنجی در جدول ۲ برای هر یک از مشخصه‌های خاک در عمق‌های مختلف ارائه شده است. نتایج حاکی از آنست که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در لایه‌های سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های خطی می‌باشند و تنها اسیدپتت خاک در سه لایه مورد بررسی و میزان ترسیب

روش والکلی‌بلاک در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید (۱۰). میزان ترسیب کربن خاک (گرم بر مترمربع) نیز با استفاده از معادله $OC = 10000 \times \%OC \times BD \times E$ محاسبه گردید که در این معادله OC میزان ترسیب کربن برحسب گرم بر مترمربع، $\%OC$ درصد کربن آلی اندازه‌گیری شده، BD وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E عمق نمونه‌برداری خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد (۱۳).

آنالیز تغییرنما

تغییرنما یک مدل ریاضی و کمی برداری است که میزان ارتباط مکانی بین مقادیر متغیر اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و در نظر گرفتن فاصله و جهت آنها نشان می‌دهد. معادله تغییرنما به صورت رابطه ۱ است:

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x+h)]^2 \quad [1]$$

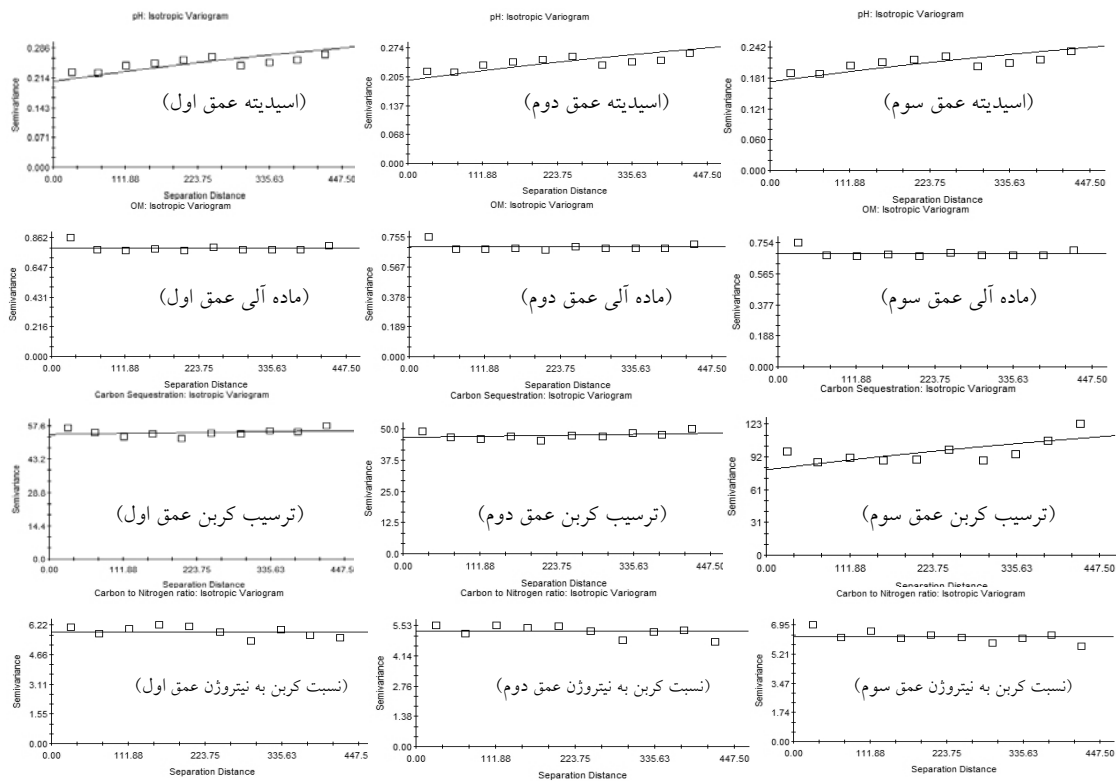
که در آن $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله‌ای مانند h است و معمولاً هر چه h افزایش یابد تعداد جفت‌ها کم می‌شود (۵). جهت محاسبه و ترسیم تغییرنما از نرم‌افزار GS^+ , version 9 استفاده گردید.

