

بررسی پایداری خاکدانه‌ها در برابر ضربه قطرات باران در برخی خاک‌های ناحیه نیمه خشک در شمال غرب زنجان

سعیده اکبری^۱، علی رضا واعظی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۰۵

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۲ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

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

چکیده

پایداری خاکدانه‌ها یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که بر میزان پراکنش ذرات خاک به وسیله قطرات باران اثر می‌گذارد. این پژوهش به منظور بررسی تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر ضربه قطرات باران و رابطه آن با پایداری خاکدانه در برخی خاک‌های ناحیه نیمه خشک در زنجان انجام گرفت. آزمایش در ۳۰ نمونه خاک دیم‌زار و سه تکرار در سال ۱۳۹۰ انجام شد. برای این منظور، خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر در جعبه‌هایی مسطح به ابعاد ۲۴ سانتی‌متر × ۳۰ سانتی‌متر و ضخامت ۶ سانتی‌متر ریخته شدند. جعبه‌ها در معرض چهار رخداد باران شبیه‌سازی شده با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. در هر رخداد بارندگی میزان تخریب خاکدانه‌ها در هر جعبه با مقایسه میانگین وزنی قطر آن‌ها (MWD) پیش و پس از بارندگی به دست آمد. پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از دو روش الک تر و آزمون قطره آب، در هر خاک محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌های مختلف از نظر میزان تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران وجود داشت ($p \leq 0/001$). تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر پایداری خاکدانه‌ها در روش الک تر قرار نگرفت با این وجود، تخریب خاکدانه‌ها همبستگی منفی معنی‌داری با پایداری خاکدانه‌ها در آزمون قطره داشت ($0/05$). $R^2 = 0/29$ و $p \leq 0/001$. تخریب خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد بررسی رابطه معنی‌دار با میانگین هندسی قطر ذرات معدنی، سنگریزه و ماده آلی داشت ($p \leq 0/001$ و $R^2 = 0/65$).

واژه‌های کلیدی: اندازه خاکدانه، جدا شدن ذرات خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

Investigating Aggregates Stability Against Raindrops Impact in Some Soils of a Semi-Arid Region, North West of Zanjan

S Akbari¹, AR Vaezi²

Received: 13 October 2012 Accepted: 26 May 2014

¹-Former M.Sc. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

²-Assoc. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

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

Abstract

Aggregate stability is one of the most important soil physical properties which can affect the soil disruption by raindrops. This research was conducted to study the aggregates breakdown under raindrops impact and its relationship with aggregate stability in some semi-arid region soils of Zanjan province, Iran. Thirty soils samples with three replications were taken from thirty dry-farming lands at North West of Zanjan in 2011. Aggregate samples with diameters of 6-8 mm were taken from each farm soil and put in a flat box with dimensions of 24 cm × 30 cm and 6-cm depth. The soil boxes were separately affected by four simulated rainfall events with intensity of 60 mm h⁻¹ for 30-min duration. The amount of aggregate breakdown in each soil box under each rainfall event was then determined by comparing of the mean weight diameter (MWD) of soil aggregates before and after each rainfall event. Aggregates stability was determined using two methods: wet-sieving and water-drop test. Results indicated that the amount of aggregate breakdown on the basis of MWD values significantly varied among 30 soil samples ($p \leq 0.001$), due to rainfall impact. Aggregate breakdown had no significant correlation with the aggregate stability determined using the wet-sieving method, whereas it was negatively correlated to the aggregate stability obtained based on the water-drop test method ($R^2 = 0.29$, $p \leq 0.05$). Aggregate breakdown in the soils was significantly related to geometric mean diameter of mineral particles, gravel and organic matter ($R^2 = 0.65$, $p \leq 0.001$).

Keywords: Aggregate size, Mean weight diameter of aggregates, Soil disruption

مقدمه

مهمترین شاخص‌های مؤثر در تخریب خاک در مقابل باران، پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد (بارتیس و روس ۲۰۰۲). پایداری خاکدانه بیانگر توانایی آن در حفظ اندازه اولیه در برابر نیروهای خارجی است (تاپ و همکاران ۱۹۹۷). میزان تخریب خاکدانه‌ها به میزان نیروی جداسازی خاکدانه‌ها به وسیله قطرات باران و مقاومت خاک بستگی دارد. میزان مقاومت خاکدانه‌های یک خاک به رطوبت اولیه، میزان ماده آلی خاک و بافت آن بستگی دارد (توری و همکاران ۱۹۸۷). پایداری خاکدانه تحت تأثیر ویژگی‌هایی مانند مقدار رس، مواد

نخستین پیامد برخورد قطرات باران بر سطح خاک، تخریب خاکدانه‌ها^۱ و جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر می‌باشد (لوچ و فولی ۱۹۹۴). با وجود آن‌که تأثیر ویژگی‌های باران بر تخریب خاک در برخی تحقیقات (والته و همکاران ۲۰۰۶، رویز سینگا و رومرو دیاز ۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است، لیکن چگونگی تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک بر تخریب آن در اثر باران به دقت مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی از

