

## مطالعه تأثیر شدت‌های متفاوت باران بر فابریک و خواص میکرومورفولوژیک خاک

زهرا دیبایی\*<sup>۱</sup>، علی اصغر جعفرزاده<sup>۲</sup>، محمدرضا نیشابوری<sup>۳</sup>، احمد جهانگیری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناس ارشد پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی خاک گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> استادگروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup> استادگروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Zdibaei@yahoo.com

### چکیده

قطرات باران می‌تواند باعث متلاشی شدن خاکدانه‌ها و ایجاد سله‌های ساختمانی شود که بر جوانه‌زنی بذور و میزان نفوذ آب در خاک دخالت دارد. در این تحقیق تأثیر شدت‌های متفاوت بارش بر فابریک و خواص میکرومورفولوژیک خاک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های شبیه‌سازی باران و رواناب روی ۵ نمونه خاک با خواص فیزیکی و شیمیایی مختلف تحت ۳ شدت ۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت توسط باران‌ساز انجام و بعد از خروج آب ثقلی نمونه‌های دست‌نخورده به کمک جعبه‌ها برداشته شد. سپس برش‌های نازک تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان مطالعه و فابریک و خواص میکرومورفولوژیک بخش بالایی و پایینی سله ساختمانی به کمک نرم افزار پردازش تصویر ۳ بررسی گردید. نتایج نشان داد که تغییرات عمده‌ای در فابریک بخش بالایی و پایینی سله با شدت‌های مختلف وجود دارد و حرکت رو به پایین ذرات موجب تجمع رس در قسمت ۱/۵ تا ۳ سانتی‌متری از سطح سله شده است. همچنین شدت بارش ۴۷ میلی‌متر بر ساعت باعث تشکیل سوسپانسیون قوی و نمودهای خاکساختی هالو در اطراف ذرات شنی و توف شده است. طبقه‌بندی سطوح اسلایدها به دو بخش فوقانی و تحتانی با ضخامت ۰-۱/۵ و ۱/۵-۳ سانتی‌متری به عنوان بخش سله وزیر سله حاکی از تغییراتی در ساختمان و شکل منافذ فابریک خاک بود. مقایسه کمی و کلاس‌بندی سه قطر معادل حفره‌ها (۳۰-۱۰۰، ۱۰۰-۳۰ و >۱۰۰ میکرون) با نرم افزار پردازش تصویر ۳ و Image J (1.34s) و تجزیه آماری واریانس داده‌ها با ۵ تکرار و در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت-اسپلیت به کمک نرم‌افزار MSTATC اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد بین نوع خاک، شدت بارش و نیز قطر معادل حفرات در سطح بالایی و پایینی سله را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل تصویر، خواص میکرومورفولوژیک، سله، شدت بارش

## Study of Different Rainfall Intensities on Soil Micromorphological Characteristics

Z Dibaei<sup>1</sup>, A A Jafarzadeh<sup>2</sup>, MR Neyshabouri<sup>3</sup>, A Jahangiri<sup>4</sup>

Received: 03 August 2015 Accepted: 14 January 2017

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Soil Science Dept, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Prof., Soil Science Dept, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Prof., Soil Science Dept, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>4</sup> Prof., Earth Science Dept, Faculty of Natural Science College, University of Tabriz, Iran

Corresponding Author, Email: Zdibaei@yahoo.com

### Abstract

Rain can break down soil aggregates and lead to formation of structural crusts, which affect seed germination and soil water infiltration. In this research work, the impact of different rain intensities on micromorphological properties was studied. Experiments for simulating rainfall-runoff were carried out in different rain intensities (20, 37 and 47 mm/hour) on five soil samples with different physical and chemical properties and after the exit of gravitational water, the undisturbed soil samples were prepared by Kubina boxes. Then the thin sections of soil samples were prepared and studied with polarized microscope. Micromorphological characteristics of upper and lower parts of the crust were studied under different rain intensities with Image Tool 3. Results indicated the main changes in upper and lower parts of crusts by different rainfall intensities and down ward movement of particles caused clay accumulation in 1.5 to 3(cm) of crusts. Also intensity of 47 mm/hours produced a strong suspension and a Halo pedofuture formation around the sand particles and Tuff. The classification of each slide, in two upper and lower parts with 0-1.5cm and 1.5-3cm thicknesses, implied the existence of structural and void shape changes in soil Fabric. Quantitative comparison and classification of three Voids Ferret Diameter data (30micron, 30-100 micron and >100 micron) with image tool analysis (UTHSCSA Image tool soft-ware) and Image J(1.34s) and statistical analysis of data variance with five replication in Factorial Split- Split plot design variance analysis of data by MSTAT-C software indicated that there were significant differences at 5% level between the effect of soil type, rainfall intensity and Ferret diameter data in upper and lower parts of crusts.

**Keywords:** Crust, Image analysis, Micromorphological properties, Rain intensity

### مقدمه

همکاران (۲۰۱۲)، رواناب خروجی (وکیندیکی و بنهور ۲۰۰۲)، میزان رسوبدهی (محمدزاده ۱۳۹۰) دچار تغییر می‌شود. تمامی سله‌ها به ۲ دسته ساختمانی و رسوبی

تحقیقات نشان می‌دهد که با اعمال بارشهای مختلف تحت تأثیر تیمارهای متفاوت برخی از خواص فیزیکی از جمله میزان هدایت هیدرولیکی (راسا و

<sup>1</sup>Hydraulic conductivity

میکرون برای تجدید و تکرار شدید هوا در بین عناصر، ذخیره و انتقال و توزیع آب بسیار مهم بوده و حفره‌های بیش از ۱۰۰ میکرون قادر به ورود هوا به خاک به صورت عمیق و سریع می‌باشند. فوکس و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعات میکرومورفولوژیک سله نشان دادند که مرز دقیقی بین منطقه سله و زیر سله وجود ندارد، اما عموماً تشکیل سله در فاصله ۵ تا ۱۰ میلی‌متری شایع بوده و تغییر در اندازه و تعداد حفرات نیز دلیل محکمی بر این امر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

۵ نمونه خاک از افق شخم (Ap) رده‌های انتی-سول، اریدی‌سول و اینسپتی‌سول که گزارش کامل آن‌ها در قسمت بحث و نتیجه‌گیری آمده است از استان آذربایجان شرقی (شهرستان اهر) با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت انتخاب شد. نمونه‌ها ابتدا هوا خشک شده و سپس آزمایشات فیزیکی (بافت خاک)، شیمیایی (pH، EC، OC و CEC) و بارانساز بر روی آن‌ها صورت گرفت. در آزمایشات بارانساز حدود ۱۰۰ کیلوگرم خاک از هر نمونه پس از عبور از الک ۴/۷۵ میلیمتری در داخل تشتک فلوم ریخته شد و تا حد ممکن تسطیح گردید سپس در ۵ نوع خاک متفاوت ۳۰ شدت مختلف ۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت، بارش بر روی هر نمونه توسط شبیه‌ساز باران انجام و اقدام به نمونه برداری از لایه سطحی و مرکز فلوم گردید (فوکس و همکاران ۲۰۰۴، لیما و همکاران ۲۰۰۶). بعد از خروج آب ثقلی نمونه‌های دست‌نخورده به کمک جعبه‌های کوبیانا از مرکز سینی زهکش‌دار (به ابعاد ۱×۵/۰ متر در شیب ۹٪) تهیه و بعد از خشک شدن در آزمایشگاه با مخلوط رزین وستاپول H، استون و کاتالیزور سیکلوهگزان پراکساید

