

بررسی تأثیر جهت شیب و طبقات ارتفاع بر تنفس میکروبی خاک در سه کاربری کشاورزی، مرتع و جنگل

زهرا کریم زاده: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
علی اشرف سلطانی طولارود*: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
حسین شهاب آرخازلو: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

نوع مقاله: پژوهشی



تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۹

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۰)

20.1001.1.22517812.1401.12.3.11.0

چکیده

با فراهم کردن شرایط مناسب برای فعالیت خوب میکروارگانیسم‌ها می‌توان به افزایش هر چه بیشتر کیفیت خاک، کاهش فرسایش و هدر رفت آن کمک بسیاری کرد. به منظور بررسی تأثیر جهت شیب، طبقات ارتفاع و کاربری بر تنفس میکروبی پایه و تحریک‌شده خاک و همبستگی این شاخص‌های زیستی با سایر خصوصیات خاک، پژوهشی در یک منطقه در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل صورت گرفت. این پژوهش با برداشت ۷۲ نمونه به صورت شبکه‌بندی منظم اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربری اراضی در سه سطح (کشاورزی، مرتع و جنگل)، جهت شیب در دو سطح (شمالی و جنوبی) و دو طبقه ارتفاعی (>1580) بر حسب اختلاف میانگین معنی‌دار رطوبت مزرعه بود. همچنین نقشه تنفس میکروبی خاک به روش کریجینگ ترسیم شد. یافته‌ها نشان داد که مقدار تنفس پایه و تحریک‌شده با بستره در زمین‌های جنگلی با میانگین $1/24$ ، به طور قابل توجهی بیش از زمین‌های مرتعی و کشاورزی بود. در بین دو کاربری مرتعی و کشاورزی نیز مقدار تنفس میکروبی خاک در اراضی کشاورزی کمتر بود. اختلاف میانگین معنی‌دار در سطح آماری پنج و یک درصد به ترتیب بین تنفس میکروبی پایه و تحریک‌شده با بستره، در جهت‌های شمالی و جنوبی شیب مشاهده شد. دامنه‌های جنوبی با دریافت بیشتر پرتوهای خورشیدی و کاهش رطوبت خاک، تنفس میکروبی پایین‌تری نسبت به دامنه‌های شمالی داشت. با افزایش ارتفاع به علت افزایش نسبی رطوبت هوا و کاهش دما، میزان تنفس میکروبی افزایش یافت. نتایج نشان داد که بین تنفس میکروبی خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن همبستگی معنی‌داری وجود دارد. در مطالعه حاضر بین ویژگی‌های درصد کربن آلی خاک، تخلخل، سیلت، رطوبت مزرعه و pH خاک با تنفس میکروبی پایه و تنفس تحریک‌شده با بستره، همبستگی بالایی مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که روش درونیابی کریجینگ، از کارایی لازم برای تعیین نقشه پراکندگی مکانی تنفس میکروبی خاک برخوردار است. همبستگی بین برآورد انجام شده با کریجینگ و مقادیر اندازه‌گیری شده، در نقاط نمونه‌برداری بیش از $0/2$ و در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. واژگان کلیدی: تنفس پایه، تنفس تحریک‌شده، توپوگرافی، کاربری اراضی، کریجینگ، واریوگرام.

۱- مقدمه

ریزجاندانان از اجزای مهم خاک است که با بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی این اکوسیستم، تولید انواع فیتو-هورمون‌های گیاهی، کاهش میزان تنش عوامل محیطی و کنترل عوامل بیمارگر به بهبود قدرت تولید خاک و افزایش رشد گیاه منجر می‌شود. افزایش پوشش گیاهی در اثر بهبود فعالیت‌های بیولوژیکی خاک از جمله تنفس میکروبی، می‌تواند به کاهش فرسایش خاک به خصوص در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی منجر شود. اگرچه خواص فیزیکی و شیمیایی در ارزیابی شاخص کیفیت خاک اهمیت زیادی دارد، بسیاری از فرایندهای یک اکوسیستم توسط زیست‌توده^۱ آن هدایت می‌شود (Pankhurst et al, 1997 & Ritz et al, 2009). مطالعه پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که خواص زیستی خاک، جزء حساس‌ترین و مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند بر کیفیت خاک اثرگذار باشد؛ از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به تنفس ریزجاندانان اشاره کرد (Goberna et al, 2006). تنفس میکروبی خاک، فرایند تولید CO₂ یا مصرف O₂ در نتیجه متابولیسم موجوداتی مانند باکتری، جلبک‌ها و پروتوزوآها است که تبادل گاز در متابولیسم هوایی و بی‌هوازی را شامل می‌شود (Jenkinson, 1976). بالا بودن شاخص‌های مرتبط با ریزجاندانان اکوسیستم خاک، حاکی از فعالیت مناسب این موجودات و در نتیجه وضعیت مطلوب ویژگی‌های این اکوسیستم و توان بالای آن در تولید محصول است که این موضوع خود از بالا بودن کیفیت خاک حکایت دارد (David et al, 2008 & Goberna et al, 2006). تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، به طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل مؤثر در تشکیل خاک از قبیل اقلیم، مواد مادری، پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی و توپوگرافی است (Ollinger et al, 2002). توپوگرافی با تأثیر بر توزیع مکانی پارامترهای مؤثر محیطی، می‌تواند ویژگی‌های متفاوتی را در خاک ایجاد کند. چندین مطالعه نشان داده‌است که موقعیت شیب بر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارد (Alemayehu, 2007 & Yimer et al, 2008). این متغیر توپوگرافی با تأثیر بر میزان نفوذ آب در خاک، حرکت و تجمع محلول خاک و رسوب مواد و دما، به ایجاد تغییرات در خواص خاک منجر می‌شود (Tsui et al, 2004 & Moges and Holden, 2008).

پژوهشگران زیادی گزارش داده‌اند که تغییر در مقدار کربن آلی (OC^۲)، رطوبت، pH، نیتروژن کل، حاصلخیزی و شاخص‌های میکروبی خاک، تحت تأثیر موقعیت شیب صورت می‌گیرد (Smith et al, 2002 & Khormali et al, 2011 & Reza et al, 2009). جهت شیب و طبقات ارتفاع نیز از شاخص‌های مهم دیگر توپوگرافی است که با تحت تأثیر قرار دادن میزان دریافت پرتوهای خورشیدی، بر مقدار دمای خاک، میزان تبخیر و رطوبت آن مؤثر است (Carletti et al, 2009 & Dearborn and Danby, 2017). در نیمکره شمالی، شیب‌های جنوبی - که پرتوهای بیشتری دریافت می‌کنند - گرم و خشک و در معرض تغییرات فصلی سریع هستند و بالعکس، شیب‌های شمالی - که پرتوهای کمتری دریافت می‌کنند - خنک و مرطوب و تغییرات فصلی در آنها کم است (Sariyildiz et al, 2005). محققان مختلفی اثر شیب را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از قبیل pH، میزان ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و بافت خاک به خصوص سیلت مطالعه کرده‌اند (Ai et al, 2017a & Ascher et al, 2012). نتایج مطالعه Soltani Toularoud و Asghari (2021) روی موقعیت‌های مختلف شیب نشان داد که متغیر توپوگرافی بر پارامترهای میکروبی خاک

¹ Biomass² Organic Carbon

تأثیر معنی داری داشت؛ به طوری که در موقعیت شانه شیب - که در ارتفاعات بالاتری قرار دارد - میکروارگانیزم های خاک در وضعیت مطلوبی است.

مطالعه پژوهش های محققان نشان می دهد که کاربری اراضی یکی دیگر از عوامل مؤثر بر ویژگی های خاک است. Soltani Toularoud و Asghari (2021) طی بررسی برخی شاخص های میکروبی در زمین های مرتعی و جنگلی مشاهده کردند که مقدار تمام پارامترهای زیستی از جمله تنفس میکروبی خاک در زمین های جنگلی، به طور قابل توجهی بیش از مقدار این پارامترها در زمین های مرتعی بود. Nabiollah و همکاران (2018) در پژوهشی تغییر کاربری اراضی را بر شاخص های کیفیت خاک بررسی کردند. این پژوهشگران مشاهده کردند که خواص خاک شامل pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، مواد خنثی شونده، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه ها در زمین های مرتعی، بیش از زمین های زراعی است. در یک تحقیق، Tatanah و Nanganoa (2019) پس از مطالعه اثر کاربری های مختلف بر شاخص های فیزیکی، شیمیایی و فراوانی ماکروفون خاک مشاهده کردند که نوع کاربری زمین، بر شاخص های مذکور اثر منفی داشت و فراوان ترین تعداد ماکروفون ها و حداکثر مقدار ماده آلی در کاربری جنگل اندازه گیری شد. Amirinejad و Ghotbi (2018) طی مطالعه ای نشان دادند که تغییر کاربری مناطق جنگلی به اراضی کشاورزی، به افزایش درصد سیلت و جرم مخصوص ظاهری خاک و کاهش شدید درصد ماده آلی آن منجر شد. Maleki و همکاران (2013) نیز در تحقیقی نشان دادند که نوع کاربری اراضی می تواند بر تنفس میکروبی خاک اثرگذار باشد. در پژوهش این محققان، مقدار شاخص زیستی مذکور در زمین های زیر کشت پنبه و آیش، بیش از زمین های شخم خورده بود.