¹ Aggregate breakdown

افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش تخریب آن‌ها بارز بود. در پژوهشی راموس و همکاران (۲۰۰۳) اثر ضربه قطرات باران و ارتباط آن با پایداری خاکدانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد خاک‌هایی که دارای میزان سیلت بالاتری می‌باشند، پایداری کم‌تری در برابر قطرات باران داشتند. در تحقیقی امباگو (۲۰۰۳) با استفاده از آزمون رها کردن قطره باران، پایداری خاکدانه‌ها را بررسی کرد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آهک، میزان پایداری خاکدانه‌ها به‌طور معنی‌دار افزایش یافت ($R^2=0/89$). در پژوهشی مامدو و همکاران (۲۰۰۶) اثر درصد رس خاک بر میزان هدررفت خاک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش رس خاک میزان هدررفت خاک کاهش یافت. این موضوع به‌دلیل نقش مؤثر رس به‌عنوان یک ماده سیمانی در افزایش مقاومت خاکدانه‌ها بود. در تحقیقی جردن و همکاران (۲۰۱۰) رابطه معنی‌داری بین پایداری خاکدانه با میزان ماده آلی ($R^2=0/91$) تحت باران شبیه‌سازی‌شده را به‌دست آوردند. روحی‌پور و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهشی بر روی چهار نمونه خاک تحت چهار شدت بارندگی و پنج شیب متفاوت نشان دادند که با افزایش درصد خاکدانه‌های پایدار، تخریب خاکدانه‌ها توسط قطرات باران کاهش و مقاومت خاک نسبت به فرسایش افزایش یافت. پیوسته و همکاران (۱۳۹۰) اثر پایداری خاکدانه بر فرسایش ناشی از بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای را در ۱۸ نمونه خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد که پایداری خاکدانه رابطه معنی‌داری با شدت فرسایش و تغییرات آن دارد. همچنین میزان سیلت، درصد سدیم تبدلی و میزان ماده آلی از جمله ویژگی‌های مهم و اثرگذار خاک بر شدت فرسایش بودند.

در اغلب پژوهش‌های مختلفی که در مورد تأثیر ویژگی‌های خاک بر تخریب آن در برابر باران انجام‌گرفته است، خاک‌های موردبررسی از نوع خاک-های مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب بوده‌اند و تعداد رخدادهای باران موردبررسی محدود بوده است. در سایر پژوهش‌ها نیز تأثیر ویژگی‌های خاک عمدتاً از نظر هدررفت خاک تحت شیب مورد بررسی قرارگرفته است.

آلی، کربنات‌کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم نیز قرار می‌گیرد (بارتیس و همکاران ۲۰۰۸). رس عامل مهمی در پیوند ذرات اولیه خاک به هم‌دیگر و تشکیل خاکدانه‌ها می‌باشد. بخش رس و سیلت می‌تواند به‌شکل خاکدانه‌های کوچک، به‌هم پیوسته و خاکدانه‌های ریز را تشکیل دهند. این خاکدانه‌های ریز می‌توانند به‌واسطه هیف‌های قارچی، خاکدانه‌های درشت را تشکیل دهند (بوسیوت و همکاران ۲۰۰۱). نسبت خاکدانه‌های پایدار در آب و همچنین فراوانی آن‌ها ممکن است تابعی از نوع خاک و نوع کانی رس، افزایش و یا کاهش پیدا کند (دنف و همکاران ۲۰۰۱). رس زمانی پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد که میزان سدیم در خاک پایین باشد چرا که حضور سدیم زیاد اثری منفی بر پایداری خاکدانه دارد (کمپر و رساتا ۱۹۸۶). ماده آلی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر هم‌آوری ذرات خاک، خاکدانه-سازی و پایداری خاکدانه است (انگرس ۱۹۹۸ و تجدا و همکاران ۲۰۰۶). مواد آلی با پیوند دادن ذرات خاک، افزایش آب‌گریزی خاکدانه‌ها، تشدید فعالیت میکروبی و رشد ریشه، تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (اونورمادیو و همکاران ۲۰۰۷). کربنات کلسیم نقش مثبتی در پایداری ساختمان در خاک‌های آهکی دارد (یاداو و گیردر ۱۹۸۱). اکسیدهای آهن و آلومینیوم نیز از عوامل مهم هم‌آوری و اتصال ذرات خاک به‌شمار می‌آید. وجود اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک سبب افزایش جذب سطحی مواد آلی و اتصال بین بارهای مثبت اکسیدها و بار منفی رس شده و یا مانند یک پل بین ذرات اولیه و ثانویه خاک قرار می‌گیرد که سبب اتصال ذرات خاک می‌شود (سیکس و همکاران ۲۰۰۲).

بررسی‌های مختلفی در مورد فرآیند تخریب خاک تحت تأثیر باران انجام‌گرفته است. در این ارتباط امباگو و بازوفی (۱۹۹۸) رابطه ویژگی‌های خاک با مقاومت در برابر تخریب خاکدانه‌های خاک خشک توسط ضربه قطرات آب را بررسی کردند و نشان دادند که همبستگی بالایی بین انرژی جداسازی ذرات توسط قطره آب و ویژگی‌های شیمیایی خاک وجود دارد ($r=0/79$). در این میان نقش اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آهک در

ضخامت دو سانتی‌متر پوشانده شد. در هر نقطه مقدار ۱۰ کیلوگرم نمونه خاکدانه با قطر بین ۶ تا ۸ میلی‌متر از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از الک‌های مربوطه برداشت و به‌طور جداگانه در داخل سه جعبه قرار داده شد. انتخاب این اندازه از خاکدانه‌ها به دلیل امکان بررسی دقیق میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر ضربه قطرات باران بود. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مقداری خاک که از الک دو میلی‌متری عبور داده‌شده بود، نیز تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد.

بررسی فرآیند تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران

فرآیند تخریب خاک، تحت چهار رخداد بارندگی در ۹۰ جعبه (۳۰ نوع خاک در سه تکرار) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور در هر رخداد بارندگی، جعبه‌های محتوی خاکدانه تحت چهار رخداد باران شبیه‌سازی‌شده با شدت ثابت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. قطرات با قطر ثابت ۲/۶۳ میلی‌متر به‌طور آزاد بر سطح خاکدانه‌ها برخورد کردند. یک سینی گالوانیزه در زیر جعبه‌ها برای جمع‌آوری ذرات پاشمان یافته قرار داده شد. برای جلوگیری از پاشمان ذرات به خارج سینی، هر جعبه در درون یک حفاظ روباز قرار گرفت (شکل ۱). تخریب خاکدانه‌ها در هر جعبه بر اساس محاسبه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) پیش از اعمال باران (۷ میلی‌متر) و پس از آن به‌دست آمد. برای این منظور، در سطح جعبه‌ها چهار قسمت به ابعاد ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر مربع برای هر رخداد در نظر گرفته‌شده و پس از پایان هر رخداد بارندگی و پس از خشک شدن سطح خاک از هر جعبه یک نمونه خاک با سیلندر فلزی برداشت شد. خاک نمونه‌برداری شده، از سری الک‌های (۶، ۴، ۲، ۱/۱۸، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) به‌روش دستی عبور داده شد. خاک قرارگرفته روی هر الک پس از خشک شدن در آون وزن شده و بخش سنگ‌ریزه باقی‌مانده روی هر الک جمع‌آوری و وزن شد. با استفاده از وزن خاکدانه‌های هر بخش و متوسط قطر الک‌ها، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) از رابطه زیر تعیین شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad [1]$$

