



## تغییرات مکانی بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک در جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه

شایسته غلامی<sup>۱\*</sup> - سید محسن حسینی<sup>۲</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup> - عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱

### چکیده

بی‌مهرگان خاکزی تحت تاثیر عوامل محیطی بوده و الگوی توزیع آنها توسط این عوامل تعیین می‌شود. تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از مهم‌ترین دلایل تغییرپذیری ماکروفون خاک به شمار می‌رود. این تحقیق جهت بررسی میزان تغییرپذیری مکانی بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک در جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه انجام گرفت. ماکروفون خاک با استفاده از ۲۰۰ نقطه نمونه، روی خطوط (ترانسکت) موازی با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر و عمود بر رودخانه نمونه‌برداری شدند. فاصله ۵۰۰ متر به عنوان فاصله پایه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد اما در فواصل کمتر نیز به صورت سلسله‌مراتبی، تصادفی و هدف‌مدار، نمونه‌هایی جمع‌آوری شدند. نمونه‌برداری به روش دستی، در قطعات نمونه‌ای به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر تا عمق ۲۵ سانتی‌متری صورت گرفت. در هر نقطه نمونه روی ترانسکت‌ها با فاصله حداکثر ۱ متر از محل نمونه‌برداری ماکروفون، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری برداشت شدند. پس از اندازه‌گیری بایومس ماکروفون، بافت خاک، pH و هدایت الکتریکی اقدام به بررسی همبستگی مکانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (واریوگرام) و پهنه‌بندی با استفاده از کریجینگ بلوکی گردید. نتایج بیانگر آن است که همه متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سفدار می‌باشند. دامنه تاثیر بایومس ماکروفون، pH، EC، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس به ترتیب، ۱۸۰۰، ۱۵۳۶، ۲۹۶۴، ۲۱۰۰ و ۳۲۶۴ متر بود. نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند که بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک الگوی تصادفی نداشته و دارای الگوی مکانی می‌باشند. همچنین الگوی پراکنش مکانی بایومس ماکروفون، مشابه با الگوی پراکنش درصد سیلت و pH است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی مکانی، بایومس ماکروفون خاک، ویژگی‌های خاک، واریوگرام، کریجینگ بلوکی

### مقدمه

در بهبود حاصلخیزی خاک و تولیدات زمین و پایداری اکوسیستم (از طریق فرآیندهای بیولوژیک) نقش عمده دارند غفلت شده است (۶). در این میان ماکروفون خاک به عنوان دسته مهمی از جانداران خاکزی از اهمیت بسیار در چرخه مواد غذایی و انرژی برخوردارند و اثرات مهمی روی پویایی مواد آلی و روند تجزیه در خاک دارند (۶ و ۲۴). روسی (۲۹) بیان می‌کند که گونه‌های کرم خاکی از فاکتورهای مهم در دینامیک ساختار خاک هستند و توزیع جمعیت آنها می‌تواند اثر مهمی روی عملکرد اکوسیستم داشته باشد. برای آگاهی در مورد عملکرد اکوسیستم، بررسی توزیع جانداران خاکزی بهترین گزینه خواهد بود (۶). اطلاعات در مورد توزیع جمعیت ماکروفون خاک، بسیار محدود می‌باشد (۲۱). مطالعات انجام شده روی الگوی توزیع بی‌مهرگان خاکزی، هنوز به نتایج مشخصی نرسیده است. بنابراین، تحقیقات بیشتر برای ارزیابی فاکتورهای مؤثر روی توزیع این جانداران مورد نیاز است (۵).

الگوی توزیع بی‌مهرگان خاکزی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی بوده و توسط این عوامل تعیین می‌شود. تغییرپذیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از مهم‌ترین دلایل تغییرپذیری ماکروفون

اگر چه تا به امروز خاک‌ها به طور گسترده از لحاظ فیزیکی و شیمیایی مطالعه و دسته‌بندی شده‌اند اما مطالعه بیولوژیک در آنها کمتر مورد توجه بوده است که این غفلت، ناشی از نادیده گرفتن نقش موجودات زنده در تعیین ویژگی‌ها و عملکرد خاک است. این جانداران، اثر مستقیم و غیرمستقیم روی تولید و بهره‌وری زمین دارند (۶). جانداران خاکزی، در فرآیندهای خاک نقش مهمی داشته و در چرخه مواد غذایی و انرژی که رشد گیاهان به آن وابسته است عامل اصلی محسوب می‌شوند (۱۹). در حال حاضر، تنوع زیستی در اکوسیستم‌های خشکی، روبه کاهش است اگرچه در سطح بین‌المللی اقداماتی برای غلبه بر این تهدید انجام شده است. در مورد جانداران خاکزی نیز که از اجزای مهم و کلیدی در هر سیستم اکولوژیکی هستند (۳۵) و

۱- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(\*) نویسنده مسئول: (Email: mozhganhgohami@yahoo.com)

۳- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم محیط زیست، دانشگاه گرگان

در استان خوزستان می باشد. میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۳۲۵/۸ میلی‌متر و متوسط دمای هوا در آن، ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. پوشش غالب این جنگل‌ها، پده *Populus euphratica*، گز *Tamarix sp.* و سریم *Lycium shawii* می‌باشد.

