

## مطالعه نمایه‌های فرکتالی در مقاطع نازک میکروسکوپی خاک و ارتباط آن با سایر ویژگی‌های آنالیز تصویر

مهدی نوروزی، علی اصغر جعفرزاده، حسین رضائی

دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: Mehdi\_uni2000@yahoo.com

### چکیده

در این تحقیق نمایه‌های فرکتالی مقاطع نازک میکروسکوپی خاک و ارتباط آن با سایر ویژگی‌ها در آنالیز تصویر مورد بررسی قرار گرفته است. مقاطع نازک افق‌های A یا Ap، Bw و C از پنج خاکرخ شاهد در پوشش‌های گیاهی مختلف سیب، سوزنی برگ، یونجه، کلزا و زمین بایر به صورت فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی (CRD) با سه تکرار آنالیز و ضمن تهیه ۴۵۰ عکس با فرمت TIFF توسط دوربین متصل به میکروسکوپ، منافذ از کانی‌ها نیز با لام لاندن متمایز گردید. نتایج نشان داد که بُعد فرکتال حفره (Dmp) به طور معنی‌داری در اراضی یونجه، کلزا و بایر کاهش و بُعد فرکتال ذرات جامد (Dms) به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. به طور کلی خاک‌های تحت پوشش‌های باغ سیب و سوزنی برگ که ریز ساختار درشت و منافذ بهم پیوسته دارند، دارای بُعد فرکتال منافذ بیشتر و نمایه فرکتالی همبستگی مثبت و معنی‌داری با مساحت کل منافذ و حفرات کشیده نشان داد.

واژه‌های کلیدی: ابعاد فرکتالی، حفرات کروی، حفرات کشیده، فابریک خاک

### مقدمه

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 شایان ذکری می‌کند (میرکریمی و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه روش‌های جدید و دقیق‌تری برای تفسیر موارد مشاهده شده در فابریک خاک به کار برده می‌شود و اخیراً تلاش‌هایی برای استفاده از مفاهیم فرکتالی جهت تفسیر مقاطع نازک میکروسکوپی به عمل 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 دارای دامنه‌ای بین ۱ و ۲ بوده که به ترتیب 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 آشفته‌گی دارد (جیمینز و همکاران، ۱۹۹۷). ابعاد فرکتالی Dmp و Dms بطور مکمل خصوصیات هندسی خاک و پاسخ‌های مختلف آن به شیب آشفته‌گی را شرح می‌دهند (دوهر و همکاران، ۲۰۰۹).

فعالیت‌های کشاورزی با بهم زدن منافذ درشت خاک موجب تراکم خاک شده و تماس بین خاکدانه‌ها را 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 شاهده بر این امر است (دکانز و جیمینز، ۲۰۰۲). بنابراین انتظار می‌رود خاک‌هایی که ریزساختار درشت و منافذ بهم پیوسته دارند، بُعد 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 حفرات خاک و یا به عبارتی خصوصیات فیزیکی خاک دیده می‌شود. این خصوصیات به‌ویژه مشخصات حفرات و ریزساختار از پارامترهای مهم کیفیت خاک هستند، لذا مطالعه این بخش از فابریک خاک ضرورتی دور از اجتناب است.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه روی خاک‌های اینسپتی‌سول با کاربری‌های متفاوت کلزا، یونجه، سوزنی برگ و باغ سیب همراه با یک خاک‌رخ شاهد در اراضی کشت نشده (بایر) انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مطالعات پایه صحرایی، نمونه‌برداری از افق‌های A یا Ap، Bw و C با عمق تقریباً مشابه و با شرایط محیطی یکسان خاک‌رخ‌های واقع در کاربری‌های ذکر شده صورت گرفت. از همه مقاطع 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 تیغه 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 ImageJ2 نسخه Fiji صورت پذیرفت (فرریا و رسباند، ۲۰۱۲). درجه مدور بودن حفرات از رابطه (۱) بدست آمد که در آن A و P مساحت و محیط حفره است. این پارامتر بین ۰ تا ۱ متغییر است که عدد ۱ دایره کامل را نشان می‌دهد.

