

بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه در خاک کشاورزی

سعید رحمتی، علی‌رضا واعظی* و حسین بیات^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۸)

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که نقشی عمده در رفتار هیدرولوژیکی خاک دارد. این ویژگی عمدتاً تحت تأثیر خصوصیات ساختمانی خاک قرار می‌گیرد. توزیع اندازه خاکدانه یکی از معیارهای مهم برای توصیف خصوصیات ساختمانی خاک است که بر K_s تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش تغییرات K_s در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه در یک نمونه خاک کشاورزی بررسی شد. آزمایش در هشت توزیع مختلف اندازه خاکدانه با میانگین وزنی قطر خاکدانه یکسان (۴/۹ میلی‌متر) که شامل درصدهای مختلف اندازه خاکدانه (کمتر از ۲، ۲ تا ۴، ۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۱ میلی‌متر) بود، انجام گرفت. مقدار K_s به همراه سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه تعیین شد. نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه از نظر K_s و نیز فراوانی ذرات معدنی، تخلخل، پایداری خاکدانه، هدایت الکتریکی، ماده آلی و کربنات کلسیم وجود دارد. مقدار K_s و رس در توزیع‌های دارای درصد بالایی از خاکدانه‌های درشت (۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۱ میلی‌متر)، بالاتر بود. همبستگی مثبت معنی‌دار بین K_s و رس، پایداری خاکدانه، هدایت الکتریکی مشاهده شد، درحالی‌که شن همبستگی منفی نشان داد با این حال همبستگی آن با سیلت، تخلخل و ماده آلی معنی‌دار نبود. تجزیه رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که رس و پایداری خاکدانه دو ویژگی مهم تعیین‌کننده مقدار K_s در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه هستند ($R^2=0/80$, $P<0/01$). پایداری خاکدانه به‌عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی تغییرات K_s در توزیع‌های اندازه خاکدانه بود.

واژه‌های کلیدی: اندازه خاکدانه، پایداری خاکدانه، تخلخل درشت، ساختمان خاک، ماده آلی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

مقدمه

این ویژگی به توانایی یک خاک در نگهداری آرایش ذرات جامد و فضای بین آنها در هنگام مواجه شدن با تنش‌های مختلف مربوط می‌شود (۶). پایداری خاکدانه‌های خاک به عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود (۲۷). خرد شدن و جدا شدن ذرات خاکدانه توسط ضربه قطرات باران و بازسازی مجدد آن ممکن است منجر به تشکیل سله ساختمانی و انسداد منافذ شود (۲۶). در اثر تشکیل سله ساختمانی، منافذ باز و هدایت کننده آب مسدود شده و این امر موجب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک و افزایش جریان‌های سطحی آب (رواناب) می‌شود (۱۵).

بررسی‌های مختلفی در مورد تأثیر ویژگی‌های خاکدانه بر هدایت هیدرولیکی اشباع انجام گرفته است. لادو و همکاران (۳۲) بیان کردند خاک‌هایی که دارای خاکدانه‌های متوسط و ماده آلی بیشتر هستند، به دلیل داشتن مقاومت بیشتر در برابر رطوبت نسبت به خاکدانه‌های بزرگ و همچنین داشتن توزیع خلل و فرج بزرگ‌تر نسبت به خاکدانه‌های کوچک، هدایت هیدرولیکی بیشتری را از خود نشان می‌دهند. بیات و همکاران (۱۲) نشان دادند که عملیات خاکورزی با شکستن خاکدانه‌ها و تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک و تخلخل کل، سبب تغییر خصوصیات ساختمانی خاک می‌شود. راب (۴۳) بیان کرد که افزایش تراکم و کاهش منافذ درشت، بر هدایت هیدرولیکی اشباع و در نتیجه بر جریان آب در خاک اثر می‌گذارد. در پژوهشی واعظی (۴۸)، همبستگی خوبی بین پایداری خاکدانه با هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) ارائه کرد. همچنین نتایج نشان داد که پایداری خاکدانه و K_s به شدت از سوی برخی از خواص مستقل خاک (ذرات معدنی، ماده آلی و آهک) تحت تأثیر قرار می‌گیرند. عبدل رزک و همکاران (۱) نشان دادند که با افزایش پایداری خاکدانه، مقدار K_s افزایش می‌یابد. نعمتی و همکاران (۴۰) نشان دادند که تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک تحت تأثیر خیس شدن را می‌توان بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه مورد بررسی قرار داد. بن‌هور و همکاران (۱۳) با بررسی نقش اندازه خاکدانه بر هدایت هیدرولیکی اشباع در دو

خاک مجموعه‌ای از ذرات جامد است که در بین آنها منافذی برای عبور جریان وجود دارد. این خاصیت عبور آب از میان خلل و فرج ممتد خاک را آب‌گذری (Hydraulic conductivity) می‌نامند (۲۵). هدایت هیدرولیکی (K) خاک عبارت است از مقدار آبی که از واحد سطح در واحد زمان به‌زای شیب آبی واحد از خاک عبور می‌کند. هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) بیانگر توانایی خاک برای عبوردهی جریان در شرایط اشباع است. این ویژگی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های فیزیکی خاک است که نقشی اساسی در مهار رواناب‌های سطحی، آبشویی کشتزارها و انتقال آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی دارد (۵). مقدار K_s تحت تأثیر دو عامل: ویژگی‌های هیدرولیکی سیال (گرانروی و جرم حجمی) و ویژگی‌های محیط متخلخل (خاک) قرار دارد. از ویژگی‌های محیط متخلخل می‌توان به تخلخل کل، شکل و هندسه خلل و فرج و توزیع اندازه خلل و فرج اشاره کرد. بنابراین، عوامل مختلفی مانند بافت، ساختمان (توزیع اندازه خاکدانه و پایداری خاکدانه)، مقدار ماده آلی و غلظت املاح که بر ویژگی‌های محیط متخلخل مؤثرند، می‌توانند هدایت هیدرولیکی اشباع را تحت تأثیر قرار دهند (۳۸).

