

بررسی اثر نوع کاربری اراضی بر تخلخل خاک با استفاده از پردازش تصویر

علی اصغر جعفرزاده^{۱*}، مهدی نوروزی^۲، حسین رضائی^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۵

۱- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: E-mail: ajafarzadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثرات نوع کاربری اراضی بر تخلخل خاک در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرکج با استفاده از پردازش تصویر مقاطع نازک خاک انجام شد. آزمایشات با مطالعه پنج خاکرخ در پوشش‌های گیاهی مختلف شامل باغ سیب، درختان سوزنی برگ، یونجه، کلزا و زمین بایر انجام و از برش‌های نازک، ۴۵۰ عکس با فرمت TIFF توسط دوربین متصل به میکروسکوپ تهیه و منافذ از کانی‌ها با لام لاندنا متمایز گردید. در یک آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی (CRD)، نمونه‌های دست نخورده خاک با سه تکرار از افق‌های A یا Ap، Bw و C آماده و برش‌های نازک خاک تهیه شده با میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که مساحت کل منافذ در باغ سیب و سوزنی برگ بیش از کاربری‌های یونجه و کلزا و زمین بایر بوده و این امر می‌تواند در ارتباط با سیستم ریشه و ماده آلی در اراضی مذکور باشد. همچنین فراوانی ویژگی‌هایی از قبیل درجه گردواری و استحکام منافذ در پوشش سوزنی برگ بیشتر از اراضی یونجه، کلزا و بایر می‌باشد. در کاربری‌های یونجه، کلزا و اراضی بایر بعد فرکتال منفذ خاک (Dmp) و ذرات جامد خاک (Dms) به ترتیب به‌طور معنی‌داری کاهش و افزایش یافته است، لذا نتایج کمی و آماری بیان‌گر تأثیر معنی‌دار نوع کاربری اراضی بر منافذ و ریزساختار خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ابعاد فرکتالی، درجه گردواری، ریزساختار، منافذ، میکرومرفولوژی

Assessment of land use type effect on soil porosity by image processing

AA Jafarzadeh^{1*}, M Norouzi², and H Rezaei³

Received: 2016-09-22

Accepted: 2017-12-16

¹ Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

² PhD students, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

³ Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author; E-mail: ajafarzadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

This research work carried out to investigate the effects of land use type on soil porosity by image analysis of soil thin sections in Karkaj Agriculture Research Station. Experiments were conducted by studying five soil profiles with different covers of apple and coniferous trees, alfalfa, rapeseed and bare land (no cultivation) and 450 TIFF format images from soil thin sections, were prepared by connected camera to microscope and pores were separated from minerals with the compensator Lambda plate. As a factorial trial with completely randomized design (CRD), undisturbed soil blocks were prepared with three replications from horizons of A or Ap, Bw and C and then soil thin sections were prepared and studied with a polarizing microscope. Obtained results indicated that total area of soil pores in apple and coniferous lands were greater than those in the utilized lands for alfalfa, rapeseed and bare one, that it can be related to root system and organic matter. Also maximum frequency of shape characteristics such as pores roundness and solidity observed in coniferous covered land were greater than those in alfalfa, rapeseed and bare lands. In alfalfa, rapeseed and bare lands the fractal dimension of the pore component (Dmp) and solid component (Dms) were significantly decreased and increased respectively. Therefore, the quantitative and statistical results revealed significant effects of the land use types on soil porosity and microstructure.

Keywords: Fractal dimension, Micromorphology, Microstructure, Roundness, Voids

مقدمه

تعیین نمود (استوپس، ۲۰۰۳). از سوی دیگر مطالعه فابریک می‌تواند در مدیریت خاک مفید واقع شود (رینگرز و هومفریز، ۱۹۹۴). الگوی پراکنش و جهت-یابی، اندازه، جورشدگی و شکل از مهم‌ترین ویژگی‌های فابریک خاک محسوب می‌شوند (بولاک و همکاران، ۱۹۸۵). ریزساختار خاک عبارت است از طرز قرار گرفتن ذرات آن در کنار یکدیگر بوده که در نتیجه آن

فابریک خاک ترتیب و ساختار کامل خاک است که در قالب آرایش فضایی اجزای خاک (جامد- مایع- گاز)، شکل، اندازه و فراوانی آنها از نقطه نظر مشاهده-ای، ترکیبی، عملکردی و ژنتیکی بیان شده و نتیجه عمل فرآیندهای خاکسازی است (بولاک و همکاران ۱۹۸۵). با مطالعه فرآیندهای خاکسازی حاکم، وضعیت فعلی و گذشته خاک و نیز توالی و تحول آتی آن را می‌توان

برای کمی کردن عوارض، میکرومرفولوژیست‌ها مدت‌ها از روش اندازه‌گیری نقطه‌ای و تفسیر کمی مبتنی بر آن استفاده کردند. امروزه استفاده از رایانه برای آنالیز تصاویر در تعیین الگوی پراکنش عوارض، طبقه‌بندی و کمی نمودن آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته و روند تکاملی خود را طی می‌کند. آنالیز کمی فابریک خاک به‌عنوان یک ابزار ضروری برای خاکشناسان جهت بررسی نحوه تکوین و پیدایش خاک، مدیریت کاربری مناسب مطرح بوده (آیدمیر و همکاران ۲۰۰۴) و در دهه ۱۹۷۰، قابلیت استفاده از تکنیک آنالیز تصویر رایانه‌ای در میکرومرفولوژی خاک آغاز شده است. مطالعات اولیه عمدتاً شامل تعیین اندازه منافذ بوده (فوستر و همکاران، ۱۹۷۱) و در مطالعات بعدی ویژگی‌های مربوط به شکل نیز بررسی شده است (بولاک و مورفی، ۱۹۸۰).

امروزه روش‌های جدید و دقیق‌تری برای تفسیر موارد مشاهده شده در فابریک خاک به‌کار برده می‌شود و اخیراً تلاش‌هایی برای استفاده از مفاهیم فرکتالی جهت تفسیر مقاطع نازک میکروسکوپی به‌عمل آمده است (دوهر و همکاران، ۲۰۰۹). بُعد فرکتال یک محاسبه از درجه اشغال یک شیء هندسی است که فضا را می‌سازد (فرونتر، ۱۹۸۷). برای یک شیء که در یک سطح تعبیه شده مثل عکس‌های مقاطع نازک خاک، بُعد فرکتال دامنه‌ای بین ۱ و ۲ دارد که به‌ترتیب بُعد توپولوژیکی خط و سطح می‌باشد (دوهر و همکاران، ۲۰۰۹). معمولاً بُعد فرکتال در مقاطع نازک هم برای منافذ خاک (Dmp) و هم برای ذرات جامد خاک (Dms) محاسبه می‌شود. محاسبات فرکتالی فضای منافذ، دامنه وسیع‌تری از محاسبات فرکتالی فضای ذرات جامد داشته و فضای منافذ گرایش به سمت سطوح آشفتگی دارد (گیمینز و همکاران، ۱۹۹۷). ابعاد فرکتالی Dmp و Dms بطور مکمل خصوصیات هندسی خاک و پاسخ‌های مختلف آن به شیب آشفتگی را شرح می‌دهند (دوهر و همکاران، ۲۰۰۹).