تقسیم می‌شوند که سله‌های ساختمانی توسط تغییرات درجای<sup>۲</sup> سطح خاک و در نتیجه تاثیر قطرات باران و خشک و تر شدن حاصل می‌شود. طبق مطالعات وست و همکاران (۱۹۹۲) سله‌های رسوبی از ته نشست مواد رسوبی حاصل می‌شود و ساختار خاصی از خاک سطحی بوده که از قطرات باران، رسوبات و خشک و مرطوب شدن‌های متوالی حاصل می‌شود. این نوع از سله شامل یک لایه سطحی نازک است که با کاهش تخلخل و افزایش جرم مخصوص ظاهری همراه بوده و در واقع تراکم خاک تحت تاثیر قطرات باران یک فرآیند غالبی در تشکیل سله‌های ساختمانی است (فوکس و همکاران ۱۹۹۸). آن ساختار خاصی از خاک سطحی بوده که متأثر از تاثیر قطرات باران، رسوبات، خشک و مرطوب شدن‌های متوالی است. سله فیزیکی و ساختمانی تا حدودی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک نیز گسترش یافته و در خاک‌های کشت شده و کشت نشده نیز دیده می‌شود. ضخامت این سله‌ها عموماً از ۱ میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر بوده و در هنگام خشک شدن بسیار شکننده و به هم فشرده می‌شوند و این شکنندگی نه تنها منجر به تغییر در اندازه حفره‌ها می‌شود بلکه باعث تغییر آرایش سیستم حفره‌ها نیز می‌گردد (رینگرزواس و هومفری ۱۹۹۴ و رویز ۱۹۸۷، برسون و بوفین ۱۹۹۰، وست و همکاران ۱۹۹۰، برسون و ولنتاین ۱۹۹۴، پاگلیای ۲۰۰۸). در دهه اخیر به دلیل افزایش جمعیت و فشار مضاعف بر اراضی پدیده سله سطحی خاک در تمامی انواع خاک‌ها اتفاق می‌افتد (پاگلیای ۲۰۰۴). طبق مطالعات جانجریوس (۱۹۵۷) قطر منافذ خاک بر حسب اهمیت به سه دسته تقسیم می‌شود که حفره‌های کمتر از ۳۰ میکرون به عنوان حفره‌های تغذیه‌ای و محل استقرار میکروارگانیسم‌ها، حفره‌ها با قطر معادل ۳۰ تا ۱۰۰

همکاران (۱۳۹۰) و در بررسی کمی حفره‌ها و محاسبه درصد تخلخل و کلاس‌بندی اندازه حفره‌ها از نرم افزار پردازش تصویر نسخه ۳ و Image J(1.34s) استفاده گردید. تجزیه‌های آماری شامل تجزیه واریانس تأثیر ۳ شدت بارش و ۵ نوع خاک مختلف بر درصد حفره‌ها و مواد زمینه در بخش سله و زیر سله بوده که به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و به کمک نرم افزارهای MSTAT-C و Excel انجام شد.

### بحث و نتیجه‌گیری

۵ نمونه خاک انتخاب شده پس از تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی (جدول ۱) بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی (ST 2014) تا سطح زیر گروه رده‌بندی شدند (جدول ۵).

و سخت کننده کبالت‌اکتات اشباع و سخت گردید. برش-های نازک تهیه شده، به منظور تعیین اثرات ۳ شدت متفاوت بارش بر روی خواص میکرومورفولوژیکی در بخش بالایی و پایینی سله (۰ تا ۱/۵ و بیش از ۱/۵ سانتی-متری) در ۵ نمونه خاک طبق تعریف فوکس و همکاران (۲۰۰۴) و به منظور بررسی ۳ کلاس مهم حفره‌ها (کمتر از ۳۰ میکرون، ۳۰ تا ۱۰۰ و بیشتر از ۱۰۰ میکرون) و اهمیت تأثیر سه شدت متفاوت بر میزان تغییر پذیری قطر معادل آن‌ها به کمک میکروسکوپ پلاریزان و نرم افزار پردازش تصویر ۳ بعد از کالیبراسیون مقیاس با نرم افزار Image-J(1.34s) می‌باشد. شایان ذکر است که به دلیل حضور اندک کانی‌های کوارتز و سایر کانی‌هایی که در نور پلاریزان معمولی ویژگی‌هایی شبیه حفره‌ها را دارند نیازی به استفاده از رنگدانه‌های فلورسانس نبوده و برای رفع خطای موجود ناشی از حضور این کانی‌ها مقدار آن به صورت درصد از میزان تخلخل کم شد. آنالیز تصاویر بر روی تصاویر (ppl) انجام (میکریمی و

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی ۵ نمونه خاک.

نوع خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	مواد آلی (%)
A1 لوم رسی	۳۰/۳	۴۲/۶	۲۷/۱	۴	۳/۹
A2 رسی سیلتی	۱۵/۹	۲۴/۶	۴۱/۵	۳/۶۶	۱/۹۵
A3 سیلتی لوم	۳۰	۶۰/۱	۹/۹	۳/۵	۱/۹۵
A4 لوم	۳۲/۲	۴۳/۴	۲۴/۴	۳/۳۴	۰/۹۷۵۰
A5 لوم شنی	۵۶/۳	۳۴/۸	۸/۹	۳/۴۴	۰/۹۷۵۰

### خواص میکرومورفولوژیک

این ویژگی‌ها در دو بخش کمی و کیفی مورد مطالعه قرار گرفته است که ذیلاً تشریح می‌گردد.

