نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۷۲-۶۶۳

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 663-672

بررسی اثر کاربرد زئولیت بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها

فرحناز سهراب[1*]- نادر عباسی[2]- آزاده مهدی‌پور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۹

چکیده

برای بهبود خواص فیزیکی خاک‌ها از جمله افزایش پایداری خاکدانه‌ها، از افزودنی‌های آلی، شیمیایی و معدنی مختلفی استفاده می‌شود. در این تحقیق، برای بررسی کاربرد زئولیت‌ها بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها،تیمارهای آزمایشی با انتخاب دو نوع خاک از دو منطقه مختلف شهر کرج و دو نوع زئولیت با ۴ سطح کاربرد (صفر، یک، ۵ و ۱۰ درصد وزنی) در سه تکرار تهیه شدند. شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها (میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه (GMD)) به روش الک خشک و پایداری خاکدانه تر (WAS) به روش الک تر اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که در بافت لوم شنی، دو نوع زئولیت طبیعی (Z4) و زئولیت مصنوعی(A4)، سطح اختلاط آن‌ها و اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط آن بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبودند. اما میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) تحت تأثیر سطوح کاربرد زئولیت‌ها معنی‌دار بود. هم‌چنین در این بافت خاک نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطوح کاربرد ۱۰ و یک درصد وزنی زئولیت به ترتیب باعث افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه برابر با ۲/۱ و ۳/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. ولی در بافت لوم سیلتی، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی و سطوح اختلاط آن‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در این بافت خاک تحت تأثیر سطوح کاربرد زئولیت‌ها اختلافی معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد داشتند و افزایش سطوح اختلاط زئولیت باعث کاهش هر دو شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین، نتایج نشان داد که در هر دو بافت خاک، کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) نداشتند. به طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت‌ها اگرچه بر شاخص‌های پایداری خاکدانه با اختلاف کم نسبت به تیمار شاهد (به خصوص در سطوح بالای کاربرد) تأثیری معنی‌دار داشته‌اند، اما به عنوان یک عامل مثبت و اثرگذار در جهت بهبود این شاخص‌ها به حساب نمی‌آیند.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پایداری خاکدانه تر، میانگین وزنی قطر خاکدانه، میانگین هندسی قطر خاکدانه

مقدمه

پایداری خاکدانه اثر مهمی در گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخه کربن و آب و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش دارد (۳). خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هماوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و عوامل سیمانی و اتصال دهنده تشکیل می‌شوند (۶). توزیع اندازه ذرات ثانویه یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (۱۸)، که طبق نظر بارتز و همکاران (۳) می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص حساسیت خاک در برابر تشکیل سله، تولید رواناب و فرسایش آبی باشد. شاخص‌های پایداری خاکدانه (میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)[4]، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها(GMD)[5]) به روش الک خشک و پایداری خاکدانه‌های تر (WAS)[6] به روش الک تر از جمله شاخص‌ها برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها هستند (۸ و ۱۲). پایداری خاکدانه متأثر از ویژگی‌هایی مانند میزان رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی می‌باشد (۳). دنف و همکاران (۷) نشان دادند که نسبت خاکدانه‌های پایدار در آب و هم‌چنین تعداد کل آن‌ها ممکن است به صورت تابعی از نوع خاک و کانی رس، افزایش و یا کاهش یابد. با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در کنترل فرسایش خاک، افزایش قطر ذرات در سطح خاک و خاکدانه‌ای شدن آن‌ها می‌تواند یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت و جابجایی آن‌ها توسط عوامل فرسایشی باشد.

برای بهبود خواص فیزیکی خاک‌ها از جمله اصلاح خاکدانه‌ها، استفاده از افزودنی‌های مختلف آلی، شیمیایی و معدنی مورد تجربه و

۱، ۲ و ۳- عضو هیأت علمی، دانشیار و محقق مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: farahnaz_sohrab@yahoo.com)