فرایند خاکدانه‌سازی موجب تشکیل خاکدانه‌های با اندازه مختلف و با فراوانی متفاوت در خاک می‌شود. این موضوع سبب می‌شود خاک‌های مختلف دارای توزیعی متفاوت از اندازه خاکدانه باشند. توزیع اندازه خاکدانه (Aggregate size distribution) یکی از معیارهای مهم برای توصیف ویژگی‌های ساختمانی خاک است که بر فرایند فرسایش، هدایت هیدرولیکی، تخلخل و سایر ویژگی‌های خاک مؤثر است (۱۹). توزیع اندازه خاکدانه در هر خاکی روی توزیع منافذ خاک، میزان آب نگهداری شده در آن و نهایتاً رشد محصول و عملکرد خاک نقش بسزایی دارد. پایداری خاکدانه، خصوصیت دیگر ساختمانی خاک است که به مقدار و ماهیت مواد پیوند دهنده ذرات خاک (مواد آلی و غیره) بستگی دارد.

جدول ۱. ایجاد توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه با میانگین وزنی قطر خاکدانه یکسان (۴/۹ میلی‌متر) در خاک کشاورزی

| توزیع اندازه خاکدانه | فراوانی هر اندازه خاکدانه | میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر) | توزیع اندازه خاکدانه | فراوانی هر اندازه خاکدانه | میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر) |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| A | ۲۵٪ a, ۲۵٪ b, ۲۵٪ c, ۲۵٪ d | ۴/۹ | E | ۲۲٪ a, ۲۰٪ b, ۴۲٪ c, ۱۶٪ d | ۴/۹ |
| B | ۲۳٪ a, ۲۷٪ b, ۲۷٪ c, ۲۳٪ d | ۴/۹ | F | ۳۰٪ a, ۲۰٪ b, ۲۲٪ c, ۲۸٪ d | ۴/۹ |
| C | ۳۲٪ a, ۱۹٪ b, ۱۹٪ c, ۳۰٪ d | ۴/۹ | G | ۲۲٪ a, ۲۶٪ b, ۳۰٪ c, ۲۲٪ d | ۴/۹ |
| D | ۳۹٪ a, ۱۵٪ b, ۱۰٪ c, ۳۶٪ d | ۴/۹ | H | ۱۵٪ a, ۳۰٪ b, ۴۰٪ c, ۱۵٪ d | ۴/۹ |

a, b, c و d به ترتیب خاکدانه‌های با اندازه کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر، ۲ تا ۴ میلی‌متر، ۴ تا ۸ میلی‌متر و ۸ تا ۱۱ میلی‌متر

توزیع‌های مختلفی از اندازه خاکدانه در آن وجود دارد، از زمینی کشاورزی در محدوده دانشگاه زنجان واقع در ۱۱° ۴۱' ۳۶° عرض شمالی و ۲۲° ۲۴' ۴۸° طول شرقی انتخاب شد. نمونه‌هایی از اندازه‌های خاکدانه شامل کمتر از ۲، ۲ تا ۴، ۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۱ میلی‌متر که دارای بیشترین فراوانی در خاک بودند، با استفاده از الک‌های مربوطه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شدند. نمونه‌ها به آرامی در ظروف پلاستیکی قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه توزیع‌های مختلفی از اندازه خاکدانه که دارای میانگین وزنی قطر (MWD) یکسانی بودند، محاسبه و تهیه شد. بر اساس فراوانی خاکدانه‌ها در خاک مورد بررسی، ابتدا میانگین وزنی قطر خاکدانه بررسی شد و در نمونه‌های اولیه خاک برابر با ۴/۹ میلی‌متر بود. این مقدار برای توزیع‌های خاکدانه مورد بررسی به‌عنوان مقدار ثابت در نظر گرفته شد. برای این منظور هشت توزیع اندازه خاکدانه در سه تکرار مطابق با جدول (۱) مد نظر قرار گرفت. برای دستیابی به هشت توزیع اندازه خاکدانه، از رابطه میانگین وزنی قطر (MWD) به‌صورت زیر استفاده شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n W_i \times \bar{X}_i \quad (1)$$

که در آن: X_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی الک i ام (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی)، n تعداد الک‌ها و W_i نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به‌کار برده شده در ابتدای آزمایش است. با داشتن

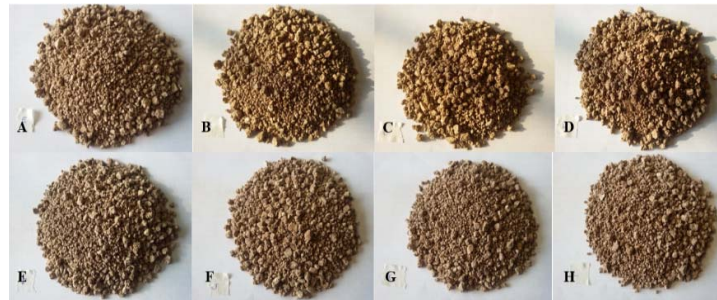
خاک سنی و رسی نشان دادند که با افزایش اندازه خاکدانه، مقدار K_s افزایش می‌یابد. در خاک رسی در شرایطی که اندازه خاکدانه‌ها درشت بود، پیش‌تیمار خیس شدن سریع نسبت به خیس شدن تدریجی، نقشی مهم در کاهش مقدار K_s داشت در حالی که نوع پیش‌تیمار خیس شدن، تأثیری بر مقدار K_s در خاکدانه‌های ریز نداشت.