فعالیت‌های کشاورزی با به‌هم زدن منافذ درشت خاک موجب تراکم خاک شده و تماس بین خاکدانه‌ها را

منافذ بوجود می‌آیند. منافذ به‌عنوان بخشی از فابریک خاک نقش مهمی در کلیه فرآیندهای روی داده در خاک داشته (برزگر، ۱۳۸۹) و آگاهی از سیستم منافذ خاک می‌تواند شناخت خوبی درباره کیفیت و قدرت آسیب‌پذیری خاک طی فرآیندهای تخریبی که به‌طور عمده با فعالیت‌های بشر مرتبط است، ارائه دهد (میرکریمی و همکاران، ۱۳۹۰). اندازه منافذ یکی از ویژگی‌های مهم فابریک خاک است که با توجه به آن منافذ از نظر نقش‌های مربوطه تقسیم‌بندی می‌شوند. منافذ در اندازه‌های $5-50 \mu\text{m}$ منافذ ذخیره‌ای، در محدوده $50-500 \mu\text{m}$ از نوع انتقالی با نقش در رابطه آب، خاک و گیاه، اندازه‌های $50-500 \mu\text{m}$ منافذ انتقالی که هم در رابطه آب، خاک و گیاه مهم بوده و هم در شرایط ساختمانی خوب خاک، در اندازه $500-1000 \mu\text{m}$ مشتمل بر منافذی که روی نفوذ ریشه و حرکت آب نقش داشته و در نهایت منافذ بیش از $1000 \mu\text{m}$ منافذ زیستی را شامل می‌شود که جانوران خاک نقش مهمی در تشکیل آنها دارند (گرینلند، ۱۹۷۷؛ لی، ۱۹۸۵؛ پاگلیای، ۱۹۸۸).

شناسایی و کشف تغییراتی که به دنبال تغییر کاربری و پوشش اراضی رخ می‌دهد در شناخت عوامل مؤثر در کاربری و پوشش اراضی و استفاده از آن در سطوح مختلف برنامه‌ریزی به مدیران و برنامه‌ریزان مربوطه کمک‌های شایان‌ذکری می‌کند (میرکریمی و همکاران، ۱۳۹۰). در خاک‌های تحت کشت و کار به علت تردد انسان‌ها و ماشین‌های کشاورزی در سطح خاک و فشار ناشی از آن، ذرات خاک به‌هم نزدیک شده و فضای منافذ خاک کاهش می‌یابد. این امر باعث شکسته شدن خاکدانه‌های موجود شده و آنها را به خاکدانه‌های کوچکتر تبدیل کرده و فضای منافذ را پر می‌کند (لانگ-مک، ۱۹۹۹؛ میرکریمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رضائی و همکاران، ۱۳۹۲). میرکریمی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه منافذ خاک‌های مالی‌سول در جنوب گرگان‌رود تحت کاربری‌های مختلف توسط پردازش تصویر به این نتیجه رسیدند که مساحت کل منافذ در پوشش‌های طبیعی (جنگل و مرتع) بیشتر از اراضی تحت کشت و کار است.

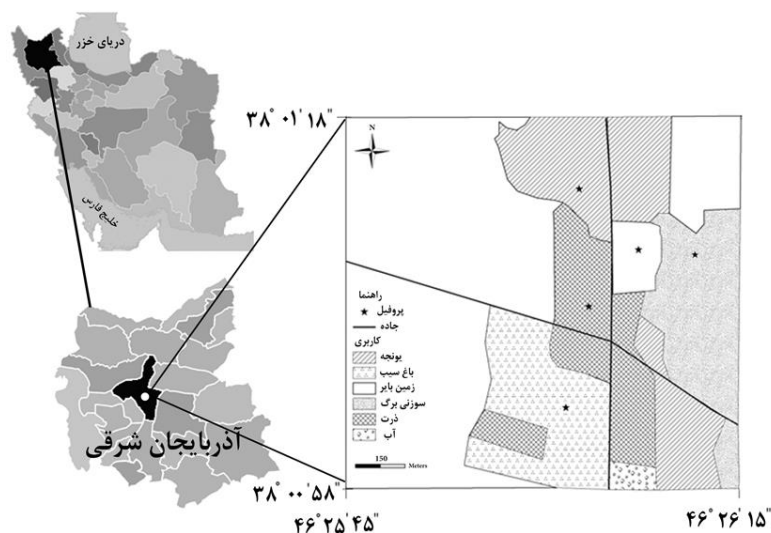
مواد و روش‌ها

تشریح منطقه و مطالعات صحرائی

مطالعه حاضر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرکج دانشگاه تبریز در موقعیت جغرافیایی 23° و 46° الی 26° و 46° طول شرقی و 01° الی 38° عرض شمالی و در ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح آزاد دریا صورت گرفت (شکل ۱). وضعیت فیزیوگرافی منطقه دشت آبرفتی بوده و شیب عمومی منطقه ۲-۰ درصد می‌باشد. موادمادری منطقه شامل نهشته‌های دانه ریز آواری و توف با لایه‌های دیاتومه‌ای است. با توجه به اطلاعات هواشناسی، منطقه دارای آب و هوای مدیترانه-ای سرد بوده و رژیم حرارتی و رطوبتی خاک به ترتیب مزیک و زیریک می‌باشد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۷۷). در این مطالعه خاک‌رخی‌هایی با خاک‌های یکسان (اینسپتی‌سول) ولی با کاربری‌های متفاوت کلزا، یونجه، سوزنی برگ و باغ سیب همراه با یک خاک‌رخی شاهد در اراضی کشت نشده انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مطالعات پایه صحرائی، نمونه‌برداری از افق‌های A یا Ap، Bw و C با عمق تقریباً مشابه و با شرایط محیطی یکسان خاک‌رخی‌های واقع در کاربری‌های ذکر شده صورت گرفت (جدول ۱).

افزایش می‌دهند، در نتیجه تعداد منافذ پر شده از هوا در خاک کاهش می‌یابد. حضور ریزساختارهای قوی و توسعه یافته در خاک‌های مرتعی، به واسطه تولید فضاهای بهم پیوسته و کانال‌ها و ایجاد خاکدانه‌های درشت طی عمل ریشه‌های گیاهی و موجودات زنده خاک شاهدهی بر این امر است (دکانز و جیمینز، ۲۰۰۲). بنابراین انتظار می‌رود خاک‌هایی که ساختمان درشت و منافذ بهم پیوسته دارند، بعد فرکتال منافذ آنها بزرگتر از خاک‌هایی باشد که منافذ کوچک و منفرد دارند (دوهر و همکاران، ۲۰۰۹).

عموماً، اولین پیامدهای تغییر پوشش گیاهی روی ریزساختارها و منافذ خاک و یا به عبارتی خصوصیات فیزیکی خاک دیده می‌شود. این خصوصیات و به‌ویژه مشخصات منافذ و ریزساختار از پارامترهای مهم کیفیت خاک هستند، لذا مطالعه این بخش از فابریک خاک ضرورتی دور از اجتناب است. این پژوهش به منظور بررسی کمی پیامدهای تغییر کاربری اراضی بر تخلخل و منافذ خاک از طریق مطالعه پردازش تصویر در ایستگاه تحقیقاتی کرکج طراحی و اجرا شده است تا با بیانی کمی مدیریتی دقیق بر این پایه برای کاربران در نواحی مطالعه شده به همراه داشته باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و کاربری‌های مختلف در ایستگاه تحقیقاتی کرکج

مطالعات آزمایشگاهی

پس از انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها که پایه تمامی مطالعات ژنتیکی است، به مطالعات میکرومرفولوژی که بحث اصلی این تحقیق بود پرداخته شد. مطابق با روش مورفی (۱۹۸۶) آماده-سازی نمونه‌های مقاطع نازک خاک در چهار مرحله خشک و آماده کردن، تلقیح، برش و چسباندن نمونه‌ها روی لام و در نهایت تهیه برش نازک صورت گرفت. در تلقیح نمونه‌ها از مخلوط رزین پلی‌استر از نوع وستاپل H، استون، سخت کننده کبالت اکتات و کاتالیزور سیکلوهگزان پراکساید استفاده شد. پس از تهیه مقاطع نازک، تشریح آنها توسط میکروسکوپ پلاریزان از نوع Hund Med-Prax، براساس دستورالعمل ارائه شده توسط بولاک و همکاران (۱۹۸۵) و استوپس (۲۰۰۳) انجام گرفت.

