نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۶۹-۱۱۵۸

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1158-1169

ارتباط تغییرات مکانی تنوع زیستی جانداران درشت خاکزی و تاج پوشش درختان در جنگل‌های حاشیه رودخانه مارون

احسان صیاد[1*]- شایسته غلامی[2]- محمدرضا عسکرپور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۶

چکیده

با توجه به نقش مهم ماکروفون خاک در عملکرد اکوسیستم، تعیین فاکتورهای تأثیرگذار روی توزیع این جانداران خاکزی از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق جهت بررسی ارتباط مکانی تنوع زیستی جانداران درشت خاکزی و تاج پوشش درختان در جنگل‌های حاشیه رودخانه مارون انجام گرفت. جانداران خاکزی با استفاده از ۱۷۵ نقطه نمونه به ابعاد ۵۰ سانتی‌متر *۵۰ سانتی‌متر و در عمق ۱۰- ۰ سانتی‌متر به روش دستی، روی ترانسکت‌هایی موازی با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر و عمود بر رودخانه، نمونه‌برداری شدند. فاصله قطعه نمونه‌های ماکروفون از یکدیگر بر روی ترانسکت‌ها ۵۰ متر انتخاب گردید. همچنین درصد تاج پوشش کل و درصد تاج پوشش پده، گز و سریم در قطعه نمونه‌هایی به ابعاد ۵ متر × ۵ متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. شاخص‌های تنوع Shannon H، یکنواختی Sheldon و غنای Menhinick در مورد جانداران خاکزی محاسبه شدند. سپس متغیرهای مورد نظر با استفاده از روش‌های زمین‌آماری مورد تحلیل قرار گرفتند. تاج پوشش کل، پده، سریم و شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی دارای الگوی توزیع مکانی مشخص با مدل نمایی بودند. دامنه تأثیر شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی و تاج پوشش کل و پده نزدیک به هم و ساختار مکانی این متغیرها یکسان و به صورت مدل نمایی است. تحلیل همبستگی نیز ارتباط مثبت ویژگی‌های مورد بررسی را تأیید می‌نماید. بنابراین می‌توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی تاج پوشش درختان و بویژه گونه پده، الگوی پراکنش تنوع جانداران خاکزی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: ارتباط مکانی، جانداران خاکزی، واریوگرام، واریوگرام دوجانبه

مقدمه

جنگل‌های واقع در حاشیه رودخانه، جوامع گیاهی پیوسته و یکی از پویاترین بخش‌های سیمای سرزمین هستند (۳۵). از آن‌جا که پایداری پوشش گیاهی در این جنگل‌ها، نقش حیاتی در حفظ بوم‌سازگان دارد احیا و مدیریت آن برای پایداری عملکرد بوم‌سازگان ضروری است (۱۱). از طرفی برای آگاهی در مورد عملکرد این سیستم‌های بوم‌شناختی و احیا و مدیریت پوشش گیاهی، بررسی تنوع زیستی خاک با تمرکز روی جانداران درشت خاکزی که نقش عمده را در عملکرد بوم‌سازگان بازی می‌کنند بهترین گزینه خواهد بود (۴). بر اساس تحقیقات، مدیریت مناسب تنوع زیستی خاک روی تولید و بهبود عملکرد جنگل‌ها اثر بسیار مهمی دارد (۶).

گروه مهمی از جانداران خاکزی، ماکروفون خاک هستند که از اهمیت بسیار در چرخه مواد غذایی و انرژی برخوردارند و اثرات مهمی روی پویایی مواد آلی و روند تجزیه در خاک دارند (۴ و ۲۴). کرم‌های خاکی، مورچه‌ها و موریانه‌ها، فون‌های غالب در اکوسیستم جنگل می‌باشند (۱۹). با توجه به نقش مهم ماکروفون خاک در عملکرد اکوسیستم، تعیین فاکتورهای تأثیرگذار روی تنوع و توزیع این جانوران از اهمیت زیادی برخوردار است (۲۴). جانداران خاکزی، الگوهای پراکنش مکانی پیچیده‌ای در مقیاس‌های مختلف مکانی دارند (۳۰) که توسط فاکتورهای زیادی کنترل می‌شوند.

از میان عوامل مختلف، توزیع جانوران خاکزی از پوشش گیاهی تأثیر زیاد می‌پذیرد (۲۰). گیاهان از طریق چندین مکانیسم بر روی جانداران خاک موثر هستند (۳۷). این مکانیسم‌ها شامل بازگشت لاشبرگ به خاک، تغییر و اصلاح ساختار خاک و تولید مواد مغذی می‌باشند (۱۲). همچنین گونه‌های درختی مختلف از طریق تاثیر بر زیستگاه‌های کوچک و شرایط زندگی از قبیل ایجاد پوشش علفی و لاشبرگ بر ماکروفون خاک تاثیر می‌گذارند (۳).

به طور کلی، پوشش گیاهی به صورت مستقیم و غیرمستقیم

۱ و ۲- استادیاران گروه منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: (Email: ehsansaiad@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

برای جانداران یک رویشگاه منابع غذایی فراهم می‌کند. طبق تحقیقات به عمل آمده، اثر توزیع گیاهان روی توزیع مکانی جمعیت بندپایان خاک بیان شده است (۷). در تحقیق دیگری اثر تاج پوشش روی جمعیت بی‌مهرگان بزرگ خاک در دو توده جنگلی توسط ابرت و همکاران (۲) بررسی شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که تاج پوشش درختان، بر تنوع ماکروفون تاثیر می‌گذارد. همچنین تأثیر الگوی مکانی توزیع پوشش گیاهی روی تنوع زیستی ماکروفون خاک توسط ماتیو و همکاران (۲۵) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که با کاهش تراکم پوشش گیاهی، تنوع جانداران خاکزی کاهش می‌یابد. به هر حال، اگر پوشش گیاهی روی جمعیت ارگانیسم‌های خاکزی تاثیر می‌گذارد می‌تواند روی الگوی توزیع مکانی آن‌ها نیز مؤثر باشد (۲۰). آنالیز تغییرات مکانی، عامل مهمی برای فهم عملکرد اکوسیستم می‌باشد (۲۳).