با این حال تأثیر ویژگی‌های خاک بر پایداری خاکدانه‌ها و نقش خاکدانه‌ها از نظر مقاومت در برابر فرسایش بارانی تاکنون مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است. اهمیت این بررسی به‌ویژه در خاک‌های نواحی نیمه-خشک که اغلب پایداری خاکدانه اندکی در برابر فرایند تخریب توسط قطرات باران دارند، بسیار حائز اهمیت است. از این رو این پژوهش به‌منظور تعیین میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت ضربه قطرات باران و بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر مقاومت خاکدانه‌ها در برابر باران در بخشی از خاک‌های منطقه نیمه‌خشک شمال غرب زنجان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک

خاک‌های مورد مطالعه از حوضه آبخیز تهم‌چای در ۱۵ کیلومتری شمال غرب زنجان و از محدوده طول جغرافیایی ۲۲° و ۲۹' و ۴۸° - ۴۵' و ۳۵' و ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۹° و ۴۸' و ۳۶° - ۵۸' و ۴۷' و ۳۶° شمالی نمونه‌برداری شد. میانگین درجه حرارت سالانه منطقه ۱۰/۹ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالانه آن ۲۷۶/۴ میلی‌متر است. به‌طور کلی قسمت عمده اراضی بر روی واحد فیزیوگرافی دشت‌های مرتفع قدیمی قرار داشته و جزء خاک‌های آهکی به‌شمار می‌روند. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه نمونه-برداری به‌ترتیب مزیک و زیریک بوده و خاک‌ها در دو رده خاک تشخیص انتی‌سول و اینسپتی‌سول قرار دارند. خاک‌ها عموماً تحت کشت غلات دیم به‌ویژه گندم قرار دارند (بی‌نام ۱۳۹۰).

برای انجام این پژوهش نمونه‌های خاک از ۳۰ دیمزار گندم تحت آیش جمع‌آوری گردید. انتخاب دیمزارها بر اساس تنوع خاک‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله بافت و ساختمان بود. برای نمونه‌برداری ۹۰ جعبه پلاستیکی مسطح و نفوذپذیر با ابعاد ۳۰ سانتی‌متر × ۲۴ سانتی‌متر و ضخامت ۶ سانتی‌متر به منطقه نمونه‌برداری منتقل شدند. برای زهکشی بهتر خاک، کف جعبه‌ها با لایه‌ای از شن به

که در آن $Wi(a+s)$: وزن توده خاک باقی‌مانده پس از آزمایش روی الک i ام (خاکدانه باقی‌مانده + شن) و $Wi(s)$ وزن شن روی هر الک پس از آزمایش (گرم) می‌باشد (یودر ۱۹۳۶).

که در آن: Xi : میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک Wi (mm): نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌های خاک و n : تعداد الک بود. نسبت وزن خاکدانه‌ها (Wi) به کمک رابطه زیر محاسبه شد:

$$Wi = \frac{Wi(a+s) - Wi(s)}{\sum_{i=1}^n Wi(a+s) - \sum_{i=1}^n Wi(s)} \quad [2]$$



(ب)



(الف)

شکل ۱- جعبه‌های حاوی خاکدانه تحت تأثیر باران شبیه‌سازی شده پیش از گذاشتن حفاظ اطراف آن (الف) و پس از گذاشتن حفاظ (ب).

با اسیدکلریدریک یک نرمال (پیچ ۱۹۸۷) و درصد سدیم تبدیلی خاک (ESP) به روش استات آمونیوم (پیچ ۱۹۸۷) تعیین شدند.

پایداری خاکدانه‌ها در آب در خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر با استفاده از دو روش الک تر^۲ (یودر ۱۹۳۶) و آزمون قطره^۳ اندازه‌گیری شد. برای این منظور مقدار (جرم) خاکدانه‌های پایدار بین دو الک پس از گذاشتن روی سری الک‌ها (۶، ۴، ۲، ۱/۱۸، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) و حرکت دادن عمودی آن‌ها با دستگاه مکانیکی به مدت یک دقیقه درون آب مقطر اندازه‌گیری شد و از رابطه ۱ و ۲ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار (MWD_{wet}) به دست آمد. اندازه‌گیری پایداری خاکدانه به روش آزمون قطره، با قرار دادن ۱۰ عدد خاکدانه بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر انجام شد (شکل ۲). در این آزمایش قطرات آب با قطر ۲/۵۲ میلی‌متر از دهانه یک بورت از

تعیین ویژگی‌های خاک

جرم مخصوص ظاهری نمونه‌های خاکدانه با روش سیلندر فلزی (بلاک و هارتق ۱۹۸۶) تعیین شد. پس از هوا خشک شدن نمونه‌های خاک عبور یافته از الک دو میلی‌متر (۹۰ نمونه)، توزیع اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) با روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶) تعیین شد. بر اساس درصد ذرات و میانگین قطر آن‌ها، شاخص میانگین هندسی قطر ذرات (Dg) نیز محاسبه شد. فراوانی نسبی رس پراکنش‌پذیر از نسبت درصد رس قرائت‌شده در آب به درصد رس قرائت‌شده در محلول هگزامتافسفات سدیم به دست آمد (بی‌نام ۲۰۰۶). میزان سنگریزه خاکدانه‌ها (۲ تا ۸ میلی‌متر) از نسبت جرم سنگریزه خاکدانه‌ها به وزن کل خاکدانه‌ها به دست آمد. واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر، ماده آلی خاک به روش سوزاندن مرطوب (والکی و بلاک ۱۹۳۴)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی

² Wet sieving

³ Drop test

نسخه ۲۰۱۰ و در تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد.