### نتایج کیفی مطالعات میکرومورفولوژیکی

وجود تغییرات در بررسی‌های کیفی شامل مورفولوژی حفره‌ها و خاکدانه‌ها در بخش ۰ تا ۱/۵ سانتی‌متری نمونه (بخش سله) و بخش زیرین، مطابق با

نظر فوکس و همکاران (۱۹۹۸) در تعریف انواع سله‌ها از جمله سله‌های ساختمانی است. حرکات ذرات رسی به سمت پایین و همچنین شسته شدن مواد به دلیل معلق شدن ذرات خاک توسط آب باران از بالای نمونه به سمت پایین منجر به تشکیل نموده‌های خاکساختی در بخش ۱/۵ تا ۳ سانتی‌متری اسلایدها شده و با افزایش شدت بارش تا ۴۷ میلی‌متر بر ساعت این حرکت نیز افزایش یافته است که این امر مطابق با نظریه مرموت و همکاران (۱۹۹۵)

در بیشتر نمونه‌ها از جمله نمونه خاک‌های (A<sub>۱</sub> و A<sub>۴</sub>) در اسلایدهای تهیه شده از بخش بالایی سله به دلیل وجود حفره‌هایی با مورفولوژی بسته، بسته‌مرکب و پیچیده، نوع سله‌ها از نوع تجمعی بوده که این به دلیل به هم جوش خوردن برخی از خاکدانه‌ها در اثر برخورد قطرات و ضربات حاصل از باران می‌باشد و مطابق با نظر وست و چیانگ (۱۹۹۲) است (شکل ۲).

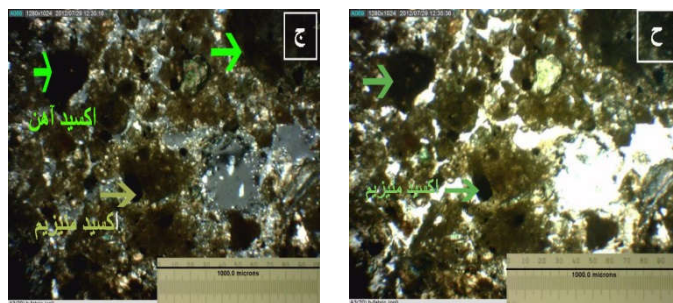
مبنی بر تاثیر بیشتر شدت بزرگتر بر روی نمونه‌های تهیه شده می‌باشد (شکل ۴- ی). در نمونه خاک شماره ۲، دو شدت ۲۰ و ۳۷ میلی‌متر بر ساعت دارای تلقیح ضعیف تا متوسطی از کریستال‌های ریز میکریتی در بخش بالایی و پایینی سله بوده که این درجه تلقیح در شدت ۴۷ میلی- متر بر ساعت قوی‌تر شده و منجر به تشکیل پرشدگی- های آهکی می‌شود که بیانگر تاثیر موثر شدت ۴۷ میلی- متر بر ساعت می‌باشد (شکل ۱- الف، ب، پ).



شکل ۱- (الف، ب، پ): A<sub>2</sub> شدت ۳۷ mm/h، ۳cm-۱/۵- بی فابریک خطی- منافذ کانالی- (PPL)، (XPL)، ۴۰X- (پ)- A<sub>2</sub> شدت ۳۷mm/h، ۳cm-۱/۵- بی فابریک غیر کریستالیک شبکه‌ای و اصلی- منافذ صفحه‌ای- (XPL)، ۴۰ X.



شکل ۲- (ت، ث، ج): A<sub>۱</sub> شدت ۲۰ mm/h، ۱/۵ cm-، (XPL و PPL)، ۴۰ X، (ج): A<sub>۴</sub> شدت ۲۰ mm/h، ۱/۵ cm-، منافذ بسته مرکب، (XPL)، ۴۰ X.



شکل ۲- (ح، چ): A<sub>۳</sub> شدت ۲۰ mm/h، ۱/۵ cm- (XPL و PPL)، ۴۰ X.

حفرات تأثیری نداشت (شکل ۴-د، ذ). در نمونه خاک شماره ۲ با بافت رسی سیلتی برخورد قطرات منجر به تبدیل ریز ساختار خاک از حالت مکعبی زاویه دار به مکعبی بدون زاویه شده بود که این تبدیل ریز ساختار با تغییر مورفولوژی منافذ همراه است به طوری که منافذ از اشکال صفحه‌ای در بخش پایینی سله به شکل وزیکول ساده در بخش بالایی سله تبدیل شده بود (شکل ۴-ر، ز). در نمونه خاک شماره ۳ با بافت سیلتی لوم نیز برخورد قطرات باران منجر به تبدیل ریزساختار خاک از حالت اسفنجی در بخش پایینی سله به ساختمان وزیکولی در بخش بالایی سله شده بود (شکل ۴-ژ، س). در نمونه خاک شماره ۴ با بافت لوم این شدت بارش منجر به تغییر در درجه توسعه یافتگی خاکدانه‌ها نشده است، اما در بخش پایینی سله به دلیل شست و شوی بیشتر منافذ گرد و بسته مرکب به کانال‌ها تبدیل گشته بود (شکل ۴-ش، ص). در نمونه خاک شماره ۵ با بافت لومی شنی این شدت منجر به تغییر در محل حفرات شده بود به طوری که حفرات از میان خاکدانه‌ای در بخش زیر سله به درون خاکدانه‌ای در بخش بالایی سله تبدیل شده بود (شکل ۴-ض، ف).

در مطالعه خاک شماره ۳ با بافت سیلتی-لومی به دلیل حساسیت بالای این نوع بافت، حتی با وجود بالا بودن سایر عوامل پایداری از جمله اکسیدهای آهن و منیزیم به طور شدیدی به شست و شو حساس می‌باشد به طوری که در شدت ۲۰ میلی‌متر بر ساعت نیز پرشدگی‌هایی از ذرات ریز کوارتز و کلسیت در اطراف حفره‌ها دیده می‌شود که این آرایش منجر به نقطه-نقطه شدن فابریک خاک یا فابریک منقوطة‌ای شده است و چنین نتیجه‌ای نیز قبلاً توسط واکیندیکی و بنهور (۲۰۰۲) در رابطه با حساسیت بالای خاک‌های سیلتی-لومی به آب‌شویی گزارش شده است (شکل ۳).