در سال‌های اخیر جهت تجزیه و تحلیل این‌گونه داده‌های مکانی از مجموعه ابزارهای آماری که توانایی به‌کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند استفاده می‌شود. این مجموعه‌ی آماری را آمار مکانی می‌نامند. زمین آمار شاخه‌ای از آمار مکانی، مبتنی بر نظریه‌ی متغیر ناحیه‌ای است که در آن علاوه بر مقدار کمیت، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و به همین دلیل می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با کمیت مورد نظر به صورت یکجا مورد تحلیل قرار داد (۱۵ و ۳۰). به دلیل نادیده گرفتن موقعیت مکانی داده‌ها در آمار کلاسیک، ممکن است بعضی از ساختارهای موجود خود را بروز ندهند. در حالی‌که با توجه به سنجش موقعیت فضایی نمونه‌ها در ژئواستاتیستیک، بسیاری از ساختارهای پنهان که تابع فاصله‌ی زمانی یا مکانی هستند به وسیله‌ی ابزارهای معمول در ژئواستاتیستیک (واریوگرام) خود را آشکار می‌سازند (۱۸). محققان بسیاری جهت تحلیل الگوی مکانی ماکروفون خاک از روش‌های زمین‌آماری بهره جسته‌اند (۱۶، ۱۷ و ۲۰).

میزان و نحوه ارتباط ماکروفون خاک با درختان برای بسیاری از محققین مورد سوال بوده است. اما این در حالی است که بیشتر پژوهش‌های گذشته (۱۳، ۱۴ و ۳۳) ماکروفون خاک را در ارتباط با ویژگی‌های خاک و لاشبرگ مورد مطالعه قرار داده‌اند و ویژگی‌های جنگل‌شناسی آنها کمتر مورد توجه قرار داده‌اند. لذا اهداف این تحقیق، تجزیه و تحلیل ساختار مکانی تنوع ماکروفون خاک، تاج پوشش درختان و بررسی ارتباط مکانی آنها در جنگل‌های طبیعی حاشیه رودخانه مارون است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در حاشیه رودخانه مارون واقع در شهرستان بهبهان در جنوب شرقی استان خوزستان و در طول جغرافیایی ″۵۳ ′۳۸ °۳۰ تا ″۳۸ ′۳۹ °۳۰ و عرض جغرافیایی ″۳۷ ′۹ °۵۰ تا ″۲۵ ′۱۰ °۵۰ قرار دارد. مساحت این منطقه ۶۵ هکتار و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر است. میانگین بارش سالانه ۳۵۰/۰۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۴/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. پوشش غالب این جنگل‌ها، پده (*Populus euphratica* Olivier)، گز (*Tamarix arceuthoides* Bge.) و سریم (*Lycium shawii* Roemer & Schultes) می‌باشد.

در این تحقیق تعداد ۱۷۵ قطعه نمونه بر روی ترانسکت‌هایی با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر و عمود بر رودخانه برای جمع‌آوری ماکروفون خاک واقع شدند. فاصله قطعه نمونه‌های ماکروفون از یکدیگر ۵۰ متر انتخاب گردید. سپس ماکروفون خاک در قطعه نمونه‌هایی با ابعاد ۵۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر، در عمق ۱۰- ۰ سانتی‌متری خاک و به روش دستی جمع‌آوری شدند (۱۷). جانداران پس از انتقال به آزمایشگاه، تا سطح خانواده شناسایی و تعدادشان ثبت شد (۶). سپس شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی شامل یکنواختی (شاخص Sheldon) از رابطه (۱)، تنوع (شاخص Shannon H′) از رابطه (۲) و غنا (شاخص Menhinick) از رابطه (۳) با نرم افزار PAST 1.39 محاسبه شدند. اندازه‌گیری معیارهای غنا، یکنواختی و تنوع توسط شاخص‌هایی صورت می‌گیرد که مهم‌ترین آنها شاخص‌های ذکر شده می‌باشند (۲۷).

$$\text{Sheldon} = (e^{H}/S) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Shannon } H' = (\sum(p_i)(\ln p_i)) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{Menhinick} = (s/\sqrt{n}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه‌ها n تعداد افراد، P نسبت تعداد یک گونه به کل گونه‌ها و S تعداد گونه است. همچنین درصد تاج پوشش کل، درصد تاج پوشش پده، درصد تاج پوشش گز و درصد تاج پوشش سریم مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری این پارامترها قطعه نمونه‌هایی به ابعاد ۵ متر × ۵ متر پیاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

توصیف آماری داده‌ها به منظور دست‌یابی به خلاصه اطلاعات آماری هر ویژگی، با استفاده از نرم افزار SPSS 17 انجام گرفت. شاخص‌های آماری میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات و چولگی برای هر متغیر تعیین شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. علاوه بر آن ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های تنوع جانداران خاکزی و تاج پوشش گونه های درختی پده و گز و درختچه‌های سریم تعیین گردید.

قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری، ناهمسانگردی هر

متغیر با ترسیم واریوگرام رویه‌ای مورد بررسی قرارگرفت (۲۶). سپس جهت بررسی الگوی مکانی متغیرها واریوگرام آنها ترسیم شد. برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آنها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس، برای تمام موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف تحت عنوان واریوگرام به صورت معادله (۱) محاسبه گردید:

$$\gamma(h) = 1/2N(h)\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (۱)$$

که در آن، N(h) تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام (h)، Z(xi) مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و Z(xi+h) مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی i+h است.

برای دست‌یابی به اطلاعات در مورد ارتباط مکانی دو متغیر و مقایسه میزان شباهت ساختار مکانی آنها از واریوگرام دوجانبه استفاده شد (۲۲). چنانچه دارای دو متغیر Z1(X) و Z2(X) باشیم در این صورت واریوگرام دوجانبه را که رابطه و همبستگی بین این دو متغیر را به عنوان تابعی از فاصله h نشان می‌دهد می‌توان به صورت زیر (معادله ۲) بیان نمود:

$$\gamma(h) = (1/2)(1/N(h))\sum_{i=1}^{N(h)}[Z_u(X_i) - Z_u(X_i + h)].[Z_v(X_i) - Z_v(X_i + h)] \quad (۱)$$

که در آن Z_U متغیر اولیه، Zv کوواریانت یا متغیر ثانویه، Xi موقعیت نمونه‌ها، N(h) تعداد جفت‌ها جدا شده z(xi) و z(xi + h) در فاصله گام (h) است (۲۲). برای واریوگرام همچنین واریوگرام دو جانبه، سه پارامتر را می‌توان به صورت اثر قطعه‌ای، حد آستانه (سقف) و دامنه تاثیر بیان کرد. درجه وابستگی مکانی متغیرها بر اساس تقسیم واریانس اثرقطعه‌ای به حد آستانه (واریانس کل) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. چنانچه این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد همبستگی قوی، ۷۵- ۲۵٪ همبستگی متوسط و بیشتر از ۷۵٪ همبستگی ضعیف خواهد بود (۳۵).