$$Circularity = 4\pi \times \frac{A}{P^2} \quad (1)$$

منافذ از نظر درصد فراوانی مدور بودن نیز به سه کلاس ۰-۰/۲ (حفرات کشیده<sup>۱</sup>)، ۰/۵-۰/۲ (حفرات نامنظم<sup>۲</sup>) و ۰/۵-۱ (حفرات منظم<sup>۳</sup>) طبقه‌بندی شدند (پاگلیای، 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<sup>۴</sup> از رابطه بزرگترین محور به کوچکترین محور بدست می‌آید. درجه گردواری<sup>۵</sup> عکس نسبت وجه بوده و از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

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

درجه استحکام یا تحذب حفره<sup>۶</sup> در واقع چگالی حفره می‌باشد و از نسبت مساحت به مساحت محدب حفره بدست آمده و از ۰ تا ۱ تغییر می‌یابد. بُعد فرکتال ذرات جامد خاک و منافذ نیز به شیوه شمارش باکس با استفاده از نرم‌افزار ImageJ2 محاسبه شد (فرریا و رسباند، ۲۰۱۲).

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

## نتایج و بحث

اطلاعات توصیفی ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. میانگین تعداد کل حفرات ۴۴ بوده و بیشترین مساحت مربوط به حفرات بزرگ (با مساحت  $\geq 1000 \mu m^2$ ) و حفرات ریز (با مساحت  $50-100 \mu m^2$ ) می‌باشد. حفرات کشیده که اندازه بزرگتری دارند و احتمالاً مربوط به حفرات کانال هستند فراوانی کمتری نسبت به حفرات منظم و نامنظم دارند. ضریب تغییرات مساحت کل و کلاس‌های مساحت خاک بیشتر از سایر پارامترهای آنالیز تصویر است و تعداد حفره نیز

<sup>1</sup> Elongated pores

<sup>2</sup> Irregular pores

<sup>3</sup> Regular pores

<sup>4</sup> Aspect ratio

<sup>5</sup> Roundness

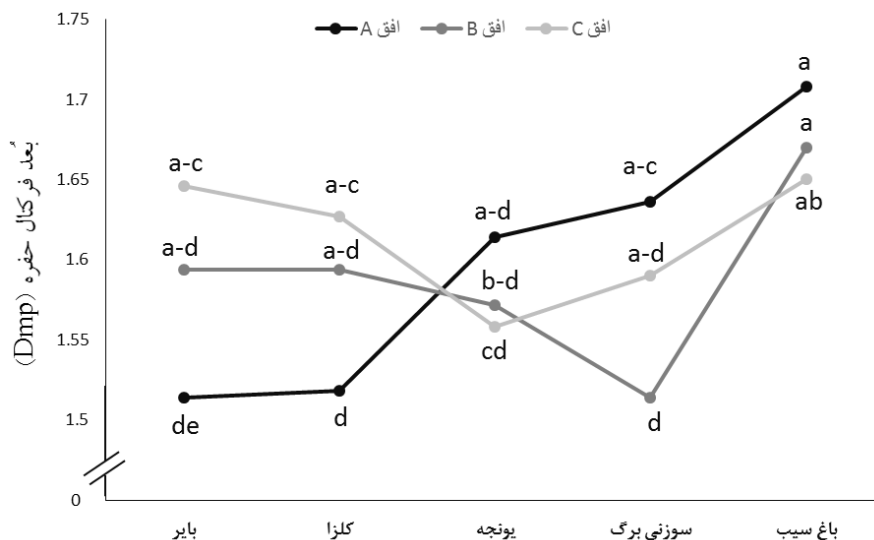
<sup>6</sup> Solidity

دارای دامنه و ضریب تغییرات بیشتری نسبت به سایر پارامترها می باشد. ویژگی‌های شکل از جمله نسبت وجه، درجه گردواری، درجه استحکام هم میانگین و هم ضریب تغییرات پایینی داشته و میانگین بُعد فرکتال حفره خاک پایین تر از بُعد فرکتال ذرات جامد بوده و نیز واریانس یا پراکندگی ویژگی‌های شکل و ابعاد فرکتالی حفرات بسیار پایین است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری شده در مطالعه آنالیز تصویر