رویکرد مورد استفاده در این پژوهش برای تحلیل الگوی مکانی، مطالعه به وسیله ترانسکت است که نمونه‌ها روی آن با نظم و فاصله معین واقع می‌شوند (۲۰ و ۲۱). برای انجام این تحقیق، نمونه‌برداری روی ترانسکت‌هایی موازی با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر و عمود بر رودخانه کرخه و در یک سمت آن انجام گرفت. فاصله ۵۰۰ متر به عنوان فاصله‌ی حداکثر و پایه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. اما برای دستیابی به تعداد جفت نمونه‌های زیادتر در چند فاصله (lag) اول که نقش تعیین‌کننده‌ای در رسم واریوگرام و تعیین پارامترهای آن دارند و در نهایت سبب تخمین دقیق‌تر کریجینگ می‌شوند، در فواصل کمتر (۱، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ متر) نیز به عنوان سلسله‌مراتبی در مقیاس نمونه‌برداری روی ترانسکت‌ها در محل‌های مختلف، به صورت تصادفی و هدف‌مدار، نمونه‌های ماکروفون خاک جمع‌آوری شدند. در کل، تعداد نمونه‌ها ۲۰۰ نمونه بود (شکل ۲). جمع‌آوری ماکروفون خاک (جاندارانی که با چشم دیده می‌شوند (۳۶)) به روش دستی، در قطعه نمونه‌هایی به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر تا عمق ۲۵ سانتی‌متر در اواخر زمستان که از لحاظ شرایط آب و هوایی و رطوبتی، مطلوب‌ترین شرایط برای فعالیت اکثر جانداران در این منطقه می‌باشد، انجام گرفت. بایومس ماکروفون خاک پس از انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

همچنین در هر نقطه نمونه‌برداری روی ترانسکت‌ها با فاصله حداکثر ۱ متر از محل نمونه‌برداری ماکروفون خاک، در سه نقطه مجزا زیر نمونه‌های خاک به وسیله اوگر (قطر ۷/۶ سانتی‌متر) از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک برداشت شدند که بعد از ترکیب با هم یک نمونه را برای اندازه‌گیری pH، هدایت الکتریکی و تعیین بافت خاک تشکیل دادند. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک شده و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. سپس اسیدیته خاک از طریق دستگاه pH متر الکترونیکی و به کارگیری مخلوط ۱:۱ خاک به آب مقطر اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی خاک (EC) در مخلوط ۱:۱ خاک به آب مقطر با دستگاه هدایت سنج الکترونیکی اندازه‌گیری شد. بافت خاک نیز با استفاده از روش هیدرومتری تعیین گردید (۷).

خاک به شمار می‌رود (۲۴).

یکی از خصوصیات مشترک عوامل و ویژگی‌های محیطی، تغییرات پیوسته مکانی آنها می‌باشد. چنین تغییرات متغیرهای محیطی از نقطه‌ای به نقطه دیگر، به گونه‌ای است که مطالعه آنها به وسیله روش‌های معمول تجزیه و تحلیل آماری به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. زیرا در بسیاری از روش‌های متداول آمار کلاسیک مانند تجزیه و تحلیل واریانس، موقعیت جغرافیایی و مکانی نمونه‌های برداشت شده از محیط در نظر گرفته نشده و در تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس این شیوه‌ها هیچ‌گونه ارتباط ریاضی بین تغییرات مکانی داده‌ها به عنوان تابعی از فاصله برقرار نمی‌شود. بنابراین جهت توصیف کمی الگوهای پراکنشی چنین متغیرهای محیطی، علاوه بر مقادیر تعیین شده خصوصیت مورد نظر می‌بایستی موقعیت جغرافیایی مشاهدات نیز به طور همزمان در نظر گرفته شود (۳). در سال‌های اخیر جهت تجزیه و تحلیل این‌گونه داده‌های مکانی از مجموعه ابزارهای آماری که توانایی به کارگیری هم‌زمان اطلاعات کمی و عددی متغیر مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند استفاده می‌شود. این مجموعه آماری را آمار مکانی می‌نامند. زمین آمار شاخه‌ای از آمار مکانی، مبتنی بر نظریه‌ی متغیر ناحیه‌ای است که رسالت اساسی آن، مدل‌سازی متغیرهای ناحیه‌ای در چهارچوب نظریه احتمال می‌باشد (۴) و به وسیله واریوگرام به عنوان ابزار بررسی کمی تغییرپذیری مکانی پدیده‌ها (۱۸)، الگوی مکانی مشاهدات را بررسی و با تکنیک درون‌یابی کریجینگ، بر مبنای همبستگی مکانی مشاهدات، مقادیر متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده پیش‌بینی و نقشه‌های تخمین را تهیه می‌کند (۱۷ و ۲۶). محققان بسیاری جهت تحلیل الگوی مکانی ماکروفون خاک از روش‌های زمین‌آماري بهره‌جسته‌اند (۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۸).