بررسی همبستگی مکانی و تحلیل ساختار مکانی با استفاده از واریوگرام و واریوگرام دوجانبه، از طریق نرم افزار GS$^+$ 5.1 انجام شد. برای ارزیابی مدل برازش داده شده بر واریوگرام‌ها از معیار مجموع مربعات خطا (RSS) که باید دارای مقادیر کم باشد استفاده شد (۲۲). اعتبارسنجی واریوگرام‌ها بر اساس ضریب رگرسیون R^2 اعتبارسنجی که باید دارای مقادیر بالا باشد بررسی گردید. ارتباط بین جانداران خاکزی و تاج پوشش گونه‌های درختی از طریق آنالیز همبستگی و تجزیه و تحلیل‌های ژئواستاتیستیک انجام گرفت.

نتایج و بحث

در خاک منطقه مورد مطالعه جاندارانی از خانواده های خرخاکی‌ها، مورچه‌ها، عنکبوت‌ها، پادمان، صدپاها و سوسک‌ها مشاهده شدند (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین تعداد جاندارن خاکزی در پلات‌های منطقه مورد مطالعه

Table 1- Abundance Mean of Soil Macrofauna in Plots in Study Area

جانداران (Soil Macrofauna)	مورچه‌ها (Formicidae)	خرخاکی‌ها (Isopoda)	پادمان (Collembola)	هزارپاها (Chilopoda)	عنکبوت‌ها (Araneae)	سوسک‌ها (Coleoptera)	کرم خاکی (Earthworm)
میانگین تعداد در هر پلات Mean Number(in plot)	6.6	2.4	2	1.4	1.3	1.2	4.1

خلاصه آماری داده‌های درصد تاج پوشش گونه‌های درختی، یکنواختی (شاخص Sheldon)، تنوع (شاخص Shannon H') و غنای ماکروفون خاک (شاخص Menhinick) در جدول ۲ آمده است. نتایج حاصل از جدول خلاصه آماری و آزمون نرمال نشان داد که توزیع داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

اگرچه توزیع نرمال داده‌ها شرط لازم و ضروری پردازش‌های زمین‌آماری نمی‌باشد، لیکن در صورت نرمال بودن داده‌ها، تخمین‌های زمین‌آماری می‌توانند از دقت بالاتری برخوردار باشند (۲۸). به همین دلیل سعی بر نرمال کردن داده‌ها گردید. داده‌ها به صورت لگاریتم پایه طبیعی تبدیل شدند. با این حال، از آنجا که در بعضی نقاط نمونه‌برداری، مشاهدات صفر بودند تبدیل به صورت ((Ln (1+x)) انجام گرفت (۲۵ و ۳۲).

اما با مقایسه واریوگرام‌های متغیرها در دو حالت تبدیل شده و بدون تبدیل (داده‌های اصلی) مشخص شد که ساختار مکانی واریوگرام‌ها در حالتی‌که از داده‌های اصلی استفاده شود بهتر و دارای شکل هنجارتری است. همچنین از آنجا که هرگاه چولگی زیاد نباشد نیازی به تبدیل داده‌ها نیست. با توجه به مقادیر پایین که نمایانگر انحراف کم داده‌ها از توزیع نرمال است، همچنین نزدیک بودن میانگین و میانه آنها (جدول ۲) که باز هم می‌تواند بیانگر توزیع نسبتا نرمال آنها باشد (۲۹)، کلیه تحلیل‌های زمین‌آماری برحسب داده‌های اصلی صورت گرفت. در تحقیقات دیگری نیز محققان مختلف پس از برخورد با چنین وضعیتی از داده‌های اصلی استفاده کرده‌اند (۱).

چولگی تمامی شاخص‌های مورد بررسی تنوع زیستی جانداران خاکزی به غیر از یکنواختی، همچنین تاج پوشش کل و گونه‌های درختی به سمت راست می‌باشد که بیانگر آن است که این متغیرها در این جنگل‌ها، عمدتا در برگیرنده مقادیر کمتر هستند. میزان ضریب

تغییرات شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی و بخصوص تاج پوشش پده، گز و سریم، زیاد است. در نواحی حاشیه رودخانه، ویژگی-های خاک، روند تجزیه و محتوای غذایی بسیار متغیر است و در فواصل کوتاه، تغییرات زیادی رخ می‌دهد (۳۶) که می‌تواند عامل مهمی در افزایش ضریب تغییرات باشد.

همبستگی جانداران خاکزی با درصد تاج پوشش درختان

نتایج بیانگر این است که شاخص‌های تنوع جانداران خاکزی، همبستگی مثبت و معنی‌داری با تاج پوشش کل و تاج پوشش درختان پده و گز دارند. در حالی‌که با تاج پوشش سریم همبستگی معنی‌دار ندارند. یکنواختی و غنای جانداران خاکزی، همبستگی بیشتری با تاج پوشش درختان نشان دادند (جدول ۳).

جدول ۲- خلاصه آماری داده‌های غنا، یکنواختی و تنوع جانداران خاکزی، تاج پوشش کل، تاج پوشش گز، پده و سریم

Table 2- Statistical summary of evennes, Richness, diversity, Populus Canopy, Tamarix Canopy, Serim Canopy & Total Canopy

متغیر Variable	میانگین Mean	میانه Median	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات(٪) CV(%)	چولگی Skweness	حداکثر Max	حداقل Min
غنا Richness	0.68	0.71	0.51	75	0.36	1.73	0
یکنواختی Evenness	0.7	0.80	0.39	55.7	-1.1	1	0
تنوع Diversity	0.46	0.50	0.43	93.4	0.36	1.5	0
تاج‌پوشش کل(٪) Total Canopy	37	40	25.2	68.1	0.13	95	0
تاج‌پوشش پده(٪) *Populus* Canopy	17.3	15	21.1	122	1.1	40	0
تاج‌پوشش گز(٪) *Tamarix* Canopy	17	15	18.1	106.4	1.1	35	0
تاج‌پوشش سریم(٪) *Lysium* Caopy	1.3	0.9	4.1	315	1.1	19	0

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های تنوع جانداران خاکزی و تاج پوشش درختان

Table 3- Correlation coefficients (Pearson) between biodiversity indices of Soil Macrofauna and Canopy of Trees

شاخص‌های تنوع Diversity indices	تاج‌پوشش گز(٪) *Tamarix* Canopy	تاج‌پوشش پده(٪) *Populus* Canopy	تاج‌پوشش سریم(٪) *Lysium* Caopy	تاج‌پوشش کل(٪) Total Canopy
یکنواختی Evenness	0.31**	0.25**	0.09	0.45**
غنا Richness	0.32**	0.24**	0.04	0.4**
تنوع Diversity	0.23**	0.21**	0.03	0.28**