موضوع قابل توجه و مهم در ارزیابی ویژگی های کیفیت خاک، به دست آوردن اطلاعات پایه از منطقه مورد نظر است که این امر می تواند از طریق علم زمین آمار محقق شود. ویژگی های خاک به طور ذاتی در طبیعت به دلیل عوامل خاک سازی (مواد مادری، پوشش گیاهی و آب و هوا) تغییرپذیر است، ولی ناهمگونی می تواند با مدیریت کشاورزی نیز تحریک شود (Wei et al, 2006). شناخت تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک برای مدیریت اراضی کشاورزی، درونیایی و طراحی نمونه برداری خاک مهم است، ولی به مقادیر قابل ملاحظه ای از داده های زمین مرجع نیاز دارد. در این راستا، مطالعات زیادی به بررسی وابستگی و تغییرات مکانی خصوصیات خاک با استفاده از روش های زمین آمار پرداخته که برخی از آنها در نهایت، به تهیه نقشه های پراکنش مکانی خصوصیات مورد مطالعه منجر شده است.

Jeffrey و Jonathan (2011) به منظور برآورد کیفیت خاک، ویژگی های تنفس میکروبی، EC، pH، کربن آلی میکربی، کربن توده میکروبی، کسر متابولیک یا تنفس ویژه و فعالیت آنزیم های فسفاتاز و دهیدروژناز را در جنوب شرقی ایالت واشنگتن آمریکا اندازه گیری کردند و برای درونیایی، از روش زمین آماری کریجینگ استفاده و نشان دادند که این روش دقت قابل ملاحظه ای دارد.

با عنایت به اهمیت و نقش منحصر به فرد شاخص های زیستی خاک در مطالعه تغییرات کیفیت خاک و پژوهش های بسیار نادر اجرا شده در کشور در خصوص تأثیر متغیرهای توپوگرافی بر شاخص های مذکور، پژوهش حاضر با هدف بررسی همبستگی بین تنفس میکروبی خاک با دیگر ویژگی های خاک، ارزیابی تأثیر جهت شیب، توپوگرافی و

کاربری زمین بر تنفس میکروبی خاک، مقایسه واریوگرام‌های مختلف زمین‌آماری در برآورد تنفس میکروبی خاک و تهیه نقشه پراکنش مکانی تنفس میکروبی خاک در اراضی روستای خانقاه شهرستان نمین استان اردبیل انجام شد.

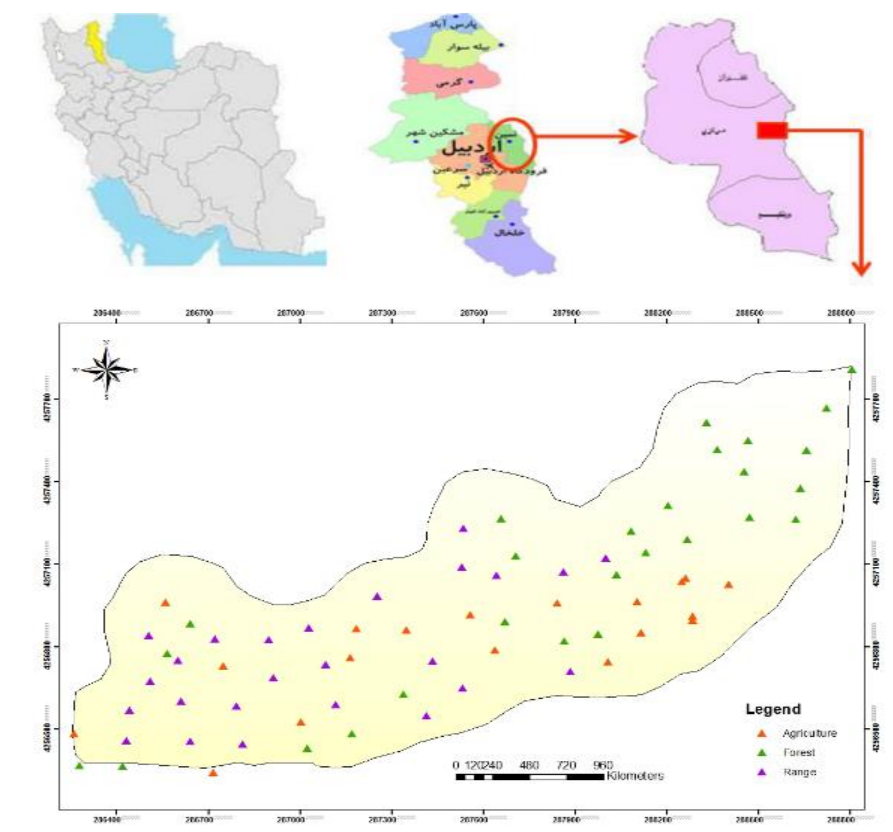
۲- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در منطقه‌ای در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام شد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۲۰۸ هکتار، در محدوده جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی قرار دارد. میانگین دما و بارندگی این منطقه به ترتیب ۹/۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۱ میلی‌متر است. این منطقه از نظر آب هوایی، اقلیم نیمه خشک دارد؛ اما نزدیک بودن به جنگل‌های شمال کشور و ریزش باران در اکثر ماه‌های سال باعث شده‌است تا شرایط جوی این منطقه به اقلیم نیمه مرطوب شباهت بیشتری داشته باشد.

۳- مواد و روش

تهیه نمونه‌های خاک

به منظور اجرای این تحقیق، در فصل پاییز نمونه‌های خاک دست خورده و دست نخورده از منطقه مورد مطالعه و در ۷۲ نقطه به روش شبکه‌بندی منظم و با فواصل حدود دویست متر تهیه شد (شکل ۱). از هر محل، دو نمونه از عمق صفر تا سی سانتی‌متری خاک (یک نمونه به وزن حدوداً پانصد گرم برای آزمایش‌های زیستی و نمونه‌ای دیگر به وزن حدود دو کیلوگرم برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) برداشته شد. نمونه تهیه شده برای ارزیابی شاخص‌های زیستی، پس از آماده‌سازی و عبور دادن از الک دو میلی‌متری در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و در داخل فلاسک یخ‌دار به آزمایشگاه منتقل و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و در تاریکی نگهداری شد. نمونه دوم پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای اتاق هوا خشک، سپس خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. در نهایت نیز به منظور اجرای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، در داخل ظروف پلاستیکی دارای برچسب اطلاعات نگهداری شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری خاک

اندازه گیری برخی خواص فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک

در مطالعه حاضر، خواص فیزیکی و شیمیایی متداول خاک شامل pH خاک در عصاره^۱ ۱ به ۲ به کمک دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی (EC^1) در عصاره^۱ ۱ به ۲ با استفاده از دستگاه هدایت سنج، کربنات کلسیم کل معادل بر اساس روش تیتراسیون برگشتی با اسید و باز (Page et al, 1982)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر Black و Walkley (1934)، بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس) به روش هیدورمتری (Gee and Orr, 2002) و تخلخل کل (Reynoldset al, 2009) اندازه گیری شد. از شاخص های زیستی خاک، تنفس میکروبی پایه (BR)^۲ به روش جمع-آوری CO_2 آزاد شده در هیدروکسید سدیم و تیتراسیون برگشتی مقدار باقی مانده آن با اسید کلریدریک (1982 Anderson, و تنفس تحریک شده با بستره (SIR)^۳ (Alef and Nannipieri, 1995) تعیین شد.

تعیین پراکندگی مکانی

در پژوهش حاضر برای تخمین و تعیین پراکندگی مکانی، ارزیابی برخی از ویژگی های خاک و شاخص های جمعی کیفیت خاک، از روش زمین آماری کریجینگ برای درون یابی استفاده شد. بدین منظور، مختصات جغرافیایی هر نقطه از دستگاه GPS^۴ به نرم افزار GIS^۵ انتقال داده شد. پس از ثبت داده های نقاط نمونه برداری شده، دستور درون-

¹ Electrical Conductivity

² Basal respiration

³ Substrate Induced Respiration

⁴ Global Positioning System

⁵ Geographical Information System

یابی اجرا و اطلاعات نقاط نمونه‌برداری نشده به دست آمد. به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، واریوگرام تجربی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار زمین آماری GS+^۱ تعیین و با استفاده از واریوگرام، پارامترهایی مثل حد آستانه، دامنه و اثر قطعه‌ای تعیین شد. سپس بهترین مدل واریوگرام با توجه به اطلاعات واریوگرام انتخاب شد. در روش کریجینگ، ابتدا مقدار تنفس پایه و تحریک شده با بستره برای نمونه‌ها با در نظر گرفتن موقعیت آنها اندازه‌گیری شد. سپس مقدار تنفس پایه و تحریک شده میکروبی خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده نیز با توجه به موقعیت و فاصله‌ای که با نقاط معلوم (نقاط اندازه‌گیری شده) داشت، درون‌یابی و برآورد شد. در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه توزیع شاخص‌های بیولوژیک خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ استخراج شد. همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین‌زده شده ویژگی‌های بیولوژیک خاک نیز در نرم‌افزار آماری SPSS19 محاسبه و ارزیابی شد.