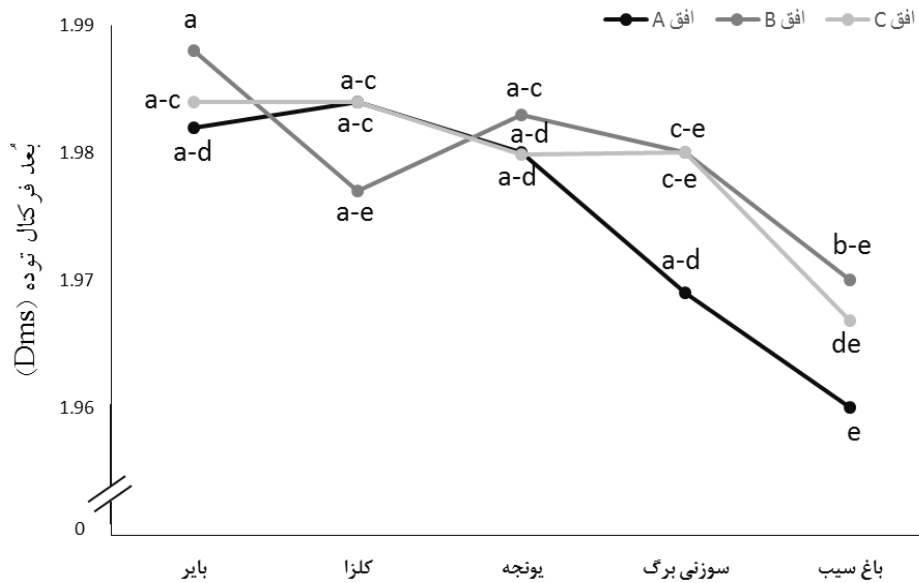
میانگین	انحراف معیار	واریانس	حداکثر	حداقل	دامنه	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات	
۴۴	۱۴	۲۱۰	۷۶	۱۸	۵۷	۰/۴۶	-۰/۲۷	۰/۳۳	تعداد حفره
۷/۴۹	۳/۳۵	۱۱/۲۲	۱۴/۷۶	۲/۳۵	۱۲/۴۱	۰/۶۶	-۰/۳۰	۰/۴۴	مساحت کل
۳۰/۴۱	۱۰/۱۶	۱۰۳/۲۵	۵۴/۹۶	۱۱/۴۶	۴۳/۵۰	۰/۱۴	-۰/۵۶	۰/۳۳	۵۰-۵۰۰
۲۱/۵۶	۷/۰۴	۴۹/۵۶	۳۸/۱۶	۶/۸۳	۳۱/۳۳	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۳۲	۵۰-۵۰۰
۱۱/۶۳	۲/۶۳	۶/۹۰	۱۷/۴۴	۵/۵۴	۱۱/۹۰	-۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۲۲	۵۰۰-۱۰۰۰
۳۶/۳۸	۹/۱۸	۸۴/۳۲	۵۴/۵۳	۱۶/۰۰	۳۸/۵۳	-۰/۰۳	-۰/۲۰	۰/۲۵	≥۱۰۰۰
۵/۳۸	۱/۷۹	۳/۲۲	۹/۵۲	۱/۹۰	۷/۶۲	۰/۰۴	-۰/۴۲	۰/۳۳	کشیده
۳۴/۷۴	۵/۱۱	۲۶/۱۲	۴۹/۱۶	۲۲/۸۸	۲۶/۲۸	۰/۱۰	۰/۵۴	۰/۱۵	نامنظم
۵۹/۷۹	۵/۷۳	۳۲/۸۴	۷۵/۲۲	۴۵/۹۱	۲۹/۳۰	۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۰۹	منظم
۲/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۱	۲/۲۰	۱/۷۴	۰/۴۷	-۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۰۵	نسبت وجه
۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۵۴	۰/۱۵	۰/۹۷	۱/۲۱	۰/۰۵۵	درجه گردواری
۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۰۳	درجه استحکام
۱/۶۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۱/۷۳	۱/۴۳	۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۳۵	۰/۰۴	حفره
۱/۹۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۹۹	۱/۹۶	۰/۰۴	-۰/۵۰	-۰/۴۲	۰/۰۰۴	ذرات جامد