از آنجا که جریان آب در خاک به‌طور عمده به چگونگی توزیع خلل و فرج (۳۷) و فضای بین خاکدانه‌ای (۴۲) وابسته است، هرگونه تغییر در اندازه و فراوانی خاکدانه‌ها بر کمیت هدایت هیدرولیکی خاک اثر می‌گذارد (۳۷). بنابراین تخمین قابل اطمینان این ویژگی به‌طور عمده به توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه بستگی دارد (۹). بررسی منابع نشان می‌دهد که در اغلب پژوهش‌ها به بررسی تأثیر پایداری خاکدانه و ویژگی‌های ذاتی خاک مانند بافت بر هدایت هیدرولیکی اشباع پرداخته شده است. در برخی تحقیقات نیز نقش اندازه خاکدانه بر هدایت هیدرولیکی اشباع مورد بررسی قرار گرفته است (۱۳ و ۴۰). با این وجود درباره تأثیر توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه بر هدایت هیدرولیکی اشباع تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر در این راستا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاکدانه

برای انجام پژوهش، خاک لوم رسی (به‌عنوان بافت خاک غالب منطقه) که دارای کمترین میزان سنگریزه بود و



شکل ۱. توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه مورد بررسی در خاک کشاورزی

دور در دقیقه تعیین شد. هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (۱۶) اندازه‌گیری شد. واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر در هر یک از نمونه‌های خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شدند. ماده آلی به روش والکی- بلاک (۳۹) و کربنات کلسیم معادل به روش خنتی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (۲۸) در هر یک از نمونه‌های خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها به روش چولگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis) مورد بررسی قرار گرفت (۳۱). مقایسه میانگین‌ها بین توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شد. سپس از روش همبستگی پیرسون، رابطه متغیرهای مورد نظر با هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مورد بررسی قرار گرفت. در انتها با بهره‌گیری از متغیرهای مؤثر در میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، اقدام به توسعه مدل خطی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده رگرسیون چند متغیره شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی توزیع‌های مختلف اندازه

مقدار ($MWD = 4/9 \text{ mm}$)، نسبت وزن خاکدانه‌های هر بخش (Wi) مورد محاسبه قرار گرفت و به این ترتیب وزن خاکدانه هر بخش به دست آمد. پس از تعیین سهم وزنی هر اندازه خاکدانه، خاکدانه‌های مذکور با استفاده از الک مربوطه جدا شده، با هم مخلوط شدند. شکل (۱) توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه مورد بررسی در خاک کشاورزی را نشان می‌دهد.

تعیین ویژگی‌های خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در هر یک از نمونه‌های خاکدانه‌ها (هشت توزیع اندازه خاکدانه) به‌طور جداگانه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. درصد ذرات معدنی خاک که پیش تر برای خاک مورد بررسی تعیین شده بود، برای هر توزیع اندازه خاکدانه نیز به‌طور جداگانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای این منظور از روش هیدرومتر (۲۴) استفاده شد. فراوانی سنگریزه (قطر بین ۲ تا ۱۱ میلی‌متر)، از نسبت جرم سنگریزه خاکدانه‌ها به جرم کل خاکدانه‌ها به دست آمد. جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (۱۸) و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (۳۰) تعیین شد. تخلخل خاک بر اساس جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک محاسبه شد. همچنین تخلخل درشت از تفاضل درصد رطوبت حجمی اشباع و درصد رطوبت حجمی در مکش ۰/۱ بار به دست آمد (۴). پایداری خاکدانه در هر کلاس بر اساس میانگین وزنی قطر (MWD_{wet}) خاکدانه‌های پایدار در آب (۳۰) با استفاده از سری الک‌های ۶/۳، ۴/۷۵، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶ و ۰/۲۵ به مدت یک دقیقه با دور ۲۰

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه و نتایج تجزیه واریانس بین آنها