طرح آزمایشی و تحلیل داده‌های پژوهش

شاخص‌های آزمایش شامل کاربری اراضی در سه سطح (کشاورزی، مرتع و جنگل)، جهت شیب در دو سطح (شمالی و جنوبی) و دو طبقه ارتفاعی (>1580) بر حسب اختلاف میانگین معنی‌دار رطوبت مزرعه بود. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk (1965) با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام شد. مقایسه میانگین نیز به صورت جفت نشده به روش T-Test با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS19 انجام شد. همبستگی پیرسون بین تنفس پایه میکروبی خاک و تنفس تحریک شده با بستره با سایر ویژگی‌های خاک، در نرم‌افزار SPSS19 به دست آمد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

آماره‌های توصیفی تنفس میکروبی و برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

³ Geostatistics Software

جدول ۱: ویژگی‌های آماری متغیرهای اندازه گیری شده

ویژگی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشدگی
BR	(mgCO ₂ .g-1soil.day-1)	۰/۷۸	۱/۹۵	۱/۱۲۱	۰/۲۶	۰/۳۷	-۰/۶۱
SIR		۵/۹۷	۱۰/۷۳	۷/۵	۰/۹۶	۰/۷۲	۰/۵۷
pH		۵/۴	۶/۹۳	۶/۳۳	۰/۳۵	-۰/۴۶	۰/۱۱
EC	ds/m	۰	۰/۶۹	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۶۴	-۰/۵۷
θ _F		۱/۶۹	۵/۹	۳/۳۷	۱/۱۴	۰/۶۳	-۰/۶۱
OC		۰/۵۸	۴/۶۲	۱/۹۱	۰/۷۵	۰/۹۸	۳/۳
CaCO ₃		۰/۶۷	۱۶/۶۷	۸/۰۱	۳/۳۹	۰/۲۱	-۰/۵۱
porosity	%	۲۸/۳۸	۶۷/۲۱	۴۴/۵۴	۵/۴۹	۰/۹۲	۳/۴۲
clay		۱۱/۴۳	۴۲/۴۴	۲۶/۳۹	۷/۴۷	۱۰/۲۱	-۰/۶۹
sand		۶/۷۲	۵۹/۳۲	۳۱/۳۴	۱۲/۵۶	۰/۰۴	-۰/۷۱
silt		۲۰/۷۸	۶۲/۵۵	۴۲/۲۵	۱۰/۵۲	۰/۲	-۰/۸

BR: تنفس پایه خاک، SIR: تنفس تحریک شده با بستره خاک، EC: هدایت الکتریکی، θ_F: رطوبت مزرعه، OC: کربن آلی، CaCO₃: کربنات کلسیم معادل، Porosity: تخلخل و Silt: سیلت.

نتایج آماره توصیفی ویژگی‌های خاک نشان داد که بیشتر خاک‌های منطقه مورد مطالعه، دارای کلاس بافت خاک لومی است. مقدار pH نمونه‌ها به ترتیب در محدوده ۵/۷-۶/۹، درصد کربن آلی ۴/۵-۰/۶ درصد و مقدار کربنات کلسیم معادل از ۰/۶۷ درصد تا ۱۶/۶۷ درصد بود. حداکثر هدایت الکتریکی (EC) کمتر از دو دسی زیمنس در متر بود که شور نبودن خاک‌های منطقه را نشان داد. همچنین بالا بودن مقدار میانگین تنفس پایه میکروبی خاک و تنفس تحریک شده با بستره، به ترتیب ۱/۱۲۱ و ۷/۵ بود (جدول ۱).

همبستگی پیرسون بین تنفس میکروبی خاک و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: همبستگی پیرسون بین تنفس میکروبی خاک و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن

ویژگی	درصد کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	تخلخل	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	pH	EC	رطوبت مزرعه
BR	۰/۱۱۳**	۰/۱۲۰ n.s	۰/۰۶ *	۰/۰۷۷ n.s	۰/۰۹۶ n.s	۰/۲۰۴*	۰/۰۷۲ *	۰/۰۵۸ n.s	۰/۳۷۲**
SIR	۰/۱۵۷**	۰/۱۱۲ n.s	۰/۰۳۲ *	۰/۱۲۴ n.s	۰/۱۱۹ n.s	۰/۲۱۲*	۰/۰۶۹ *	۰/۰۰۲ n.s	۰/۵۹۱**

*: همبستگی معنی دار در سطح پنج درصد، **: همبستگی معنی دار در سطح یک درصد و n.s: فقدان همبستگی معنی دار.

در تحقیق حاضر بین ویژگی‌های درصد کربن آلی خاک، تخلخل، سیلت، رطوبت مزرعه و pH خاک با تنفس میکروبی پایه و تنفس تحریک شده با بستره، همبستگی بالایی دیده شد و همبستگی بین تنفس میکروبی خاک با ویژگی‌های کربنات کلسیم معادل، درصد رس و شن و هدایت الکتریکی خاک معنی دار نبود. رطوبت مزرعه دارای بیشترین و هدایت هیدرولیکی خاک دارای کمترین همبستگی با تنفس میکروبی خاک بود (جدول ۲).

مقادیر میانگین شاخص‌های زیستی خاک در نمونه خاک‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و کل نمونه‌ها، در جدول ۳ ارائه شده‌است.

جدول ۳: مقادیر میانگین تنفس میکروبی خاک در نمونه خاک‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و کل نمونه‌ها

کاربری	تعداد	میانگین	کشاورزی	مرتع	جنگل
BR	۱۹	۱/۱۴۳۵		*	*
	۲۵	۱/۲۳۷۶	*		
	۲۷	۱/۲۴۸۲	*		
	۷۲	۱/۱۲۱			
SIR	۱۹	۷/۲۰۲۹		*	*
	۲۵	۷/۴۸۲۶	*		
	۲۷	۷/۶۷۲۸	*		
	۷۲	۷/۵			

*: تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح پنج درصد

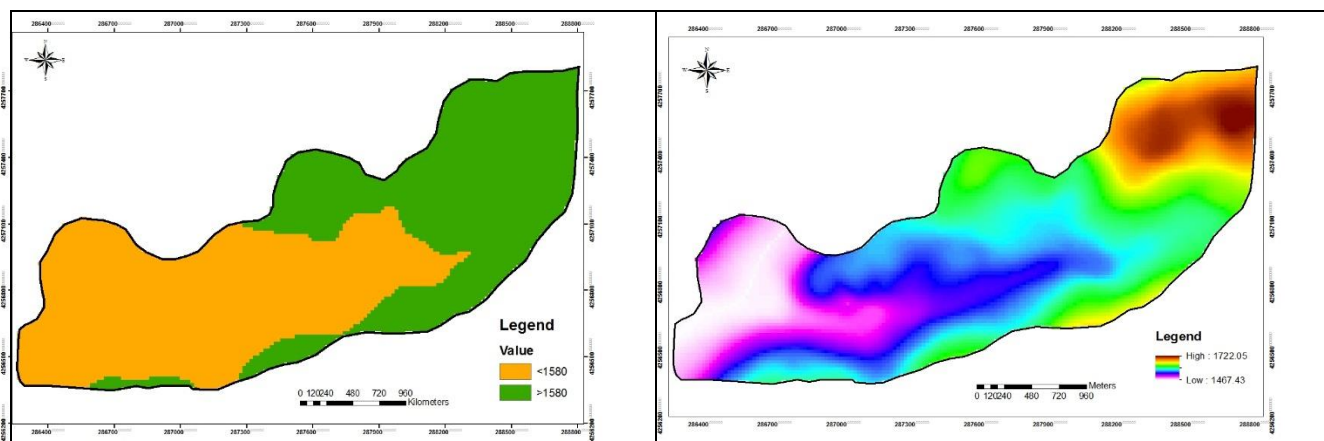
میانگین تنفس میکروبی پایه و تحریک شده با بستره خاک در دو طبقه ارتفاعی، در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

جدول ۴: میانگین تنفس میکروبی خاک در دو طبقه ارتفاعی

ویژگی	ارتفاع (متر)	تعداد نمونه	میانگین
BR	< ۱۵۸۰	۳۸	۱/۲۰۷۵*
	> ۱۵۸۰	۳۴	۱/۲۲۴۰*
SR	< ۱۵۸۰	۳۸	۱/۴۰۹۶*
	> ۱۵۸۰	۳۴	۷/۶۰۵۲*

*: تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح پنج درصد

مشاهده شد که به طور کلی میانگین تنفس پایه و تحریک شده با بستره خاک، در طبقه ارتفاع (> ۱۵۸۰) بیشتر بوده‌است. همچنین هر دوی تنفس پایه و تحریک شده با بستره خاک در دو طبقه ارتفاعی، اختلاف میانگین معنی‌دار در سطح پنج درصد داشتند. نقشه اطلاعات رقومی ارتفاع و نقشه طبقات ارتفاعی منطقه، در شکل ۲ ارائه شده‌است.