ارزیابی صحت یا اعتبارسنجی

در مطالعات زمین‌آماري بایستی صحت تمام فرضیات و روش‌ها به گونه‌ای کنترل گردد. کنترل اعتبار در واقع تخمین هر نقطه نمونه‌برداری شده در یک ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه همسایه (بدون در نظر گرفتن خود آن نمونه) با روش‌های درونیابی می‌باشد. بدین منظور بعد از برازش مدل به تغییرنما و تعیین پارامترهای مدل، کنترل اعتبار تغییرنما به همراه نمودارهای تخمین برای متغیرهای مورد بررسی با استفاده از روش ارزیابی متقاطع و با در نظر گرفتن دو پارامتر آماری میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین مطلق خطا (MAE) در نرم‌افزار GS^+ , version 9 صورت گرفت. نحوه محاسبه پارامترهای MBE و MAE به شرح روابط ۲ و ۳ می‌باشد (۹).

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای خاک

متغیر	واحد	عمق (سانتی متر)	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (%)
اسیدیته	-	۰ - ۱۵	۶/۷	۶	۷/۸	۰/۴	۰/۴	-۰/۸	۷/۳
اسیدیته	-	۱۵ - ۳۰	۶/۷	۶	۷/۸	۰/۴	۰/۴	-۰/۸	۷/۱
اسیدیته	-	۳۰ - ۴۵	۶/۷	۶	۷/۶	۰/۴	۰/۲	-۱/۱	۶/۷
ماده آلی	(/.)	۰ - ۱۵	۴/۴	۳/۱	۵/۷	۰/۸	۰/۳	-۱/۳	۱۷/۹
ماده آلی	(/.)	۱۵ - ۳۰	۴/۳	۳/۴	۵/۶	۰/۸	۰/۴	-۱/۵	۱۸/۸
ماده آلی	(/.)	۳۰ - ۴۵	۴/۲	۳/۳	۵/۵	۰/۸	۰/۴	-۱/۴	۱۹/۱
ترسیب کربن	(ton/ha)	۰ - ۱۵	۴۰/۹	۳۱/۱	۵۹/۹	۷/۳	۰/۵	-۰/۸	۱۷/۹
ترسیب کربن	(ton/ha)	۱۵ - ۳۰	۴۰/۶	۳۰/۳	۵۵/۷	۶/۸	۰/۶	-۰/۸	۱۶/۸
ترسیب کربن	(ton/ha)	۳۰ - ۴۵	۳۹	۴/۷	۵۴/۸	۹/۶	-۰/۵	۴/۷	۲۴/۷
نسبت کربن به نیتروژن	-	۰ - ۱۵	۱۵/۲	۹	۱۹/۷	۲/۴	-۰/۶	۰/۰	۱۵/۸
نسبت کربن به نیتروژن	-	۱۵ - ۳۰	۱۵/۹	۱۰	۲۱/۳	۲/۲	-۰/۶	۰/۱	۱۴/۳
نسبت کربن به نیتروژن	-	۳۰ - ۴۵	۱۶/۹	۱۱	۲۳/۹	۲/۴	-۰/۰	۰/۴	۱۴/۶



شکل ۲. تغییرنمای برازش داده شده به مشخصه‌های خاک مورد بررسی

جدول ۲. پارامترهای تغییرنما، معیارهای انتخاب مدل و کنترل اعتبار کریجینگ برای متغیرهای خاک