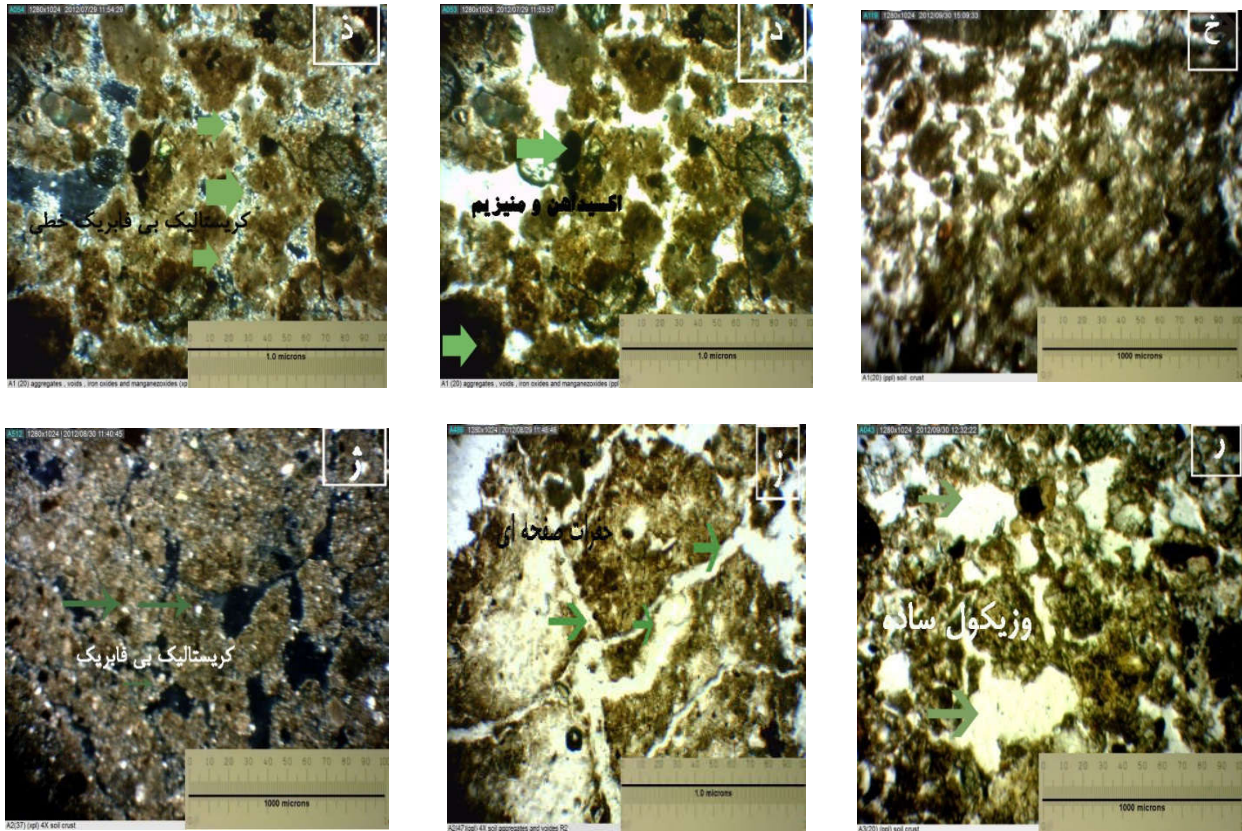
در بررسی‌های کیفی تأثیر شدت ۲۰ میلی‌متر بر ساعت و مقایسه فابریک ۵ نمونه مختلف خاک نشان داد که: در نمونه خاک شماره ۱ با بافت لوم رسی برخورد قطرات منجر به تبدیل بی‌فابریک کریستالیک تصادفی در بخش سله (شکل ۴-خ) به بی‌فابریک کریستالیک خطی زیر سله شده بود، اما این شدت در تبدیل مورفولوژی

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر شدت بارش و نوع خاک بر روی درصد حفره‌ها و درصد مواد زمینه در بخش سله.

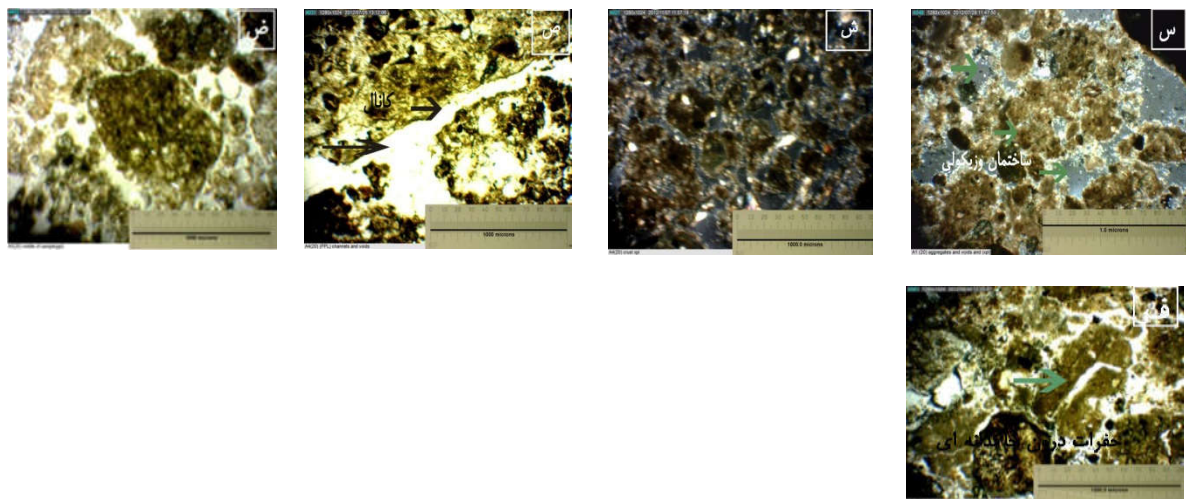
میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
درصد مواد زمینه	درصد منافذ		
۳۴/۷۵۹ <sup>ns</sup>	۳۴/۷۵۹ <sup>ns</sup>	۴	نوع خاک
۳۳/۰۷۸ <sup>ns</sup>	۳۳/۰۷۸ <sup>ns</sup>	۲	شدت بارش
۲۳/۰۳۳ <sup>ns</sup>	۲۳/۰۳۳ <sup>ns</sup>	۸	شدت بارش* نوع خاک
۲۱/۳۷۱ <sup>ns</sup>	۲۱/۳۷۱ <sup>ns</sup>	۳۰	اشتباه آزمایشی
۵/۳۶	۳۳/۴۸	-	ضریب تغییرات (%)

ns و \*\*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.





شکل ۳- (خ) - شدت ۲۰ mm/h، ۱/۵-۰ cm، منافذ بسته مرکب، (PPL)، ۴۰ X، (د.ذ) - A<sub>1</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm فابریک خطی، خاکدانه‌های کروی (PPL, XPL)، ۴۰ X، (ن): A<sub>۲</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۱/۵-۰ cm، بی فابریک غیر کریستالیک، خاکدانه مکعبی بدون زاویه، (PPL) ۴۰ X، (ز): A<sub>2</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm، بی فابریک غیر کریستالیک، خاکدانه مکعبی زاویه‌دار، (PPL) ۴۰ X، (ژ): A<sub>۳</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۱/۵-۰ cm، کریستالیک بی فابریک، (XPL) ۴۰ X،



ادامه شکل ۴- (س) : A<sub>۳</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm، (XPL) ۴۰ X، (ش) : نمونه A<sub>۲</sub>، کریستالیک بی فابریک خطی، ریز ساختار کروی (XPL) ۴۰ X، (ص) : A<sub>۲</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm، منافذ بسته مرکب (PPL)، ۴۰ X، (ض) : A<sub>۳</sub> شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm، (PPL) ۴۰ X، (ف) - ۴۰ X، شدت ۲۰ mm/h و ۳-۱/۵ cm، (PPL) ۴۰ X،