مطالعات پردازش تصویر

از هر مقطع نازک ۴۵۰ عکس با فرمت TIFF توسط دوربین متصل به میکروسکوپ تهیه و برای متمایز کردن منافذ از کانی‌ها از لام لاند استفاده شد که این لام منافذ را به رنگ ارغوانی و کانی‌ها را به رنگ‌های مختلف نمایش می‌دهد. به منظور کاهش خطا کانی‌هایی که رنگ مشابه با منافذ داشتند (ارغوانی) شناسایی و همراه با متن خاک با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ به رنگ سیاه رنگ‌آمیزی شدند (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۰). پردازش این تصاویر در نرم‌افزار ImageJ نسخه Fiji صورت پذیرفت (فریرا و رسباند، ۲۰۱۲). تصاویر مذکور به صورت فرمت ۸ بیتی (مقیاس خاکستری) تبدیل و پس از آستانه‌سازی^۱ به شکل یک تصویر تحت سیستم دودویی^۲ تبدیل شدند. در نهایت تعداد و مساحت کل منافذ و درصد فراوانی مساحت و محیط منافذ در چهار کلاس ۵۰-۰/۵، ۵۰۰-۵۰، ۱۰۰۰-۵۰۰ و ۵۰۰ و بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر مربع و میکرومتر تعیین شد (پاگلیای، ۱۹۸۸). شکل ۲ جمع‌بندی مراحل انجام کار را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

برای محاسبه قطر معادل از رابطه (۱) استفاده شد.

$$EPD = 2\sqrt{(A/\pi)} \quad (1)$$

در این رابطه EPD^۳ قطر معادل منفذ بر حسب میکرومتر و A مساحت آن می‌باشد. منافذ از نظر قطر معادل به سه کلاس کمتر از ۱۰، ۱۰۰-۱۰ و بزرگتر از ۱۰۰ میکرومتر تقسیم شدند (گل، ۲۰۰۷).

درجه مدور بودن منافذ از رابطه (۲) بدست آمد که در آن A و P مساحت و محیط منفذ است. این پارامتر بین ۰ تا ۱ متغیر است که عدد ۱ دایره کامل را نشان می‌دهد.

$$Circularity = 4\pi \times \frac{A}{P^2} \quad (2)$$

منافذ از نظر درصد فراوانی مدور بودن نیز به سه کلاس ۰-۰/۲، (منافذ کشیده)، ۰/۵-۰/۰ (منافذ نامنظم) و ۱-۰/۵ (منافذ منظم) طبقه‌بندی شدند (پاگلیای و همکاران، ۱۹۸۳).

ویژگی‌ها یا فاکتورهای شکل، کمیت‌های بدون بُعد در پردازش تصویر و میکروسکوپ هستند که به صورت عددی شکل ذرات را مستقل از اندازه آنها شرح می‌دهند (هیلبرونر و باریت، ۲۰۱۴). نسبت وجه^۷ از رابطه بزرگترین محور به کوچکترین محور بدست می‌آید. درجه گردواری^۸ عکس نسبت وجه بوده و از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$Roundness = 4 \times \frac{A}{\pi \times [MajorAxis]^2} \quad (3)$$

درجه استحکام یا تحدب^۹ منفذ در واقع چگالی آن می‌باشد و از نسبت مساحت به مساحت محدب منفذ به دست آمده و از ۰ تا ۱ تغییر می‌یابد. در این مطالعه برای تعیین مقادیر ویژگی‌های شکل از میانگین تمام منافذ استفاده و بُعد فرکتال ذرات جامد خاک و منافذ نیز

³ Equivalent pore diameter

⁴ Elongated pores

⁵ Irregular pores

⁶ Regular pores

⁷ Aspect ratio

⁸ Roundness

⁹ Solidity

¹ Threshold

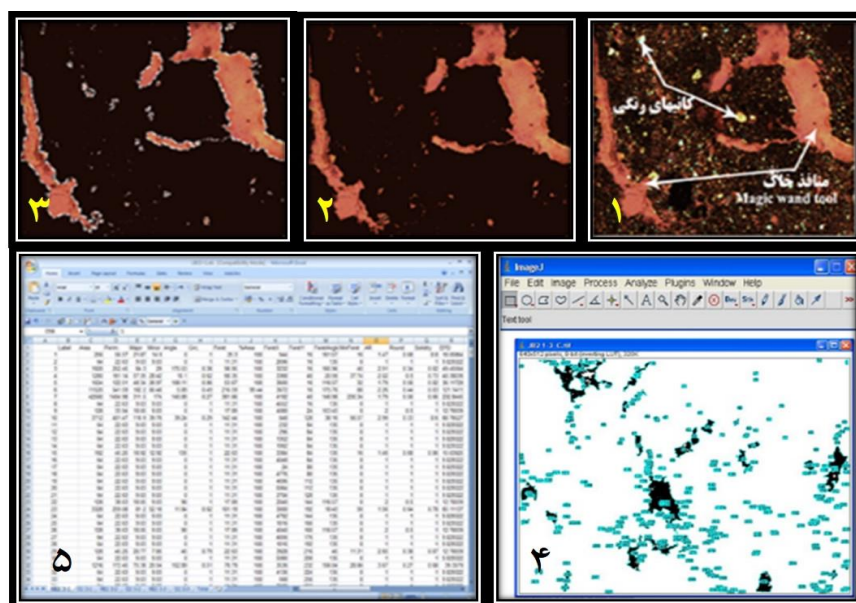
² Binary

توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SAS (Anonymous, 2002)، بررسی همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک از نرم‌افزار SPSS (Anonymous, 2007) و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

به شیوه شمارش باکس با استفاده از نرم افزار ImageJ2 محاسبه شد (فریرا و رسباند، ۲۰۱۲).

آنالیزهای آماری

تجزیه آماری به صورت فاکتوریل ۳×۵ با دو فاکتور نوع کاربری اراضی (در پنج سطح) و نوع افق (در سه سطح) و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین بین تیمارها با آزمون



شکل ۲. مراحل مطالعات پردازش تصویر

نتایج

ویژگی‌های میکرومرفولوژی افق‌های مورد مطالعه

برخی ویژگی‌های میکرومرفولوژیکی افق‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. از نظر ریزساختار تمامی افق‌های A و Ap به جز افق A زمین بایر دارای ریزساختار دانه‌ای و مکعبی بدون زاویه بودند. در افق‌های Bw ریزساختار به صورت مکعبی با و یا بدون زاویه بوده و تمامی افق‌های C دارای ریزساختار دانه‌ای مجزا می‌باشند (جدول ۱). در افق A کاربری‌های باغ سیب و یونجه، خاکدانه‌ها از نظر درجه تشکیل کاملاً توسعه یافته بوده، درحالی‌که در افق A سایر کاربری‌ها و افق‌های Bw همه خاکرخ‌های بررسی شده، خاکدانه‌ها به صورت متوسط یا با توسعه یافتگی ضعیف هستند. در افق C نیز موارد مورد بحث به دلیل عدم وجود ریزساختار قابل تعریف نیستند. در افق‌های مورد مطالعه انواع منافذ بسته ساده، بسته

مرکب، بسته مختلط، وگ، صفحه‌ای، کانال و چمبر در کاربری‌های مختلف مشاهده می‌شود. الگوی پراکنش وابسته پورفیریک به وفور در افق‌های مختلف مشاهده شده و علاوه بر آن در افق A کاربری یونجه، باغ سیب و پوشش سوزنی برگ الگوی پراکنش انولیک نیز مشاهده گردید (جدول ۱). در افق‌های سطحی (افق A) اکثر کاربری‌ها بی‌فابریک عمدتاً به صورت لکه‌ای و در افق‌های زیرین (افق‌های Bw و C) به صورت کریستالیک می‌باشد. نسبت ذرات درشت به ریز (C/F) با افزایش عمق در همه کاربری‌ها (به جز منطقه بایر) یک روند افزایشی را داراست و انواع اجزای معدنی از جمله قطعات سنگی و کانی‌های کوارتز، فلدسپار پتاسیم‌دار، آپک، پلاژیوکلاز و پیروکسن در کل افق‌ها در کاربری‌های مختلف مشاهده می‌شود. اجزای آلی از جمله قطعات بافتی و اندامی گیاهی، پیگمانت‌های آلی، آمورف‌های آلی منومرفیک و پلی‌مرفیک در افق‌های A