متغیر	عمق (سانتی متر)	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر	ساختار مکانی (%) ^۱	میانگین انحراف خطا (MBE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
اسیدپته	۰ - ۱۵	نمایی	۰/۲	۰/۴	۲۷۳۲/۷	۵۰/۱	۰/۰	۰/۴
اسیدپته	۱۵ - ۳۰	نمایی	۰/۱	۰/۳	۲۷۳۲/۷	۵۰/۲	۰/۰	۰/۴
اسیدپته	۳۰ - ۴۵	نمایی	۰/۱	۰/۳	۲۷۳۲/۷	۵۰/۲	۰/۰	۰/۳
ماده آلی	۰ - ۱۵	خطی ^۲	۰/۷	۰/۷	۴۲۰/۸	۰	-۰/۰	۰/۸
ماده آلی	۱۵ - ۳۰	خطی ^۲	۰/۶	۰/۶	۴۲۰/۸	۰	-۰/۰	۰/۷
ماده آلی	۳۰ - ۴۵	خطی ^۲	۰/۶	۰/۶	۴۲۰/۸	۰	-۰/۰	۰/۷
ترسیب کربن	۰ - ۱۵	خطی	۵۳/۹	۵۵/۴	۴۲۰/۸	۲/۶	-۰/۱	۶/۷
ترسیب کربن	۱۵ - ۳۰	خطی	۴۶/۷	۴۸/۲	۴۲۰/۸	۳/۱	-۰/۱	۶/۳
ترسیب کربن	۳۰ - ۴۵	نمایی	۷۹/۷	۱۵۹/۵	۲۷۳۲/۷	۵۰	-۰/۰	۶/۷
نسبت کربن به نیتروژن	۰ - ۱۵	خطی ^۲	۵/۸	۵/۸	۴۲۰/۸	۰	-۰/۰	۱/۹
نسبت کربن به نیتروژن	۱۵ - ۳۰	خطی ^۲	۵/۲	۵/۲	۴۲۰/۸	۰	۰/۰	۱/۸
نسبت کربن به نیتروژن	۳۰ - ۴۵	خطی ^۲	۶/۲	۶/۲	۴۲۰/۸	۰	-۰/۰	۱/۹

^۱: درصد ساختار مکانی = [(حد آستانه - اثر قطعه‌ای) / حد آستانه] × ۱۰۰

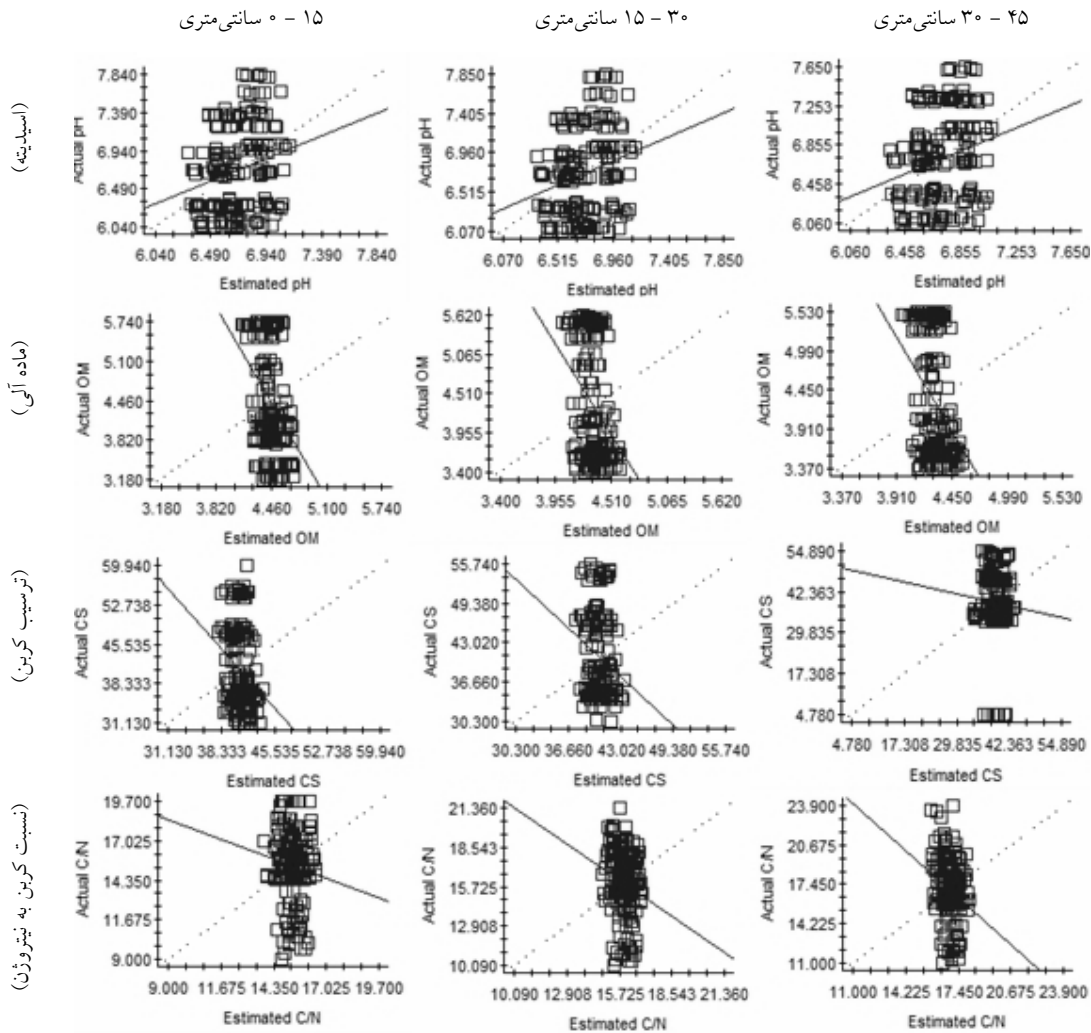
^۲: با توجه به مقادیر ساختار مکانی مشخصه‌های ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک در هر سه عمق مورد بررسی اثر قطعه‌ای خالص وجود دارد.