## تأثیر شدت ۳۷ میلی‌متر بر ساعت و مقایسه

## فابریک ۵ نمونه مختلف خاک

در نمونه خاک شماره ۱ جهت‌گیری و توزیع اجزای واحد فابریک در بخش سله کاملاً تصادفی بوده و آرایش اجزای واحد فابریک هیچ ارتباطی با هم ندارند و در گروه اصلی تصادفی قرار می‌گیرند. به علت حضور کانی‌ها و ذرات ریز آهکی و معدنی با شکست مضاعف کوچک بی فابریک کریستالیک تشکیل می‌شود. الگوی پراکنش ارتباطی پورفیریک در بخش سله به پورفیریک باز در بخش پایینی سله تبدیل شده و جهت‌گیری و توزیع اجزای واحد فابریک در بخش زیر سله کاملاً تصادفی بوده و آرایش اجزای واحد فابریک هیچ ارتباطی با هم نداشته و الگوی جهت یابی و پراکنش اصلی تصادفی است و وجود می‌آورند. اجزای کانی‌ها و ذرات ریز رس در حالت نور پلاریزه و غیر پلاریزه به صورت خطی دیده شده و نوع بی فابریک آن از نوع خطی می‌باشد (شکل ۵-ق، ط). در نمونه خاک شماره ۲ ریزساختار مکعبی بدون زاویه در بخش بالایی سله به ریزساختار مکعبی زاویه‌دار در بخش پایینی تبدیل شده و منافذ صفحه‌ای، کانال‌ها و منافذ بین-خاکدانه‌ای در بخش بالایی سله به چمبرها و منافذ صفحه‌ای در بخش پایینی گسترش یافته بود (شکل ۵-ظ،

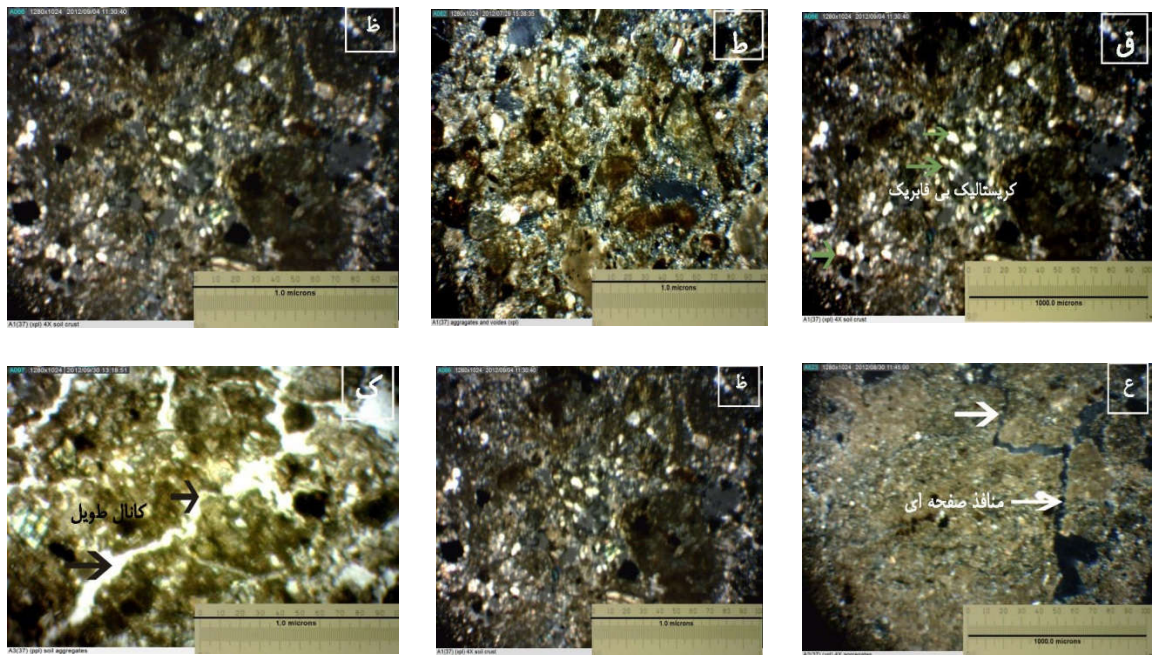
ع). در نمونه خاک شماره ۳ با بافت سیلتی لومی مورفولوژی منافذ از کانال‌ها و منافذ بسته در بخش سله به مورفولوژی کانالی و وگ‌ها در بخش زیرین سله تبدیل شده و وجود پرشدگی‌های ابری شکل و تلقیح قوی نیز دلیل عمده شست و شوی بیشتر نسبت به بخش بالایی سله بود. این یافته مطابق با نظرات پاگیلیا و لامارسا (۱۹۷۹) در ارتباط با ناپایداری خاکدانه‌های خاک سیلتی لومی می‌باشد (شکل ۵-غ، ک). در نمونه شماره ۴ با بافت لومی الگوی پراکنش ارتباطی پورفیریک در بخش بالایی سله به الگوی پراکنش انولیک در بخش پایینی تبدیل شده و برخورد قطرات باران درجه توسعه‌یافتگی و تفکیک ریزساختار را از متوسط تا خوب در بخش پایینی سله به درجه توسعه‌یافتگی و تفکیک‌پذیری ضعیف در بخش سله تبدیل نموده بود. بخش پایینی سله نیز به دلیل شست و شو با پرشدگی‌های کوارتز همراه است (شکل ۵-گ). در نمونه خاک شماره ۵ با بافت لومی شنی ساختمان بخش بالایی سله مکعبی بدون زاویه و بخش پایینی سله ریز ساختار وگی بود مورفولوژی حفره‌ها نیز در بخش بالایی سله از نوع وزیکولی، کانال بسته مرکب و در بخش زیر سله از نوع وگ‌های کانالی شکل، چمبر و منافذ بسته و گرد می‌باشد (شکل ۵-ل، ن، ه).

## جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر شدت بارش و نوع خاک بر روی درصد حفره‌ها و درصد مواد زمینه در بخش زیرین سله.

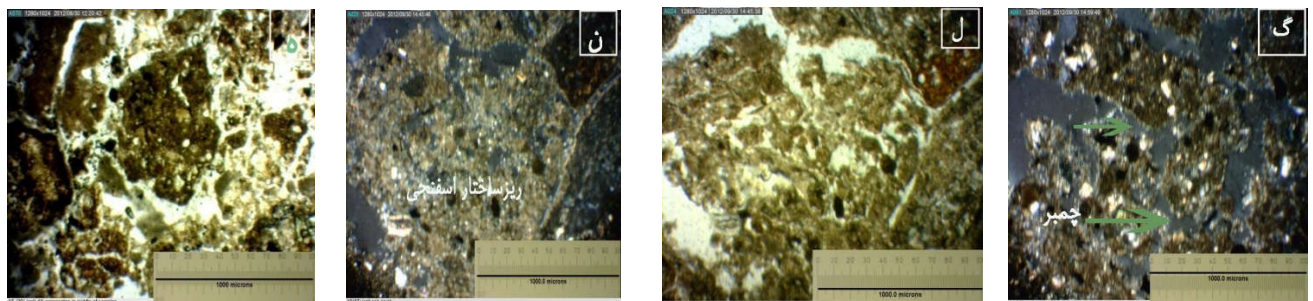
میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
درصد مواد زمینه	درصد منافذ		
۳۵۳/۵۷۵**	۳۹۸/۰۵۹**	۴	نوع خاک
۵۱/۶۴۲**	۶۸/۲۳۱۲**	۲	شدت بارش
۲۶۲/۰۱۱**	۳۳۸/۷۷۸**	۸	شدت بارش * نوع خاک
۸۳/۰۰۵**	۹۶/۶۰۶۴**	۶۰	اشتباه آزمایشی
۱۱/۶۸	۴۳/۵۸	-	ضریب تغییرات (%)

\*\*\* و \*\* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.