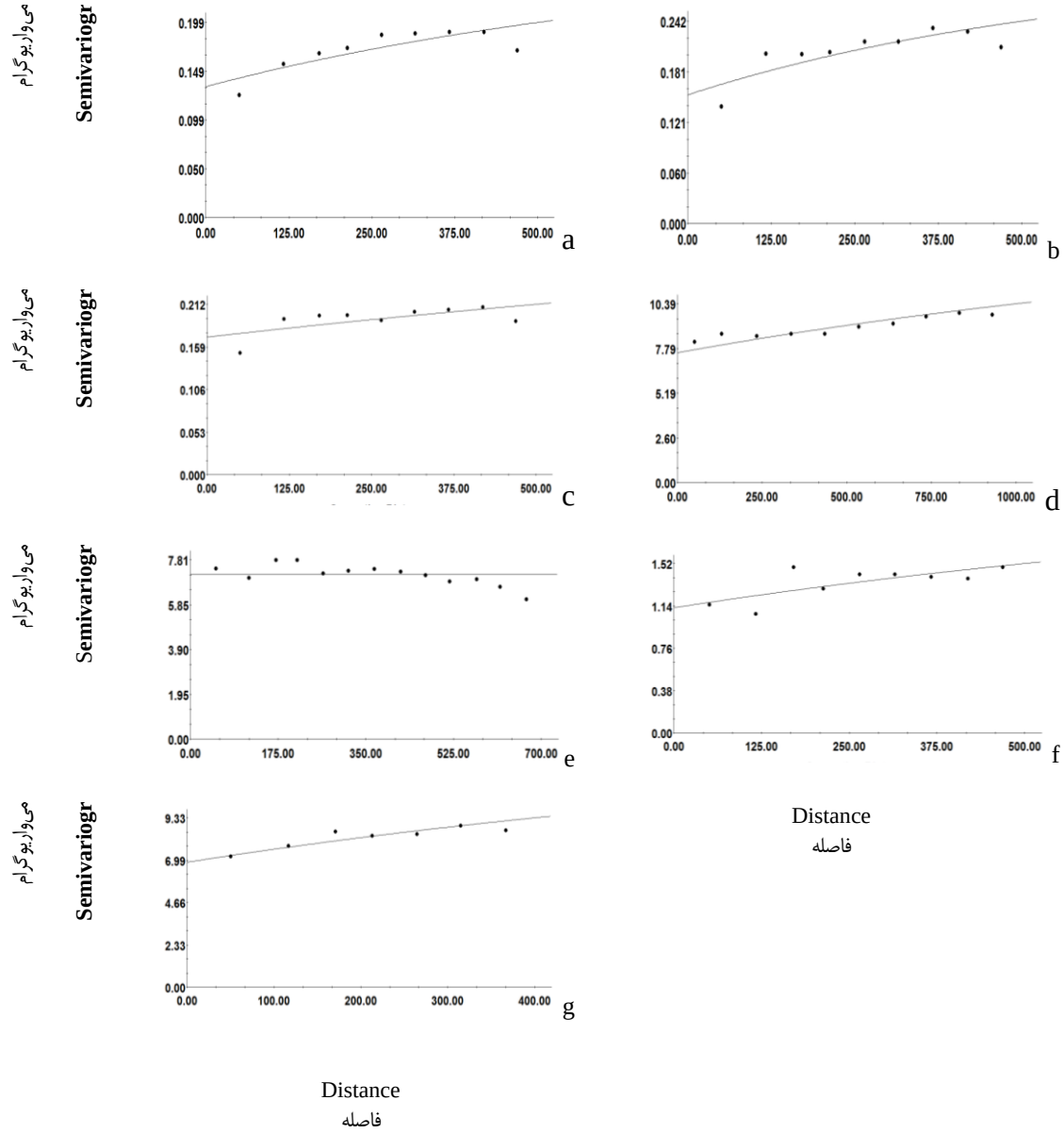
** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

**Significant at $p \leq 0.05$

ساختار تغییرات مکانی

واریوگرام

با بررسی واریوگرام‌های رویه‌ای، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نگردید. بنابراین، با توجه به همسانگرد بودن متغیرهای مورد بررسی، واریوگرام‌های همه‌جهته‌ی آنها تهیه و مدل مناسب برازش داده شد (شکل ۳). این واقعیت نمایانگر آن است که تغییرپذیری این متغیرها در جهات مختلف، یکسان است. این موضوع می‌تواند به دلیل تغییرات اندک عوامل موثر روی توزیع جمعیت جانداران خاکزی و پوشش گیاهی در جهات مختلف باشد (۱۰).



شکل ۱- واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده به داده‌های (a) یکنواختی، (b)غنا، (c) تنوع، (d) تاج پوشش پده، (e) تاج پوشش گز، (f) تاج پوشش سریم و (g) تاج پوشش کل

Figure 1- Experimental Variograms and the Models fitted to a: evenness, b: Richness, c: diversity, d: *Populus* Canopy, e: *Tamarix* Canopy, f: *Lysium* Canopy & g: Total Canopy

مقدار واریوگرام ($\gamma(h)$) به ازای فاصله (h) روی نمودارها آمده است. مطالعه این واریوگرام‌ها نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها در مورد همه متغیرها به غیر از تاج پوشش گز در سطح منطقه به گونه‌ای است که نشانگر وجود روند نمی‌باشد و واریوگرام‌ها حضور همبستگی مکانی را نشان می‌دهند. شایان ذکر است که الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های مورد بررسی همگی از مدل کروی تبعیت نموده‌اند. در تحقیق حاضر، میزان اثر قطعه‌ای در مورد تاج پوشش کل، تاج پوشش پده و تاج پوشش سریم ۴۹٪، یکنواختی (Sheldon) ۴۸٪، غنا (Menhinick) ۵۱٪ و تنوع (Shannon H') ۵۰٪ حد آستانه می‌باشد (جدول ۴). در تحقیق حاضر، جانداران خاکزی و تاج پوشش دارای همبستگی متوسط بودند و اثر قطعه‌ای در واریوگرام‌ها بخصوص در مورد تاج پوشش، بالاست.