می‌دهد که کریجینگ نتوانسته براساس مدل برازش شده، به علت بالا بودن مقدار اثر قطعه‌ای و ضعیف بودن ساختار مکانی، برآورد صحیحی انجام دهد. شکل ۳ نیز مؤید همین مطلب می‌باشد.

بحث

تغییرپذیری مکانی مشخصه‌های خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تقارن تغییرنمای سطحی، تمامی متغیرهای مورد بررسی همسانگرد نتیجه‌گیری شد که با نتایج مطالعه مشخصه‌های اسیدپته و ماده آلی خاک در راشستان آمیخته جنگل شصت‌کلاته گرگان (۵) همخوانی داشته و با تحقیقات بوچی و همکاران (۱۵) مطابقت نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آنست که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در لایه‌های سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های خطی می‌باشند

کربن در لایه سوم دارای مدل‌های نمایی می‌باشند. نتایج ساختار مکانی مشخصه‌های مورد بررسی نیز بر این امر دلالت دارد که مشخصه‌های مورد نظر دارای همبستگی مکانی بالایی نمی‌باشند و برخی از مشخصه‌ها نظیر ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک دارای اثر قطعه‌ای خالص می‌باشند. همان‌طورکه از جدول ۲ پیداست، درصد ساختار مکانی مشخصه‌های مورد بررسی تقریباً پایین است که مبین ساختار مکانی ضعیف در بین نمونه‌های برداشت شده در حد دامنه تأثیر و تغییرپذیری بسیار زیاد مشخصه‌های خاک در فواصل کم می‌باشد. مقادیر MAE و MBE میزان اریبی را نشان می‌دهند و در حالت ایده‌آل باید مساوی صفر باشند. مقادیر منفی و مثبت قابل توجه آنها به ترتیب نشان‌دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقادیر واقعی‌اند. با توجه به مقادیر جدول ۲، مشاهده می‌شود که مقدار خطا و اریبی برآوردها (MAE و MBE) نسبتاً زیاد است و نشان



شکل ۳. مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری (محور عمودی) و برآورد شده (محور افقی) مشخصه‌های خاک

بوده (بادافتادگی شدید در سطح مورد مطالعه، ریشه‌کن شدن درختان در سطح عرصه به دلیل شیب ۶۰-۷۰ درصدی عرصه مورد مطالعه) لذا تغییرپذیری مشخصه‌های مورد مطالعه نیز بیشتر بوده و همبستگی‌های مکانی کمتر مشاهده می‌گردد. حسینعلی‌زاده و همکاران (۶) و ایوبی و همکاران (۲) (برای مشخصه ماده آلی) و زمانی و همکاران (۸) (برای مشخصه‌های اسیدیته و ماده آلی) نیز مدل کروی را گزارش نموده‌اند. محمدی (۱۱) نیز در تحقیق خود عنوان نمود که واریوگرام‌های دارای آستانه (سقف‌دار) معمول‌ترین و شایع‌ترین آنها در ژئواستاتستیک است که رایج‌ترین واریوگرام‌های دارای سقف

و تنها اسیدیته خاک در سه لایه مورد بررسی و میزان ترسیب کربن در لایه سوم دارای مدل‌های نمایی می‌باشد. تاجگردان و همکاران (۴) مدل‌های نمایی را بهترین مدل برای برازش اسیدیته و ماده آلی خاک گزارش داده‌اند که نتایج تحقیق ما را تأیید می‌نماید. حبشی (۵) نیز تحقیق مشابهی را در سطح مشخصی از رانشستان‌های آمیخته شصت‌کلاته گرگان انجام داده است. نتایج تحقیق وی حاکی از آنست که تغییرنمای مناسب به داده‌های اسیدیته و ماده آلی خاک در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری این جنگل، مدل کروی می‌باشد. از آنجایی که جنگل مورد مطالعه در تحقیق حاضر دارای آشفستگی بیشتری در سطح عرصه