شکل ۴- (ق) A<sub>1</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵ cm ، ۴۰ X ، کریستالیک بی فابریک (XPL) ، ۴۰ X ، (ط): A<sub>1</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵-۳cm- کریستالیک بی فابریک خطی ، (XPL) ۴۰ X ، (ظ): A<sub>۲</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵ cm ، بی فابریک غیر کریستالیک ، (XPL) ، ۴۰ X - (ع) A<sub>۲</sub> شدت ۳۷ mm/h ، بی فابریک غیر کریستالیک شبکه‌ای و اصلی ، منافذ صفحه‌ای (XPL) ، ۴۰ X ، (غ): A<sub>۳</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵-۳cm ، کریستالیک بی فابریک ، (XPL) - (ک) A<sub>۳</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵-۳cm ، کانال‌های طولی ، (PPL) ، ۴۰ X .



شکل ۵- (گ) A<sub>۲</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵-۳ (cm) تشکیل چمبرها (XPL) ، ۴۰ X - (ل، ن): A<sub>۵</sub> شدت ۳۷ mm/h - (۱/۵-۳ cm) ، ریزساختار بلوکی بدون زاویه ، (XPL, PPL) ، ۴۰ X ، (ه): A<sub>۵</sub> شدت ۳۷ mm/h ، ۱/۵-۳ (cm) ، ریزساختار اسفنجی ، منافذ وگی (PPL) ، ۴۰ X .

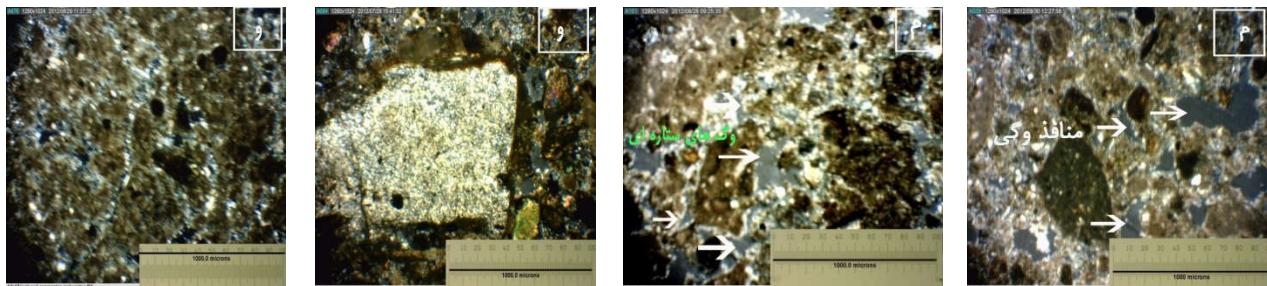
تبدیل کرده بود که این دلیل خوبی بر شست و شوی بیشتر بخش پایینی سله بوده و همچنین به دلیل برخورد قطرات باران ریزساختار مکعبی زاویه‌دار نیز در بخش پایینی سله به ریزساختار مکعبی بدون زاویه در بخش بالایی تبدیل شده است (شکل ۴-م). در نمونه شماره ۲:

### تأثیر شدت ۴۷ میلی‌متر بر ساعت و مقایسه فابریک ۵ نمونه خاک مختلف

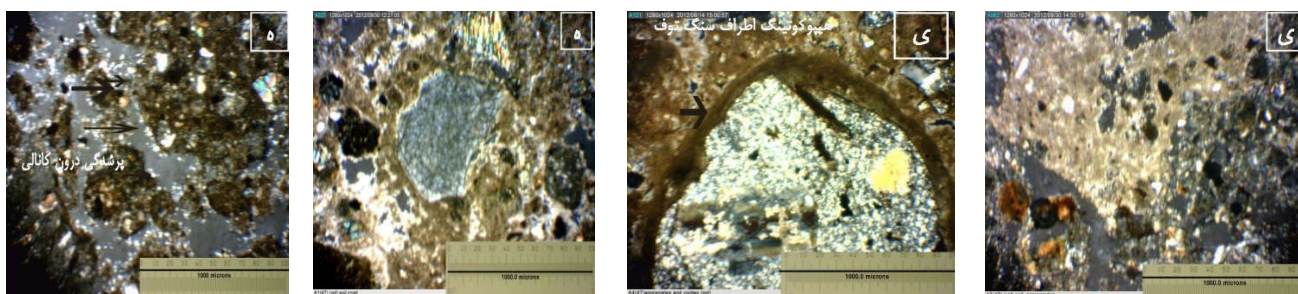
در نمونه شماره ۱: شدت ۴۷ میلی‌متر بر ساعت مورفولوژی منافذ را از وگ ستاره‌ای شکل در بخش سله به کانال‌ها و وگ‌های بین‌خاکدانه‌ای در بخش پایینی سله

بخش سله به الگوی پراکنش پورفیریک و انولیک در بخش پایینی تبدیل شده و پرشدگی ابری شکل به پرشدگی داخل کانالی در بخش پایینی سله تبدیل گردیده است (شکل ۶- ی). در نمونه شماره ۵: الگوی پراکنش ارتباطی انولیک در بخش سله به انولیک و پورفیریک در بخش زیر سله تبدیل شده و ریزساختار کروی اسفنجی به ریزساختار کانالی در بخش زیرین سله گسترش یافته است. وجود نموده‌های خاکساختی هالو در اطراف سنگ توف دلیل خوبی برای شست و شوی مواد از بخش بالایی به بخش پایینی سله می‌باشد (شکل ۶- ه).