دامنه تاثیر واریوگرام در مورد تاج پوشش کل، پده و سریم به ترتیب ۹۱۰ متر، ۲۱۱۰ متر، ۱۱۵۱ متر و برای یکنواختی، غنا و تنوع جانداران خاکزی، ۷۵۰ متر، ۵۹۳ متر و ۱۸۴۹ متر است (جدول ۴). دامنه تاثیر واریوگرام در مورد تاج پوشش پده، سریم و شاخص تنوع

جانداران خاکزی بیشتر از سایر متغیرهاست (جدول ۴). در واقع همبستگی مکانی مشاهدات این داده‌ها در فاصله بیشتری رخ می‌دهد که نشان دهنده یکسان بودن بیشتر شرایط در مورد آنهاست. دامنه تأثیر بزرگ دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش یکنواخت‌تر و در حقیقت پیوستگی مکانی بیش‌تر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد (۱۸). نتایج اعتبارسنجی، اعتبار ضعیف واریوگرام‌ها رانشان می‌دهد. همچنین مجموع مربعات خطا در مورد مدل‌های برازش داده شده نسبتا بالاست که بیانگر این است که ساختار مکانی بر اساس این مدل‌ها قوی نیست (۲۲).

جدول ٤- پارامترهای مدل برازش داده شده بر واریوگرام متغیرها، R^2 اعتبارسنجی: ضریب رگرسیون اعتبار مدل

Table 4- Parameters of variogram models for Variables, R^2 of cross-validation: regression coefficient, RSS: Residual Sum of Square

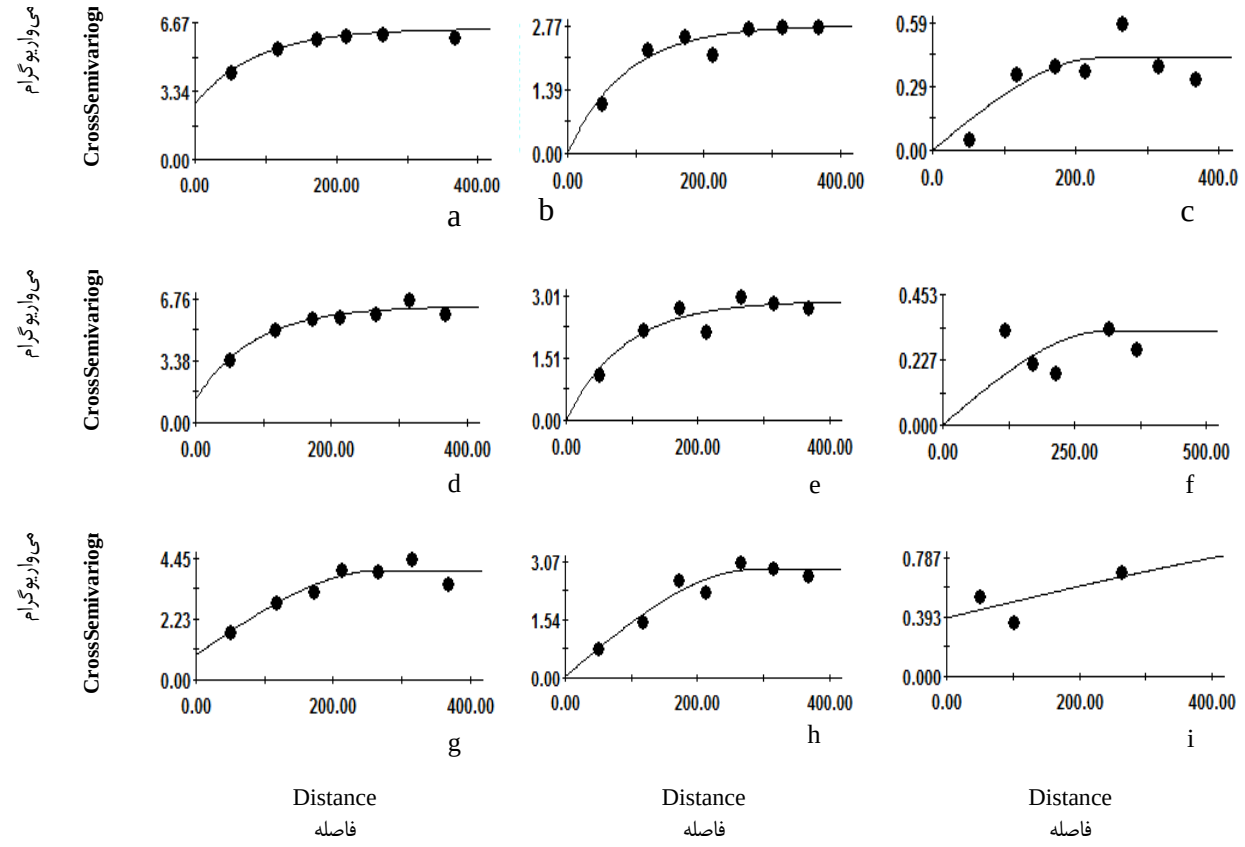
متغیر Vaiable	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget Effect	حد آستانه Sill	دامنه تاثیر (متر) Range (m)	اثر قطعه ای/ حد آستانه Nugget/Sill (%)	همبستگی مکانی Spatial Dependency	R^2 اعتبارسنجی R^2 of cross-validation	مجموع مربعات خطا RSS
تاج پوشش کل(٪) Total Canopy	نمایی Exponential	6.8	13.7	910	49.6	متوسط Modrate	0.002	0.59
تاج پوشش پده(٪) *Populus* Canopy	نمایی Exponential	7.5	15.08	2110	49.7	متوسط Modrate	0.002	1.1
تاج پوشش گز(٪) *Tamarix* Canopy	خطی Linear	7.16	7.16	-	-	-	0	-
تاج پوشش سریم(٪) *Lysium* Caopy	نمایی Exponential	1.12	2.25	1151	49.7	متوسط Modrate	0.001	0.08
یکنواختی Evenness	نمایی Exponential	0.13	0.27	750	48.1	متوسط Modrate	0.06	1.2
غنا Richness	نمایی Exponential	0.153	0.3	593	51	متوسط Modrate	0.04	2.1
تنوع Diversity	نمایی Exponential	0.17	0.34	1849	50	متوسط Modrate	0.004	1.3

با بررسی واریوگرام‌ها، شاخص تنوع جانداران خاکزی از نظر الگوی مکانی با تاج پوشش پده و سریم شباهت بسیار دارد. دامنه تأثیر آنها نزدیک و ساختار مکانی این متغیرها به صورت مدل نمایی می‌باشد. در بررسی همبستگی نیز رابطه تنوع با تاج پوشش درختان، معنی‌دار است. الگوی مکانی غنا و یکنواختی جانداران خاکزی، با تاج پوشش کل شباهت بیشتری دارد. دامنه تأثیر غنا (۵۹۳ متر) و یکنواختی (۷۵۰ متر) نزدیک‌تر به دامنه تأثیر تاج پوشش کل (۹۱۰ متر) است. تحلیل همبستگی نیز ارتباط مثبت و بیشتر این دو ویژگی جانداران خاکزی را با تاج پوشش کل تأیید می‌نماید.