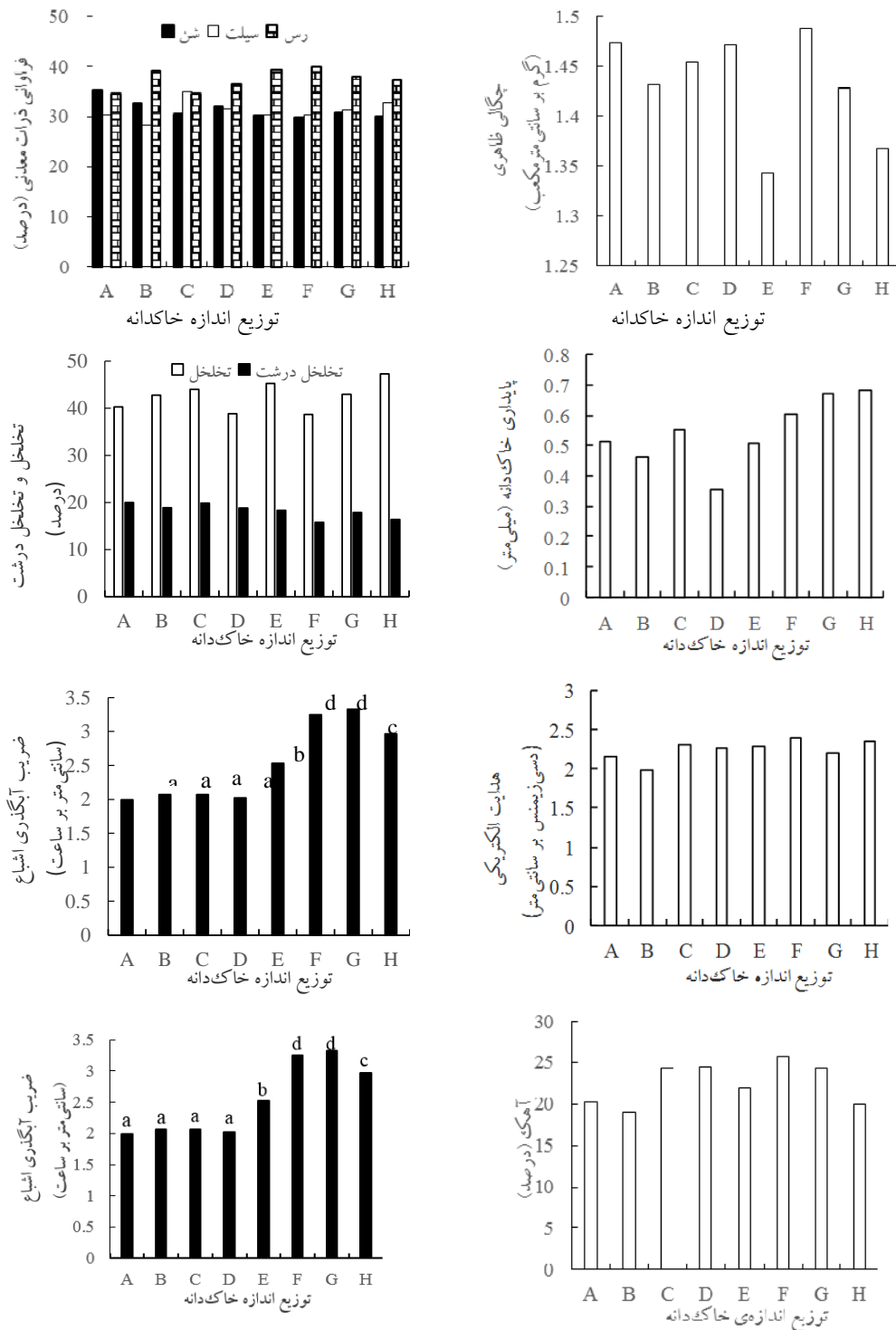
| ویژگی‌های خاک | کمترین | بیشترین | میانگین | ضریب تغییرات | چولگی | کشیدگی | میانگین مربعات |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------------|-------|--------|----------------|
| شن (%) | ۲۹/۸ | ۳۵/۱ | ۳۱/۶ | ۴/۹ | ۱/۱ | ۰/۳ | ۷/۸*** |
| سیلت (%) | ۲۸/۳ | ۳۴/۹ | ۳۱/۴ | ۵/۰ | ۰/۵ | ۰/۹ | ۷/۶*** |
| رس (%) | ۳۴/۰ | ۳۹/۸ | ۳۷/۰ | ۴/۸ | -۰/۳ | -۱/۱ | ۹/۸*** |
| چگالی ظاهری (g/cm ³) | ۱/۳ | ۱/۵ | ۱/۴ | ۲/۹ | -۰/۹ | -۰/۴ | ۰/۱*** |
| تخلخل (%) | ۳۸/۲ | ۴۷/۳ | ۴۲/۴ | ۷/۰ | -۰/۱ | -۱/۲ | ۲۸/۴*** |
| تخلخل درشت (%) | ۱۵/۸ | ۲۰/۰ | ۱۸/۲ | ۷/۶ | -۰/۴ | -۰/۹ | ۶/۳*** |
| پایداری خاکدانه (mm) | ۰/۳ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۱۸/۳۰ | -۰/۳ | -۰/۶ | ۰/۱*** |
| هدایت هیدرولیکی اشباع (Cm/h) | ۲/۰ | ۳/۵ | ۲/۵ | ۲۲/۹ | ۰/۵ | -۱/۶ | ۱/۲*** |
| هدایت الکتریکی (ds/m) | ۲/۰ | ۲/۴ | ۲/۲ | ۴/۹ | -۰/۱ | -۰/۵ | ۰/۱*** |
| ماده آلی (%) | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۲ | ۳۱/۰ | -۰/۳ | -۱/۵ | ۰/۱*** |
| کربنات کلسیم معادل (%) | ۱۹/۰ | ۲۵/۷ | ۲۲/۵ | ۱۰/۱ | -۰/۱ | -۱/۶ | ۱۶/۸*** |

*** معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱

فرساینده (آب و غیره) داشته و در نتیجه نفوذ آب به خاک کاهش یابد. بر اساس مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع (۲/۵۵ سانتی متر بر ساعت)، خاک مورد مطالعه در کلاس نفوذپذیری متوسط (۵۰) قرار گرفت و می‌توان انتظار داشت که خاک دارای پتانسیل تولید رواناب به نسبت بالایی باشد. بر اساس نتایج بیشترین چولگی و کشیدگی به ترتیب مربوط به شن (۱/۰۹) و سیلت (۰/۸۸) و کمترین چولگی و کشیدگی به ترتیب مربوط به چگالی ظاهری (۰/۸۸-) و کربنات کلسیم معادل (۱/۵۹-) بود. همچنین بر اساس مقادیر چولگی و کشیدگی، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بودند.

شکل (۲) تغییرات مقادیر هر یک از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه را نشان می‌دهد. بررسی تغییرات مقدار هر یک از ویژگی‌های خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه بر اساس آماره ضریب تغییرات (CV) نشان داد که متغیرهای پایداری خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل دارای ضریب تغییرات بیشتر از ۱۰ و متغیرهای شن، سیلت، رس، چگالی ظاهری، تخلخل، تخلخل درشت و هدایت الکتریکی

خاکدانه در خاک مورد بررسی در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به مقادیر درصد نسبی ذرات شن (۳۱/۶۱ درصد)، سیلت (۳۱/۳۹ درصد) و رس (۳۷/۰۰) بافت خاک لوم رسی بود. به دلیل وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم معادل (۲۲/۵۰ درصد)، خاک از نوع آهکی بود. خاکدانه‌ها دارای محتوای ماده آلی کم (۰/۲۱ درصد) بوده و پایداری پایینی داشتند (MWD_{wet} = ۰/۵۴ mm). یکی از دلایل پایین بودن نسبی محتوای کربن آلی، تلفات ماده آلی در اثر کشت و کار بیش از حد (۲۲) و حذف بقایا پس از برداشت محصول است. از سوی دیگر به نظر می‌رسد، آهک نقشی مهم در تقویت ساختمان خاک ندارد. به هر حال با وجود گزارش‌هایی در مورد نقش مثبت آهک در تقویت ساختمان خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها (۸، ۳۴ و ۳۶)، این نقش وابسته به حضور کاتیون‌های کلسیم در توده خاک است. در خاک مورد بررسی، اختلاط افق کلسیک با خاک سطحی در اثر عملیات خاکورزی موجب افزایش آهک در خاک سطحی شد اما این افزایش تأثیری مهم در هم‌آوری ذرات و بهبود ساختمان خاک نداشت. از این رو انتظار می‌رود خاک مقاومت کمتری در برابر نیروهای



شکل ۲. تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه

بیشتر خاکدانه‌های درشت از جمله خاکدانه‌های با اندازه ۴ تا ۸ میلی‌متر در آنها بود. با افزایش فراوانی خاکدانه‌های درشت در خاک، تخلخل درشت نیز افزایش می‌یابد. در پژوهشی ایک و همکاران (۲۰) نشان دادند خاکدانه‌ها با ایجاد منافذ درشت که در انتقال آب خاک نقش دارند، بر هدایت هیدرولیکی اشباع اثر می‌گذارند.