این شدت منجر به تغییر بی‌فابریک کریستالیک نقطه نقطه در بخش سله به بی‌فابریک خطی اطراف منافذ زیر سله تبدیل شده بود و الگوی پراکنش ارتباطی در بخش سله از نوع پورفیریک می‌باشد (شکل ۶- و). در بخش پایینی سله نیز حفرات درون خاکدانه‌ای بیشتر گسترش یافته و پرشدگی‌های بیشتر داخل کانالی و تلقیح قوی نیز دلیل خوبی برای شست و شوی مواد از بخش بالایی به بخش پایینی است (شکل ۶- و). در نمونه شماره ۳: در این نمونه نموده‌های تخلیه‌ای در بخش بالایی سله به پرشدگی‌های داخل کانالی و هالو در بخش پایینی تبدیل شده است (ی). در نمونه شماره ۴: الگوی پراکنش ارتباطی انولیک در



شکل ۵- (م) -  $A_1$  شدت  $47 \text{ mm/h}$ ،  $1/5 - 0$ ، خاکدانه های کروی متوسط توسعه یافته و وگ ستاره‌ای شکل (XPL)،  $40 \times$ ، (م) - بی‌فابریک کریستالی نقطه نقطه، (XPL)،  $40 \times$ ، (و)  $A_1$  شدت  $47 \text{ mm/h}$ ،  $3 - 1/5$ ، آرایش ذرات در داخل حفره‌ها، منافذ وگی (XPL)،  $40 \times$ ، (و): نمونه  $A_1$  شدت  $47 \text{ mm/h}$  - تجمع ذرات رس و تشکیل نمود خاکساختی هالو در اطراف سنگ آتشفشانی توف (XPL)،  $40 \times$



ادامه شکل ۶- (ی):  $A_2$  شدت  $47 \text{ mm/h}$ ،  $3 - 1/5$ ، بی‌فابریک خطی، منافذ کانالی، (XPL)  $40 \times$ ، (ی)  $A_3$ ،  $3 - 1/5$ ، شدت  $47 \text{ mm/h}$ ، کانال‌های طولی، تشکیل چمبرها، (XPL)  $40 \times$  (ه و ه)  $A_4$ ، شدت  $47 \text{ mm/h}$ ، وجود هایپوکوتینگ و پرشدگی اطراف سنگ توف آتشفشانی و کانالی، (XPL)،  $40 \times$ .

## تحلیل آماری

بعد از بررسی‌های آماری داده‌های تهیه شده در قالب طرح کاملاً تصافی به کمک نرم‌افزار MSTAT-C مطالعه و نتایج زیر حاصل شد. در بخش ۰ تا ۱/۵ سانتی‌متری بر اساس اسلایدهای تهیه شده، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در بین تکرارهای حاصل از درصد حفره‌ها و بخش زمینه (ذرات) وجود نداشته و این امر می‌تواند به دلیل تأثیر شدت بارش بر خرد کردن ذرات خاک تحت تأثیر سه شدت متفاوت بارش باشد (جدول ۳). اما در بررسی نمونه‌های تهیه شده از بخش زیرین سه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک

درصد در بین تکرارهای حاصل از درصد حفره‌ها و ذرات وجود داشته و تأثیر نوع خاک بر شدت بارش در سطح احتمال یک درصد نیز معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). همچنین تجزیه واریانس داده‌های حاصل از کلاس‌بندی سه قطر معادل حفره‌ها در پنج تکرار در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت-اسپلیت-پلات به کمک نرم افزار MSTAT-C انجام گرفت. نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین داده‌های حاصل از تأثیر نوع خاک، شدت بارش و قطر معادل حفره‌ها در سطح زیرین و بالایی سه بوده که مطابق با بررسی‌های کیفی حاصل از بررسی نمونه‌ها با بزرگنمایی  $40\times$  می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر شدت بارش و نوع خاک بر روی ۳ قطر معادل حفره‌ها در بخش زیرین و بالایی سه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	فاکتور K	میانگین مربعات
نوع خاک (A)	۴	۲	۱۸۵۳۶۲/۸۰۲ <sup>NS</sup>
شدت بارش (B)	۲	۴	۱۷۸۱۳/۹۵۹ <sup>NS</sup>
شدت بارش $\times$ نوع خاک	۸	۶	۱۰۳۱۹۸/۶۳۵ <sup>NS</sup>
اشتباه آزمایشی	۳۰	-۷	۷۰۲۷۸/۹۲۶ <sup>NS</sup>
قطر معادل منافذ (C)	۲	۸	۱۰۰۲۲۶۷۳/۴۹۳ <sup>**</sup>
قطر معادل $\times$ نوع خاک	۸	۱۰	۱۶۴۹۱۶/۷۲۶ <sup>*</sup>
قطر معادل $\times$ شدت بارش	۴	۱۲	۲۳۵۰۷/۵۵۴ <sup>NS</sup>
قطر معادل $\times$ شدت بارش $\times$ نوع خاک	۱۶	۱۴	۸۹۱۰۲/۱۶۰ <sup>NS</sup>
اشتباه آزمایشی	۶۰	-۱۵	۶۶۲۰۰/۲۵۴ <sup>NS</sup>
حفرات بخش بالایی و زیرین سه (D)	۱	۱۶	۵۵۰۹۷/۹۵۹ <sup>NS</sup>
نوع خاک $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۴	۱۸	۱۰۶۱۱/۱۹۱ <sup>NS</sup>
شدت بارش $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۲	۲۰	۸۷۵۰/۴۹۳ <sup>NS</sup>
نوع خاک $\times$ شدت بارش $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۸	۲۲	۷۷۱۸۹/۴۱۹ <sup>**</sup>
قطر معادل $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۲	۲۴	۷۸۸۴۵/۹۱۵ <sup>*</sup>
نوع خاک $\times$ قطر معادل $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۸	۲۶	۱۳۱۴۱/۹۹۴ <sup>NS</sup>
شدت بارش $\times$ قطر معادل $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۴	۲۸	۷۷۱۸/۰۳۱ <sup>NS</sup>
نوع خاک $\times$ شدت بارش $\times$ قطر معادل $\times$ بخش بالایی و پایینی سه	۱۶	۳۰	۷۴۳۳۵/۶۳۸ <sup>**</sup>
اشتباه آزمایشی	۹۰	-۳۱	۲۴۵۷۵/۵۳۷