واریوگرام دوجانبه

از آنجا که در مورد شاخص‌های تنوع ماکروفون خاک و تاج پوشش پده وسریم، ساختار و الگوی مکانی مشاهده شده است بنابراین در بررسی ارتباطات، تحلیل رابطه مکانی لازم و ضروری است (۲۱). در مورد تاج پوشش گز همبستگی مکانی در داده‌ها مشاهده نشد، بنابراین در بررسی واریوگرام‌های دوجانبه و تحلیل ارتباط مکانی، تاج پوشش گز نیامده است (شکل ۲).

در نتایج واریوگرام دوجانبه شاخص‌های تنوع زیستی ماکروفون خاک با تاج پوشش کل، پده، و سریم ارتباط مکانی دارند و همگی دارای الگوی توزیع منطبق بر مدل‌های سقف دار می‌باشند که بر اساس معیار مجموع مربعات خطا، بهترین مدل‌های برازش داده شده بر واریوگرام دوجانبه متغیرها، نمایی و کروی می‌باشند (جدول ۵). ارتباط مکانی شاخص‌های تنوع با گونه‌های پده و سریم قوی و با تاج پوشش کلی متوسط است. به طور کلی اثر قطعه‌ای در مورد آنها پایین بوده و در فاصله‌های کوچک ارتباط مکانی دارند. از آنجا که ماکروفون خاک دارای الگوی مکانی در دامنه‌های کوتاه‌تری هستند ارتباط مکانی آنها با تاج پوشش نیز در فاصله‌های کوچک‌تری بروز می‌کند این حالت به خصوص در مورد واریوگرام دو جانبه غنا و یکنواختی با تاج پوشش کل و پده رخ می‌دهد. اما واریوگرام دوجانبه هر سه شاخص ماکروفون با تاج پوشش سریم، ارتباط مکانی آنها در فواصل بیشتر را نشان می‌دهد (جدول ۵).



شکل ۲- واریوگرام های دوجانبه و مدل برازش داده شده به داده‌های (a) یکنواختی- تاج پوشش کل، (b) یکنواختی- تاج پوشش پده، (c) یکنواختی- تاج پوشش سریم، (d) غنا- تاج پوشش کل (e) غنا- تاج پوشش پده، (f) غنا- تاج پوشش سریم، (g) تنوع- تاج پوشش کل، (h) تنوع- تاج پوشش پده و (i) تنوع- تاج پوشش سریم

Figure 2- Cross-variograms between variables, a: Evenness- Total Canopy, b: Evenness- *Populous* Canopy, c: Evenness- *Lysium* Canopy, d: Richness- Total Canopy, e: Richness- *Populous* Canopy, f: Richness- *Lysium* Canopy, g: Diversity-Total Canopy, h: Diversity- *Populous* Canopy, i: Diversity- *Lysium* Canopy, R^2 of cross-validation: regression coefficient, RSS: Residual Sum of Square

از آنجا که پوشش گیاهی در وضعیت میکرواقلیم و میزان دسترسی به مواد غذایی تأثیر دارد، بنابراین توزیع مکانی ارگانیزم‌های خاکزی از پوشش گیاهی متأثر می‌شود (۲۰). مشابه با نتایج ما، ماتیو و همکاران (۲۴ و ۲۵) نتیجه گرفتند که تراکم پوشش گیاهی اثر عمده-ای روی جانداران خاکزی داشته است. به طوری‌که غنا و تنوع جانداران خاکزی با افزایش پوشش گیاهی، زیاد شده است که می‌تواند به دلیل ایجاد تغییرات در درجه حرارت محیط، کاهش تبخیر و تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باشد. در تحقیق دیگری کامپانا و همکاران نیز (۵) گزارش کردند که حضور و عدم حضور پوشش گیاهی و تغییرات آن، روی ترکیب جوامع کرم خاکی و غنای آن تأثیر می‌گذارد.

در همین راستا، سالرو (۳۴) و فراگوسو و همکاران (۹) نتیجه گرفتند که نوع گونه‌های درختی اثر معنی‌دار بر روی توزیع جمعیت کرم خاکی دارند و برخی از گونه‌های درختی تاثیر بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر بر الگوی توزیع کرم خاکی دارند. علاوه بر اینها دیهارونگ (۸) نیز بیان کرد که گونه‌های درختی مختلف بر روی ترکیب و فراوانی فون خاک تاثیرات متفاوتی می‌گذارند. غلامی و همکاران (۱۴) نیز در جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه به این نتیجه رسیدند که ماکروفون خاک با تراکم پوشش گیاهی همبستگی مثبت دارد. تاج‌پوشش درختان با لاشبرگی که به خاک بر می‌گردانند به طور مستقیم بر روی خاک تاثیر می‌گذارند. لذا به نظر می‌رسد که تاج پوشش درختان ممکن است به طور مستقیم و غیرمستقیم میکروکلیمای مناسبی را برای حضور جانداران خاکزی ایجاد کند.

جدول ۵- پارامترهای مدل برازش داده شده بر واریوگرام های دوجانبه متغیرها، R^2 اعتبارسنجی: ضریب رگرسیون اعتبار مدل

Table 5- Parameters of cross-variogram models for pairs of measured variables, R^2 of cross-validation: regression coefficient, RSS: Residual Sum of Square

متغیر Vaiable	مدل Model	اثر قطعه-ای Nugget Effect	دامنه تاثیر (متر) Range (m)	حد آستانه Sill	اثر قطعه ای/ حد آستانه Nugget/Sill (%)	همبستگی مکانی Spatial Dependency	R^2 اعتبارسنجی R^2 of cross-validation	مجموع مربعات خطا (RSS)
یکنواختی -تاج پوشش کل Evenness-Total Canopy	نمایی Exponemtial	2.7	87	6.3	43	متوسط Moderate	0.05	0.27
یکنواختی -تاج پوشش پده Evenness-*Populous* Canopy	نمایی Exponemtial	0.001	84	2.8	0.04	قوی Strong	0.08	0.24
یکنواختی -تاج-پوشش سریم Evenness-*Lysium* Canopy	کروی Spherical	0.001	233	0.42	0.23	قوی Strong	0.06	0.06
غنا-تاج پوشش کل Richness- Total Canopy	نمایی Exponemtial	1.31	87	6.4	20	متوسط Moderate	0.05	0.4
غنا-تاج پوشش پده Richness-*Populous* Canopy	نمایی Exponemtial	0.001	88	2.9	0.04	قوی Strong	0.08	0.38
غنا-تاج پوشش سریم Richness-*Lysium* Canopy	کروی Spherical	0.001	312	0.33	0.3	قوی Strong	0.06	0.12
تنوع-تاج پوشش کل Diversity-Total Canopy	کروی Spherical	0.92	269	4.01	20	متوسط Moderate	0.05	0.5
تنوع-تاج پوشش پده Diversity-*Populous* Canopy	کروی Spherical	0.04	286	2.8	0.03	قوی Strong	0.08	0.02
تنوع-تاج پوشش سریم Diversity-*Lysium* Canopy	کروی Spherical	0.39	910	1.03	0.3	قوی Strong	0.06	0.32