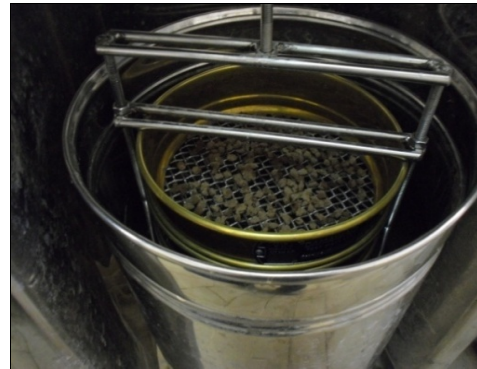
نتایج

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، خاک‌های مورد بررسی (۳۰ نوع خاک) در چهار کلاس بافتی شامل لومرسی، لوم‌شنی، لوم‌رس‌شنی و شن‌لومی قرار داشتند. خاک‌ها عموماً دارای مقدار اندکی ماده آلی (۰/۶۷ درصد) و دارای مقادیر متوسطی آهک (۱۰/۰۰ درصد) بودند. درصد سدیم تبدالی در خاک‌ها عموماً پایین بود (کمتر از ۴/۴۰). بررسی پراکنش‌پذیری رس‌ها نیز نشان داد که خاک‌های منطقه دارای رس‌های متورم شونده می‌باشند. بررسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر نیز نشان داد که خاک‌های منطقه غالباً پایداری اندکی در آب (۱/۲ میلی‌متر) داشتند و از این رو انتظار می‌رفت مقاومت کم‌تری در برابر عامل فرساینده (باران) داشته باشند.

بررسی فرآیند تخریب خاکدانه تحت تأثیر قطرات باران (جدول ۳) نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌ها از نظر میزان تخریب خاکدانه‌ها ($p \leq 0/001$) وجود داشت. از آنجا که اندازه خاکدانه‌ها در کل خاک‌های مورد بررسی یکسان بود، تفاوت در تخریب خاکدانه‌ها مستقیماً به پایداری آن‌ها مرتبط بود.

بررسی رابطه بین تخریب خاکدانه و پایداری خاکدانه‌ها در روش الک تر و آزمون قطره (شکل ۳) نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین میزان تخریب خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها در روش الک تر (MWD_{wet}) وجود نداشت (شکل ۳-الف) با این وجود میزان تخریب خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌دار با پایداری خاکدانه در آزمون قطره آب داشت ($p \leq 0/05$ و $R^2 = 0/28$). این روش تنها ۲۸ درصد تغییرات تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران را تبیین کرد (شکل ۳-ب). در آزمون رها کردن قطره آب، با افزایش پایداری خاکدانه‌ها (تعداد قطرات آب موردنیاز برای تخریب کامل خاکدانه) میزان تخریب تحت تأثیر باران کاهش یافت.

ارتفاع ۲/۶۰ متری از الک، بر روی خاکدانه‌ها برخورد کردند. پایداری خاکدانه‌ها بر اساس میانگین تعداد قطرات آب موردنیاز برای تخریب کامل ۱۰ خاکدانه به دست آمد (چپیل ۱۹۶۲).



(الف)



(ب)

شکل ۲- اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در آب به روش الک تر (الف) و در برابر قطره به روش رهاسازی قطره (ب).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

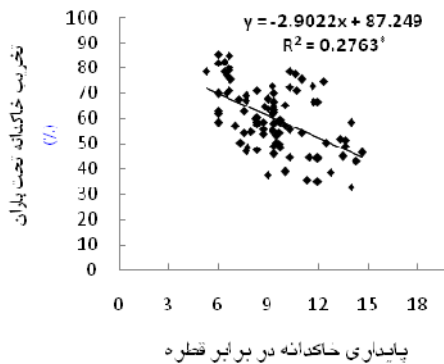
پیش از انجام تجزیه و تحلیل، داده‌ها از نظر توزیع نرمال به روش هیستوگرام با تحلیل چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفتند. تفاوت تخریب خاکدانه‌ها در ۳۰ خاک مورد بررسی با استفاده از آزمون‌های مقایسه میانگین به روش دانکن مورد بررسی قرار گرفت. همبستگی بین تخریب خاکدانه‌ها، و ویژگی‌های خاک (پایداری خاکدانه و ...) به روش پیرسون مورد بررسی قرار گرفت. از روش رگرسیون خطی چندگانه، رابطه بین تخریب خاکدانه و ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن به دست آمد. در رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق.

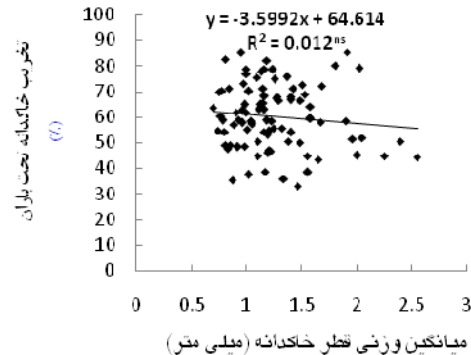
ویژگی خاک	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۲۷/۳۳	۸۴/۳۸	۵۵/۹۹	۱۶/۴۷
سیلت (%)	۸/۵۰	۳۶/۸۳	۲۱/۳۲	۷/۶۴
رس (%)	۴/۲۵	۴۰/۵۱	۲۳/۵۵	۹/۷۲
رس پراکنش‌پذیر (%)	۵/۳۳	۲۶/۱۰	۱۴/۰۱	۵/۱۰
سنگریزه (%)	۳/۱۰	۳۴/۵۸	۹/۰۶	۶/۴۸
چگالی ظاهری (g cm^{-3})	۰/۸۲	۱/۲۱	۰/۹۴	۰/۰۸
ماده آلی (%)	۰/۱۱	۱/۷۷	۰/۶۷	۰/۳۶
کربنات کلسیم معادل (%)	۵/۹۴	۱۴/۵۶	۱۰/۰۰	۲/۲۴
درصد سدیم تبادل	۱/۰۱	۴/۰۴	۱/۹۰	۰/۷۱
میانگین وزنی قطر خاکدانه پایدار در آب (mm)	۰/۸۳	۲/۳۵	۱/۲۰	۰/۳۷
تعداد قطره برای تخریب خاکدانه در آزمون قطره	۶/۰۰	۱۴/۰۰	۹/۳۰	۲/۲۱

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان تخریب خاکدانه تحت تأثیر باران در خاک‌های مختلف.