اهداف این تحقیق، تجزیه و تحلیل الگوی تغییرات مکانی بایومس ماکروفون خاک و ویژگی‌های خاک، تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی آنها با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و بررسی میزان تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و بایومس ماکروفون خاک در جنگل‌های طبیعی حاشیه رودخانه کرخه (پناهگاه حیات وحش کرخه) است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، پناهگاه حیات وحش کرخه (بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱° ۵۷' تا ۳۲° ۰۵' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸° ۴۸' تا ۴۸° ۱۶' شرقی) در محدوده جنگل‌های حاشیه رودخانه کرخه



بندی و تهیه نقشه‌های کریجینگ شد. بدین منظور، میان‌یابی به روش کریجینگ بلوکی با استفاده از نرم افزار SURFER 8 صورت گرفت (۱۴).

### نتایج و بحث

خلاصه آماری بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک در جدول ۱ آمده است. نتایج حاصل از این جدول و آزمون نرمال نشان داد که توزیع داده‌ها به جز pH خاک، از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. از آنجایی که بسیاری از تکنیک‌های زمین‌آماری در وضعیت نرمال داده‌ها بسیار موثرتر و کارآمدتر به پردازش داده‌های مکانی می‌پردازند، بنابراین اقدام به نرمال کردن داده‌ها گردید (۴). جهت نرمال کردن توزیع متغیرهایی که دارای انحراف از توزیع نرمال بودند، از تبدیل لگاریتم پایه طبیعی استفاده شد. اما از آنجا که در بعضی نقاط نمونه‌برداری در مورد بایومس ماکروفون خاک، مشاهدات صفر بودند تبدیل به صورت  $(Ln(1+x))$  انجام گرفت (۲۴، ۲۸ و ۳۰). میانگین بایومس ماکروفون خاک، ۳/۶ گرم در متر مربع است. میزان ضریب تغییرات این متغیر، زیاد می‌باشد (جدول ۱) در تحقیقات دیگر نیز (۳۰ و ۳۱) ضریب تغییرات بایومس ماکروفون خاک زیاد گزارش شده است که می‌تواند ناشی از ویژگی ذاتی متحرک بودن ماکروفون خاک باشد. این پارامتر در مورد هدایت الکتریکی خاک، بیشتر از سایر ویژگی‌های خاک است. کمترین ضریب تغییرات نیز در pH خاک دیده شد (جدول ۱). لازم به ذکر است پس از تبدیل داده‌ها در مورد همه متغیرها ضریب تغییرات کاهش یافت.

به منظور بررسی و مطالعه ساختار تغییرات مکانی داده‌های بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک، واریوگرام‌های تجربی پس از تبدیل داده‌ها (به جز pH خاک)، برای هر شاخص محاسبه و ترسیم شدند. با بررسی واریوگرام‌های روبه‌ای، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نگردید، که می‌تواند به دلیل تغییرات اندک فاکتورهای شکل دهنده ویژگی‌های خاک و همچنین عوامل موثر روی توزیع جمعیت ماکروفون خاک در جهات مختلف باشد (۱۲).

داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آن ضریب همبستگی پیرسون بین بایومس ماکروفون خاک و پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک تعیین گردید.

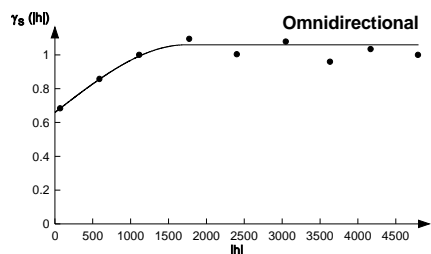
قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری، ناهمسانگردی هر متغیر با ترسیم واریوگرام روبه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (۳). برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آنها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس، برای تمام موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف تحت عنوان واریوگرام به صورت معادله (۱) محاسبه گردید:

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

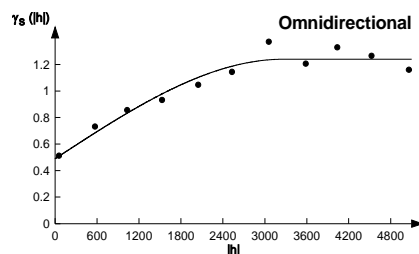
که در آن،  $N(h)$  تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام  $(h)$ ،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه  $i$  و  $Z(x_i+h)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی  $i+h$  است. برای واریوگرام ایده‌آل، سه پارامتر را می‌توان به صورت اثر قطعه‌ای، حد آستانه (سقف) و دامنه تاثیر بیان کرد. اثر قطعه‌ای، واریانس مؤلفه غیر ساختاری (تصادفی)، حد آستانه بیانگر تقریبی از واریانس کل و دامنه تاثیر تعیین کننده فاصله‌ای است که فراتر از آن هیچ همبستگی مکانی بین مشاهدات وجود ندارد. درجه وابستگی مکانی متغیرها بر اساس تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به حد آستانه (واریانس کل) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید. چنانچه این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد همبستگی قوی، ۲۵-۷۵ درصد همبستگی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد همبستگی ضعیف خواهد بود (۱ و ۳۳). بررسی همبستگی مکانی و تحلیل ساختار مکانی با استفاده از واریوگرام از طریق نرم افزار VARIOWIN 2.21 انجام شد (۲۷). اعتبارسنجی واریوگرام‌ها با استفاده از روش جک‌نایف برای تعیین مناسب‌ترین شعاع جستجو و تعداد نقاط همسایه برای به حداقل رساندن خطای تخمین کریجینگ به‌وسیله نرم‌افزار GEOEASE انجام شد (۳۲). با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، اریب (ME) و دقت (RMSE) محاسبه شد. خطای تخمین کریجینگ بایستی دارای میانگین صفر بوده و ریشه میانگین مجذور خطای تخمین، بایستی حتی الامکان کوچک باشد. معمولاً هر چه مقدار این دو شاخص کمتر باشد دقت روش بیشتر است. بعد از کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ و به دست آوردن مناسب‌ترین پارامترها جهت میان‌یابی متغیرها، اقدام به پهنه-