واریوگرام اثر قطعه‌ای خالص، دلالت بر غلبه کامل بخش بدون ساختار مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای به بخش دارای ساختار آن دارد. در چنین شرایطی تغییرات داده‌ها مستقل از یکدیگر بوده و اصل همبستگی مکانی (فاصله کمتر، شباهت بیشتر و بالعکس) در مقیاس مطالعاتی مورد نظر برقرار نمی‌باشد (۱۱) که البته چنین حالتی در ارتباط با تراکم درختان در تحقیق اخوان و همکاران (۱۴) نیز مشاهده گردید. این در حالی است که در تحقیق حبشی (۵) نسبت اثر قطعه‌ای به سقف، گویای وجود ساختار مکانی قوی برای اسیدپته و نسبتاً قوی برای ماده آلی در منطقه طرح بوده و دامنه تأثیر برای ماده آلی خاک در تحقیق وی ۴۶ متر و برای اسیدپته ۸۷ متر به دست آمد.

نتایج بررسی تحقیق حاضر بر این امر تأکید می‌نماید که تغییرپذیری مشخصه‌های خاک بیش از آن‌که به بعد مکانی و فواصل بستگی داشته باشد بیشتر تابع الگوی پراکنش متغیرهای تأثیرگذار است. به همین دلیل است که ساختار مکانی قوی برای مشخصه‌های خاک مشاهده نگردید و با توجه به الگوی پراکنش مشخصه‌های مورد بررسی، خصوصیات خاک نیز تغییرات قابل ملاحظه‌ای را به نمایش گذاشته است. اگرچه تصور این موضوع برای لایه سطحی خاک دور از انتظار نبود، اما نتایج به دست آمده حاکی از آنست که دامنه تغییرات مشخصه‌های مختلف خاک تنها محدود به لایه‌های سطحی نبوده و این تغییرات در بخش‌ها و لایه‌های زیرین خاک نیز مشاهده می‌گردد (اثبات فرضیه اول و رد فرضیه دوم) که این خود بر تغییرپذیری بسیار زیاد مشخصه‌های خاک تحت تأثیر عوامل مؤثر تأکید می‌نماید. اثر قطعه‌ای خالص و ساختار مکانی ضعیف مشخصه‌های خاک در تحقیق حاضر بر مطالب بیان شده صحت می‌گذارد. اگرچه چنین مواردی در گزارشات حبشی (۵) ملاحظه نشد و تغییرپذیری مشخصه‌های خاک را منوط به فواصل مکانی نسبت داده، این در حالی است که در تحقیق وی به عوامل مؤثر بر تغییرپذیری خاک به غیر از نوع گونه‌های درختی اشاره نگردید. اما می‌توان این گونه عنوان نمود که در جنگل‌های آمیخته و ناهمسال شمال کشور تغییرپذیری

نیز از نوع کروی و نمایی اشاره شده است که چنین حالتی در تحقیق حاضر نیز مشاهده گردید. زاهدی‌امیری (۲۴) تغییرپذیری ترسیب کربن خاک را در لایه‌های سطحی و عمقی دو تیپ جنگلی بلوط- راش و توده افرا در بلژیک مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق او نشان داد که مدل‌های مناسب برای تغییرپذیری مشخصه مذکور در لایه‌های L، F و H به ترتیب کروی، نمایی و نمایی می‌باشد در حالی که در عمق‌های ۵ - ۰ و ۱۵ - ۵ سانتی متری مدل‌های مذکور به صورت کروی و نمایی قابل برازش هستند. درحالی‌که در تحقیق حاضر مدل‌های مشخصه مذکور در لایه‌های بالایی خاک به صورت خطی و در لایه‌های پایین‌تر به صورت نمایی نتیجه‌گیری شد. این موضوع نیز تأکید ویژه‌ای بر نقش آشفتگی‌های متعدد در اکوسیستم جنگلی مورد مطالعه دارد، به طوری که لایه‌های بالایی خاک تغییرات بسیار زیادی را متحمل شده و واریانس بالایی را نشان داده‌اند و ضمناً همبستگی‌های مکانی کمتری نیز مشاهده گردیده است. این درحالی است که اثرگذاری آشفتگی‌های موجود در لایه‌های پایینی خاک کمتر نفوذ کرده و تغییرپذیری مشخصه مورد مطالعه بیشتر به بعد فواصل مکانی ارتباط پیدا می‌کند. ساختار مکانی مشخصه‌های مورد بررسی نیز بر این امر دلالت دارد که مشخصه‌های مورد نظر دارای ساختار مکانی بالایی نمی‌باشند و برخی از مشخصه‌ها نظیر ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک دارای اثر قطعه‌ای خالص می‌باشند. نسبت واریانس ساختاردار به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام است.