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح احتمال معنی‌داری
نوع خاک	۱۲۸۲۲/۶	۲۹	۴۴۲/۲	۲۲/۵۵۸	۰/۰۰۰
خطا	۱۱۲۶/۱	۶۰	۱۸/۸		
کل	۳۳۸۹۶۹/۱	۹۰			



(ب)



(الف)

شکل ۳- رابطه بین تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران و پایداری خاکدانه‌ها در آب (الف) و پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره (ب).

نتایج بررسی میزان و چگونگی تأثیر ویژگی‌های خاک بر فرآیند تخریب خاکدانه (جدول ۳) نشان داد که میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر نوع ذرات خاک (شن، سیلت و رس) قرار می‌گیرد. تأثیر توأم این ذرات بر فرآیند تخریب با شاخص میانگین هندسی (D_g) قطر ذرات بهتر قابل‌بیان بود به‌طوری‌که با افزایش D_g ، تخریب خاکدانه‌ها به‌شدت افزایش یافت ($p \leq 0.01$).

نتایج بررسی میزان و چگونگی تأثیر ویژگی‌های خاک بر فرآیند تخریب خاکدانه (جدول ۳) نشان داد که میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر نوع ذرات خاک (شن، سیلت و رس) قرار می‌گیرد. تأثیر توأم این ذرات بر فرآیند تخریب با شاخص میانگین هندسی (D_g) قطر ذرات بهتر قابل‌بیان بود به‌طوری‌که با افزایش D_g ، تخریب خاکدانه‌ها به‌شدت افزایش یافت ($p \leq 0.01$).

افزایش مقاومت خاکدانه‌ها در آزمون قطره شدند (سیلت، رس و ماده آلی)، در کاهش تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران مؤثر واقع شدند. درصد سدیم تبدالی با وجود عدم تأثیر بر پایداری خاکدانه‌ها در آزمون قطره، منجر به افزایش تخریب تحت تأثیر باران شدند.

جدول ۳- همبستگی بین تخریب خاکدانه و ویژگی‌های خاک.

ویژگی خاک	تخریب خاکدانه‌ها بر اثر بارندگی	پایداری خاکدانه‌ها در آب	پایداری خاکدانه‌ها در آزمون قطره
شن	۰/۷۱**	۰/۰۹	-۰/۳۲*
سیلت	-۰/۶۳**	-۰/۱۳	۰/۲۶*
رس	-۰/۷۱**	-۰/۰۷	۰/۳۴**
میانگین هندسی قطر ذرات	۰/۷۵**	۰/۱۳	-۰/۴۰**
رس پراکنش‌پذیر	-۰/۷۲**	-۰/۱۱	۰/۳۹**
سنگریزه	۰/۵۸**	۰/۰۱	-۰/۳۶**
ماده آلی	-۰/۴۶**	۰/۴۵**	۰/۳۵**
کربنات کلسیم	-۰/۰۶	-۰/۰۸	۰/۰۱
درصد سدیم تبدالی	۰/۲۵*	۰/۰۳	۰/۰۸
پایداری خاکدانه‌ها در آب	-۰/۱۱	۱	۰/۳۳**

* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد

تجزیه رگرسیون خطی چندگانه بین تخریب خاکدانه و ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن (درصد ذرات معدنی، سنگریزه، رس پراکنش‌پذیر، ماده آلی و درصد سدیم تبدالی) نشان داد که میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران، رابطه معنی‌داری با سه ویژگی میانگین هندسی قطر ذرات، سنگریزه و ماده آلی دارد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه رگرسیونی خطی بین تخریب خاکدانه‌ها، تحت تأثیر باران و ویژگی‌های خاک.

اجزای مدل	ضرایب استاندارد نشده	انحراف معیار	ضرایب استاندارد شده	t	سطح احتمال معنی‌داری
عدد ثابت	۵۳/۲۲۹	۲/۵۲۸	۲۱/۰۵۵	۲۱/۰۵۵	۰/۰۰۰
میانگین هندسی قطر ذرات	۵۶/۸۸۷	۷/۷۱۵	۰/۵۶۳	۷/۳۷۴	۰/۰۰۰
سنگریزه	۰/۴۴۲	۰/۱۴۹	۰/۲۲۷	۲/۹۶۹	۰/۰۰۴
ماده آلی	-۷/۱۳۹	۲/۴۲۳	-۰/۲۰۴	-۲/۹۴۶	۰/۰۰۴

بر اساس نتایج جدول ۴ تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران را می‌توان بر اساس ویژگی‌های خاک از رابطه زیر به دست آورد:

$$\text{Aggregate Breakdown} = 53/229 + 56/887 \text{ Dg} + 0/442 \text{ Gravel} - 7/139 \text{ OM}, R^2 = 0/65, p \leq 0/001$$

بحث

در بسیاری از تحقیقات از جمله آنوو و همکاران (۱۹۹۸)، باسیوت و همکاران (۲۰۰۱) و هابل (۲۰۱۳) تأثیر پایداری خاکدانه‌ها در آب (MWD_{wet}) بر کاهش

که در آن: Aggregate Breakdown: تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران (درصد)، Dg: میانگین هندسی قطر ذرات (میلی‌متر)، Gravel: درصد سنگریزه و OM: ماده آلی (درصد) می‌باشد.