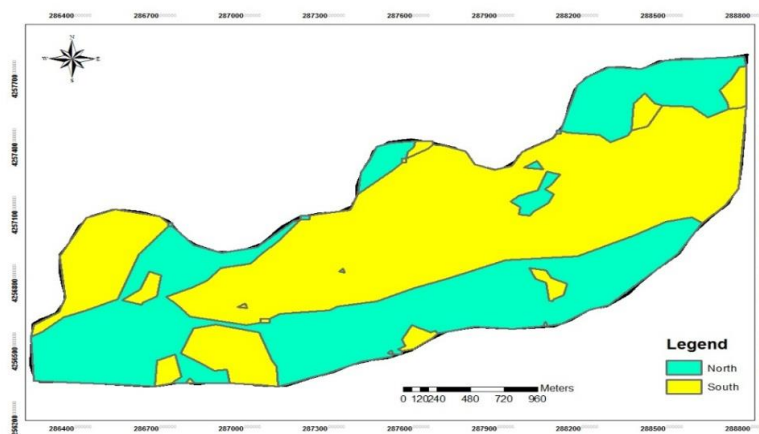
شکل ۲: راست) نقشه اطلاعات رقومی ارتفاع و چپ) نقشه طبقات ارتفاعی منطقه

در جدول ۵، میانگین تنفس میکروبی خاک در دو جهت شیب (شمالی و جنوبی) ارائه شده است. همچنین نقشه توزیع شیب‌های شمالی و جنوبی در منطقه، در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۵: میانگین تنفس میکروبی خاک در دو جهت شیب شمالی و جنوبی

ویژگی	جهت شیب	تعداد نمونه	میانگین
BR	شمال	۳۳	$1/1629^{\circ}$
	جنوب	۳۹	$1/2596^{\circ}$
SR	شمال	۳۳	$7/2822^{**}$
	جنوب	۳۹	$7/6879^{**}$

*: تفاوت میانگین معنی دار در سطح پنج درصد و **: تفاوت میانگین معنی دار در سطح یک درصد



شکل ۳: نقشه جهت شیب (شمالی - جنوبی) منطقه

در پژوهش حاضر جهت شیب مورد مطالعه در دو جهت شمالی و جنوبی، بر تنفس میکروبی پایه در سطح احتمال پنج درصد و بر تنفس میکروبی تحریک شده با بستره در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار داشت (جدول ۵). بیشترین مقدار این شاخص‌ها در شیب شمالی منطقه و کمترین مقدار در شیب جنوبی منطقه اندازه گیری شد؛ البته با توجه به تعداد نمونه‌های برداشته شده از شیب‌ها، زیاد بودن میانگین تنفس میکروبی در جدول شماره ۵ ناشی از تعداد نمونه‌های زیاد در شیب جنوبی است. با توجه به شکل شماره ۳ می‌توان مشاهده کرد که شیب‌های جنوبی بیشتر در

مرکز تا شمال شرقی منطقه قرار دارند و جهت شیب‌های شمالی بیشتر در قسمت‌های جنوبی و شمالی منطقه واقع است که علت را می‌توان به وجود ارتفاعات و آفتاب‌گیری در شیب‌های جنوبی نسبت داد (Sariyildiz et al, 2005). برای تعیین توزیع شاخص‌های بیولوژیک خاک در سطح منطقه مورد مطالعه، نقشه توزیع ویژگی‌های بیولوژیک خاک منطقه با روش کریجینگ تهیه شد. برای این منظور، ابتدا شاخص کفایت اندازه نمونه (KMO) بررسی شد که مقدار این شاخص بیش از ۰/۵ بود؛ بنابراین، تعداد نمونه‌ها و داده‌های موجود برای اجرای کریجینگ کافی بود. سپس واریوگرام منفرد شاخص‌های زیستی خاک به طور جداگانه محاسبه شد. از بین مدل‌های مختلف کروی، نمایی، گوسی و خطی برازش داده شده به واریوگرام، بهترین مدل انتخاب شد. به منظور انتخاب بهترین مدل واریوگرام، شاخص‌های آماری کمترین مجموع مربعات خطا (RSS)، بیشترین ضریب تبیین و داشتن اثر قطعه‌ای پایین در نظر گرفته شد. در تحلیل‌های زمین آماری، پایین بودن اثر قطعه‌ای به برآورد دقیق‌تر کمک می‌کند (Hasani Pak, 2010). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف واریوگرام $\frac{C}{C_0+C}$ نشان داد که اثر قطعه‌ای چه مقدار از کل تغییرات را توجیه می‌کند. در جدول ۶ و ۷، C_0 بیانگر اثر قطعه‌ای، C_0+C سقف واریوگرام یا آستانه و A_0 دامنه یا شعاع تأثیر مناسب‌ترین مدل برازش داده شده بر شاخص‌های زیستی خاک است و مناسب‌ترین مدل واریوگرام هر شاخص ارائه شده است.

جدول ۶: مدل‌های برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی منفرد و خلاصه‌ای از اطلاعات زمین آماری تنفس پایه خاک

مدل	اثر قطعه	آستانه	نسبت همبستگی مکانی	دامنه تأثیر، متر	ضریب تبیین R^2	مجموع مربعات خطا RSS
کروی	۰/۰۵۱	۰/۱۰۳	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۵۰۶	۴/۵۹ E-۰۴
نمایی *	۰/۰۵۷	۰/۱۱۴	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۴۹۶	۱/۹ E-۰۴
خطی	۰/۰۶۱	۰/۰۷۴	۰/۱۶۴	۲۰۹۱/۸۵	۰/۵۱۷	۱/۳۵ E-۰۴
خطی سقف دار	۰/۰۵۶	۰/۱۱۲	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۵۱۷	۲/۵ E-۰۴
گوسی	۰/۰۶۳	۰/۱۲۸	۰/۵۰۱	۸۱۵۹/۶۹	۰/۵۷۰	۱/۲ E-۰۴

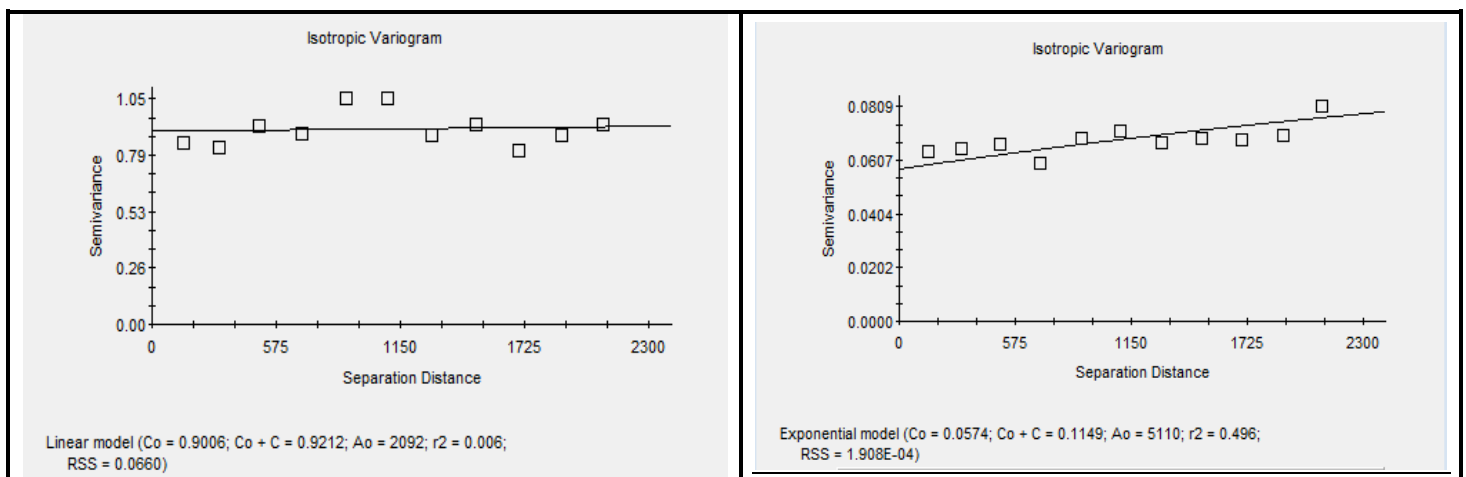
* مدل انتخابی برای تهیه نقشه کریجینگ

جدول ۷: مدل‌های برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی منفرد و خلاصه‌ای از اطلاعات زمین آماری تنفس تحریک شده با بستره خاک

مدل	اثر قطعه	آستانه	نسبت همبستگی مکانی	دامنه تأثیر، متر	ضریب تبیین R^2	مجموع مربعات خطا RSS
کروی	۰/۶۹	۱/۳۸۹	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۰۰۸	۰/۲
نمایی	۰/۷۶	۱/۵۳۵	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۰۱۱	۰/۱
خطی *	۰/۹۰	۰/۹۲۱	۰/۰۲۲	۲۰۹۱/۸۵	۰/۰۰۶	۰/۰۶
خطی سقف دار	۰/۷۵	۱/۵۰۱	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۰۰۶	۰/۱۴۵
گوسی	۰/۸۶	۱/۷۲۳	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۸