اگر ساختار مکانی ۷۵ درصد و بیشتر باشد، نشان‌دهنده ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده ساختار متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار ضعیف برای متغیر مورد بررسی است (۱۷). بر همین اساس اسیدپته خاک در هر سه لایه مورد بررسی دارای ساختار مکانی متوسط، ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن خاک فاقد ساختار مکانی (اثر قطعه‌ای خالص)، ترسیب کربن در دو لایه بالایی دارای ساختار مکانی ضعیف و در لایه سوم دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد.

متوسط را برای اکثر مشخصه‌های خاک این گونه اکوسیستم‌ها پیش‌بینی نمود. هم‌چنین انتظار می‌رود در توده‌های جنگلی خالص و یا جنگل‌کاری‌ها که اغلب سطوح همگن‌تری را تشکیل می‌دهند و تغییرات خصوصیات خاک در آنها بیشتر وابسته به بعد فواصل و مکان است تا عوامل دیگر، استفاده از روش زمین‌آمار نتیجه‌بخش باشد (۱). به هر حال، در این تحقیق تلاش گردید تا برخی پتانسیل‌ها و کاربردهای تکنیک زمین‌آمار در فرآیند نتیجه‌گیری دقیق از مطالعات خاک‌های جنگلی نشان داده شود. کلام آخر آن‌که، وجود آشفتگی‌ها و بی‌نظمی‌ها در اکوسیستم‌های جنگلی منجر به تغییرپذیری مشخصه‌های خاک در سطوح کوچک و یا زیاد می‌شود که از آن به عنوان تنوع خاک یاد می‌کنند. تنوع را می‌توان به عنوان ویژگی و خصوصیت یک سیستم یا جامعه طبیعی و سازمان‌یافته در نظر گرفت و یا اینکه از آن به عنوان یک ویژگی مهم مرتبط با فرآیندهای طبیعی و زیستی در سیستم مورد نظر یاد نمود. چنین توصیف و طرز تلقی از مفهوم تنوع موجب می‌گردد که بتوان از آن به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم سیستم‌هایی همچون خاک، چشم‌انداز و یا خاک-چشم‌انداز به جهت درک بهتر آن سیستم‌ها و چگونگی کارکردهای تکاملی و تحولی آنها استفاده کرد. در همین راستا از دهه ۱۹۹۰ میلادی پیشنهاد استفاده از مفهوم تنوع در علوم خاک، تحت عنوان تنوع خاک (Pedodiversity or Soil diversity) توسط برخی از محققان ارائه گردید و جزء جدیدترین مباحث پدومتری است که امروزه در علوم خاک به آن توجه زیادی می‌شود (۱۲).

خصوصیات خاک را نمی‌توان صرفاً به بعد مکانی نسبت داد. به بیان ساده‌تر، به‌کارگیری زمین‌آمار به منظور بررسی تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک توده‌های جنگلی آمیخته چندان توجیهی ندارد، چنانچه تصور می‌گردد در سایر اکوسیستم‌های جنگلی شمال کشور نیز چنین عوامل تأثیرگذاری حاکم باشند و عموماً می‌توان پیشنهاد داد که مشخصه‌های خاک در جنگل‌های هیرکانی ایران، دارای ساختار مکانی بالایی نمی‌باشند.