براساس نتایج حاصله، بالاترین مقدار بُعد فرکتال حفره در افق A خاک تحت پوشش باغ سیب و کمترین مقدار آن در افق B زمین بایر مشاهده شد (شکل ۱). در کاربری باغ سیب، سوزنی برگ و یونجه بعد فرکتال حفره خاک در افق A بیشتر بوده در حالی که در کاربری کلزا و زمین بایر کمترین مقدار بعد فرکتال حفره در افق A است. افق‌های A در کاربری کلزا و زمین بایر دارای بعد فرکتال حفره کمتری بوده ولی در سایر کاربری‌ها بُعد فرکتال حفره در افق A بالاتر از سایر افق‌ها است.



شکل ۱- بعد فرکتال حفره خاک در کاربری‌های مورد مطالعه

همچنین، بالاترین مقدار بُعد فرکتال ذرات جامد خاک در افق B اراضی بایر و کمترین مقدار آن نیز در افق A باغ سیب مشاهده گردید (شکل ۲). به طور کلی بر خلاف مقدار بُعد فرکتال حفره خاک، بُعد فرکتال ذرات جامد خاک در زمین بایر و کاربری‌های تحت کشت کلزا و یونجه بیشتر از خاک‌ها تحت پوشش باغ سیب و سوزنی برگ است.



شکل ۲- بُعد فرکتال توده خاک در کاربری‌های مورد مطالعه

نمایه‌های فرکتالی (بُعد فرکتال حفره و ذرات جامد خاک) که در واقع با نسبت تعداد و اندازه حفرات تعریف می‌شوند (هیلبرونر و برات، ۲۰۱۴) همبستگی با تعداد حفره نداشته، درحالی که با مساحت کل حفرات همبستگی معنی دار نشان داد. علت اصلی این موضوع این است که بخش عمده‌ای از حفرات از نوع حفرات نامنظم و منظم می‌باشند که بر خلاف حفرات کشیده دارای مساحت کمتری هستند. بنابراین این نوع حفرات نمی‌توانند بخش مهمی از فضای منافذ خاک را توجیه کنند. در این مطالعه، ضمن تأیید همبستگی معنی دار بین حفرات با مساحت بزرگتر از  $1000 \mu\text{m}^2$  و درجه مدور بودن حفرات (جدول ۲) ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری بین نمایه‌های فرکتالی و حفرات کشیده خاک مشاهده می‌شود. بر اساس گزارش گلب (۲۰۰۷) این رابطه در بیشتر موارد بیانگر حضور حفرات گرد شده در اراضی تحت کشت بوده و به صورت کانال، چمبر و حفرات کروی طبقه‌بندی می‌شوند. عملیات شخم و افزودن مواد آلی و اصلاح‌کننده‌ها می‌تواند از جمله مهم‌ترین عوامل تشکیل حفرات 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. نتایج این مطالعه نشان داد که ابعاد فرکتالی خاک‌ها در مقطع نازک به عنوان شاخص خوبی از درجه به هم ریختگی خاک است و اثرات فیزیکی خاک و تغییرات سیستم حفرات را به خوبی 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 میکرومورفولوژیکی خاک مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۲- همبستگی بین ابعاد فرکتالی و پارامترهای اندازه گیری شده در مطالعه آنالیز تصویر