* مدل انتخابی برای تهیه نقشه کریجینگ

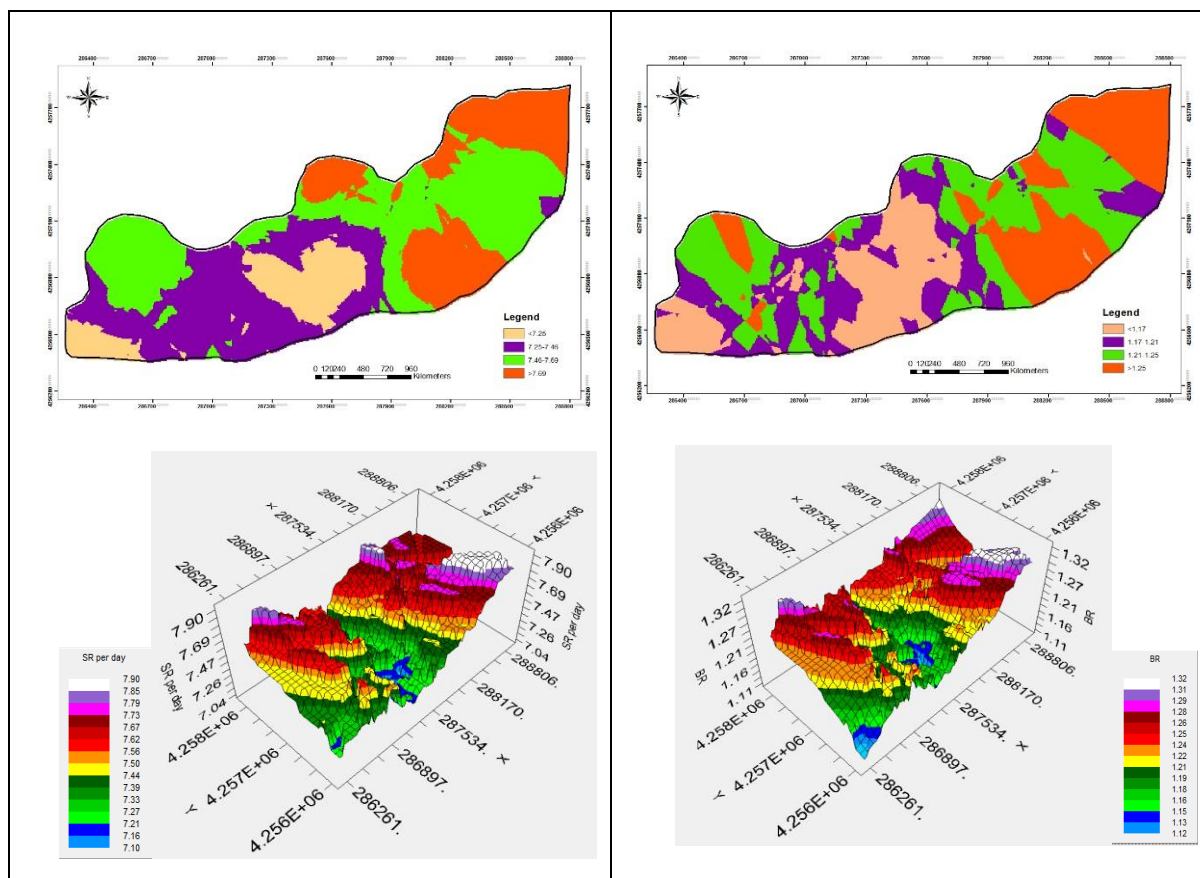
با توجه به جدول ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که دامنه تأثیر و مدل واریوگرام دو شاخص تنفس پایه خاک و شاخص‌های تنفس تحریک شده با بستره خاک با هم متفاوت است. با توجه به اطلاعات زمین آماری جدول ۶، مدل نمایی به عنوان بهترین مدل برای ترسیم نقشه تنفس پایه خاک انتخاب شد که R^2 و دامنه تأثیر بالا و RSS و اثر قطعه‌ای کمتری دارد. برای تنفس تحریک شده با بستره خاک، مقادیر ضریب تعیین تمام مدل‌ها پایین بود، اما با توجه به مقدار کمتر RSS و اثر قطعه‌ای و مقدار بیشتر دامنه تأثیر مدل خطی نسبت به سایر مدل‌ها، این مدل به عنوان بهترین مدل واریوگرام برای اجرای کریجینگ انتخاب شد. توضیح این امر لازم است که برای انتخاب بهترین مدل واریوگرام، استفاده از یک شاخص آماری مانند R^2 یا RSS کافی نیست، بلکه در مواردی که این دو شاخص نامطلوب باشد (R^2 کم یا RSS زیاد باشد) یا برای مدل‌های مختلف مشابه باشد، مدلی انتخاب می‌شود که مشخصات هندسی واریوگرام بهتری دارد؛ مانند اثر قطعه‌ای و نسبت اثر قطعه‌ای به سقف کمتر یا دامنه تأثیر بیشتر که در این پژوهش از این روش برای انتخاب مدل‌ها استفاده شد. واریوگرام مدل‌های انتخابی، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: واریوگرام مدل انتخابی تنفس میکروبی خاک. راست) تنفس پایه خاک و چپ) تنفس تحریک شده با بستره خاک

با استفاده از مدل‌های واریوگرام انتخاب شده، نقشه‌های ویژگی‌های بیولوژیک خاک با استفاده از روش درونیابی نقطه‌ای کریجینگ تهیه شد. پس از تهیه نقشه‌ها، هر کدام از ویژگی‌های بیولوژیک خاک منطقه در چهار کلاس طبقه‌بندی شد که در شکل ۵ ارائه شده است. با توجه به شکل‌های نامبرده در نقشه‌های خروجی به روش کریجینگ تنفس پایه و تنفس تحریک شده، در شمال و شمال شرقی منطقه بیشترین مقادیر تنفس خاک مشاهده شد که این می‌تواند به دلیل مجاورت با جنگل و وجود بقایای گیاهی با سرعت تجزیه بالا (Chander et al, 2006) و استفاده کمتر از کودهای شیمیایی باشد. هر چه ماده آلی تجزیه پذیر در خاک بیشتر باشد، در نتیجه فعالیت میکروبی و به دنبال آن تنفس میکروبی افزایش می‌یابد (Chander et al, 2006). در مقابل، در قسمت مرکزی و جنوب غربی منطقه میزان تنفس خاک کمتر دیده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که افزایش ماده آلی تجزیه پذیر به افزایش تنفس میکروبی و فعالیت آنزیمی منجر می‌شود؛ این در حالی است که کودهای شیمیایی بر شاخص‌های مذکور تأثیر منفی داشته است (Dixon and Massey, 1983). همچنین هدررفت ماده آلی تجزیه پذیر خاک بر اثر کشت و کار و مدیریت نامناسب خاک، می‌تواند عامل اصلی کاهش تنفس میکروبی (Zeng et al, 2009) در نواحی از منطقه باشد که تنفس میکروبی

در آن کم است. بیشترین سطوح اراضی (۵۵ درصد)، درصد کربن آلی بیش از یک درصد داشت. باتوجه به نقشه طبقات ارتفاع (شکل ۲) مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع منطقه از غرب به شرق، به طور کلی تنفس پایه و تنفس تحریک شده با بستره روند نسبتاً افزایشی دارند. این روند می‌تواند به علت افزایش نسبی بارش و رطوبت خاک به دلیل افزایش ارتفاع باشد.



شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی‌شده توزیع تنفس میکروبی خاک در منطقه. راست) تنفس پایه خاک و چپ) تنفس تحریک‌شده با بستره خاک

به منظور بررسی کارایی روش درون‌یابی در برآورد ویژگی‌های بیولوژیک خاک، مقادیر برآورد شده ویژگی‌ها توسط کریجینگ در نقاط نمونه‌برداری استخراج و همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده شاخص‌ها در نمونه‌های خاک و مقادیر برآورد شده توسط کریجینگ محاسبه شد که این امر در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸: همبستگی پیرسون بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و تخمین زده شده تنفس میکروبی خاک

ویژگی	کریجینگ
BR	۰/۲۳۴*
SR	۰/۲۰۴*

*: تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح پنج درصد

نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی در هر دو ویژگی مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش درون‌یابی کریجینگ همبستگی معنی‌داری دارد. این امر نشان می‌دهد که روش کریجینگ از کارایی لازم برای برآورد ویژگی‌های بیولوژیک خاک برخوردار است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