نتیجه‌گیری کلی

تاج پوشش گونه‌های پده و سریم و شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی در جنگل‌های حاشیه رودخانه مارون دارای الگوی توزیع مکانی مشخص با مدل نمایی هستند. با توجه به شباهت در دامنه تاثیر شاخص‌های تنوع زیستی جانداران خاکزی و تاج پوشش کل و تاج پوشش پده، ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین آنها و واریگرام دوجانبه این متغیرها، می‌توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی تاج پوشش درختان و به ویژه گونه پده، الگوی پراکنش جانداران خاکزی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. نتایج نشان داد که نه نتها تاج پوشش بلکه نوع گونه‌های درختی هم اثر معنی‌دار بر الگوی توزیع شاخص‌های تنوع جانداران خاکزی دارند. قطعا با توجه پیچیدگی زیاد عوامل تاثیر گذار بر توزیع ماکروفون در این منطقه بخش زیادی از تغییرات ماکروفون خاک هم‌چنان ناشناخته است که در پژوهش‌های آینده باید جستجو شوند.

منابع

1- Afshar H., Salehi M. H., Mohammadi J., and Mehnatkesh A. 2009. Spatial variability of soil properties and irrigated wheat yield in a quantitative suitability map, a case study: Shahr-e-Kian area, Chaharmahal va-Bakhtiari province. Journal of Water and Soil, 23(1): 161- 172. (in Persian with English abstract)

2- Aubert M., Hedde M., Decaens T., Bureau F., Margerie P., and Alard D. 2003. Effects of tree canopy composition on earthworms and other macro-invertebrates in beech forests of upper Normandy (France). Pedobiologia, 47: 904- 912.

3- Ayuke F. O., karanja N. K., Muya E. M., Musombi B. K., Mungatu J. and Nyamasyo G. 2009. Macrofauna a diversity and abundance across different Land use systems in Embu Kenya. Tropical and Sub-tropical Agroecosystems, 2009:371- 384.

4- Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics, 24(2): 269- 285.

5- Campana C., Gauvin S., and Ponge J.F. 2002. Influence of ground cover on earthworm communities in an unmanaged beech forest: linear gradient studies. European Journal of Soil Biolog, 38: 213- 224.

6- Coleman D.C., Crossley D.A., and Hendrix P.F. 2004. Fundamentals of Soil Ecology, Elsevier Academic Press, Newyork.

7- Dale M.R.T. 1999. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge University Press, London.

8- Deharveng L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: A case study in the Pyrenees (France). Conservation Biology, 10: 74– 84.

9- Fragoso C., Brown G.G., Parton J.C., Blanchart E., Lavelle P., Pashanasi B., Senapati B., and Kumar T. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and function agroecosystem in thetropics: the role of earthworms. Applied Soil Ecology, 6: 17- 35.

10- Gaston K. J., and Spice J. I. 1998. Biodiversity: an Introduction. Blackwell Science, MA, USA.

11- Giese L.A., Aust W.M., Trettin C.C., and Kolka R.K. 2000. Spatial and temporal patterns of carbon storage and species richness in three South Carolina coastal plain riparian forests. Ecological Engineering, 15: S157- S17.

12- Gillison A., Jones D., Susilo F., and Bignell D. 2003.Vegetation indicates diversity of soil macroinvertebrates:a case study with termites along a land-use intensification gradient in lowland Sumatra. Organisms Diversity & Evolution, 3: 111– 126.

13- Gholami Sh., Hosseini S.M., Mohammadi J., and Mahini A. S. 2011. Spatial variability of soil macrofauna Biomass and soil properties in riparian forest of Karkhe River. Journal of Water and Soil, 25(2): 248- 257. (in Persian with English abstract)

14- Gholami Sh., Mahini A. S., Hosseini S.M., Mohammadi J., and Sayad E. 2014. Study of the vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River in order to determine the buffer zone of the river. Applied Ecology, 7: 13- 25. (in Persian)

15- Goovaerts P. 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. Geoderma, 89: 1- 45.

16- Gonglanski K.B., Savin F.A., Pokarzhevskii A.D., and Filimonova, Z.V. 2005. Spatial distribution of isopods in an oak-beech forest. European Journal of soil Biology, 41: 117- 122.

17- Gonglanski K.B., Gorshkova I.A., Karpov A.I., and Pokarzhevskii A.D. 2008. Do boundaries of soil animal and plant communities coincide? A case study of a Mediterranean forest in Russia. European journal of soil biology, 44: 355– 363.

18- Hasani pak A. 1999. Geostatistics. Tehran University Publication. Tehran. (in Persian)

19- Islam M., Chowdhury N., and Osman K. 2009. Faunal population in some forest soils of Chittagong University Campus. World journal of Agricultural Sciences, 5(2): 259- 253.

20- Jimenez J.J., Rossi J.P., and Lavelle P. 2001. Spatial distribution of earthworm in acid-soil savannas of the eastern plains of Colombia. Applied Soil Ecology, 17: 267- 278.

21- Joschko M., Gebbers R., Barkusky D., Rogasik J., Hohn W., Hierold W., Fox C.A., and Timmer J. 2009. Location-dependency of earthworm response to reduced tillage on sand soil. Soil and Tillage Research, 102: 55- 66.

22- Katsaliro L., Deng Sh., Nofziger David L., Gerakis A., and Fuhlendorf S. D. 2010. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems. European Journal of Soil Biology, 46: 181– 189.

23- Leibhold A.M. and Gurevitch J. 2002. Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. Ecography, 25: 553- 557.

24- Mathieu J., Rossi J.P., Grimaldi M., Mora P., Lavelle P., and Rouland C. 2004. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. Biology and Fertility of Soil, 40: 300- 305.

25- Mathieu J., Grimaldi M., Jouquet P., Rouland C., Lavelle P., Desjardins T., and Rossi J.P. 2009. Spatial pattern of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. Soil Biology & Biochemistry, 41: 586- 593.