قطر معادل و درجه مدور بودن منافذ

منافذ در کاربری‌ها و افق‌های مختلف از نظر قطر معادل در سه کلاس بررسی و نتایج نشان داد که بیشترین تعداد منافذ با قطر معادل کمتر از $10\ \mu\text{m}$ در افق C منطقه بایر و کمترین تعداد آن در افق A تحت کشت کلزا (شکل ۴-الف) و نیز بیشترین تعداد منافذ با قطر معادل $10\text{--}100\ \mu\text{m}$ در افق A کاربری کلزا و کمترین تعداد آن نیز در افق C منطقه بایر وجود دارد (شکل ۴-ب). همچنین فاکتورهای مورد مطالعه اثر معنی‌داری روی منافذ با قطر معادل بزرگتر از $100\ \mu\text{m}$ نداشته‌اند. از نظر درجه مدور بودن منافذ به سه دسته منافذ کشیده، منظم و نامنظم تقسیم می‌شوند. بیشترین تعداد منافذ کشیده در کاربری باغ سیب و کمترین تعداد آن در کاربری سوزنی برگ (شکل ۴-پ) و بیشترین تعداد منافذ نامنظم در افق سطحی کاربری تحت کشت کلزا و کمترین تعداد آن در افق C زمین بایر مشاهده شد (شکل ۴-ت). نتایج همچنین نشان داد که بیشترین فراوانی منافذ منظم در پوشش سوزنی برگ و کمترین تعداد آن نیز در کاربری تحت کشت کلزا است (شکل ۴-ث).

ویژگی‌های شکل منافذ

نتایج نشان داد که فاکتورهای مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر نسبت وجه نداشته و تنها فاکتور کاربری اراضی اثر معنی‌داری روی درجه گردواری و درجه استحکام منافذ نشان می‌دهند. بالاترین درجه گردواری منافذ در پوشش سوزنی برگ و کمترین مقدار آن در کاربری تحت کشت یونجه مشاهده شد (شکل ۵-الف)، در صورتی که با وجود بالاترین درجه استحکام منفذ در پوشش سوزنی برگ و کمترین مقدار آن در کاربری تحت کشت کلزا مشاهده گردید (شکل ۵-ب).

نمایه‌های فرکتالی منافذ

براساس نتایج، بالاترین مقدار بُعد فرکتال منفذ در افق A باغ سیب و کمترین مقدار آن در افق B پوشش سوزنی برگ مشاهده شد (شکل ۶-الف)، در حالی که بالاترین مقدار بُعد فرکتال ذرات جامد خاک در افق B

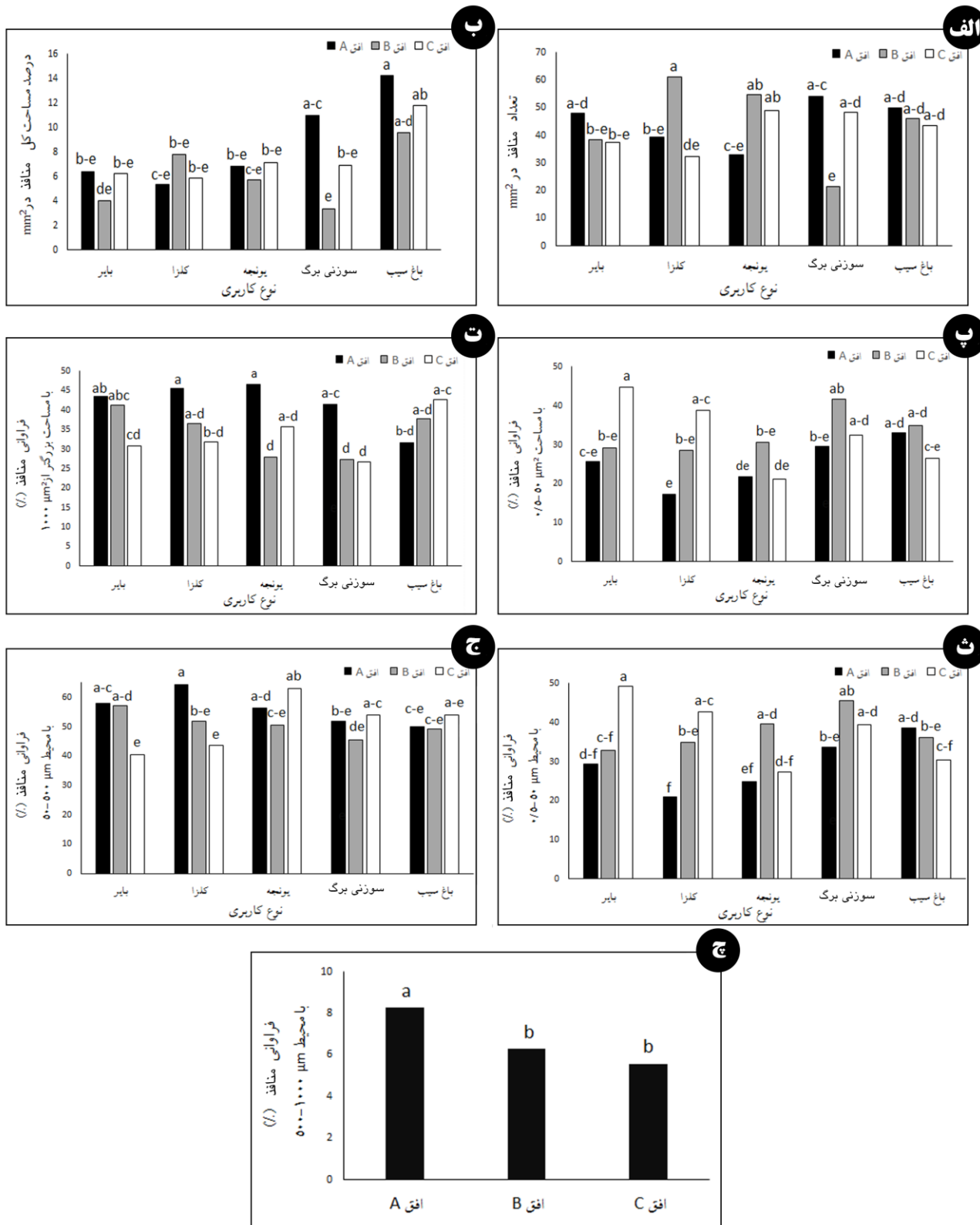
و B کاربری‌های تحت کشت و باغ سیب و پوشش سوزنی برگ مشاهده شدند که در منطقه بایر بارز نبودند. فضولات جانوری، پوشش‌های آلی از جمله مهم‌ترین نموده‌های خاکساختی افق A و پوشش‌رسی، پوشش‌های آهکی و مواد آلی آمورف پلی‌مرفیک از جمله مهم‌ترین نموده‌های خاکساختی افق Bw هستند (جدول ۱).