محققان معتقدند که به منظور مطالعه و بررسی فرایندهای خاک در سیستم‌های مختلف کاربری اراضی و حفاظت و احیای توانایی خاک در انجام وظایف اکوسیستمی خود، اجرای پژوهش در خصوص تأثیر تغییر کاربری اراضی، جهت شیب و طبقات ارتفاع بر عملکرد اکوسیستم خاک به واسطه فعالیت‌های انسانی امری ضروری است (Van Leeuwen et al, 2017). مطالعات انجام شده حاکی از آن است که میکروارگانیسم‌های خاک به دلیل تأثیر آن بر خواص خاک از جمله مقدار کربن آلی و عناصر غذایی، pH، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، رطوبت و تفاوت سرعت تجزیه بقایا در کاربری‌های مختلف، به تغییر کاربری اراضی بسیار حساس بود و این تغییر بر روی ساختار جامعه میکروبی و بر فعالیت‌های آنها به خصوص تنفس پایه و تحریک شده با بستره تأثیر به‌سزایی داشت (Asghari et al, 2016 & Padiab et al, 2019). همچنین یافته‌های Soltani Toularoud و Asghari (2021) نشان داد که مقدار تمام پارامترهای زیستی اندازه‌گیری شده در خاک با کاربری جنگل، به طور معنی‌داری بیش از خاک با کاربری مرتع بود. در هر دو کاربری و در تمام موقعیت‌های شیب، بیشترین مقدار تنفس میکروبی پایه و تنفس ناشی از بستره، جمعیت میکروارگانیسم‌ها و کربن زیست‌توده میکروبی در شیب جهت شمالی اندازه‌گیری شد. در مطالعه حاضر، مقدار تنفس پایه و تحریک شده با بستره در زمین‌های جنگلی به طور قابل توجهی بیش از زمین‌های مرتعی و کشاورزی بود. در بین دو کاربری مرتعی و کشاورزی نیز مقدار تنفس میکروبی خاک در زمین‌های کشاورزی کمتر بود. با توجه به تورپستی بودن و وجود دام‌های محلی، این موضوع را می‌توان به رفت و آمد، فعالیت زیاد انسان و دام در ارتفاع‌های پایین‌تر و کاربری کشاورزی و مرتع - که بیشتر در معرض این فعالیت‌ها است - نسبت داد. محققان بسیاری گزارش کرده‌اند که گیاهان با تأمین مواد آلی (ترشحات ریشه‌ای و بقایا)، بر فعالیت و متأثر از آن بر میزان تنفس آنها به طور معنی‌داری تأثیر می‌گذارند (Royer-Tardif et al, 2010 & Dornbush, 2007).

جهت شیب می‌تواند با کنترل حرکت آب، مواد آلی و عناصر غذایی، در ایجاد تنوع مکانی ویژگی‌های خاک نقش داشته باشد (Moges and Holden, 2008). در مطالعه‌ای Reza و همکاران (2011) اثر موقعیت شیب را بر شاخص‌های میکروبی بررسی و گزارش کردند که موقعیت شیب بر کربن زیست‌توده، نیتروژن زیست‌توده و فسفر زیست‌توده میکروبی اثر معنی‌دار داشت. بیشترین مقدار این شاخص‌ها در شیب‌های شمالی گزارش شد. Tavakoli و همکاران (2008)، برخی از شاخص‌های کیفیت خاک را در باغ‌های بادام واقع در شیب‌های شمالی و جنوبی بررسی کردند. آنها نشان دادند که تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب، بر کلیه شاخص‌های زیستی معنی‌دار بود. Soltani Toularoud و Asghari (2021) طی مطالعه خاک در موقعیت‌های مختلف شیب نشان دادند که متغیرهای توپوگرافی از جمله موقعیت شیب و تغییرات ارتفاع، بر پارامترهای میکروبی خاک تأثیر معنی‌داری داشت؛ به طوری که شاخص‌های میکروبی در موقعیت شانه شیب مقادیر بالایی داشت، هر چند که مقدار برخی از شاخص‌ها در این موقعیت با سایر موقعیت‌های مورد بررسی فاقد اختلاف معنی‌داری بود. شرایط میکروکلیمای خاک (دما و رطوبت) در جهت‌های

مختلف شیب و طبقات ارتفاعی متفاوت، می‌تواند فرایندهای خاک و تکامل آن را تحت تأثیر قرار دهد (Egli et al, 2006). جهت شیب با تغییر سرعت تجزیه بقایا و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، بر بسیاری از خواص خاک تأثیر می‌گذارد (Nahidan et al, 2015). شیب‌های جنوبی، انرژی خورشیدی بیشتری را نسبت به شیب‌های شمالی دریافت می‌کند. معمولاً در شیب‌های رو به جنوب، تعداد و فعالیت جامعه میکروبی خاک به دلیل دمای بالا، آب کم، تخلخل پایین و عواقب نامطلوب ناشی از پوشش گیاهی نامناسب، پایین است (Zhang et al, 2010 & Wang et al, 2008 & Ai et al, 2018). در پژوهش حاضر در جهت‌های شمالی و جنوبی شیب نیز اختلاف میانگین معنی‌داری دیده شد. به طور کلی، دامنه‌های جنوبی با دریافت پرتوهای خورشیدی بیشتر (افزایش دما) و کاهش رطوبت خاک، تنفس میکروبی پایین‌تری نسبت به دامنه‌های شمالی - که شرایطی عکس دامنه جنوبی دارد - خواهند داشت. همچنین افزایش ارتفاع به علت افزایش نسبی رطوبت هوا و کاهش دما، به افزایش میزان تنفس میکروبی منجر می‌شود. این موضوع با تأثیر بر فرایندهای خاک و توسعه آن و میزان پوشش گیاهی در دو شیب، می‌تواند به طور قابل توجهی روی فعالیت و تنفس میکروارگانیسم‌های خاک اثر بگذارد (Sariyildiz et al, 2005 & Carletti et al, 2009 & Huang et al, 2015). یافته‌های این پژوهش نیز حاکی از فعالیت کم و در نتیجه تنفس کم در خاک‌های واقع در شیب جنوبی است. Ai و همکاران (2018) در پژوهشی اثر جهت شیب را بر شاخص‌های زیستی در خاک‌های ریزوسفری و غیر ریزوسفری چمنزار مطالعه کردند. یافته‌ها نشان داد که بیشترین مقدار تنفس میکروبی پایه و تنفس تحریک شده با بستره، در خاک‌های غیر ریزوسفری چمنزار در جهت شمال شیب دیده شد. Maleki و همکاران (2013) طی پژوهش بررسی اثر جهت شیب بر برخی از ویژگی‌های خاک گزارش دادند که جهت شیب بر مقدار تنفس میکروبی خاک تأثیر داشت و بیشترین مقدار این ویژگی، در شیب جهت شمال شرقی و زمین تحت کشت پنبه اندازه‌گیری شد.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های زیستی به موقعیت‌های زمین‌نما و کاربری اراضی وابسته است و این عوامل با اثرگذاری بر ساختار جامعه میکروبی می‌تواند خصوصیات خاک، توسعه و تکامل آن را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به نقش میکروارگانیسم‌ها به عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر در اکوسیستم خاک و تأثیر این جزء بر خواص فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای این اکوسیستم، می‌توان با فراهم کردن شرایط مناسب برای فعالیت خوب میکروارگانیسم‌ها به افزایش هر چه بیشتر کیفیت خاک و کاهش فرسایش و هدر رفت آن کمک بسیاری کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان اظهار داشت که ارزیابی ویژگی‌های بیولوژیکی - که مورد بحث قرار گرفت - می‌تواند در کنترل عوامل مدیریتی در منطقه مورد نظر نقش برجسته‌ای داشته باشد. تغییرات زیاد شاخص‌های تنفس خاک، احتمالاً به دلیل حساسیت زیاد این ویژگی‌ها به عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کوددهی شیمیایی است که به تغییر در یکنواختی سطح خاک منجر می‌شود. نقشه کریجینگ این دو ویژگی نیز این موضوع را تأیید کرد. نتایج حاکی از همبستگی منطقی بین تنفس میکروبی خاک و سایر ویژگی‌ها بود که وجود همبستگی بین ویژگی‌های خاک بیانگر ارتباط قوی بین آنها است؛ به طوری که تنفس میکروبی خاک با ویژگی‌هایی از جمله کربن آلی خاک به سبب نیاز غذایی میکروارگانیسم‌ها، تخلخل به سبب ارتباط با تهویه خاک، میزان رطوبت به سبب ایجاد شرایط برای زیستن میکروارگانیسم‌ها و بافت خاک سیلتی به سبب داشتن شرایط مناسب، همبستگی خوبی دارند و تغییر در هر کدام از این ویژگی‌ها بر تنفس میکروبی خاک تأثیر می‌گذارد. Islam و Weil (2000)

نیز به منظور برآورد ویژگی‌های خاک مزرعه گندم شامل کربن آلی، تنفس میکربی، کربن زیست توده میکروبی، کسر متابولیک یا تنفس ویژه، EC، pH و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز در جنوب شرقی ایالت واشنگتن آمریکا، از روش زمین آماری کریجینگ استفاده و مشاهده کردند که این روش، دقت قابل ملاحظه‌ای نسبت به دیگر روش‌ها دارد. Yanl و همکاران (2007) با استفاده از تعداد داده متفاوت، به بررسی روش‌های مختلف زمین آمار در برآورد شوری خاک در خاک‌های شور ساحل شانگیوی چین پرداختند. آنها اعلام کردند روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ دقت بیشتری دارد. طبق تحقیقی که Wu و همکاران (2006) برای برآورد pH و کربن آلی در داکوتای شمالی انجام دادند، روش کوکریجینگ را روش مناسبی نسبت به کریجینگ اعلام کردند. علم زمین آمار در این پژوهش نیز به خوبی توانست ویژگی‌ها را بررسی و مطالعه کند؛ به گونه‌ای که نتایج حاصل از روش درونیابی کریجینگ به خوبی توانست پراکندگی مکانی ویژگی‌ها را تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح پنج درصد و همبستگی بیش از ۰/۲ تخمین بزند و این تأییدکننده این موضوع است که از این روش می‌توان به منظور ارزیابی خاک در این منطقه استفاده کرد.