جدول ۱- خلاصه آماری بایومس ماکروفون خاک و ویژگی‌های خاک

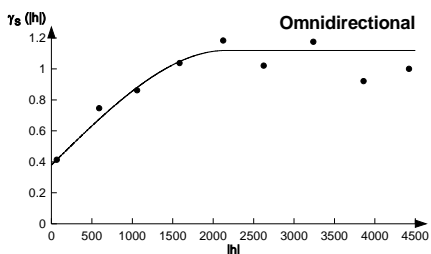
متغیر	میانگین	میانانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	حداقل	حداکثر	چولگی
بایومس (گرم در متر مربع)	۳/۶۲	۱/۳۱	۷/۳۴	۲۰۲	۰	۶۸	۵/۴۵
pH	۸/۰۷	۸/۰۸	۰/۲۶	۳/۲	۷/۳	۸/۸	-۰/۰۹۸
EC(dS/m)	۱۱/۲۵	۳/۲	۲۱/۲۸	۱۸۹	۰/۱۸	۱۲۸	۳/۱۷
شن (%)	۱۵/۲۴	۹/۶	۱۵/۹	۱۰۴	۰	۷۳	۱/۵۴
سیلت (%)	۴۹/۰۶	۵۲	۱۳/۱۵	۲۶	۱۱/۲۸	۷۷	-۰/۶۹
رس (%)	۳۵/۶۸	۳۳/۱۲	۱۳/۸	۳۸	۴/۴	۸۱/۸	۰/۷۸



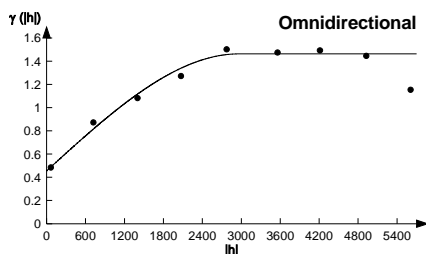
a



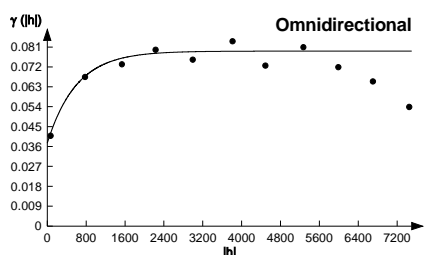
b



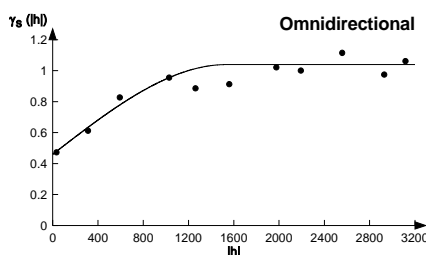
c



d



e



f

شکل ۳- واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده به داده‌های (a) بایومس ماکروفون، (b) درصد رس، (c) درصد سیلت، (d) درصد شن، (e) pH و (f) هدایت الکتریکی خاک

جدول ۲- پارامترهای مدل برازش داده شده بر واریوگرام‌های تجربی و معیارهای کنترل اعتبار کریجینگ بایومس ماکروفون خاک و ویژگی‌های خاک

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تاثیر (متر)	اثر قطعه‌ای / حد آستانه (%)	کلاس همبستگی	میانگین خطا (ME)	ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)
بایومس (گرم در متر مربع)	کروی	۰/۶۶	۱/۰۶	۱۷۲۸	۶۲	متوسط	۰/۲	۰/۴۵
pH	نمایی	۰/۰۳۷	۰/۰۷۸	۱۸۰۰	۴۷	متوسط	۶۵/۲	۸/۰۷
EC (dS/m)	کروی	۰/۴۶	۱/۰۴	۱۵۳۶	۴۴	متوسط	۳/۳	۱/۸
شن (%)	کروی	۰/۴۵۶	۱/۴۶۴	۲۹۶۴	۳۱	متوسط	۵/۷	۲/۳
سیلت (%)	کروی	۰/۳۸	۱/۱۲	۲۱۰۰	۳۴	متوسط	۱۴/۷	۳/۸
رس (%)	کروی	۰/۴۹	۱/۲۴	۳۲۶۴	۳۹	متوسط	۱۲/۲	۳/۴

شکل ۳ واریوگرام‌های تجربی به همراه مدل‌های برازش شده را نشان می‌دهد.

بنابراین با توجه به همسانگرد بودن متغیرهای مورد بررسی، واریوگرام‌های همه‌جهته‌ی آنها تهیه و مدل مناسب برازش داده شد.