تعداد، مساحت و محیط منافذ

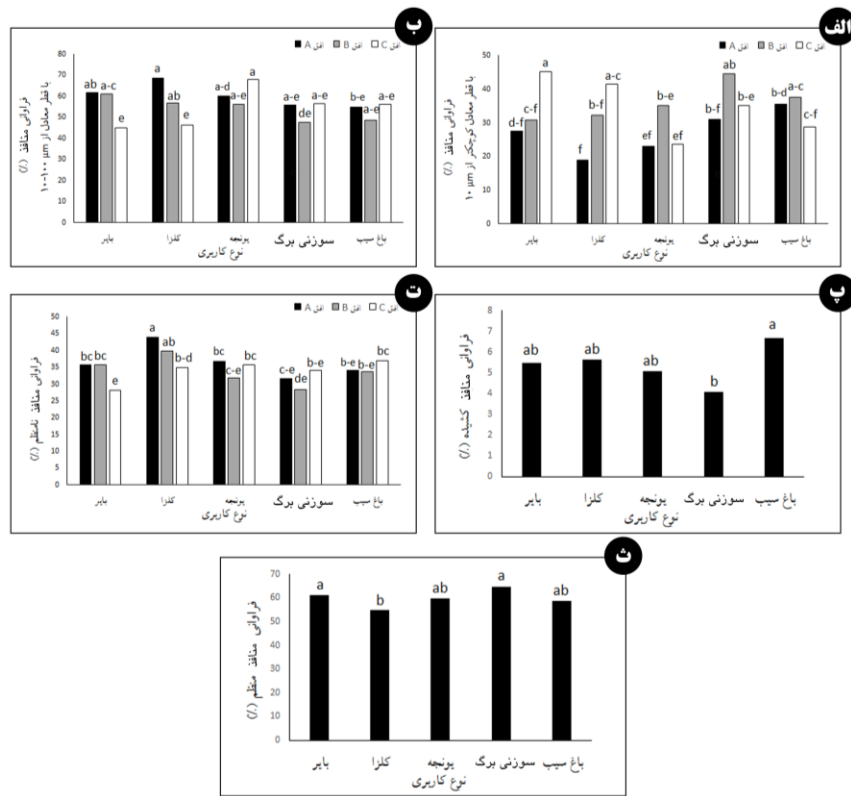
تغییرات تعداد منافذ در افق‌ها و کاربری‌های مختلف در شکل ۳-الف نشان داده شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تعداد آن‌ها در افق B کاربری تحت کشت کلزا و کمترین تعداد منافذ نیز در افق B پوشش سوزنی برگ وجود دارند. غیر از دو افق یاد شده با اختلاف معنی‌دار، سایر افق‌ها دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نیستند. از نظر مساحت کل منافذ افق A کاربری باغ سیب دارای بیشترین و افق B پوشش سوزنی برگ دارای کمترین مقدار می‌باشد (شکل ۳-ب). به‌منظور بررسی بیشتر مساحت و محیط منافذ، فراوانی آنها در سه کلاس بررسی شد. بیشترین تعداد منافذ با مساحت $5/0\text{--}15/0\ \text{m}^2$ در افق C خاک بایر و کمترین تعداد آن در افق A کاربری تحت کشت کلزا مشاهده گردید (شکل ۳-پ). همچنین بیشترین تعداد منافذ با مساحت بزرگتر از $100\ \text{m}^2$ در افق A کاربری تحت کشت یونجه و کمترین تعداد آن در افق C پوشش سوزنی برگ وجود دارد (شکل ۳-ت). بررسی منافذ از نظر محیط نشان داد که بیشترین تعداد منافذ با محیط $5/0\text{--}15/0\ \text{m}$ در افق C خاک بایر و کمترین تعداد آن در افق A کاربری تحت کشت کلزا (شکل ۳-ث)، بیشترین تعداد منافذ با محیط $5/0\text{--}15/0\ \text{m}$ در افق A تحت کشت کلزا و کمترین مقدار آن در افق C منطقه بایر (شکل ۳-ج) و در نهایت بیشترین تعداد منافذ با محیط $100\text{--}500\ \text{m}$ در افق A مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر افق‌ها داشت (شکل ۳-چ). همچنین نتایج این مطالعه بیان‌گر عدم وجود اختلاف معنی‌دار انواع کاربری‌ها در منافذ با محیط بزرگتر از $100\ \text{m}$ می‌باشد.

منطقه بایر و کمترین مقدار آن نیز در افق A باغ سیب

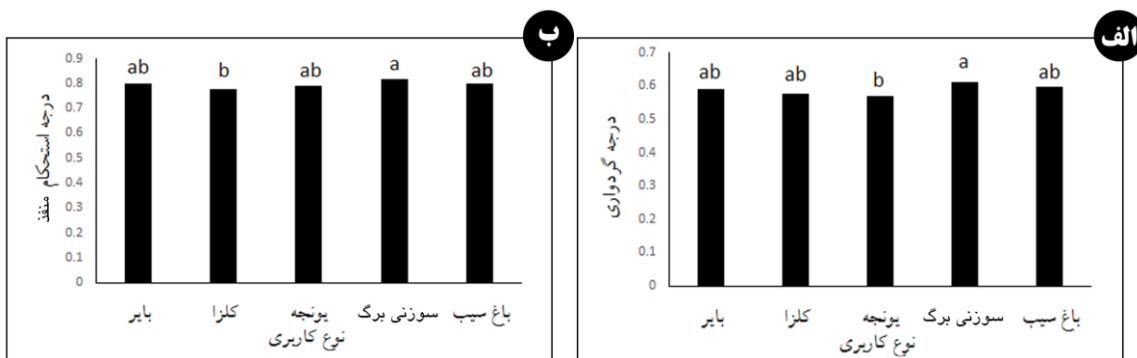
مشاهده گردید (شکل ۶-ب).



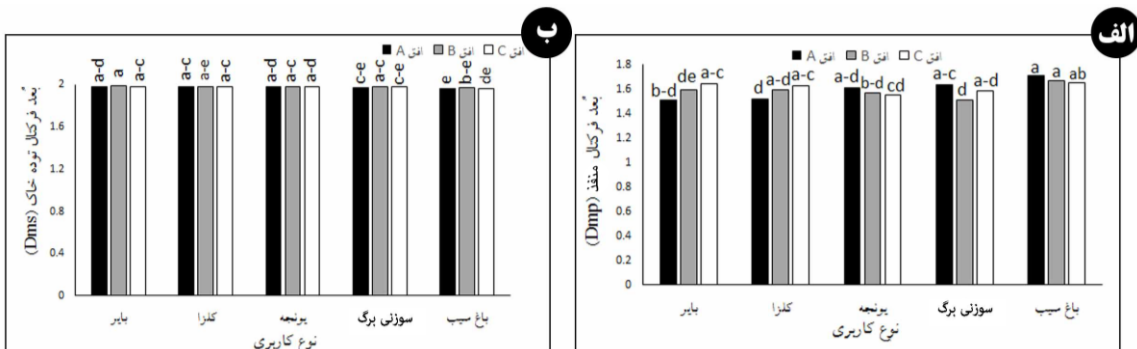
شکل ۳. اثرات فاکتورهای مورد مطالعه (کاربری و افق) بر الف- تعداد منافذ، ب- مساحت کل منافذ، پ- فراوانی منافذ با مساحت ۵-۵۰ μm²، ت- فراوانی منافذ با مساحت بیشتر از ۱۰۰۰ μm²، ث- فراوانی منافذ با محیط ۵-۵۰ μm²، ج- فراوانی منافذ با محیط ۵۰-۵۰۰ μm² و چ- فراوانی منافذ با محیط ۵۰۰-۱۰۰۰ μm²



شکل ۴. اثرات فاکتورهای مورد مطالعه (کاربری و افق) بر الف- فراوانی منافذ با قطر معادل کمتر از ۱۰۰ μm، ب- فراوانی منافذ با قطر معادل ۱۰۰-۱۰۰۰ μm، پ- فراوانی منافذ کشیده، ت- فراوانی منافذ نامنظم و ث- فراوانی منافذ منظم