ویژگی‌های خاک مؤثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع

جدول (۳) ماتریس همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، هدایت هیدرولیکی اشباع همبستگی منفی معنی‌دار با شن ($P < 0/01$) و همبستگی مثبت معنی‌دار ($P < 0/01$) با رس، پایداری خاکدانه و شوری (هدایت الکتریکی) نشان داد. پایداری خاکدانه بالاترین همبستگی را با هدایت هیدرولیکی اشباع نشان داد ($P < 0/01$). بر این اساس با تغییر در توزیع اندازه خاکدانه به دلیل تغییر برخی ویژگی‌ها از جمله پایداری خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع دست خوش تغییر می‌شود. همبستگی منفی بین هدایت هیدرولیکی اشباع و درصد شن خاکدانه به این دلیل است که ذرات درشت شن با افزایش قابلیت جداشدگی ذرات، سبب ناپایداری خاکدانه‌ها شده ($r = -0/48, P < 0/05$) و تخریب آنها را آسان‌تر کردند. تخریب خاکدانه‌ها موجب مسدود شدن منافذ و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع ($r = -0/59, P < 0/01$) می‌شود. توزیع‌هایی از خاکدانه که دارای اندازه خاکدانه درشت بیشتری هستند، فراوانی ذرات شن کمتر است. در مطالعه‌ای لوی و همکاران (۳۳) بیان کردند که وجود درصد بالای شن در خاک در مقایسه با میزان درصد رس خاک منجر به کاهش پایداری ساختمان خاک شد. همچنین وست و همکاران (۵۱) نشان دادند که نفوذ آب با افزایش میزان ذرات درشت خاک همبستگی مثبت و با افزایش میزان ذرات ریز همبستگی منفی دارد. با این وجود، این مطالعه نشان داد که افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های اندازه خاکدانه مورد بررسی با افزایش مقدار رس در

دارای ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ هستند (جدول ۲). بیشترین تغییرات به ترتیب مربوط به ماده آلی (۳۱ درصد)، هدایت هیدرولیکی اشباع (۲۳ درصد) و پایداری خاکدانه (۱۸ درصد) بود. توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه، ترکیبی از اندازه‌های مختلف خاکدانه با فراوانی متفاوت هستند. در بسیاری از پژوهش‌ها، تغییرات محتوای ماده آلی با تغییر اندازه خاکدانه به اثبات رسیده است (۷، ۲۳ و ۲۹). همچنین بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که با تغییر اندازه خاکدانه، پایداری آن به شدت تغییر پیدا می‌کند (۱۰ و ۲۱). در توزیع‌هایی از اندازه خاکدانه که فراوانی خاکدانه‌های درشت بیشتر بود، پایداری خاکدانه نیز بالاتر بود (شکل ۲). تغییر اندازه خاکدانه به نوبه خود بر تخلخل درشت خاک نیز اثر می‌گذارد (۱۹). از این رو هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز با تغییر اندازه خاکدانه از یک سو به دلیل تغییر تخلخل درشت و از سوی دیگر به واسطه تغییر پایداری خاکدانه در برابر آب، به شدت دچار تغییر می‌شود (۱۳). هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های اندازه خاکدانه‌ای C, B, D, F, G و H کمتر از ۳ سانتی‌متر بر ساعت و در توزیع‌های A و E بیشتر از ۳ سانتی‌متر بر ساعت بود (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک بین توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه (جدول ۲) نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($P < 0/01$) بین توزیع‌های اندازه خاکدانه از نظر کل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی در خاکدانه‌ها وجود داشت. این نتایج نشان می‌دهد که خاکدانه‌های با اندازه متفاوت دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند و در نتیجه تغییر در اندازه خاکدانه، تغییرات اساسی در توزیع اندازه ذرات، چگالی ظاهری، تخلخل، تخلخل درشت، پایداری خاکدانه، شوری، ماده آلی و کربنات کلسیم را در پی داشته و باعث تغییرات زیاد در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های A, B, C و D حدود دو سانتی‌متر بر ساعت بود، درحالی‌که سایر توزیع‌های اندازه خاکدانه دارای هدایت هیدرولیکی اشباع بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر بر ساعت بودند (شکل ۲). این موضوع می‌تواند به دلیل فراوانی

جدول ۳. ماتریس همبستگی هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه

| K _s | CaCO ₃ | OM | EC | MWD | MP | TP | BD | Clay | Silt | Sand | |
|----------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|-------------------|
| | | | | | | | | | ۱ | Sand | |
| | | | | | | | | | -۰/۳۵ | Silt | |
| | | | | | | | | ۱ | -۰/۵۸** | -۰/۵۷** | Clay |
| | | | | | | | ۱ | -۰/۳۷ | ۰/۰۲ | ۰/۴۰ | BD |
| | | | | | | ۱ | -۰/۸۳** | ۰/۱۰ | ۰/۲۱ | -۰/۳۲ | TP |
| | | | | | ۱ | -۰/۲۵ | ۰/۳۱ | -۰/۳۰ | ۰/۴۳* | -۰/۰۹ | MP |
| | | | | ۱ | ۰/۲۲ | ۰/۵۰* | -۰/۳۲ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | -۰/۴۸* | MWD |
| | | | ۱ | ۰/۴۱* | ۰/۳۹ | ۰/۱۱ | -۰/۱۷ | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ | -۰/۷۲** | EC |
| | | ۱ | ۰/۰۶ | ۰/۳۴ | ۰/۶۱** | ۰/۰۹ | ۰/۲۵ | -۰/۳۸ | ۰/۲۳ | ۰/۱۹ | OM |
| | ۱ | -۰/۲۷ | ۰/۴۸* | ۰/۰۷ | ۰/۳۰ | -۰/۴۷* | ۰/۴۰ | ۰/۱۳ | ۰/۴۱ | -۰/۵۷** | CaCO ₃ |
| ۱ | ۰/۳۵ | -۰/۰۱ | ۰/۵۰* | ۰/۸۰** | ۰/۰۶ | ۰/۱۲ | -۰/۱۹ | ۰/۵۵** | ۰/۰۵ | -۰/۵۹** | K _s |

TP: تخلخل کل، MP: تخلخل درشت، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب و K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک.