۱۵۳۶ متر، درصد شن ۲۹۶۴ متر، درصد سیلت ۲۱۰۰ و درصد رس ۳۲۶۴ متر می باشد (جدول ۲). دامنه تأثیر واریوگرامها بزرگ است که دلالت بر ساختار مکانی گسترده تر، پراکنش یکنواخت تر و در حقیقت پیوستگی مکانی بیش تر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد (۲). به طور کلی دامنه واریوگرامها و همچنین پارامترهای دیگر آنها در متغیرهای مورد بررسی نسبتا مشابه است که بیانگر یکسان بودن شرایط توزیع و پراکنش ماکروفون و ویژگی های خاک در منطقه مورد مطالعه می باشد. اما همبستگی مکانی درصد شن خاک در فاصله بیشتری رخ می دهد که نشان دهنده یکسان بودن بیشتر شرایط در مورد این متغیر می باشد. بایومس ماکروفون خاک با برخی ویژگی های خاک، ارتباط مکانی نزدیک تری دارد. به خصوص دامنه تأثیر آن (۱۷۲۸ متر) با مدل کروی، نزدیک به دامنه تأثیر pH (۱۸۰۰ متر) با مدل نمایی و درصد سیلت (۲۱۰۰ متر) با مدل کروی است. ضریب همبستگی مثبت و معنی دار بین بایومس و درصد سیلت دلیل دیگری بر این تأثیر است. ضریب همبستگی بین بایومس ماکروفون خاک، pH، EC، درصد شن، سیلت و رس خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. همبستگی منفی و معنی دار بین بایومس و درصد رس و بایومس و EC وجود دارد (جدول ۳). بنابراین می توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی ویژگی های خاک مذکور، بایومس ماکروفون خاک را تحت تأثیر قرار می دهند. ویژگی های خاک از مهم ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر ویژگی های توزیع جمعیت ماکروفون خاک هستند (۲۱، ۲۲ و ۲۴). در این زمینه جاشکو و همکاران (۲۲) در بررسی ارتباط بین توزیع کرم خاکی و ویژگی های خاک بیان می کنند که تحلیل همبستگی به انتخاب مهم ترین فاکتورهای خاک که بر توزیع کرم خاکی تأثیر دارند کمک نموده و در آنالیزهای بعدی بسیار کاربردی است. آنها همچنین همبستگی بین بایومس ماکروفون خاک و بافت خاک (درصد رس) را گزارش کرده اند. از آنجا که بافت خاک محیط فیزیکی را برای ماکروفون خاک تعیین می کند، با وجود درصد سیلت به نسبت بیشتر، می توان گفت مواد غذایی و شرایط فعالیت برای این جانداران بهتر شده و بایومس آنها افزایش می یابد (۲۲). همبستگی منفی و معنی دار بین بایومس و EC می تواند به علت عدم حضور جانداران در شرایط شوری بیشتر باشد. همچنین همبستگی مثبت بین بایومس و pH وجود دارد (معنی دار نمی باشد) که مشابه با نتایج جاشکو و همکاران (۲۱ و ۲۲) می باشد.

نتایج حاکی از آن است که همه متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی همراه با مدل های سقف دار می باشند. واریوگرام pH خاک با مدل نمایی سازگاری دارد در حالی که بایومس ماکروفون خاک و سایر متغیرهای خاک از مدل کروی تبعیت می کنند. پارامترهای مربوط به هر کدام از این مدل ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

مطالعه این واریوگرامها نشان می دهد که توزیع داده ها در مورد همه فاکتورها در سطح منطقه به گونه ای است که نشانگر وجود روند در هر متغیر نمی باشد و واریوگرامها حضور همبستگی مکانی را نشان می دهند. روسی (۳۰) در مورد بایومس گونه های کرم خاکی ساختار مکانی مشخص و مدل کروی را مشاهده نمود. جاشکو و همکاران نیز (۲۱)، الگوهای مشخصی از نظر پراکنش مکانی در مورد بایومس کرم خاکی گزارش کرده اند.

میزان اثر قطعه ای در مورد بایومس ماکروفون خاک ۶۲ درصد، pH خاک ۴۷ درصد، EC ۴۴ درصد، مقدار شن ۳۱ درصد، سیلت ۳۴ درصد و رس ۳۹ درصد حد آستانه می باشد (جدول ۲). این نسبت در مورد بایومس ماکروفون خاک بیشتر از سایر متغیرها می باشد. در کل، متغیرهای مورد مطالعه دارای همبستگی متوسط بوده (جدول ۲) و اثر قطعه ای در واریوگرامها بالاست. عمدتا این ساختارها دارای یک واریانس قطعه ای در واریوگرام هستند (۲۷). بالا بودن اثر قطعه ای در مورد بایومس ماکروفون خاک مشابه با نتایج رسی و همکاران (۲۸) در بررسی ساختار مکانی جانداران خاکری به وسیله زمین آمار در یک ساوان در آفریقا، رسی (۳۰) در بررسی توزیع مکانی کرم خاکی در ساوان لامتو و گنگالسکی و همکاران (۱۶) در مورد الگوی توزیع مکانی ماکروفون خاک در یک منطقه جنگلی در روسیه می باشد. این امر می تواند به دلیل تغییرپذیری ذاتی جانداران خاکری یا ناشی از تغییرات تصادفی جمعیت ماکروفون خاک دانست که در فواصل کمتر از فواصل نمونه برداری بروز می نماید (۳۰).