منابع

1. Ai, Z. M.; He, L. R.; Xin, Q.; Yang, T.; Liu, G. B.; & S. Xue, 2017a. Slope aspect affects the non-structural carbohydrates and C:N:P stoichiometry of *Artemisia sacrorum* on the Loess Plateau in China, *Catena*, 152, 9-17.
2. Ai, Z. M.; Zhang, J. Y.; Liu, H. F.; Xue, S.; & G. B. Liu, 2018. Influence of slope aspect on the microbial properties of rhizospheric and non-rhizospheric soils on the Loess Plateau, China, *Solid Earth*, 9, 1157-1168.
3. Alef, K., & P. Nannipieri., (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London. 453p.
4. Alemayehu, K., 2007. Effects of different land use systems and topography on selected soil properties at Delbo Watershed, Wolayita Zone, southern Ethiopia. M.Sc. Thesis. Hawassa University, Hawassa, Ethiopia.
5. Amirinejad, A. A., & S. Ghotbi., (2018). The Impact of Land Use Change on Soil Physical Quality in Gilan-e-Gharb Region. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 22, 41-51. (in persian)
6. Anderson, J. P. E., 1982. Soil respiration. In: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, W.I, pp. 831-871.
7. Ascher, J.; Sartori, G.; Graefe, U.; Thornton, B.; Ceccherini, M.; Pietramellara, G.; & M. Egli, 2012. Are humus forms, mesofauna and microflora in subalpine forest soils sensitive to thermal conditions?, *Biology and Fertility of Soils*, 48, 709-725.
8. Asghari, S. h.; Ahmadnejad, S.; & F. Keivan Behjou, 2016. Deforestation effects on soil quality and water retention curve parameters in eastern Ardabil, Iran, *Eurasian Soil Science*, 49(3), 338-346.
9. Carletti, P.; Vendramin, E.; Pizzeghello, D.; Concheri, G.; Zanella, A.; Nardi, S.; & A. Squartini, 2009. Soil humic compounds and microbial communities in six spruce forests as function of parent material, slope aspect and stand age, *Plant Soil*, 315, 47-65.
10. Chander, K.; Goya, S.; & k. Kapoor, 2006. Microbial biomass dynamics during the decomposition of leaf litter of Poplar and eucalyptus in a sandy loam, *Applied Soil Ecology*, 35, 10-23.

11. Dearborn, K. D., & R. K. Danby., (2017). Aspect and slope influence plant community composition more than elevation across forest– tundra ecotones in subarctic Canada. *Journal of Vegetation Science*. 28, 595-604.
12. Dornbush, M. E., 2007. Grasses, litter and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity, *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2241-2249.
13. Egli, M.; Mirabella, A.; Sartori, G.; Zanelli, R.; & S. Bischof, 2006. Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils, *Catena*, 67, 155-174.
14. Gee, G. W., & D. Orr., (2002). Partical- size analysis. *Soil Science Society of America. Madison*. 16, 255-293. 21.
15. Goberna, M.; Sánchez, J.; Pascual, J. A.; & C. Carcía, 2006. Surface and subsurface organic carbon microbial biomass and activity in a forest soil sequence, *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2233-2243.
16. Hassani Pak, A., 2010. Geostatistics (Geostatistics). University of Tehran Press, 314 p.
17. Huang, Y. M.; Liu, D.; & S. S. An, 2015. Effect of slope aspect on soil nitrogen and microbial properties in the Chinese Loess region, *Catena*, 135-145.
18. Islam, K. R., & R. R. Weil., (2000). Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil and Water Conservation*. 54, 69-78.
19. Jeffrey, L. S., & J. H. Jonathan., (2011). Field scale studies on the spatial variability of soil quality indicators in Washington state, USA. *Applied and Environmental Soil Science*, doi:10.1155/2011/198737.
20. Jenkinson, D. S., & D. S. Powlson., (1976). The effect of biocidal treatments on metabolism in soil fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*. 8, 167–177.
21. Khormali, F.; Ajami, M.; Ayoubi, S.; Srinivasarao, Ch.; & S. P. Wani, 2009. Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province. Iran, *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 134, 178-189.
22. Maleki, S.; Khormali, F.; Kiani, F.; & A. R. Karimi, 2013. Effect of slope position and aspect on some physical and chemical soil characteristics in a loess hillslope of Toshan area, Golestan Province, Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*, 20, 94-112 (In Persian).
23. Moges, A., & N. M. Holden., (2008). Soil fertility in relation to slope position and agricultural land use: a case study of Umbulo catchment in southern Ethiopia. *Journal of Environmental Management*. 42, 753-763.
24. Nabiollahi, K.; Golmohamadi, F.; Taghizadeh-Mehrjardi, R.; Kerry, R.; & M. Davari, 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate, *Geoderma*, 318, 16-28.
25. Nahidan, S.; Nourbakhsh, F.; & M. R. Mosaddeghi, 2015. Variation of soil microbial biomass C and hydrolytic enzyme activities in a rangeland ecosystem: are slope aspect and position effective?, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 797-811.
26. Ollinger, S. V.; Smith, M. L.; Martin, M. E.; Hallett, R. A.; Goodale, C. L.; & J. D. Aber, 2002. Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of diverse history and compositions, *Ecology*, 83, 339-355.
27. Padiab, J.; Abbasi-Kalo, A.; & F. Keivan-Behju, 2020. Behavior of soil physical and chemical properties against forest land use change (case study: Khalkhal County, Ardabil Province), *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 36 (9:4), 17-34 (In Persian).
28. Page, A. L.; Miller, R. H.; & D. R. Keeney, 1982. Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc, Soil Science Society of America, Madison, WI 36.
29. Pankhurst, C.; Doube, B. M.; & V. V. S. R. Gupta, 1997. Biological indicators of soil health: synthesis. Pankhurst, (CAB International: Wallingford, UK) pp. 419–435. 34.

30. Parsadoost, F.; Eskandari, Z.; Bahraini Nejad, B.; & A. Jafari Ardakani, 2015. Comparison of some chemical and biological indicators of soil in different land uses in the first and end of the growing season in Isfahan Friedan region, *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources_ Soil and Water Sciences*, 19(71), 19-11 (in persian).
31. Pauline, M., & E. David., (2008). Application of self-organizing maps for assessing soil biological quality. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 126, 139-152.
32. Reza, S. K.; Baruah, U.; Sarkar, D.; & D. P. Du, 2011. Influence of slope positions on soil fertility index, soil evaluation factor and microbial indice in acid soil of Humid Subtropical India, *Indian Journal of Soil Conservation*, 39, 44-49.
33. Ritz, K.; Black, H. I. J.; Campbell, C. D.; Harris, J. A.; & C. Wood, 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific opinion to assist policy development, *Ecological Indicators*, 9, 1212-1221.
34. Royer-Tardif, S.; Bradley, R. L.; Pearce, D. A.; & G. A. Kowalchuk, 2010. Patterns of bacterial diversity across a rang of Antarctic terrestrial habitats, *Environmental Microbiology*, 42, 813-821.
35. Sariyildiz, T.; Anderson, J.; & M. Kucuk, 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey, *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 1695-1706.
36. Soltani Toularoud, A., & S. Asghari., (2021). Assessment the effect of Slope aspect and position on some soil microbial indices in rangeland and forest. *E.E.R.* 11(1), 58-74 (in persian)
37. Sui, X.; Zhang, R.; frey, B.; Yang, L.; Li, M. H.; & N. Hongwei, 2019. Land use change effects on diversity of soil bacterial, Acidobacterial and fungal communities in wetlands of the Sanjiang Plain, northeastern China, *SCIENTIFIC REPORTS*, 9, 18535, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55063-4>.
38. Tatanah Nanganoa, L.; Nambangia Okolle, J.; Missi, V.; Roberto Tueche, J.; Dopgima Levai, L.; & J. Nkengafac Njukeng, 2019. Impact of Different Land-Use Systems on Soil Physicochemical Properties and Macrofauna Abundance in the Humid Tropics of Cameroon. Hindawi, *Applied and Environmental Soil Science*. /doi.org/10.1155/2019/5701278.
39. Tavakoli, M.; Raiesi, F.; & M. H. Salehi, 2008. Evaluation of selected soil quality indicators in almond orchard located on north and south-facing slopes in Saman region, Shahrek, *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 15(1), 1-13.
40. Tsui, C. C.; Chen, Z. S.; & C. F. Hsieh, 2004. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan, *Geoderma*, 123, 131-142.
41. Van Leeuwen, J. P.; Djukic, I.; Bloem, J.; Lehtinen, T.; & L. Hemerik, 2017. Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in Danube floodplain, *European Journal of Soil Biology*, 79, 14-20.
42. Walkly, A., & I. A. Black., (1934). An examination of Degtijaref method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. I. Experimental. *Soil Science Society of America Journal*. 79, 459- 465.
43. Wang, L.; Wang, Q.; Wei, S.; Shao, M. A.; & Y. Li, 2008. Soil desiccation for Loess soils on natural and regrown areas, *Forest Ecology and Management*, 255, 2467-2477.
44. Wei, J. B.; Xiao, D. N.; Zhang, X. Y.; & X. Z. Li, 2006. Spatial variability of soil organic carbon in relation to environmental factors of a typical small watershed in the black soil region, northeast China, *Environmental Monitoring and Assessment*, 121, 597-613.
45. Wilding, L. P., & H. Lin., (2006). Advancing the frontiers of soil science towards geoscience. *Geoderma*. 131, 257-274.
46. Wu, J.; Boucher, A.; & T. Zhang, 2008. A SGeMS code for pattern simulation of continuous and categorical variables: FILTERSIM, *Computers & Geosciences*, 4(12), 1863-1876.