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

می‌تواند به دلیل تأثیر آن بر فرایندهای پراکنش و هم‌آوری رس‌ها باشد. نمک‌های محلول از جمله کاتیون کلسیم نقشی مؤثر در هم‌آوری (Flocculation) ذرات اولیه و تشکیل خاکدانه‌ها و پایداری آنها دارند. مقادیر پایین هدایت الکتریکی سبب تورم و پراکنش رس‌ها و تخریب ساختمان خاک می‌شود. حضور کاتیون‌های دو ظرفیتی فراوان (معمولاً Ca²⁺) در خاک و جانشینی آن روی سطوح تبدلی رس‌ها موجب کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده شده و در نتیجه موجب هم‌آوری رس‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (۶).

در این پژوهش بین ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌دار وجود نداشت. به‌طور کلی توزیع‌هایی از خاکدانه که فراوانی خاکدانه‌های درشت، بیشتر است، دارای مقدار کمتری از ماده آلی هستند (شکل ۲). به هر حال محتوای ماده آلی در توزیع‌های خاکدانه بسیار پایین است (۳/۰ درصد). بالا بودن میزان کربنات کلسیم در خاک نیز باعث می‌شود که اثر ماده آلی بر پایداری خاکدانه کاهش یابد (۲ و ۱۱). این نتیجه برخلاف برخی تحقیقات پیشین بود که در آن رابطه بین پایداری خاکدانه و محتوای ماده آلی خاک در خاک‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و به اثبات رسیده است. در این ارتباط

آنها همراه است. دلیل این موضوع آن است که با افزایش مقدار رس در خاک، پایداری مسیرهای بین خاکدانه‌ای افزایش یافته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد. افزایش درصد شن در خاکدانه‌ها اگرچه همراه با افزایش حجم منافذ درشت است، لیکن به دلیل تضعیف پایداری خاکدانه‌ها در آب، موجب پایین آمدن هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود. اگرچه برخی پژوهشگران از جمله بارتز و همکاران (۱۱) عنوان کردند که اندازه و پایداری خاکدانه‌ها متأثر از بافت خاک نیست اما عده‌ای از پژوهشگران نقش ذرات اولیه به‌ویژه رس را در انسجام و پایداری خاکدانه‌ها اثبات کرده و بیان داشتند که حضور این ذرات در کنار یکدیگر پایداری خاکدانه‌ها در برابر خیسیدگی را افزایش داده و دامنه‌ای استوار برای ساختمان و توزیع اندازه خلل و فرج ایجاد می‌کند و این موضوع نقش تعیین کننده‌ای در مقدار هدایت هیدرولیکی ایفا می‌کند. از این‌رو ذرات رس می‌توانند با بهبود وضعیت خاکدانه‌ای، پایداری بیشتر و اندازه خاکدانه بزرگ‌تر با ایجاد مسیرهای مؤثر در هدایت آب نقش فزاینده‌ای بر افزایش این ویژگی هیدرولیکی ایفا کنند (۳۵، ۴۴ و ۴۵).

اثر مثبت هدایت الکتریکی بر هدایت هیدرولیکی اشباع

جدول ۴. تجزیه رگرسیونی خطی بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های خاک

| سطح احتمال معنی‌داری | t | ضرایب استاندارد شده | انحراف معیار | ضرایب استاندارد نشده | اجزای مدل |
|----------------------|--------|---------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| ۰/۰۰۱ | -۳/۸۹۱ | | ۱/۱۹۷ | -۴/۶۵۸ | عدد ثابت |
| ۰/۰۰۱ | ۴/۰۲۵ | ۰/۴۰۴ | ۰/۰۳۳ | ۰/۱۳۳ | رس |
| ۰/۰۰۰ | ۷/۱۴۲ | ۰/۷۱۶ | ۰/۵۹۲ | ۴/۲۲۶ | پایداری خاکدانه |

همکاران (۴۹) نشان دادند که در خاک‌های مختلف متغیرهای رس، شن و کربن آلی از مهم‌ترین تخمینگرها برای پیش‌بینی ضریب آبگذری اشباع خاک به کمک توابع انتقالی خاک به‌شمار می‌آیند. استاوی و همکاران (۴۶) نیز نشان دادند که هرچه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بالاتر باشد، ظرفیت نفوذپذیری خاک و مقاومت آن به فرسایش بیشتر است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند. بیشترین تفاوت بین توزیع‌های مختلف خاکدانه از نظر محتوای ماده آلی بود. در توزیع‌هایی از اندازه خاکدانه که فراوانی خاکدانه‌های درشت بیشتر است، از یک سو فراوانی ذرات شن کمتر بوده و از سوی دیگر محتوای ماده آلی پایین‌تر است. این توزیع اندازه خاکدانه‌ها دارای پایداری بیشتری در آب هستند. رس عامل اصلی تقویت‌کننده پایداری خاکدانه در توزیع‌های خاکدانه مورد بررسی بود. خاکدانه‌های درشت به دلیل داشتن مقدار شن کمتر و از سویی مقدار رس زیاد، دارای پایداری بیشتری هستند. افزایش درصد شن در خاکدانه‌ها اگرچه همراه با افزایش حجم منافذ درشت است، لیکن به دلیل تضعیف پایداری خاکدانه‌ها در آب، موجب پایین آمدن هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) می‌شود. هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌هایی که دارای درصد بالایی از خاکدانه‌های درشت (۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۱ میلی‌متر) هستند، بالاترین است. همبستگی معنی‌دار بین هدایت هیدرولیکی اشباع و مقدار شن، پایداری خاکدانه در آب و درجه شوری وجود دارد. با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی، محتوای رس و پایداری خاکدانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تعیین

نیشابوری و همکاران (۴۱) نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌دار با ماده آلی خاک ($r=0/86, P<0/01$) دارد. اکبری و واعظی (۳) نیز با بررسی پایداری خاکدانه در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک نشان دادند که پایداری خاکدانه‌ها در آب همبستگی مثبت معنی‌دار با میزان ماده آلی خاک ($r=0/45, P<0/01$) دارد. در پژوهش‌هایی کلیک (۱۷) و واعظی (۴۸) به‌طور جداگانه نشان دادند که کاهش مواد آلی باعث افزایش چگالی ظاهری و کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش پایداری خاکدانه‌ای شده است و موجب کاهش میزان هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود.