دامنه تأثیر واریوگرامها فاصله ای است که در ماورای آن مشاهدات، همبستگی مکانی نداشته و می توان آنها را مستقل از یکدیگر محسوب کرد. چنین فاصله ای حد همبستگی مکانی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و اطلاعاتی در رابطه با حداقل فاصله نمونه برداری ارائه می کند (۱ و ۳۳). این پارامتر در مورد بایومس ماکروفون خاک ۱۷۲۸ متر، pH خاک ۱۸۰۰ متر، EC

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین بایومس ماکروفون، pH، EC، درصد شن، سیلت و رس خاک

متغیر	بایومس (گرم در متر مربع)	pH	EC (dS/m)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
بایومس (گرم در متر مربع)	۰/۰۶	۰/۱۷۶ *	۰/۱۴۱	۰/۳۵۷ *	۰/۲۱۲ **	-۰/۲۱۲ **
pH		۰/۶۶۰ **	۰/۲۹۴ **	۰/۰۳۱	۰/۴۶۶ **	-۰/۴۶۶ **
EC (dS/m)			۰/۲۳۲ **	۰/۱۷۹ *	۰/۴۷۰ **	-۰/۴۷۰ **
شن (%)				۰/۳۵۷ **	۰/۶۵۰ **	-۰/۶۵۰ **
سیلت (%)						۰/۰۹۵

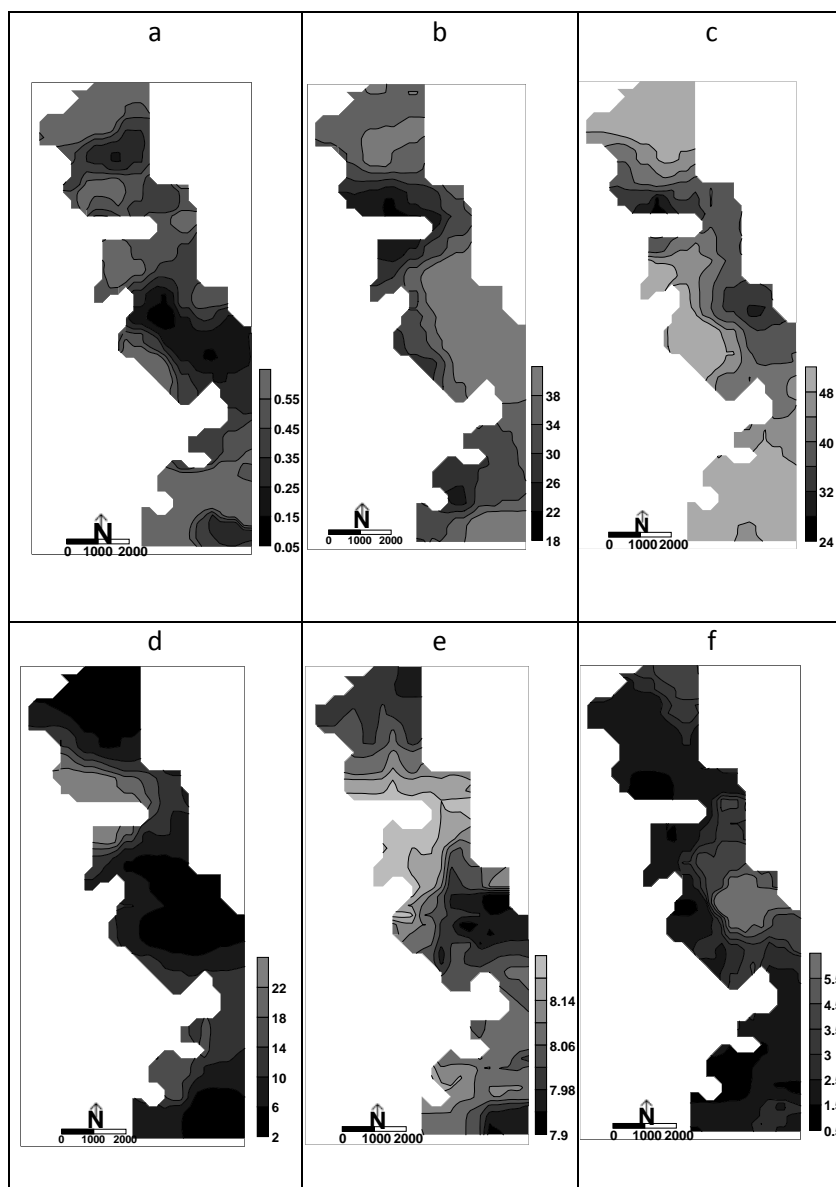
\*\* - معنی داری در سطح ۱ درصد و \* - معنی داری در سطح ۵ درصد

(به جز pH). شکل ۴ نتایج حاصل از کریجینگ را برای شاخص‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

این نقشه‌ها نشان می‌دهند که بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک الگوی تصادفی نداشته و دارای پراکنش مکانی می‌باشند. مناطقی با بایومس بیشتر ماکروفون نزدیک رودخانه واقع شده‌اند. گاه لکه‌های مجتمعی از ماکروفون دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل شرایط خاص غذایی و پوشش گیاهی در محدوده خاص باشد. مقادیر رس و EC با دور شدن از رودخانه افزایش می‌یابد در حالیکه شن، سیلت و pH کاهش پیدا می‌کنند.