شکل ۵. اثرات کاربردی اراضی بر ویژگی‌های شکل منافذ. الف- درجه گردواری و ب- درجه استحکام منافذ



شکل ۶. اثرات فاکتورهای مورد مطالعه بر نمایه‌های فرکتالی منافذ. الف- بعد فرکتال منافذ (Dmp) و ب- بعد فرکتال توده خاک (Dms)

| نمودهای خاکساختی | اجزای آلی | اجزای معدنی | C/F ^f (20μ) | بی فابریک | الگوی پراکنش وابسته | منافذ | درجه تشکیل پد | ریزساختار | عمق (cm) | افق |
|--|------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|---------------------|------------------|-----------|----------|-----|
| کاربری یونجه: Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Fluventic Haploxerepts | | | | | | | | | | |
| فضولات جانوری، مواد آلی آمورف پلی مورفیک | Or, Gtr, Pao, Mao, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Ch | 5/5 | Ss | Po, En | Sp, Vu | S | Gr, Sp | ۲۷-۰ | Ap |
| پوشش‌رسی، پوشش آهکی، فضولات جانوری، مواد آلی آمورف پلی مورفیک | Gtr, Pao, Mao, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 6/4 | Cr | Po | Vu, Pn, Chn, Chm | M | Ab, Sp | ۵۲-۲۷ | Bw1 |
| - | Mao, Pao | Qu, Kf, Op, Am, Rf | 9/1 | Cr | Po | Sp | - | Sg | ۸۵-۷۲ | C1 |
| کاربری باغ سیب: Loamy, mixed, active, mesic Fluventic Haploxerepts | | | | | | | | | | |
| فضولات جانوری، مواد آلی آمورف پلی مورفیک، پوشش آلی | Or, Gtr, Pct, Lt, Pao, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Ot | 6/4 | Un, Ss | En, Ge | Sp, Cxp, Vu | S | Gr | ۱۵-۰ | A |
| پوشش آهکی، نودول آهن، مواد آلی آمورف پلی مورفیک، فضولات جانوری | Or, Gtr, Pao, Mao, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Ot, Rf | 6/4 | Ss | Po | Vu, Sp, Chn | M | Ab | ۴۵-۱۵ | Bw1 |
| - | Or, Lt | Qu, Pl, Kf, Op, Ot, Rf | 9/1 | Cr | Po | Sp | - | Sg | ۱۱۳-۸۱ | C1 |
| زمین بایر: Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Calcixerepts | | | | | | | | | | |
| - | - | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 5/5 | Ss | Po | Cxp | M | Sb | ۱۸-۰ | A |
| پرشدهگی ضعیف پیوسته ذرات معدنی درون منافذ | Pao | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 5/5 | Ss | Po | Pn, Chn | W | Sb | ۱۸-۳۸ | Bw |
| - | - | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 5/5 | Cr | Po | Sp | - | Sg | >۷۰ | C |
| کاربری سوزنی برگ: Fine-loamy, mixed, active, mesic Fluventic Haploxerepts | | | | | | | | | | |
| مواد آلی آمورف پلی مورفیک، پوشش آلی | Or, Gtr, Pao, Mao, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Am Rf | 6/4 | Ss | Po, En | Sp, Vu | M | Gr, Ab | ۲۰-۰ | A |
| پوشش آهکی، نودول آهن | Mao | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 4/6 | Cr | Po | Pn, Chn | W | Sb | ۵۰-۲۰ | Bw |
| - | - | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 9/1 | Cr | Po | Sp | - | Sg | ۱۰۰-۵۰ | C1 |
| کاربری کلزا: Loamy, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts | | | | | | | | | | |
| هیپوکوتینگ‌های اکسید آهن/منگنز اطراف منافذ، فضولات جانوری، پوشش‌های آلی، مواد آلی آمورف پلی مورفیک | Or, Gtr, Ot | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 6/4 | Ss | Po | Sp, Vu | M | Gr | ۳۱-۰ | Ap |
| - | Pao | Qu, Pl, Kf, Op, Rf | 5.5/4.5 | Ss | Po | Vu, Sp | M | Ab | ۴۶-۳۱ | Bw1 |
| - | - | Qu, Kf, Op, Ch, Rf | 7.5/2.5 | Ss, Pos | Ch | Sp | - | Sg | ۸۳-۶۳ | C1 |

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های میکرومرفولوژیکی افق‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف

ریزساختار: Gr-دانه‌ای، Sb-بلوکی بدون زاویه، Ab-بلوکی زاویه دار، Sp-اسفنجی، Sg-دانه ریز؛ درجه تشکیل پد (Pedality): S-قویاً تحول یافته، M-تحول یافته متوسط، W-تحول یافته ضعیف؛ منافذ: Sp-بسته شده ساده، Cdp-بسته شده مرکب، Cxp-بسته شده مختلط، Vu-واگ، Pn-صفحه‌ای، Chn-کانال، Chm-چامبر؛ الگوی پراکنش وابسته: Ch-کیتونیک، Ge-جیفوریک، Po-پورفیریک، En-انولیک، بی-فابریک؛ Ss-لکه‌ای (Stipple speckled)، Un-غیرمتمازین، Cr-کریستالیک، Pos-پرو-استرئیتد؛ C/F-نسبت ذرات درشت به ریز؛ اجزای معدنی: Qu؛ کوارتز، Kf-فلدسپار پتاسیم دار، Op-آپاک، Pl-پلاژیوکلاز، Py-پیروکسن، Ot-سایر، Rf-قطعات سنگی؛ اجزای آلی: Tf-قطعات بافتی، Of-قطعات ارگان گیاهی، Pi-پیگمانت‌های آلی، Mao-آمورف‌های آلی مونومورفیک، Pao-آمورف‌های آلی پلی مورفیک

جدول ۲- همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در مطالعه پردازش تصویر