رابطه بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های خاک با استفاده از روش تجزیه رگرسیونی چندگانه خطی بررسی شد. نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های مؤثر خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع (شن، رس، منافذ درشت، پایداری خاکدانه و شوری)، تنها رس و پایداری خاکدانه به‌عنوان عوامل مهم تعیین‌کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های مختلف اندازه خاکدانه بودند (جدول ۴).

بر اساس نتایج جدول ۴، هدایت هیدرولیکی اشباع از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$K_s = -4/658 + 0/133 \text{ Clay} + 4/226 \text{MWD} \quad (2)$$

$$(R^2 = 0/80, p < 0/01)$$

که در آن: K_s هدایت هیدرولیکی اشباع برحسب سانتی‌متر بر ساعت، Clay درصد رس و MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت تر برحسب میلی‌متر در توزیع‌های اندازه خاکدانه است. به‌طورکلی نتایج مدل رگرسیونی نشان داد با افزایش میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه و درصد رس خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد. وینانت و Weynants

کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در توزیع‌های مختلف اندازه مؤثر بر K_s در توزیع‌های اندازه خاکدانه است. خاکدانه هستند. در این میان، پایداری خاکدانه مهم‌ترین عامل

منابع مورد استفاده

1. Abdel-Rezek, M. K. M., N. M. Hemeid and R. N. Habashy. 2011. Beneficial effect of some organic soil-conditioning agents for improving sandy soil productivity under sprinkler irrigation system. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5: 12-20.
2. Adesodun, J. K., J. S. C. Mbagwu and N. Oti. 2001. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems. *Soil and Tillage Research* 60: 135-142.
3. Akbari, S. and A. R. Vaezi. 2014. Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-arid region, north west of Zanjan. *Journal of Water and Soil Science* 25(2): 65-77. (In Farsi).
4. Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil and Tillage Research* 37: 211-222.
5. Alizadeh, H. A., B. Nazari and A. Liaghat. 2009. Evaluation of simplified falling head (SFH) method for measuring saturated hydraulic conductivity. *Journal of Water and Soil* 23(2): 55-62. (In Farsi).
6. Amezket, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14: 83-151.
7. Ashagrie, Y., W. Zech, G. Guggenberger and T. Mamo. 2007. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil and Tillage Research* 94(1): 101-108.
8. Ayoubi, S., P. M. Karchegani, M. R. Mosaddeghi and N. Honarjoo. 2012. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil and Tillage Research* 121: 18-26.
9. Bagarello, V., M. Iovino and D. Elrick. 2004. A simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of American Journal* 68: 66-73.
10. Bare, A., M. Kainz and A. Veihe. 2010. The spatial variability of erodibility and its relation to soil type, a study from northern Ghana. *Geoderma* 106: 101-120.
11. Barthes, B. G., E. Kouakoua, M. C. Larre-Larrouy, T. M. Razafimbelo, E. F. De Luca, A. Azontonde and C. L. Feller. 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma* 143: 14-25.
12. Bayat, H., M. A. Hadji Abasi, M. R. Mosaddeghi and A. A. Mahboubi. 2009. Soil pore size distribution and saturated hydraulic conductivity of a sandy loam soil as affected by various tillage practices. *Agricultural Research* 8(4): 91-106. (In Farsi).
13. Ben-Hur, M., G. Yolcu, H. Uysal, M. Lado and A. Paz. 2009. Soil structure changes: aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline and sodic conditions. *Soil Research* 47(7): 688-696.
14. Blair, N. 2000. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research* 55: 183-191.
15. Blanco, H. and R. Lal. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science and Business Media. Berlin, Germany.
16. Bouwer, H. and R. D. Jackson. 1974. Determining soil properties, pp: 611-627, In: J. van Schilfgaarde (Ed.), Drainage for Agriculture, Madison, Wisconsin.
17. Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research* 83: 270-277.
18. Culley, J. L. B. 1993. Density and compressibility. pp: 529-539. In: M. R. Carter (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis, Lewis Publishers, Boca raton.
19. Diaz-Zorita, M., J. H. Grove and E. Perfect. 2007. Sieving duration and sieve loading impacts on dry soil fragment size distributions. *Soil and Tillage Research* 94: 15-20.
20. Eck, D. V., M. Qin, D. R. Hirmas, D. Gimenez and N. A. Brunsell. 2016. Relating quantitative soil structure metrics to saturated hydraulic conductivity. *Vadose Zone Journal* 15(1).
21. Egashira, K., Y. Kaetsu and K. Takuma. 1983. Aggregate stability as an index of erodibility of Andosols. *Soil Science and Plant Nutrition* 29: 473-481.
22. Eynard, A., T. E. Schumacher, M. J. Lindstrom and D. D. Malo. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie Ustolls and Usterts. *Soil Science Society of American Journal* 68: 1360-1365.
23. Fallahzadeh, J. and M. A. Hadji Abasi. Evaluation of organic matter storage in aggregate of clayey soils under degraded pasture and cropland in central Zagros. *Journal of Water Soil Conserv* 7(3): 179-194. (In Farsi).
24. Gee, G. W., J. W. Bauder and A. Klute. 1986. Particle-Size Analysis. pp: 383-411. Methods of Soil Analysis. Part 1.