4- Mean Weight Diameter, MWD

5- Geometric Mean Diameter, GMD

6- Water Aggregate Stability, WAS

مطالعه قرار گرفته است. زئولیت‌ها از جمله این مواد هستند که در سال‌های اخیر استفاده از آن‌ها برای بهبود خواص فیزیکی خاک‌ها مورد توجه است. زئولیت به عنوان اصلاح کننده فیزیکی خاک کاربرد داشته و در افزایش تهویه و بهبود ساختمان خاک‌های شنی و رسی مؤثر است (۱۶). زئولیت‌ها به طور کلی دارای سه خصوصیت ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، قابلیت نگهداری مقدار قابل توجه آب آزاد در کانال‌های ساختمانی، قابلیت بالای جذب سطحی و قابلیت جذب آمونیم و جلوگیری از آبشویی نیترات هستند (۱۱). بنکوا و همکاران (۴) در تحقیقی اثر زئولیت کلینوپتیلولیت را بر پایداری خاکدانه‌ها در یک خاک اسیدی آلوده به فلزات سنگین بررسی و گزارش کردند، تیمارهای زئولیت در آزمایش الک‌تر، میانگین وزنی قطر بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشت. هم‌چنین شاخص پایداری خاکدانه مربوط به همه تیمارهای زئولیت نسبت به تیمار شاهد بزرگ‌تر بود و بیشترین مقدار این شاخص از بین تیمارهای زئولیت مربوط به تیمار ترکیب آهک، پیت و زئولیت با خاک مورد آزمایش بود. هم‌چنین آندری و همکاران (۱) در بررسی اثر بهسازهای زئولیت و آهک بر فرسایش‌پذیری یک خاک اسیدی گزارش کردند، بعد از اعمال پیش تیمار پنج ماه آبیاری[1]، زئولیت در اثر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (افزایش کربن آلی و پایداری خاکدانه‌های تر) و تأثیر بر ساختمان خاک، باعث کاهش فرسایش خاک مورد مطالعه شد. هم‌چنین آن‌ها اشاره کردند، زئولیت در مقایسه با آهک کارایی بیشتری جهت تثبیت خاکدانه‌های با ابعاد بزرگ‌تر[2] دارد. انصاری مهابادی و همکاران (۲) اثر سطوح مختلف زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر تثبیت کادمیوم را در خاک‌هایی با بافت‌های مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش سطوح استفاده زئولیت، متوسط اندازه ذرات ثانویه و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های شنی، لوم شنی و سیلتی کاهش و در مقابل هدایت هیدرولیکی خاک رسی به طور معنی‌داری افزایش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که هنگام افزودن زئولیت جهت اصلاح خاک، بافت خاک پارامتر بسیار مهم و تأثیرگذاری می‌باشد.

در راستای کاربرد زئولیت‌ها، تحقیقات دیگر حاکی از عملکرد منفی این نوع رس در پایداری خاک است. برای نمونه گیبلنو و همکاران (۹) گزارش کردند، زئولیت مصنوعیX-13 از طریق پراکنش[3] ناشی از فراوانی یون‌های سدیم، موجب تخریب ساختمان خاک می‌شود؛ که تشکیل لایه خشک و فشرده در سطح خاک (۰ تا ۵ سانتی‌متری) بلافاصله در پی افزودن آب به خاک، اشاره به این موضوع دارد. نتایج تحقیق‌بروغنی و همکاران (۵) در بررسی تأثیر مقادیر مختلف نانوزئولیت در سطوح (صفر، ۰/۲ ، ۰/۴، ۰/۶ گرم بر مترمربع) بر مقدار فرسایش خاک و رواناب در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه با استفاده از باران ساز FEL3 روی خاک مارنی درآزمایشگاه نشان داد که میزان فرسایش در تیمارهای مختلف نانوزئولیت و شاهد در شیب‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر نداشتند. هم‌چنین، میزان رواناب تیمارهای مختلف نانوزئولیت در شیب‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری نداشتند. جودی و نائینی (۱۰) تأثیر بهسازهای زئولیت کلینوپتیلولیت، لیکا و کمپوست را بر خصوصیات فیزیکی یک خاک با بافت لوم‌رسی سیلتی بررسی کردند. نتایج نشان داد که زئولیت نسبت به بقیه تیمارها، فاقد ظرفیت جذب بالا برای مولکول‌های آب بود و تأثیری بر ذخیره رطوبت خاک، آب قابل استفاده، جرم مخصوص ظاهری و سایر خصوصیات فیزیکی خاک نداشت، ولی مقاومت مکانیکی خاک را افزایش داد.

با توجه به موارد عنوان شده در خصوص اهمیت و نقش پایداری خاکدانه‌ها در بهبود خواص فیزیکی خاک‌ها نظیر؛ گسترش سیستم ریشه‌ای، چرخهٔ کربن و آب، تهویه مناسب خاک و نیز مقاومت خاک در برابر فرسایش (کنترل فرسایش پذیری خاک) و نهایتاً افزایش بازدهی تولید، در این پژوهش تأثیر کاربرد دو نوع زئولیت طبیعی و مصنوعی بر شاخص پایداریخاکدانه‌هادر دو نوع بافت خاک و انتخاب میزان بهینه در خاک‌های مختلف مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های خاک، زئولیت و انجام آزمایش‌های شناسائی

به منظور بررسی اثر کاربرد زئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها، دو نوع نمونه خاک یکی از منطقه شهرستان نظر آباد کرج و دیگری از منطقه کمال آباد کرج انتخاب و به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی منتقل شد. سپس بر اساس استانداردهای مربوطه، آزمایشات شناسایی نمونه‌های خاک شامل تعیین دانه‌بندی به طریق هیدرومتری، دانه‌بندی با الک و تعیین حدود آتربرگ شامل سه حد روانی[4]، خمیری[5] و انقباض[6]خاک (که معیاری برای ارزیابی رفتار خمیری و میزان چسبندگی ذرات ریزدانه خاک و به نوعی میزان و نوع ذرات ریزدانه موجود در خاک هستند) و نمونه‌های زئولیت انجام شد. زئولیت مورد استفاده در این تحقیق شامل زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت (Z4)، (تهیه شده از شرکت فلورین فاطر از معادن سمنان) و زئولیت مصنوعی (A4)، (تهیه شده از شرکت کیمیا سروش شرق) بود. مشخصات فیزیکی و شناسایی نمونه‌های خاک و