| تعداد منافذ | مساحت کل منافذ | مساحت منافذ (μm ²) | | | محیط منافذ (μm) | | | قطر معادل منافذ (μm) | | | درجه مدور بودن | نسبت وجه | درجه گردواری استحکام | بُعد فرکتال |
|--------------|----------------|--------------------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|----------------------|--------|--------|----------------|----------|----------------------|-------------|
| | | ≥۱۰۰۰ | ۵۰۰-۵۰ | ۰/۵۰-۵ | ≥۱۰۰۰ | ۱۰۰۰-۵۰ | ۵۰۰-۵۰ | ≥۱۰۰ | ۱۰۰-۱۰ | ≤۱۰ | | | | |
| تعداد منفذ | ۱ | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت کل | ۱ | | | | | | | | | | | | | |
| ۰/۵۰-۵ | -۰/۰۴ | -۰/۰۹ | ۱ | | | | | | | | | | | |
| ۵۰-۵۰۰ | ۰/۳۸** | -۰/۱۱ | -۰/۳۶* | ۱ | | | | | | | | | | |
| ۱۰۰۰-۵۰۰ | ۰/۱۸ | -۰/۰۶ | -۰/۶** | ۰/۲۲ | ۱ | | | | | | | | | |
| ≥۱۰۰۰ | -۰/۳۰* | ۰/۲۰ | -۰/۶۵** | ۰/۴** | ۰/۲۰ | ۱ | | | | | | | | |
| ۰/۵۰-۵ | -۰/۰۲ | -۰/۰۹ | ۰/۹۷** | -۰/۱۷ | -۰/۵۸** | -۰/۷۷** | ۱ | | | | | | | |
| ۵۰-۵۰۰ | ۰/۱۲ | -۰/۱۱ | -۰/۹۱** | ۰/۴** | ۰/۶۸** | -۰/۹** | ۱ | | | | | | | |
| ۱۰۰۰-۵۰۰ | -۰/۳۵* | ۰/۰۲ | -۰/۳۹** | -۰/۴** | ۰/۷۵** | -۰/۵** | ۰/۱۷ | ۱ | | | | | | |
| ≥۱۰۰۰ | -۰/۲۵ | ۰/۶۳** | -۰/۱۴ | ۰/۴۱** | -۰/۱۹ | ۰/۴۰** | -۰/۱۸ | ۰/۳۴* | ۱ | | | | | |
| ≤۱۰ | ۰/۰۰۳ | -۰/۱ | ۰/۹۹** | -۰/۲۷ | -۰/۶** | -۰/۷۷** | -۰/۱۱ | -۰/۴۴** | ۱ | | | | | |
| ۱۰-۱۰۰ | ۰/۱۸ | -۰/۱ | -۰/۹۱** | ۰/۵۳** | ۰/۶۷** | -۰/۸۵** | ۰/۹۷** | -۰/۲۳ | ۱ | | | | | |
| ≥۱۰۰۰ | -۰/۳۹** | ۰/۴۳** | -۰/۳۲* | -۰/۵** | -۰/۸ | ۰/۷۷** | -۰/۴۱** | -۰/۰۸ | ۱ | | | | | |
| کشیده | ۰/۱ | ۰/۵۴** | -۰/۱۵ | -۰/۱۵ | -۰/۰۶ | -۰/۳۰* | -۰/۰۷ | -۰/۱۳ | ۰/۴۹** | ۰/۱۳ | -۰/۰۷ | -۰/۱۴ | -۰/۰۴ | ۰/۴۲** |
| نامنظم | ۰/۱۷ | ۰/۱۴ | -۰/۷۰** | ۰/۳۴* | ۰/۲۶ | ۰/۴۲** | -۰/۶۷** | ۰/۵۹** | ۰/۳۲* | ۰/۱۶ | ۰/۳۲* | ۰/۶۷** | -۰/۶۳** | ۰/۲۱ |
| منظم | -۰/۱۸ | -۰/۲۷ | ۰/۶۹** | -۰/۲۹ | -۰/۲۲ | -۰/۴۶** | ۰/۶۵** | -۰/۵۳** | -۰/۳۰* | -۰/۲۸ | -۰/۳۰* | ۰/۶۶** | -۰/۲۸ | -۰/۹۵** |
| نسبت وجه | -۰/۰۴ | ۰/۱۵ | -۰/۴۸** | ۰/۲۸ | ۰/۱۱ | ۰/۲۸ | -۰/۴۱** | -۰/۲۹ | ۰/۲۳ | ۰/۲۳ | -۰/۴۷** | ۰/۳۷* | -۰/۲۸ | -۰/۵۵** |
| درجه گردواری | -۰/۰۶ | -۰/۱۸ | ۰/۵۹** | -۰/۴** | -۰/۲۷ | ۰/۳۱* | ۰/۴۸** | -۰/۳۹** | -۰/۱۹ | -۰/۱۸ | ۰/۵۸** | -۰/۵۲** | -۰/۲۱ | -۰/۸۷** |
| درجه استحکام | -۰/۲۸ | -۰/۲۳ | ۰/۶۶** | -۰/۴۹** | ۰/۲۵ | -۰/۳۳* | ۰/۵۳** | -۰/۷۹** | -۰/۱۰ | -۰/۱۷ | ۰/۶۲** | -۰/۶۱** | -۰/۱۱ | ۰/۸۴** |
| منفذ | -۰/۰۹ | ۰/۸۱** | -۰/۲۰ | -۰/۴* | -۰/۲۷ | ۰/۱۵ | -۰/۱۸ | -۰/۴۵** | ۰/۱۰ | ۰/۶۸** | ۰/۵۷** | ۰/۵۵** | -۰/۱۲ | -۰/۰۷ |
| ذرات جامد | -۰/۲۸ | -۰/۹۹** | ۰/۱۷ | -۰/۱۳ | ۰/۰۱ | -۰/۲۷ | -۰/۰۴ | -۰/۱۷ | -۰/۰۷ | -۰/۰۷ | -۰/۴۷** | -۰/۰۴ | -۰/۱۷ | -۰/۷۸** |

* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

بحث

در منطقه مورد مطالعه و در کاربری‌های مختلف خاک‌ها از رده اینسپیتی‌سول بوده که به تازگی مراحل تکاملی خود را آغاز نموده‌اند. در این خاک‌ها تغییر کاربری باعث شده که گروه بزرگ آن‌ها از Calcixerepts در زمین بایر به گروه بزرگ Haploxerepts در کاربری سوزنی برگ، باغ سیب و تحت کشت یونجه و کلزا تغییر پیدا نماید.

درصد مساحت کل منافذ در کاربری باغ سیب و پوشش سوزنی برگ به‌خصوص در افق‌های سطحی بیشتر از کاربری‌های زراعی (یونجه و کلزا) و زمین بایر بوده که نتایج بسیاری از پژوهش‌گران (سیوبی و همکاران، ۲۰۰۵؛ آداواتا و همکاران، ۲۰۰۶؛ آداواتا و اندرسون، ۲۰۰۸) بیان‌گر وجود منافذ و تخلخل بهتر در خاک‌های با پوشش گیاهی دائمی در مقایسه با خاک‌های کشاورزی تحت کشت و کار پیوسته می‌باشد و این امر به علت وجود ماده‌آلی و سیستم گسترده ریشه و عدم خاک‌ورزی آنها قابل توجیه می‌باشد. نتایج میرکریمی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که مساحت کل منافذ پوشش‌های طبیعی بیشتر از اراضی تحت کشت و کار می‌باشد. با توجه به نتایج تعداد منافذ با مساحت بزرگتر از 11000 m^2 در کاربری‌های تحت کشت یونجه و کلزا (به‌خصوص در افق Ap) بالاتر از سایر کاربری‌ها بود. در این خصوص نتایج چزاکور و لیبیک (۲۰۰۴) نیز نشان دهنده حضور منافذی با محدوده وسیعی از اندازه و شکل در خاک‌های تحت کشاورزی می‌باشد. در این مطالعه همبستگی معنی‌داری بین ویژگی‌های شکل و ابعاد فرکتالی مشاهده نشد ولی وجود رابطه معنی‌دار بین منافذ با مساحت بزرگتر از 11000 m^2 و قطر معادل و درجه مدور بودن منافذ تأیید شد (جدول ۲). گلب (۲۰۰۷) نیز گزارش کرد که این رابطه در بیشتر موارد بیان‌گر حضور منافذ گرد شده در اراضی تحت کشت بوده و به‌صورت کانال، چمبر و منافذ کروی طبقه‌بندی می‌شوند. عملیات شخم و افزودن مواد آلی و اصلاح‌کننده‌ها می‌تواند از جمله مهم‌ترین عوامل تشکیل منافذ گرد شده باشد. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز تأثیر