26- Mohmmadi J. 1999. Study of the spatial variability of soil salinity in ramhormoz area (Khuzestan) using geostatistical theory, 1. Kriging. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 2(4): 49- 63. (in Persian)
27- Mesdaghi M. Plane Ecology. 2005. Jahad Daneshgahi of Mashhad Publication, Mashhad. (in Persian)
28- Mohmmadi J. 2006. Pedometrics: Geostatistics. Pelk Publication, Tehran. (in Persian).
29- Mohmmadi J. 2006. Pedometrics: Classical Statistics (Univariate & Multivariate). Pelk Publication, 531 p. (in Persian).
30- Nielson D.R., and Wendroth O. 2003. Spatial and temporal statistics, sampling field soils and their vegetation. Geosciences Publishe.
31- Rossi J.P., Lavelle P., and Tondoh J.E. 1995. Statistical tool for soil biology X.Geostatistical analysis. European Journal of Soil Biology, 31(4): 173- 181.
32- Rossi J.P. 2003. Short-range structures in earthworm spatial distribution. Pedobiologia, 47: 582- 587.
33- Salamon J-F., Wissuwa J., Jagos S., and Koblmuller M. 2011. Plant species effects on soil macrofauna density in grassy arable fallows of different age. European Journal of Soil Biology, 47: 129- 137.
34- Sarlo M. 2006. Individual Tree Species Effects on Earthworm Biomass in a Tropical Plantation in Panama. Caribbean Journal of Science, 42: 419- 427.
35- Sun B., Zhou S., and Zhao Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma, 115: 85- 99.
36- Verry E.S., Hornbeck J.W., and Dolloff C.A. 2000. Riparian management in forests of the continental eastern United States. Lewis Publisher.
37- Wardle D. A. 2002. Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components. Princeton University Press.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1158-1169

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۱۶۹-۱۱۵۸

Spatial Structure of Soil Macrofauna Diversity and Tree Canopy in Riparian Forest of Maroon River

E. Sayad[1*]- Sh. Gholami[2]- M. R. Askarpur[3]

Received: 22-04-2015
Accepted: 07-12-2015

Introduction: Sustainability and maintenance of riparian vegetation or restoring of degraded sites is critical to sustain inherent ecosystem function and values. Description of patterns in species assemblages and diversity is an essential step before generating hypotheses in functional ecology. If we want to have information about ecosystem function, soil biodiversity is best considered by focusing on the groups of soil organisms that play major roles in ecosystem functioning when exploring links with provision of ecosystem services. Information about the spatial pattern of soil biodiversity at the regional scale is limited though required, e.g. for understanding regional scale effects of biodiversity on ecosystem processes. The practical consequences of these findings are useful for sustainable management of soils and in monitoring soil quality. Soil macrofauna play significant, but largely ignored roles in the delivery of ecosystem services by soils at plot and landscape scales. One main reason responsible for the absence of information about biodiversity at regional scale is the lack of adequate methods for sampling and analyzing data at this dimension. An adequate approach for the analysis of spatial patterns is a transect study in which samples are taken in a certain order and with a certain distance between samples. Geostatistics provide descriptive tools such as variogram to characterize the spatial pattern of continuous and categorical soil attributes. This method allows assessment of consistency of spatial patterns as well as the scale at which they are expressed. This study was conducted to analyze spatial patterns of soil macrofauna in relation to tree canopy in the riparian forest landscape of Maroon.

Materilas and Methods: The study was carried out in the Maroon riparian forest of the southeasternIran (30^{o} $38^{/}$- 30^{o} $39^{/}$ N and 50^{o} $9^{/}$- 50^{o} $10^{/}$ E). The climate of the study area is semi-arid. Average yearly rainfall is about 350.04 mm with a mean temperature of 24.5^{oc}. Plant cover, mainly comprises *Populus euphratica* Olivie and *Tamarix arceuthoides* Bge and *Lycium shawii* Roemer & Schultes. Soil macrofauna were sampled using 175 sampling point along parallel transects (perpendicular to the river). The distance between transects was 100m. We considered distance between samples as 50 m. tree canopy were measured in 5* 5 plots. soil macrofauna were extracted from 50 cm×50 cm×10 cm soil monolith by hand-sorting procedure. All soil macrofauna were identified to family level. Evenness (Sheldon index), richness (Menhinich index) and diversity (Shannon H' index) by using PAST version 1.39, were determined in each sample. Classical statistical parameters, i.e. mean, standard deviation, coefficient of variation, minimum and maximum, were calculated using SPSS17 software. For analysis of the relationship between Soil macrofauna diversity indices and tree canopy (Total canopy, Populous canopy, Tamarix canopy and Serim canopy) we calculated the correlation among soil properties and macrofauna using the Pearson correlation coefficient. Next, to determining the spatial structure, we calculated the semivariances. Semivariance quantifies the spatial dependence of spatially ordered variable values. In order to gather information about the spatial connection between any two variables, and to compare the similarity of their spatial structure patterns, cross-variograms were constructed. Cross-variograms are plots of cross-semivariance against the lag distance.

Results and Discussion: Soil macrofauna communities were dominated by earthworm, diplopods, coleoptera, gastropoda, araneae, and insect larvae. Correlation analysis of soil macrofauna and tree canopy indicated weak relationships between them. Weak, but significant relationships were found between macrofauna diversity, evenness, richness and total canopy, Populous canopy and Tamarix canopy (positive). Macrofauna indices and tree canopy(excepted Tamarix canopy) were spatially structured; the variograms revealed the presence of spatial autocorrelation. The variograms of variables especially tree canopy, were characterized by relatively large nugget values, which can be explained by sampling error, short range variability, random and inherent variability.Soil macrofauna diversity indices and tree canopy were moderately spatially dependent. Spatial similarity between variables, indicating potential relationships between macrofauna and tree canopy, was evaluated by cross-variograms for pairs of macrofauna indices and measured tree canopy. According to the cross-variograms, using RSS as criterion for model performance, macrofauna diversity were spatially closely

1 and 2- Assistant Professors, Faculty of Agriculture, Natural Resources Department, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: ehsansaiad@yahoo.com)
3- Msc. Student, Forestry Department, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

related to total tree canopy, Populus canopy. Spatial distribution of soil macrofauna may be influenced by factors like gradients in soil properties and vegetation cover structure. These factors together with intrinsic population processes constitute proximate controlling factors of population structure.

Conclusion: The relationship between macrofauna indices and tree canopy was further explored by means of spatial analyses. Macrofauna indices and tree canopy (excepted Tamarix canopy) were spatially structured. Tree canopy distribution is important for the spatial variability and structure of Soil macrofauna diversity.

Keywords: Cross semivariogram, Semivariogram, Soil macrofauna, Spatial relationship