47. Yanl, LI, Zhou-SHI, Ci-fang WU, Hong-yi LI and Feng LI, 2007. Improved prediction and Reduction of Sampling Density for soil Salinity by Different Geostatic Methods, *Agricultural Science in china*, 6(7), 832-841.
48. Yimer, F.; Messing, I.; Ledin, S.; & A. Abdelkadir, 2008. Effect of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the high lands of Ethiopia, *Soil Use and Management*, 24, 344-349.
49. Zeng, D. H.; Hu, Y. L.; Chang, S. X.; & Z. P. Fan, 2009. Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting Mongolian pine (*Pinussylvestris* var. *mongolica*) in sandy lands in Keerqin, northeastern China, *Plant and Soil*, 317, 121-133.
50. Zhang, G. H.; Liu, G. B.; & G. L. Wang, 2010. Effect of *Caragana korshinskii* Kom. Cover on run off, sediment yield and nitrogen loss, *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 245- 257.
51. Zhou, M.; Xiao, Y.; Li, Y.; Zhang, X.; Wang, G.; Jin, J.; Ding, G.; & X. Liu, 2020. Soil quality index evaluation model in responses to six-year fertilization practices in Mollisols, *Archives of Agronomy and Soil Science*, Published online.

Assessment of the Effect of Slope Aspect and Elevation Classes on Soil Microbial Respiration in Agriculture, Rangeland and Forest

Zahra karimzadeh: Graduated MSc student, soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Ali ashraf soltani toolarood¹: Associate professor, soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Hossein shahab arkhazloo: Assistant professor, soil science and engineering department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Article History (Received: 2022/05/31

Accepted: 2022/07/10)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.11.0

Extended abstract

1- Introduction

Spatial changes in soil properties are significantly influenced by factors affecting soil formation such as topography. Topography can create different properties in the soil by affecting the spatial distribution of effective environmental parameters. Topographic features such as contour, slope direction by affecting soil temperature, evaporation capacity, soil moisture, soil organic matter, precipitation, movement and accumulation of soil solution can affect the biological properties of soil. Respiration of soil microorganisms is one of the most sensitive and important biological properties that can affect soil quality. To study the impact of land use change on soil ecosystem performance due to human activities, it is necessary to maintain and restore soil capacity to provide ecosystem services. The aim of this study was to investigate the effect of slope and height classes on soil microbial respiration in agricultural, rangeland and forest areas of Khanghah Namin village.

2- Methodology

In order to conduct this research, in the fall, samples of intact and untouched soil from the study area were prepared in 72 points by regular networking method with distances of about 200 meters. Common physical and chemical properties of soil including soil pH, electrical conductivity, equivalent total calcium carbonate, organic matter, soil texture (percentage of sand, silt and clay particles) and total porosity were measured. From soil biomarkers, basal microbial respiration and substrate-stimulated respiration were determined. Kriging geo statistical method was used to estimate and determine the spatial distribution and evaluate some soil properties as well as cumulative soil quality indicators. For this purpose, the geographical coordinates of each point of the GPS device were transferred to GIS software. After recording the data of the sampled points, the interpolation command was executed and the information of the non-sampled points was obtained. In order to explain the spatial similarity of the variables, the experimental variogram of the data was obtained using GS + statistical software and the best variogram model was selected according to the variogram information. Finally, the distribution map of soil biological indicators was extracted using GIS and Kriging geo statistical methods. The correlation between the measured and estimated values of soil biological properties was calculated and evaluated in SPSS19 statistical software. Experimental factors included three land uses (namely, agriculture, rangeland and forest), slope direction at two levels (north and south) and two elevations (<1580 <) in terms of significant mean difference in field moisture. Normalization of data was performed by Shapiro-Wilk (1965) test using SPSS19 software. Mean comparison was performed unpaired by T-Test using SPSS19 statistical software. Pearson correlation between soil microbial base respiration and substrate-stimulated respiration with other soil properties was obtained in SPSS19 software.

3- Results

The results of the descriptive statistics of the soil properties showed that most of the soils in the study area have a loam soil texture class. The pH value of the samples was in the range of 5.7.7, the percentage of organic carbon was 0.6.6 % and calcium carbonate value was from 0.67 % to 16.67 %. The maximum electrical

¹Corresponding Author: ali_soltani_t@yahoo.com

conductivity (EC) was less than 2 ds/m of Siemens per meter, indicating the non-saline soils of the area. Also, the high levels of average microbial base respiratory and the substrate induced respiration were 1.21 and 7.5, respectively. High correlation between the properties of soil organic carbon percentage, porosity percentage, silt percentage, farm moisture percentage and soil pH with base microbial respiration and substrate induced respiration with clay, sand and electrical conductivity of the soil were not significant. The farm moisture had the highest hydraulic soil with the lowest correlation with microbial respiration. In general, the average base and substrate induced respiration was higher on the height contour (1580<). Also, both base and substrate induced respiration in accordance with elevation had a significant mean difference at 5 %. In the present study, the studied slope on the north and southern slopes on the base microbial respiration level at 5 % probability level and substrate induced respiration with the probability level of 1 % was significantly different. The highest amount of these indicators was measured on the northern slope of the area and the lowest in the south slope of the southern south slope located mostly in the center to the northeast of the area and the northern slopes in the southern and northern parts of the area. It is maintained that the cause can be attributed to the existence of heights and solar radiation on the southern slopes. To determine the distribution of soil biological indexes at the level of the study area, the distribution of the area's biological properties of the area was prepared by applying the Kriging method. The best model for drawing soil base respiration map was selected for substrate induced respiration with the largest soil bed based on the highest R², the range of impact, the least RSS and the effect of the piece. The largest amount of soil respiration was observed by the base respiration and irritated respiration in the north and northeast of the area. It is also observed that as the height of the area increases from west to east, basic respiration is generally stimulated with a relatively increased trend. The results show that there is a significant correction in both characteristics of measured and estimated values by the Kriging internalization method.

4- Discussion & Conclusions

In this study, the amount of basal and bed-stimulated respiration in forest lands was significantly higher than rangeland and agricultural lands. Between rangeland and agricultural uses, the amount of soil microbial respiration in agricultural lands was lower. Due to the fact that this area is a tourist destination and there are local livestock, this finding can be attributed to transportation, high human and livestock activity at lower altitudes, and agricultural and pasture use, which are more exposed to these activities. The microbial respiration values in the northern direction of the slope were significantly higher than in the southern direction. The southern slopes received more solar energy than the northern slopes. Usually in the south-facing slopes, the number and activity of soil microbial community is low due to high temperature, low water, low porosity and adverse consequences due to inadequate vegetation. In addition, a significant mean difference was observed in the northern and southern directions of the slope. Also, the increase in altitude due to the relative increase in humidity and decrease in temperature led to an increase in microbial respiration. This issue can significantly affect the activity and respiration of soil microorganisms by affecting soil processes and its development as well as the amount of vegetation in the two slopes. According to the obtained results, it can be stated that the evaluation of biological properties that was discussed can play a prominent role in controlling the management factors in the area. Large changes in soil respiration indices are probably due to the high sensitivity of these properties to human factors such as tillage operations and the use of chemical fertilizers, which cause changes in soil surface uniformity. The zoning map of these two features also confirmed this. The results showed a logical correlation between soil microbial respiration and other characteristics that the existence of a correlation between soil properties indicates a strong relationship between them. Geo-statistical science in this study was able to estimate the properties well. The results of this study showed that in the studied area, biological indicators depend on the position of the landscape and land use, and these factors can affect the structure, development and evolution of soil by affecting the structure of the microbial community.

Key Words: Basal respiration, Substrate Induced Respiration, Topography, Land use, Kriging, Variogram.