به شدت اسیدی و فقیر از ماده آلی بود بررسی کردند. نتایج این محققان نشان داد که خاکدانه‌های دارای مقدار رس بیش‌تر و اندازه کوچک‌تر، به میزان کم‌تری تخریب شدند. در تحقیقی بوسیوت و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که رس به‌عنوان عامل مهمی در پیوند دادن ذرات اولیه خاک به هم‌دیگر و تشکیل خاکدانه‌ها عمل می‌کند و با افزایش درصد رس، پایداری خاکدانه‌ها در آب (MWD_{wet}) افزایش یافت. با این‌وجود در پژوهش حاضر هیچ رابطه معنی‌داری بین میزان رس خاک و MWD_{wet} یافت نشد. این نتیجه برخلاف یافته‌های آتو و همکاران (۱۹۹۸) بود که نشان دادند که با افزایش درصد رس خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب، افزایش قابل توجهی یافت.

اگرچه در بسیاری از تحقیقات سیلت به دلیل قابلیت چسبندگی پایین و انتقال‌پذیری بالا به‌عنوان حساس‌ترین ذرات خاک از نظر فرسایش آبی شناخته شده است (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸، وهابی و نیکامی ۲۰۰۸)، در این پژوهش سیلت به‌نوبه خود منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش تخریب آن‌ها در اثر باران شد. به نظر می‌آید با توجه به این‌که آزمایش در جعبه‌ها در شرایط بدون شیب (مسطح) انجام گرفت، تأثیر فزاینده ذرات سیلت در افزایش حساسیت خاک‌ها به فرسایش آبی نمایان نشد. با این‌حال اندازه ریز آن‌ها نسبت به ذرات شن در تشکیل خاکدانه‌های پایدار در برابر قطره مؤثر بود.

نتایج نشان داد که با افزایش میزان شن، تخریب خاکدانه‌ها در برابر بارندگی افزایش یافت. برخلاف ذرات ریز سیلت و رس که باعث چسبندگی، استحکام و پایداری خاکدانه‌ها شدند، ذرات درشت شن با افزایش قابلیت جداشدگی (فن و لی ۱۹۹۳) سبب ناپایداری خاکدانه‌ها شده و تخریب آن‌ها را آسان‌تر کرد. در تحقیقی بلیر (۲۰۰۱) عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های کویزلند را در استرالیا با رس غالب

تخریب آن‌ها در اثر قطرات باران و کاهش فرسایش خاک بیان شده است. با این‌حال در این پژوهش همبستگی معنی‌دار بین تخریب خاکدانه‌ها و MWD_{wet} مشاهده نشد بلکه تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر پایداری آن‌ها در آزمون قطره قرار گرفت. در پژوهشی کانتون و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که هیچ رابطه معنی‌داری بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میزان فرسایش دیده نشد. اما رابطه بین تعداد قطرات در آزمون قطره و میزان رواناب و فرسایش معنی‌دار بود. در این پژوهش علت آن‌که همبستگی معنی‌دار بین MWD_{wet} و تخریب خاکدانه‌ها وجود نداشت این بود که در روش الک تر به دلیل آن‌که خاکدانه‌ها به یک‌باره در آب فروبرده می‌شوند، به دلیل ناپایداری عمومی خاکدانه‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی، در همان ابتدا تعداد زیادی از خاکدانه‌ها در اثر جذب آب و حرکات مکانیکی الک‌ها در آب تخریب شده و به همین دلیل اساساً تفاوت بارزی از نظر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار (MWD_{wet}) بین خاک‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. از این‌رو این روش گویای میزان تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران نبود. با توجه به ماهیت روش رهاسازی قطره و مشابهت نسبی آن با شرایط تأثیر باران طبیعی بر سطح خاک، این روش تا اندازه‌ای (۲۹ درصد) توانست تغییرات میزان تخریب خاکدانه‌ها در خاک‌های منطقه را تبیین نماید.

نتایج نشان داد که رس اثر کاهشی معنی‌دار ($p \leq 0/01$) داشت. با افزایش درصد رس، پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره افزایش و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها کاهش یافت (جدول ۳). در پژوهشی انگرز و مهویس (۱۹۹۳) رابطه بین درصد رس خاک و درصد خاکدانه‌های مقاوم در برابر ضربه قطرات باران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد رس خاک، درصد خاکدانه‌های مقاوم در برابر تخریب توسط قطرات باران افزایش یافت ($R^2 = 0/89$). در پژوهشی وانگ و همکاران (۲۰۱۲) میزان تخریب خاکدانه را در دو نمونه خاک که

ماده آلی خاک دارد ($p \leq 0.01$ و $r=0.86$). پژوهش حاضر نشان می‌دهد که افزایش مواد آلی خاکها، به-عنوان روشی مؤثر در بهبود پایداری خاکدانه‌ها و افزایش مقاومت آن‌ها در برابر باران می‌باشد. در پژوهشی کرمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی اثرات ماده‌ی آلی بر پایداری خاکدانه در آب (MWD_{wet}) نشان دادند که افزودن مواد آلی به خاک سبب افزایش شاخص‌های پایداری خاکدانه (MWD و GMD) شد. در این پژوهش کربنات کلسیم بر پایداری خاکدانه‌ها اثر نداشت و در نتیجه بر تخریب خاک در اثر باران مؤثر نبود. این نتیجه برخلاف برخی تحقیقات بود. خزایی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی دریافتند که کربنات کلسیم مانند ملاتی بین ذرات خاک می‌تواند رسوخ کند و سبب اتصال ذرات خاک شود. در تحقیقی مینهاس و شارما (۱۹۸۶) در خاک‌های استوایی مرطوب هند نشان دادند که با افزایش میزان کربنات کلسیم، پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها توسط قطرات باران کاهش یافت. وجود یون کلسیم حاصل از انحلال کربنات کلسیم باعث کاهش پراکنش رس‌ها می‌شود. در پژوهشی لی‌بی‌سونایس (۱۹۹۶) تأثیر کربنات کلسیم بر پایداری ساختمان خاک در خاک‌های تحت کشت و کار در فرانسه را بررسی کرد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان کربنات کلسیم در خاک پایداری ساختمان خاک افزایش و میزان تخریب خاکدانه‌ها در اثر ضربه قطرات باران کاهش یافت. در مطالعه‌ی الانی و دوداس (۱۹۸۸) دریافتند که با افزایش کربنات کلسیم از صفر تا ۴۰ درصد، MWD_{wet} خاکدانه‌ها افزایش یافت.