مقادیر میانگین خطای تخمین متغیرها، کم بوده و بیانگر ناریب بودن تخمین‌ها در روش کریجینگ است (جدول ۲). پایین بودن مقادیر ریشه میانگین مجذور خطا نیز می‌تواند نمایانگر دقت قابل قبول تخمین باشد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که نتایج کنترل اعتبار کریجینگ، بیانگر متناسب بودن پارامترهای مربوط به آن می‌باشد که سبب کاهش در خطای تخمین می‌شوند.

به منظور تهیه نقشه‌های پراکنش متغیرها، از روش کریجینگ معمولی در سطح منطقه مطالعاتی استفاده شد. پس از برآورد آماری و کریجینگ، نتایج از حالت لگاریتمی به حالت اولیه برگشت داده شدند



شکل ۴- نقشه‌های کریجینگ (a) بایومس ماکروفون، (b) درصد رس، (c) درصد سیلت، (d) درصد شن، (e) pH و (f) هدایت الکتریکی خاک

دارای الگوی توزیع مکانی مشخص و پیوستگی مکانی متوسط هستند. تجزیه و تحلیل ساختار مکانی بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک نشان داد که واریانس مؤلفه ساختاری بر واریانس مؤلفه تصادفی غلبه دارد. دامنه تأثیر متغیرهای مورد بررسی در محدوده‌های نسبتاً بزرگ رخ داده است که دلالت بر ساختار مکانی گسترده، پراکنش یکنواخت و در حقیقت پیوستگی مکانی بیش‌تر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد. با وجود شباهت در دامنه تأثیر بایومس ماکروفون و درصد سیلت و ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین آنها، همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار بین بایومس و درصد رس و بایومس و EC می‌توان اظهار داشت که تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک مذکور، بایومس ماکروفون خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. البته لازم به ذکر است که ویژگی‌هایی نظیر مواد آلی خاک، میزان رطوبت و تخلخل خاک نیز می‌توانند اثرگذار باشند که در این تحقیق بررسی نشده‌اند.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهمی که این نقشه‌ها نشان می‌دهند شباهت در الگوی توزیع مکانی برخی متغیرهاست. در این مطالعه الگوی پراکنش مکانی بایومس ماکروفون خاک، نسبتاً مشابه با الگوی پراکنش مکانی درصد سیلت و pH می‌باشد که در بررسی همبستگی نیز ارتباط مثبت با این دو ویژگی داشت. همچنین ارتباط منفی بایومس با درصد رس و EC در این نقشه به خوبی نشان داده شده است. در واقع می‌توان گفت: الگوی پراکنش بایومس ماکروفون خاک در این اکوسیستم‌های حاشیه رودخانه از ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک تأثیر می‌پذیرد (۱۰ و ۲۷) این فاکتورها در کنار ویژگی‌های ذاتی جمعیت جانداران خاکری تقریباً کنترل کننده ساختار و ویژگی‌های پراکنشی جمعیت آنها می‌باشند (۲۸).

### نتیجه‌گیری

به طور کلی بایومس ماکروفون و ویژگی‌های خاک مورد بررسی،

### منابع

- ۱- افشار ح.، صالحی م.ح.، محمدی ج. و محنت کش ع. ۱۳۸۸. تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم در یک نقشه تناسب کمی (مطالعه‌ی مورد: منطقه شهرکیان، استان چهارمحال و بختیاری). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۳، شماره ۱، صفحات ۱۶۱-۱۷۲.
- ۲- حسنی پاک ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.
- ۳- محمدی ج. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک، ۱- کریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۲، شماره ۴، صفحات ۶۳-۴۹.
- ۴- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری: آمار مکانی (ژئواستاتستیک)، انتشارات پلک. ۴۵۳ صفحه.
- 5- Aubert M., Hedde M., Decaens T., Bureau F., Margerie P., 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.
- 6- Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 24(2): 269-285.
- 7- Burt R. 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Investigations Report. No: 42, Version 4.0, 700 p.
- 8- Campana C., Gauvin S., Ponge J.F. 2002. Influence of ground cover on earthworm communities in an unmanaged beech forest: linear gradient studies. *European Journal of Soil Biology*, 38: 213-224.
- 9- Coulson R.N., McFadden B.A., Pully P.A., Lovelady C.N., Fitzgerald J.W., Jack S.B. 1999. Heterogeneity of forest landscape and the distribution and abundance of southern pine beetle. *Forest Ecology and Management*, 114: 471-485.
- 10- Ettema C.H., Wardle D.A. 2002. Spatial soil ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 17: 177-183.
- 11- Fernandez-Alaez C., Fernandez-Alaez M., and Garcia-Criado F. 2005. Spatial distribution pattern of the riparian vegetation in a basin in the NW Spain. *Plant Ecology*, 179: 31-42.
- 12- Gaston K.J., and Spive J.I. 1998. Biodiversity: an Introduction. Blackwell Science, MA, USA. 254p.
- 13- Giese L.A., Aust W.M., Trettin C.C., 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.
- 14- Golden Software Inc. 2002. Surface Mapping System, Surfer 8, Colorado, USA.
- 15- Gonglanski K.B., Savin F.A., Pokarzhevskii A.D., Filimonova Z.V. 2005. Spatial distribution of isopods