از آنجایی که زمین‌آمار براساس نظریه متغیر ناحیه‌ای بنا نهاده شده است. نظریه‌ای که اصل را بر تغییرات پیوسته مکانی متغیرها بنا می‌نهد و این واقعیتی است که در جنگل‌های ناهمسال و کوهستانی شمال کشور اتفاق می‌افتد و تغییرات بیشتر حالت تناوبی دارند. ساختار مکانی پایین شاخص داده‌های جنگلی است، زیرا در جنگل‌های دخالت شده در اثر عوامل طبیعی و مصنوعی، عملیات قطع و برش، جاده‌سازی و سایر دخالت‌های انسانی و نیز عوامل طبیعی نظیر طوفان و بادافتادگی درختان، آتش‌سوزی در جنگل و حمله آفات و امراض، انقطاعی را در روند تغییرات تدریجی متغیرهای جنگل به‌وجود می‌آورند که آنها را مناسب مطالعات زمین‌آمار نمی‌سازد، درحالی‌که زمین‌آمار مناسب برآورد متغیرهایی است که به‌طور پیوسته پراکنده شده باشند. در نتیجه روش زمین‌آمار با ساختار ناهمگن جنگل ناهمسال و کوهستانی همخوانی نداشته است که این موضوع در تحقیق اخوان و همکاران (۱) نیز اشاره شد. با این تفاسیر می‌توان ساختار مکانی ضعیف تا

منابع مورد استفاده

۱. اخوان، ر.، م. زبیری، ق. زاهدی‌امیری، م. نمیرانیان و د. ماندالاز. ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار. مجله منابع طبیعی ایران. ۵۹: ۸۹-۱۰۲.
۲. ایوبی، ش.، س. محمدزمانی و ف. خرمالی. ۱۳۸۶. برآورد مقدار ازت خاک به کمک مقدار ماده آلی و با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ-رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی سرخنکلاته استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۴: ۹۸-۱۰۸.
۳. بی‌نام، ۱۳۸۱. طرح جنگل‌داری آغوزچال (سری ۳). اداره کل منابع طبیعی استان مازندران-نوشهر، ۳۲۸ صفحه.

۴. تاجگردان، ت. ش. ایوبی، ف. خرمالی و ش. شتایی. ۱۳۸۶. بررسی تغییرپذیری مکانی و همبستگی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی به کمک تکنیک زمین‌آمار (مطالعه موردی: بخشی از اراضی شمال آق‌قلا). مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ۴ تا ۶ شهریورماه ۱۳۸۶، صفحات ۲۷۱ و ۲۷۲.
۵. حبشی، ه. ۱۳۸۶. ارتباط ویژگی‌های خاک با الگوی پراکنش درختان و گروه‌های درختی در راشستان‌های آمیخته شصت‌کلاته گرگان. رساله دکتری جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹ صفحه.
۶. حسینعلی‌زاده، م. ش. ایوبی و ش. شتایی. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در برآورد برخی خصوصیات خاک سطحی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مهر سبزوار)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۳: ۳۴ - ۴۵.
۷. رحمانی، ر. و ح. زارع‌مایوان. ۱۳۸۲. بررسی تنوع و ساختار اجتماع بی‌مهرگان خاکریز در تپ‌های جنگلی راش، ممرز و بلوط-ممرز. مجله منابع طبیعی ایران ۵۶: ۴۲۵ - ۴۳۷.
۸. زمانی، س. ش. ایوبی و ف. خرمالی. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخندکلاته استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۰: ۷۹ - ۹۱.
۹. سکوتی‌اسکوئی، ر. م. ح. مهدیان، ش. محمودی و ا. قهرمانی. ۱۳۸۶. مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آمار برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه موردی دشت ارومیه. نشریه پژوهش و سازندگی ۷۴: ۹۰ - ۹۸.
۱۰. غازان‌شاهی، ج. ۱۳۷۶. آنالیز خاک و گیاه. انتشارات هما، ۳۱۱ ص.
۱۱. محمدی، ج. ۱۳۸۰. مروری بر مبانی ژئواستاتستیک و کاربرد آن در خاک‌شناسی. مجله خاک و آب ۱۵: ۹۹ - ۱۲۱.
۱۲. محمدی، ج. ۱۳۸۷. پدومتری (تجزیه و تحلیل عوارض زمین). انتشارات پلک، جلد ۱۰، تهران، ۴۳۰ صفحه.
۱۳. محمودی‌طالقانی، ع. ق. زاهدی‌امیری، ا. عادل و خ. ثاقب‌طالبی. ۱۳۸۶. برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گل‌بند در شمال کشور). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵: ۲۴۱ - ۲۵۲.