- Physical and Mineralogical Methods, Madison, Wisconsin.
25. Ghobadian, R., G. H. Sabe and A. Karimi. 2010. Determination of hydraulic conductivity using reverse well in agricultural lands of the Razi University. *In: Proceeding of the First Iranian Conference on Applied Research in Water Resources*. Kermanshah University of Technology. (In Farsi).
 26. Greene, R. S. and P. B. Hairsine. 2004. Elementary processes of soil–water interaction and thresholds in soil surface dynamics: a review. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 1077-1091.
 27. Herrick, J. E., W. G. Whitford, A. G. De Soyza, J. W. Van Zee, K. M. Havstad, C. A. Seybold and M. Walton. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena* 44: 27-35.
 28. Jackson, M. L. 1967. *Soil Chemical Analysis*, Prentice-Hall of India, Private Limited, New Delhi.
 29. John, B., T. Yamashita, B. Ludwig and H. Flessa. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128(1): 63-79.
 30. Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution, pp: 425–442. In: A. Klute. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Madison, Wisconsin.
 31. Kravchenko, A. and D. G. Bullock. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal* 91: 393-400.
 32. Lado, M., A. Paz and M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of American Journal* 68: 935-942.
 33. Levy, G. J., G. Goldstein and A. I. Mamedov. 2005. Saturated hydraulic conductivity of semiarid soils: combined effects of salinity, sodicity and rate of wetting. *Soil Science Society of American Journal* 69: 653-662.
 34. Malgwi, W. B. and S. T. Abu. 2011. Variation in some physical properties of soils formed on a hilly terrain under different land use types in Nigerian Savanna. *International Journal of Soil Science* 6: 150.
 35. Marquez, C. O., V. J. Garcia, C. A. Cambardella, R. C. Schultz and T. M. Isenhardt. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. *Soil Science Society of American Journal* 68: 725-735.
 36. Marques, M. J., S. Garcia-Munoz, G. Munoz-Organero and G. Bienes. 2009. Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under Mediterranean climatic conditions (Madrid, Spain), *Land Degradation and Development* 21(2): 122-131.
 37. Meadows, D. G., M. H. Young and E. V. McDonald. 2005. A laboratory method for determining the unsaturated hydraulic properties of soil peds. *Soil Science Society of American Journal* 69: 807-815.
 38. Navabian, M., A. Liyaghat and M. Homaei. 2003. Estimation of saturation hydraulic conductivity using transfer functions. *In: Proceeding of the Third Technical Workshop on Drainage*. National Committee of Irrigation and Drainage, Tehran. (In Farsi).
 39. Nelson, D. W. and L. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp: 539-579. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Woldia University, Woldia.
 40. Nemati, M. R., J. Caron and J. Gallichand. 2002. Predicting hydraulic conductivity changes from aggregate mean weight diameter. *Water Resources Research* 38(9).
 41. Neyshabouri, M. R., N. Safaralizadeh, SH. Oustan and M. Tourchi. 2008. Comparison of three structural stability indices and their Susceptivity to soil properties. *Journal of Agricultural Science* 18(3): 99-112. (In Farsi).
 42. Nobles, M. M., L. P. Wilding and K. J. McInnes. 2004. Pathways of dye tracer movement through structured soils on a macroscopic scale. *Soil Science* 169: 229-242.
 43. Rab, M. A. 2004. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. *Forest Ecology and Management* 191: 329-340.
 44. Ruiz-Vera, V. M. and L. Wu. 2006. Influence of sodicity, clay mineralogy, prewetting rate, and their interaction on aggregate stability. *Soil Science Society of American Journal* 70: 1825-1833.
 45. Shainberg, I., A. I. Mamedov and G. J. Levy. 2003. Role of wetting rate and rain energy in seal formation and erosion. *Soil Science* 168: 54-62.
 46. Stavi, I., E. D. Ungar, H. Lavee and P. Sarah. 2010. Variability of soil aggregation in a hilly semi-arid rangeland. *Journal of Arid Environments* 74: 946-953.
 47. Tajik, F. 2005. Evaluation of Soil Aggregate Stability in Some Regions of Iron. *Journal of Water and Soil Science* 8(1): 107-122. (In Farsi)
 48. Vaezi, A. R. 2014. Modeling runoff from semi-arid agricultural lands in Northwest Iran. *Pedosphere* 24: 595–604.
 49. Weynants, M., H. Vereecken and M. Javaux. 2009. Revisiting vereecken pedotransfer functions: introducing a closed-form hydraulic model. *Vadoze Zone Journal* 8: 86-95.
 50. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning*. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. U.S.Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.537.
 51. Wuest, S. B., J. D. Williams and H. T. Gollany. 2006. Tillage and perennial grass effects on ponded infiltration for seven semi- arid loess soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 61: 218-223.

Study of Saturated Hydraulic Conductivity Variations in Different Aggregate Size Distributions in an Agricultural Soil

S. Rahmati, A. R. Vaezi* and H. Bayat¹

(Received: November 14-2016 ; Accepted: October 30-2017)

Abstract

Saturated hydraulic conductivity (K_s) is one of the most important soil physical characteristics that plays a major role in the soil hydrological behaviour. It is mainly affected by the soil structure characteristics. Aggregate size distribution is a measure of soil structure formation that can affect K_s . In this study, variations of K_s were investigated in various aggregate size distributions in an agricultural soil sample. Toward this aim, eight different aggregate size distributions with the same mean weight diameter (MWD= 4.9 mm) were provided using different percentages of aggregate fractions consisting of (< 2, 2-4, 4-8 and 8-11mm). The K_s values along with other physicochemical properties were determined in different aggregate size distributions. Based on the results, significant differences were found among the aggregate size distributions in K_s , particle size distribution, porosity, aggregate stability, electrical conductivity (EC), organic matter and calcium carbonate. The aggregate size distributions with a higher percentage of coarse aggregates (4-8 and 8-11 mm) also showed higher K_s as well as clay percentage. A positive correlation was also observed between K_s and clay, aggregate stability and EC, whereas sand showed a negative correlation with K_s . No significant correlations were found between K_s and silt, porosity and organic matter. Further, multiple linear regression analysis showed that clay and aggregate stability were the two soil properties controlling K_s in the aggregate size distributions ($R^2=0.80$, $p<0.01$). Aggregate stability was recognized as the most important indicator for evaluating the K_s variations in various aggregate size distributions.

Keywords: Aggregate size, Aggregate stability, Macropores, Soil structure, Organic matter

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@gmail.com