قابل توجه کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک از جمله ورمی‌کمپوست و کود دامی بر خاکدانه‌سازی را گزارش نموده و نشان دادند که با تشکیل خاکدانه‌های درشت و کاملاً توسعه یافته، تعداد منافذ مزو و ماکرو افزایش می‌یابند. نکته قابل توجه در ارتباط با تفسیر نتایج این است که، اگرچه در کاربری‌های تحت کشت یونجه و کلزا تعداد منافذ با مساحت بزرگتر از 11000 m^2 بیشتر از کاربری باغ سیب و پوشش سوزنی برگ است، ولی مساحت کل منافذ آنها کمتر می‌باشد. با بررسی‌های بیشتر داده‌ها این نکته روشن شد که در باغ سیب و پوشش سوزنی برگ منافذ با مساحت بزرگتر از 11000 m^2 ، منافذ بسیار بزرگی بوده و علی‌رغم تعداد کمتر، مساحت کل بیشتری نسبت به کاربری‌های تحت کشت داشتند. نمایه‌های فرکتالی (بُعد فرکتال منافذ و ذرات جامد خاک) که در واقع با نسبت تعداد و اندازه منافذ تعریف می‌شوند (هیلبرونر و برات، ۲۰۱۴) به خوبی این واقعیت را نشان داده است. بُعد فرکتال منافذ خاک در افق‌های سطحی باغ سیب و پوشش سوزنی برگ بیش از اراضی تحت کشت کلزا و بایر بوده و نشان دهنده وضعیت بهتر تخلخل خاک در اراضی سوزنی برگ و باغ سیب می‌باشد، در حالی‌که نمایه فرکتالی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با مساحت کل منافذ است (جدول ۲). همچنین نمایه بُعد فرکتال منافذ همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز با منافذ با مساحت $5000-15000 \text{ m}^2$ (منافذ انتقالی) دارد که نشان دهنده نقش زیاد فراوانی این منافذ در این نمایه است (جدول ۲). منافذ کشیده‌کمترین فراوانی را در مقایسه با منافذ منظم و نامنظم داشتند که نتایج پاگلیای (۱۹۸۳) نیز نشان دهنده کمترین فراوانی منافذ کشیده در بین منافذ بوده که این منافذ بخش زیادی از تخلخل را در بر می‌گیرند. نتایج این مطالعه نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین منافذ کشیده با مساحت کل منافذ، محیط و مساحت بزرگتر از 11000 m^2 را نشان داد (جدول ۲). ویژگی‌های شکل منافذ (نسبت وجه، درجه استحکام یا تحدب و درجه گردواری) با بیشترین تغییرات خود در

از تجزیه بقایای آلی و نیز کم خاکورزی وضعیت ریزساختاری بهتری نسبت به کاربری‌های تحت کشت یونجه و کلزا و زمین بایر داشتند. همچنین مشخص شد که ابعاد فرکتالی خاک‌ها در مقطع نازک به‌عنوان شاخص خوبی از درجه به‌هم ریختگی خاک است و اثرات فیزیکی خاک و تغییرات سیستم منافذ را به‌خوبی نشان می‌دهد و رابطه معنی‌داری با سایر پارامترهای بررسی شده با پردازش تصویر خاک دارد. در نهایت با توجه به دقت بالای نتایج بررسی‌های آماری توصیه می‌شود آنالیز تصویر و شاخص‌های کمی در مطالعات میکرومرفولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرند.

کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که پوشش سوزنی برگ بالاترین مقادیر ویژگی‌های شکل را دارا بوده و دارای اختلاف معنی‌دار با کاربری‌های تحت کشت می‌باشد. البته ویژگی نسبت وجه به‌علت تغییرات فراوان از نظر آماری معنی‌دار نگردید و ویژگی‌های شکل نیز همبستگی معنی‌داری با نمایه‌های فرکتالی نشان نداد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این مطالعه با بررسی کمی و آماری خود نشان داد که تغییر انواع پوشش اراضی تغییرات زیادی در خصوصیات منافذ و به تبع آن در ریزساختار خاک به‌وجود آورده و پوشش‌های سوزنی برگ و باغ سیب به‌علت حضور ریشه و مواد آلی ناشی

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2002. SAS/STAT User's Guide. In: Version 9.1., SAS Institute Cary, NC.
- Anonymous, 2007. SPSS for Windows, Version 16.0. SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA.
- Aydemir S, keshken S and Drees LR, 2004. Quantification of soil feature using digital image processing (DPI) techniques. *Geoderma* 119: 1-8.
- Barzegar. AR, 2010. Fundamentals soil physics. Shahid Chamran university of Ahvaz Press (In Persian)
- Bullock P and Murphy CP, 1980. Towards the quantification of soil structure. *Journal of Microscopy* 120: 317-328.
- Bullock P, Fedoroff N, Jongerius A, Stoops G and Tursina T, 1985. Handbook for Soil Thin Section Description, Waine Research Publishers, Wolverhalpton, UK.
- Czachor H and Lipiec J, 2004. Quantification of soil macroporosity with image analysis. *International Agrophysics* 18: 217-223.
- Decaens T and Jimenez JJ, 2002. Earthworm communities under an agricultural intensification gradient in Colombia. *Plant and Soil* 240: 133-143.
- Duhour A, Costa C, Momoa F, Falco L and Malacalza L, 2009. Response of earthworm communities to soil disturbance: Fractal dimension of soil and species' rank-abundance curves. *Applied Soil Ecology* 43: 83-88.
- Ferreira T and Rasband, WS, 2012. ImageJ user guide, IJ 1.46r. In: U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- Foster R, Hand JS and Evans DD, 1971. Image analysis of clay fabric by quantmet. *The Microscope* 19: 377-401.
- Frontier S, 1987. Applications of fractal theory to ecology. Pp. 335-378. In: Legendre P and Legendre L, (eds.), *Developments in Numerical Ecology*, vol. G14. NATO ASI Series,
- Gimenez D, Allmaras RR, Nater EA and Huggins DR, 1997. Fractal dimensions for volume and surface of interaggregate pores – scale effects. *Geoderma* 77, 19-38.
- Glab T, 2007. Application of image analysis for soil macropore characterization according to pore diameter, *Int Agrophysics* 21: 61-66.
- Greenland DJ, 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 281:193-208.
- Heilbronner R and Barrett S, 2014. *Image Analysis in Earth Sciences: Microstructures and Textures of Earth Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Jafarzadeh, AA, Neyshabouri MR and Ostan Sh, 1998. Final report Detailed studies of 26 hectares of land and soils of Karkaj research station, University of Tabriz. (In Persian)
- Jafarzadeh, AA, Shaikhavandi T, Montakhabi V, Neyshabouri MR and Asghari Sh, 2011. Effect of manure and vermicompost applications on micromorphological properties of a sandy loam Soil. *Water and Soil Science* 22(4): 135-146. (In Persian)
- Langmaack M, 1999. Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction, and soil. *Z Okol Natursch* 8: 11-21.
- Lee KE, 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, New York.
- Mirkarimi M, Khormali F, Kiani F and Akef M, 2011. Micromorphological investigation of mollic epipedon porosity in Mollisols of the southern Gorgan River under different land uses. *Journal of Water and Soil Conservation* 18(1): 181-198. (In Persian)
- Murphy CP, 1986. *Thin Section Preparation of Soils and Sediments*. A&B Academic Publ., Berkhamsted.
- Norouzi M, Ramezanpour H, Rabiei B and Asadi H, 2011. Using Photoshop software for image processing of microscopic thin sections. 12th Soil Science Congress of Iran. *Soil Degradation and Sustainable Land Management*. 3-5 September. Tabriz, Iran. (In Persian)
- Pagliai M, 1988. Soil porosity aspects. *International Agrophysics* 4: 215-232.
- Pagliai M, La Marca M, and Lucamate G, 1983. Micromorphometric and micromorphological investigation of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *Journal of Soil Science* 34: 391-403.
- Rezaei, H., Jafarzadeh, AA and Shahbazi F, 2013. Effect of vegetation on soil micromorphological properties (Case Study: Karkaj research station). *Water and Soil Science* 23(1): 83-94. (In Persian)
- Ringrose-Voase AJ and Humphreys GS, 1994. *Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis*. Pub: Elsevier, Netherlands.
- Seobi T, Anderson SH, Udawatta RP, Gantzer CJ, 2005. Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. *Soil Science Society America Journal* 69: 893-901.
- Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, (12th ed.), US Dep Agric, Soil Conserv Serv, Washington, DC.
- Stoops G, 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Udawatta RP and Anderson SH, 2008. CT-measured pore characteristics of surface and subsurface soils influenced by agroforestry and grass buffers. *Geoderma* 145: 381-389.
- Udawatta RP, Anderson SH, Gantzer CJ, Garrett HE, 2006. Agroforestry and grass buffer influence on macropore characteristics: a computed tomography analysis, *Soil Science Society America Journal* 70: 1763-1773.