در پژوهش حاضر، تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران با افزایش درصد سدیم تبدالی افزایش یافت. در تحقیقی آغاسی و همکاران (۱۹۹۴) اثرات انرژی جنبشی قطرات باران را با توجه به ESP خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد که هر چه مقدار سدیم تبدالی خاک بیشتر

کاتولینایت بررسی کرد و نشان داد که بین میزان شن و پایداری خاکدانه‌ها (MWD_{wet}) همبستگی منفی وجود داشت ($r=-0.67$). لووی و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که وجود درصد بالای سیلت و شن در خاک در مقایسه با میزان درصد رس خاک منجر به کاهش پایداری ساختمان خاک شد.

وجود سنگریزه‌ها درون خاکدانه‌ها و کاهش پایداری آن‌ها در برابر قطرات باران در تخریب خاک در اثر باران مؤثر بود. اگرچه سنگریزه سطحی از یکسو باعث محافظت سطح خاک از ضربه قطرات باران شده و از سوی دیگر باعث افزایش ضریب زبری و ممانعت از انتقال ذرات ریز خاک و کاهش هدررفت خاک می‌شود، در این پژوهش تأثیر سنگریزه موجود در ساختار خاکدانه‌ها بر پایداری آن‌ها مورد توجه بود که به دلیل اثر منفی آن بر پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره، تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران به شدت افزایش یافت.

بر اساس نتایج با افزایش ماده آلی، پایداری خاکدانه در برابر قطره افزایش یافت و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران کاهش یافت (جدول ۳). در پژوهشی لینچ و برنگ (۱۹۸۵) نشان دادند که مواد آلی خاک در تشکیل و نیز در پایداری خاکدانه‌ها نقشی مثبت دارند. در مطالعه‌ی بلاوت و همکاران (۲۰۰۹) در خاک‌های آهکی نشان دادند که پایداری خاکدانه‌های خاک سطحی وابسته به میزان کربن آلی خاک می‌باشد که می‌تواند تخریب ذرات خاک را محدود کند. در تحقیقی ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) که در خاک‌های نیمه‌گرمسیری و مرطوب انجام شد، دریافتند که با افزایش میزان ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها (MWD_{wet}) افزایش یافت و به دنبال آن تخریب خاکدانه‌ها کاهش یافت. در این تحقیق نیز پایداری خاکدانه‌ها در آب (MWD_{wet}) با مقدار ماده آلی همبستگی مثبت معنی‌دار ($p \leq 0.01$ و $r=0.45$) داشت. بررسی‌های نیشابوری و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها همبستگی معنی‌دار با

خاکدانه‌ها تحت تأثیر پایداری خاکدانه‌ها در آب قرار نگرفت با این وجود این شاخص همبستگی منفی معنی‌دار با پایداری خاکدانه‌ها در آزمون قطره داشت ($p \leq 0/05$ و $R^2 = 0/29$). بررسی میزان و چگونگی تأثیر ویژگی‌های خاک بر فرآیند تخریب خاکدانه‌ها نشان داد که تخریب خاکدانه‌ها رابطه معنی‌دار با میانگین هندسی قطر ذرات معدنی، سنگریزه و ماده آلی داشت. ویژگی‌هایی از خاک که در افزایش پایداری خاکدانه‌ها در برابر قطره آب مؤثر بودند (سیلت، رس و ماده آلی)، در کاهش تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران نیز مؤثر واقع شدند. وجود سنگریزه در درون خاکدانه‌ها، حساسیت خاکدانه‌ها در برابر تخریب به وسیله قطرات آب را افزایش داد و منجر به تخریب بیش‌تر خاک‌ها تحت تأثیر باران شد.

باشد، مقدار انرژی لازم برای تخریب خاکدانه‌ها کم‌تر می‌شود. در پژوهشی مامدو و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که افزایش ESP خاک، موجب افزایش نیروهای دافعه بین رس‌های خاک شده و نیروی چسبندگی را در داخل خاکدانه‌ها تضعیف کرده و تخریب خاکدانه‌ها را تشدید می‌کند. بررسی‌های گارسیا اورنس و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان داد که کاهش درصد سدیم تبدالی، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر ضربه قطرات باران و رابطه آن با پایداری خاکدانه نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌های مختلف از نظر میزان تخریب خاکدانه‌ها وجود داشت ($p \leq 0/001$). تخریب

منابع مورد استفاده

- پیوسته ف، اسدی، ح و عاکف م، ۱۳۹۰. بررسی اثر پایداری خاکدانه بر فرسایش ناشی از بارندگی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۲ الی ۱۴ شهریور، تبریز.
- روحی پور ح، فرزانه ه، و اسدی ح، ۱۳۸۳. بررسی رابطه برخی از شاخص‌های پایداری خاکدانه با عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از شبیه‌سازی باران. فصل‌نامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه‌های ۲۳۶ تا ۲۵۴.
- بی‌نام، ۱۳۹۰. گزارش ممنوعیت محدوده مطالعاتی دشت زنجان. سازمان آب استان زنجان.
- Agassi M, Bloem D and Ben-Hur D, 1994. Effect of drops energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion. *Water Resources Research* 30(4):1187-1193.
- Al-Ani AN and Dudas MJ, 1988. Influence of calcium carbonate on mean weight diameter of soil. *Soil and Tillage Research* 11: 19-26.
- Angers AD, 1998. Water stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil and Tillage Research* 47: 91-96.
- Angers AD and Mehys GR, 1993. Aggregate stability to water. Pp. 651-657, In: Cartner MR (Ed), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Pub. Boca Raton, Canada.
- Attou F, Bruand A and Le Bissonnais Y, 1998. Effect of clay content and silt-clay fabric on stability of artificial aggregates. *European Journal of Soil Science* 49: 569-577.
- Barthes BG, Kouoa Kouoa E, Larre-Larrouy MC, Razafimbelo TM, de Luca EF, Azontonde A, Neves CS, de Freitas PL and Feller CL, 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma* 143: 14-25.
- Barthes B and Roose, E, 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
- Blake GR and Hartge KH, 1986. Bulk density. Pp. 377-382. In: Klute A (Ed), *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Blair N, 2001. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fraction and aggregate stability for a chromic luvisol Queensland, Australia. *Soil and Tillage Research* 55:183-191.