- in an oak-beech forest. *European Journal of soil Biology*, 41: 117-122.
- 16- Gonglanski K.B., Gorshkova I.A., Karpov A.I., 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.
- 17- Goovaerts P. 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89: 1-45.
- 18- Gringarten E., and Deutsch C.V. 2001. Teacher's aide, Variogram interpretation and modeling. *Mathematical Geology*, 33(4):507-534.
- 19- Hatfield J.L. 1994. *Soil biology: effects on soil quality*. Lewis publishers, 169p.
- 20- Jimenez J.J., Rossi J.P., 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., Fox C.A., Lentzsch P., Kiesel J., Hierold W., Kruck S., Timmer j. 2006. Spatial analysis of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 112: 367-380.
- 22- 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.
- 23- Lyon J., and Gross N.M. 2005. Patterns of plant diversity and plant-environmental relationship across three riparian corridors. *Forest Ecology and Management*, 204: 267-278.
- 24- Mathieu J., Rossi J., Grimaldi M., Mora Ph., 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- Nahmani J., Capowies Y., Lavelle P. 2005. Effects of metal pollution on soil macroinvertebrate burrow systems. *Biology and Fertility of Soils*, 42: 31-39.
- 26- Nielson D.R., Wendroth O. 2003. *Spatial and temporal statistics, sampling field soils and their vegetation*. Geosciences Publisher, 398p.
- 27- Pannatier Y. 1996. *VARIOWIN: Software for spatial data analysis in 2D*. Statistics and computing series, Springer-Verlag, New York.
- 28- Rossi J.P., Lavelle P., Tondoh J.E. 1995. Statistical tool for soil biology X. Geostatistical analysis. *European Journal of Soil Biology*, 31(4):173-181.
- 29- Rossi J.P. 2003. Clusters in earthworm spatial distribution. *Pedo biologia*, 47: 490-496.
- 30- Rossi J.P. 2003. Short-range structures in earthworm spatial distribution. *Pedo biologia*, 47: 582-587.
- 31- Rossi J.P., Mathieu J., Cooper M., and Grimaldi M. 2006. Soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 2178-2187.
- 32- Sparks A. 1991. *GeoEAS ( Geostatistical Environmental Assessment Software)*. U.S Environmental Protection Agency.
- 33- Sun B., Zhou S., 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.
- 34- Thoisy B., Brosse S., Dubois M.A. 2008. Assessment of large-vertebrate species richness and relative abundance in Neotropical forest using line-transect censuses: what is the minimal effort required? *Biodiversity and Conserve*, 17(11):2627-2644.
- 35- Tondoh J.E., Monin L.M., Tiho S., Csuzdi C. 2007. Can earthworms be used as bio-andicators of land-use perturbations in semi- deciduous forest? *Biology and Fertility of Soils*, 43: 585-592.
- 36- Warren M.W., and Zou X. 2002. Soil Macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 170: 161-171.

## Spatial Variability of Soil Macrofauna Biomass and Soil Properties in Riparian Forest of Karkhe River

Sh. Gholami<sup>1\*</sup> - S.M. Hosseini<sup>2</sup> - J. Mohammadi<sup>3</sup> - A.S. Mahini<sup>4</sup>

Received: 28-2-2010

Accepted: 20-2-2011

### Abstract

Soil invertebrate and their spatial pattern are affected strongly by environmental factors. Spatial variability of soil properties is one of the most important reasons of the macrofauna variability. This study was conducted to investigate the spatial variability of soil properties and soil macrofauna biomass in the riparian forest landscape of Karkhe River. Soil macro fauna were sampled using 200 sampling point along parallel transects (perpendicular to the river). The sampling procedure was hierarchically, maximum distance between samples was 0.5 km, but the samples were taken at shorter distance at different location of sampling. Soil macro fauna were extracted from 50 cm×50 cm×25 cm soil monolith by hand-sorting procedure. At each transect point, approximately 1m distance from the macro fauna sample location, three 50 cm×50 cm×25 cm samples were taken from 0-25 depth of soil. Soil macro fauna biomass, pH, EC and soil texture were measured. Then the spatial continuity, using geostatistics (variogram) were described. The maps obtained by block kriging. The variograms of variable revealed the presence of spatial autocorrelation. The range of influence was 1728 m for macro fauna biomass, 1800 m for pH, 1536 m for EC, 2964 for sand (%), 2100 for silt (%) and 3264 for clay (%). The kriging maps showed that the soil macro fauna biomass and soil properties have spatial variability. In this research, the spatial pattern of soil macro fauna biomass is similar with the spatial pattern of silt and soil pH, that was shown in correlation.

**Keywords:** Spatial pattern, Soil macrofauna biomass, Soil properties, Variogram, Block kriging

1,2- PhD Student and Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resource and Marine Science (\*-Corresponding Author Email: mozhgangholami@yahoo.com)

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

4- Assistant Professor, Department of Environmental, Faculty of Environmental Science, Gorgan University