14. Akhavan, R., GH. Zahedi Amiri and M. Zobeiri. 2010. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. *Caspian J. Environ. Sci.* 8: 43 - 53.
15. Bocchi, S., A. Castrignano, F. Fornaro and T. Maggio. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. *Eur. J. Agric.* 13: 295 - 308.
16. Freeman, E. A. and G. G. Moisen. 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. *Environ. Mon. Assessment.* 128: 395 - 410.
17. Ganawa, E. S. M. and A. R. Mohammad Sharif. 2003. Spatial variability of total nitrogen and available phosphorus of large rice field in Swah Sepadan Malaysia. *Sci. Asia J.* 29: 7 - 12.
18. Gomoryova, E., K. Strelcova, J. Skvarenina, J. Bebej and D. Gomory. 2008. The impact of wind throws and fire disturbances on selected soil properties in the Tetra National Park. *Soil Water Res.* 3: 574 - 580.
19. Kooch, Y. and S. M. Hosseini. 2010. Response of earthworm's biomass and diversity to windthrow events and soil properties in Hyrcanian forests of Iran. *Folia Ecol.* 37: 181-190.
20. Kooch, Y., S. M. Hosseini and M. Akbarinia. 2008. The ecological effects of pit and mounds created by a windthrow on understory of hyrcanian forests. *J. Silva Balcanica.* 9: 13 - 28.
21. Phillips, J., D. A. Marion and A. V. Tukington. 2008. Pedologic and geomorphic impacts of a tornado blowdown event in a mixed pine - hardwood forest. *Catena.* 75: 278 - 287.
22. Samonil, P., L. Antolik, M. Svoboda and D. Adam. 2009. Dynamics of windthrow events in a natural fir - beech forest in the Carpathian Mountains. *For. Ecol. Manage.* 257: 1148 - 1156.
23. Scahnenbroch, B. C. and J. G. Bockheim. 2007. Pedodiversity in an old - growth northern hardwood forest in the Huron Mountains, Upper Peninsula, Michigan. *Can. J. For. Res.* 37: 1106 - 1117.
24. Zahedi Amiri, GH. 2004. Spatial variability of carbon sequestration in ectorganic and endorganic soil layers at two different forest types, Improvement and Silviculture of Beech, Proceeding from the 7th International Beech Symposium, IUFRO Research Group 1.10.00, 10 - 20 May 2004, Tehran, Iran, pp: 159 - 168.

An Investigation in to Spatial Structure of Soil Characteristics in a Beech Forest Stand Using Geostatistical Approach

Y. Kooch^{1*}, S. M. Hosseini¹, J. Mohammadi² and S. M. Hojjati³

(Received : Nov. 16-2010 ; Accepted : Nov. 4-2011)

Abstract

To investigate spatial variability of soil characteristics in the most valuable forest stands in the northern Iran using geostatistical approach, a twenty hectare area in Experimental Forest Station of Tarbiat Modares University was considered. Soil samples were taken from pits, mounds, canopy gaps, under single trees and closed canopy positions at 0 - 15, 15 - 30 and 30 - 45 cm depths using core soil sampler (81cm² cross section). pH and organic matter were measured in the laboratory, and then carbons to nitrogen ratio and carbon sequestration were calculated. Spatial variability for soil characteristics revealed anisotropic variogram due to the same variability of surface variogram in different depths. pH in all the depths and carbon sequestration in 30 - 45cm depth showed exponential model whereas the other soil characteristics resulted in a linear model in different layers. The results of spatial structure showed pH with medium structure in all the depths, organic matter and carbon to nitrogen ratio with pure nugget effect (non structure), carbon sequestration in 0 - 30cm depth with weak structure and 30 - 45cm depth with medium spatial structure.

Keywords: Carbon sequestration, Variogram, Soil diversity, Natural forest.

1. PhD. Grad. and Assoc. Prof. of Forestry, Respectively, Tarbiat Modares Univ., Noor, Iran.

2. Assoc. Prof. of Soil Sci., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

3. Assis. Prof. of Sari Agric. and Natur. Resour. Univ., Sari, Iran.

*: Corresponding Author, Email: yahya.kooch@yahoo.com