- Blavet D, Noni G, Le Bissonnais Y, Leonard M, Maillo L, Laurent JY, Asseline J, Leprun JC, Arshad MA and Roose E, 2009. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research* 106: 124–136.
- Bossuyt H, Denef K, Six J, Frey SD, Merckx R and Paustian K, 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology* 16: 195-208.
- Canton Y, Sole-Benet A, Asensio C, Chamizo S and Puigdefabregas J, 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils relationships with runoff and erosion. *Catena* 77: 192-199.
- Chepil WS, 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical analysis. *Soil Science Society of American Journal* 26: 4-6.
- Denef K, Six J, Paustian K and Merckx R, 2001. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 2145-2153.
- Fan R and Li Z, 1993. Rainsplash and sediment transport model on the slope. *Journal of Hydraulic Engineering* 6: 24–29 (in Chinese).
- Anonymous, 2006. Water dispersible clay. In: *World reference base for soil resources: a framework for international classification, correlation and communication* (Food and Agricultural Organisation of the United Nations: Rome), Report 13, 128p.
- García-Orenes F, Guerrero C, Mataix-Solera J, Navarro-Pedren˜o J, Gómez I and Mataix-Beneyto J, 2005. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil and Tillage Research* 82: 65–76.
- Gee GW and Boudier, JW, 1986. Particle size analysis. Pp. 383-411. In: Klute, I. (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Agron. Monoger. 9. I.S.I. Madison. WI.*
- Habel AY, 2013. The role of climate on the aggregate stability and soil erodibility of selected El-Jabal Al-Akhdar soils-Libya. *Journal of Agricultural Research* 58: 261-271.
- Jordan A, Zavala L and Gil J, 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77–85
- Karami A, Homae M, Afzalnia S, Ruhipour H and Basirat S, 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148: 22– 28.
- Kemper WD and Rosenau RC, 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 425-442. In: Klute A (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- Khazai A, Mosadeghi MR and Mahboubi AR, 2008. Effect of laboratory condition, organic matter content, clay and calcium carbonates on mean weight diameter and tensile strength of aggregates in some Hamadan soils. *Journal of Agricultural Science and Technology* 12(44): 123-134.
- Levy GJ, Goldstein G and Mamedov AI, 2005. Saturated hydraulic conductivity of semiarid soils: combined effects of salinity, sodicity, and rate of wetting. *Soil Science Society of America Journal* 69: 653-662.
- Le Bissonnis Y, 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425–435.
- Loch RJ and Foley JL, 1994. Measurement of aggregate breakdown under rain: comparison with tests of water stability and relationships with field measurements of infiltrations. *Australian Journal of Soil Research* 32: 701–720.
- Lynch JM and Bragg E, 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science* 2: 133-171.
- Mbagwu, JSC, 2003. Aggregate Stability and Soil Degradation in the Tropics. Lecture given at the College on Soil Physics, Trieste, 3-2, March, Pp.1-7.
- Mbagwu J and Bazzoffi P, 1998. Soil characteristics related to resistance of breakdown of dry soil aggregates by water-drops. *Soil and Tillage Research* 45:133–145.
- Mamedov AI, Huang C and Levy GJ, 2006. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in smectitic soils. *Soil Science Society of America Journal* 66: 631-639.
- Minhas PS and Sharma, DR, 1986. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. *Irrigation Science* 7: 159-161.
- Neyshabouri, MR Safarzade N, Oustan S and Turchi M, 2007. Effects of some soil physical and chemical attributes on three aggregate stability indices. Pp.1-3. *International Scientific Conference on Bioclimatology and Natural Hazards. 17-20, September, Poľana nad Detvou, Slovakia, ISBN 978-80-228-17-60-8.*

- Onweremadu EU, Onyia VN and Anikwe MAN, 2007. Carbon and nitrogen distribution in water-stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerri area, southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 97: 195-206.
- Page MC, Sparks DL and Noll MR, 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic coastal Plain soils. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1460-1465.
- Ramos MC, Nacci S and Pla I, 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Catena* 53: 365-376.
- Ruiz-Sinoga JD and Romero-Diaz A, 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology* 118: 359-368.
- Six J, Conant R, Paul E and Paustian K, 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241:155-176.
- Tejada M, Garcia C, Gonzalez JL, and Hernandez, MT, 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1413-1421.
- Topp GC, Reynolds WD, Cook FJ, Kirkby JM and Carter MR, 1997. Physical attributes of soil quality. Pp. 21-58. In: Gregorich EG and Carter MR (eds.). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*, Elsevier Science Amsterdam, Netherlands.
- Torri D, Sfalanga M and Del Sette M, 1987. Splash detachment: runoff depth and soil cohesion. *Catena* 14: 149-155.
- Vahabi J and Nikkami D, 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research* 23: 376-386.
- Valette G, Pre'vost S, Lucas L and Le'onard J, 2006. SoDA project: A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Computers and Graphics* 30: 494-506.
- Walkly A and Black IA, 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal* 37: 29-38.
- Wischmeier WH and Smith DD, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning*, Agriculture Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Yadav JSP, and Girdhar IK, 1981. The effect of different magnesium-calcium ratios and sodium adsorption values of leaching water on the properties of calcareous soils versus non-calcareous soils. *Soil Science* 131: 194-198.
- Yoder RE, 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *Journal of American Agronomy* 28: 337-351.
- Zhang Z, Wei C, Xie D, Gao M and Zeng X, 2008. Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. *Particuology* 6: 157-166.