تعداد حفره	مساحت کل حفرات	مساحت حفرات ( $\mu\text{m}^2$ )					درجه مدور بودن		نسبت وجه	درجه گردواری	درجه استحکام حفره	بُعد فرکتال
		۰/۵-۰	۵۰-۵۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	$\geq 1000$	کشیده	نامنظم	منظم				
۱	۰/۲۳											
مساحت کل	۰/۲۳											
۰/۵-۵۰	-۰/۰۴	۱										
۵۰-۵۰۰	-۰/۳۸**	-۰/۱۱	۱									
۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۲۲	۱								
$\geq 1000$	-۰/۳۰*	۰/۲۰	-۰/۶۵**	۰/۴**	۱							
کشیده	۰/۱	۰/۵۴**	-۰/۱۵	-۰/۱۵	-۰/۰۶	۱	۰/۳۰*					
نامنظم	۰/۱۷	۰/۱۴	-۰/۷۰**	-۰/۳۴*	۰/۲۶	۱	۰/۴۲**					
منظم	-۰/۱۸	-۰/۲۷	۰/۶۹**	-۰/۲۹	-۰/۲۳	۱	-۰/۴۸**					
نسبت وجه	-۰/۰۴	۰/۱۵	-۰/۴۸**	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۳۱*	۰/۵۱**				
درجه گردواری	-۰/۰۶	-۰/۱۸	۰/۵۹**	-۰/۴**	-۰/۲۷	۰/۳۱*	-۰/۳۸**	-۰/۵۸**	۱			
درجه استحکام	-۰/۲۸	-۰/۲۳	۰/۶۶**	-۰/۴۹**	-۰/۲۵	-۰/۳۳*	-۰/۴۲**	-۰/۷۷**	۱	۰/۸۴**		
حفره	-۰/۰۹	۰/۸۱**	-۰/۲۰	-۰/۴*	-۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۵۷**	-۰/۱۲	۰/۷۴	-۰/۰۷	۱	-۰/۰۱
ذرات جامد	-۰/۲۸	-۰/۹۹**	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۰۱	-۰/۲۷	-۰/۵۷**	-۰/۱۹	-۰/۳۳*	۰/۲۲	۱	-۰/۷۸**

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

## منابع

جعفرزاده، ع.ا.، شیخوندی، ط.، منتخبی کلجاهی، و.، نیشابوری، م.ر. و اصغری، ش. ۱۳۹۱. تاثیر کاربرد کود گاوی پوسیده و ورمی کمپوست بر خواص میکرومرفولوژیک در یک خاک لوم شنی، دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۴، صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۴۶.

میرکریمی، م.، خرمالی، ف.، کیانی، ف. و عاکف، م. ۱۳۹۰. مطالعه میکرومرفولوژیک تخلخل افق مالیک خاک‌های مالی سولز جنوب گرگان رود تحت تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی، دانش آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱۸۱ تا ۱۹۷.  
 نوروزی، م.، رمضانپور، ح.، ربیعی، ب. و اسدی، ح. ۱۳۹۰. استفاده از نرم افزار فتوشاپ جهت پردازش تصویر مقاطع نازک میکروسکوپی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تخریب خاک و مدیریت پایدار اراضی. شهریور ماه ۱۳۹۰. دانشگاه تبریز، تبریز.

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/>.  
 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.  
 Heilbronner R and Barrett S, 2014. *Image analysis in earth sciences: microstructures and textures of earth materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



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.  
SAS Institute, 2002. SAS/STAT User's Guide. In: Version 9.1., SAS Institute Cary, NC.  
SPSS, 2007. SPSS for Windows, Version 16.0. SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA.

**Study of fractal indices in soil micromorphological thin section and its relation with other image analysis parameters**

M. Norouzi, A. A. Jafarzadeh, and H. Rezaei

Ph.D student, Professor and Assistant Professor respectively, Department of soil science, Faculty of Agriculture., University of Tabriz

Corresponding author Email: Mehdi\_uni2000@yahoo.com

**Abstract**

In the present research, soil thin sections fractal dimension indices was investigated and its relation with other image analysis properties has studied. Soil thin sections of A or Ap, Bw and C horizons from five representative soil profiles covered by apple, coniferous, alfalfa, rapeseed and bare land in a factorial trial with completely randomized design (CRD) were analyzed and 450 pictures with TIFF format were prepared by connected camera to microscope and so pores separated with landa lam. The results showed that fractal dimension of the pore component (Dmp) significantly decreased in alfalfa, rapeseed and bare lands and fractal dimension of the solid component (Dms) was significantly increased. Generally, soils covered by apple and coniferous with large structure and connected pores had high fractal dimension of the pore component and the fractal dimension indices showed significant positive correlation with the total area of the pores and elongated pores.

**Keywords:** Elongated pores, Fractal dimension, Soil fabric, Spherical pores