ترتیب \*\*، \* و NS به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

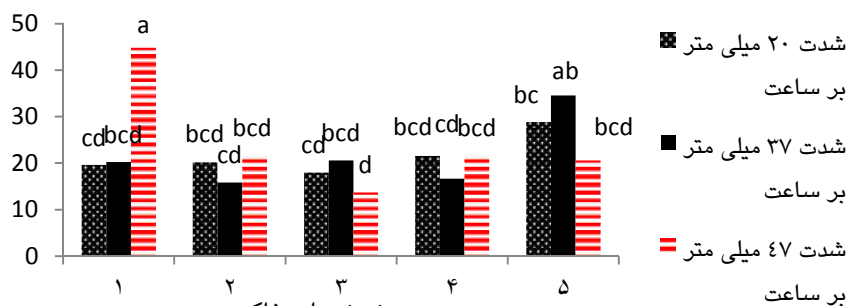


### جدول ۵- رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه تا سطح زیر گروه بر اساس taxonomy 2014soil

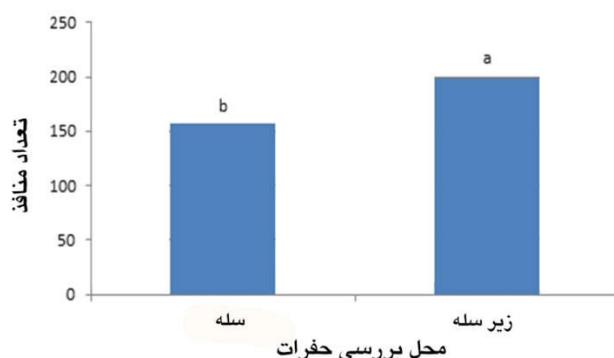
نمونه خاک	رده‌بندی خاکها تا سطح زیر گروه
خاک شماره ۱ (A <sub>1</sub> )	Xeric haplocalcids
خاک شماره ۲ (A <sub>2</sub> )	Lithic xerorthents
خاک شماره ۳ (A <sub>3</sub> )	Lithic xerorthents
خاک شماره ۴ (A <sub>4</sub> )	Lithic xerorthents
خاک شماره ۵ (A <sub>5</sub> )	Typic calcixerepts

شدت ۴۷ میلی‌متر بر ساعت بیشترین تعداد حفره‌ها و در خاک شماره ۳ با بافت سیلتی لوم در شدت ۴۷ میلی‌متر بر ساعت کمترین تعداد حفره‌ها مشاهده گردید (شکل ۷). اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین داده‌های حاصل از تأثیر نوع خاک، شدت بارش و قطر معادل حفره‌ها در سطح زیرین و بالایی سله بوده که مطابق با بررسی‌های کیفی حاصل از بررسی نمونه‌ها با بزرگنمایی  $40\times$  می‌باشد (جدول ۵).

به کمک داده‌های حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها در محیط Excell، نمودار ستونی داده‌ها تهیه و مقایسه-ها حاکی از تفاوت در تعداد حفره‌های موجود در سه کلاس بخش سله و بخش زیرین آن و غالبیت تعداد حفره‌ها در بخش پایینی سله می‌باشد (شکل ۸). بررسی نمودار مربوط به داده‌های حاصل از مقایسه میانگین‌ها تأثیرسه شدت متفاوت بارش بر روی پنج نمونه بافت مختلف خاک در بخش زیرین سله نیز نشان داد که در بخش زیرین سله خاک شماره ۱ با بافت لومی رسی تحت



شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر ۳ شدت متفاوت بارش بر روی ۵ نوع خاک مختلف.



شکل ۸- مقایسه میانگین تفاوت تعداد کلاس حفره‌ها در سله و بخش زیرین (محور عمودی تعداد منافذ در بخش سله و زیر سله).

متفاوت بارش بر روی پنج نمونه بافت مختلف خاک در بخش زیرین سله نیز نشان داد که در بخش زیرین سله خاک شماره ۱ با بافت لومی رسی تحت شدت ۴۷ میلی-متر بر ساعت بیشترین تعداد حفره‌ها و در خاک شماره ۳ با بافت سیلتی لوم در شدت ۴۷ میلی-متر بر ساعت کمترین تعداد حفره‌ها مشاهده گردید (شکل ۷).

به کمک داده‌های حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها در محیط Excell، نمودار ستونی داده‌ها تهیه و مقایسه‌ها حاکی از تفاوت در تعداد حفره‌های موجود در سه کلاس بخش سله و بخش زیرین آن و غالبیت تعداد حفره‌ها در بخش پایینی سله می‌باشد (شکل ۸). بررسی نمودار مربوط به داده‌های حاصل از مقایسه میانگین‌ها تأثیر سه شدت

#### منابع مورد استفاده

محمدزاده ز، ۱۳۹۰، عوامل سیمانی‌کننده و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها به عنوان تخمین‌گر ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری خاک‌های منطقه نیمه‌خشک آذربایجان شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.  
میرکریمی م، خرماالی ف، کیانی ف و عاکف م، ۱۳۹۰. مطالعه میکرومورفولوژیک تخلخل افق مالیک خاک‌های مالی سولز جنوب گرگان رود تحت تاثیر کاربری‌های مختلف اراضی، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحه‌های ۱۸۱ تا ۱۹۸.

- Bresson LM and Boiffin J, 1990. Morphological characterisation of soil crust development on an experimental field. *Geoderma* 47: 301-325.
- Bresson LM and Valentin C, 1994. Soil surface crust formation: Contribution of micromorphology. *Soil Science, Amsterdam* 22: 737-762.
- Fox DM, Le Bissonnais Y and Quetin P, 1998. The implications of spatial variability in surface seal hydraulic resistance for infiltration in a mound and depression microtopography. *Catena* 32: 101-114.
- Fox DM, Bryan R B and Fox C A, 2004. Changes in pore characteristics with depth for structural crusts. *Geoderma* 120 (1-2): 109-120.
- Joungerious A, 1957. Morphological investigation of the processes of leaching and processes of leaching and podzolisation of soils under forest. *Pochvoredenie* 5: 43-52.
- Lima HV, Silva AP, Santos MC, Cooper M and Romero RE, 2006. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). *Geoderma* 132: 416-4.
- Mermut AR, Luk SH, Romkens MJ and Poeson JWA, 1995. Micromorphological and mineralogical components of surface sealing in loess soils from different geographic regions. *Geoderma* 66: 71-84.
- Pagliai M and LaMarca M, 1979. Micromorphological Study of Soil Crust. *Agrochimica* 23:16-25.
- Pagliai M, 2004. Soil degradation and land Use. Chapter 19. Pp, 420-436. In: Stoops G, Marcelino V, Mess F. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regolits. 1st Edition Netherlands.
- Pagliai M, 2008. Crust crusting in Chesworth. *Encyclopedia of Soil Science Springer*. Heidelberg: 171-179.
- Rasa K, Eickhorst T, Tippkotter R and Yli-Halla M, 2012. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis. *Geoderma* 173-174: 10-18.
- Ringrose-Voase AJ and Humphreys GS, 1994. *Soil Micromorphology: Studies In Management and Genesis*. Elsevier Amsterdam, London- New York.
- Wakindiki IIC and Ben- Hur M, 2002. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion. *Soil and water Management and Conservation* 66: 897-905.
- West LT, Bradford JM and Norton LD, 1990. Crust morphology and infiltrability in surface soils from the southeast and midwest U.S.A In: Douglas LA, (ed). *Soil micromorphology a Basic and Applied Science*. Developments in Soil Science Proc.VIII Int. Working Meeting on Soil Micromorphology. San Antonio, Texas July 1998. Development in Soil Science 19, Elsevier, Amsterdam. Pp. 107-114.
- West LT and Chiang SC and Norton LD, 1992. The morphology of surface crusts. In: Sumner ME and Stewart BA. *Soil Crusting Chemical and Physical Processes*. Proc 1st Int. Symposium on Soil Crusting. Lewis Publishers Boca Raton. Pp 73-92.