1-Months of Irrigation Pretreatment
2-Larger Aggregate Size Fractions
3-Dispersion

4- Liquid Limit, LL
5- Plastic Limit, PL
6- Shrinkage Limit, SL

زئولیت‌های مورد بررسی به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه‌های خاک و زئولیت‌ها به روش دانه‌بندی و حدود آتربرگ

Table 1- Soil Peropeties of treatment and zeolite based on USDA

نمونه Sample	رده بندی بافت خاک Soil Texture Classification (USDA)	بافت Texture (%)			حدود آتربرگ Atterberg Limits	
		رس (Clay)	سیلت (Silt)	شن (Sand)	حد روانی (Liquid Limit, LL) (%)	حد خمیری (Plastic Limit, PL) (%)
نمونه یک (Sample 1)	لوم شنی (Sandy Loam)	7	27	66	NP	NP
نمونه دو (Sample 2)	لوم سیلتی (Silty Loam)	21	59	20	29	19
زئولیت طبیعی (Natural Zeolite, Z4)	لومی (Loamy)	15	37	48	45	40
زئولیت مصنوعی (Synthetic zeolite, A4)	سیلتی (Silty)	0	100	0	60	56

NP: غیر خمیری

جدول ۲- مشخصات دو نمونه زئولیت مورد مطالعه

Table 2- Chemical characteristic of two types zeolite in this study

نوع زئولیت Zeolite Type	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/100g)	میانگین درصد ترکیبات شیمیایی موجود در دو نوع زئولیت Average chemical composition of the two types of zeolite (%)									جذب آب Water Absorption (%v/v)
		SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	MnO	TiO_2	
زئولیت طبیعی (Natural Zeolite, Z4)	2.16	67.24	11.7	1.48	1.19	1.16	30.4	1.5	0.04	0.42	60
زئولیت مصنوعی (Synthetic zeolite, A4)	5.48	60.0	16.0	3.8	5.0	-	0.4	1.5	-	-	60

تیمارهای آزمایشی و طرح آماری

پس از شناسایی اولیه دو نوع خاک و دو نوع زئولیت، با در نظر گرفتن ۱۰ کیلوگرم خاک از هر نوع بافت خاک و با ترکیب سطوح صفر، ۱، ۵ و۱۰ درصد وزنی زئولیت‌ها با خاک، تیمارهای مختلف در سه تکرار به شرح جدول ۳ آماده شدند. پس از اختلاط زئولیت‌ها با دو نوع خاک، تیمارها هر ماه یک بار، به مدت ۴۸ ساعت اشباع شدندو پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها، پس از گذشت زمان ۶ ماه، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک به روش الک خشک شامل: میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)؛ میانگین هندسی قطر خاکدانه (GMD) و پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر (WAS) به روش الک تر اندازه‌گیری شد. در هر بافت خاک، آنالیز آماری در قالب آرایش فاکتوریل ۴×۲ با در نظر گرفتن دو نوع زئولیت شامل؛ زئولیت طبیعی (Z4) و زئولیت مصنوعی (A4)، به عنوان فاکتور اصلی و ۴ سطح استفاده (صفر، یک، ۵ و ۱۰ درصد وزنی) به عنوان فاکتور فرعی در سه تکرار بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با نرم‌افزار SPSS انجام و مقایسه میانگین‌ها در سطح آماری ۵ درصد به وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. در نهایت تأثیر کاربرد زئولیت و بهترین سطح اختلاط آن بر پایداری خاکدانه‌ها در هر بافت خاک بررسی شد.

جدول ۳- نام‌گذاری تیمارهای آزمایشی

Table 3- Treatment Signs

نوع زئولیت (Zeolite Type)	سطح اختلاط (Mixing Level) (%w/w)	بافت لوم شنی (Sandy Loam)	بافت لوم سیلتی (Silty Loam)
زئولیت طبیعی (Natural Zeolite, Z4)	0	S0	L0
	1	SZ-1	LZ-1
	5	SZ-5	LZ-5
	10	SZ-10	LZ-10
زئولیت مصنوعی (Synthetic zeolite, A4)	0	S0	L0
	1	SA4-1	LA4-1
	5	SA4-5	LA4-5
	10	SA4-10	LA4-10

آزمایش تعیین پایداری خاکدانه‌ها

پایداری خشک

برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌های خشک، از سری الک‌ها و دستگاه الک چرخان استفاده شد. سری الک‌های مورد استفاده شامل الک‌هایی به قطر ۲، ۱، ۰/۴۲۵، ۰/۲۵۰، ۰/۱۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۴۵ میلی‌متر (به ترتیب الک‌های شماره ۱۰، ۱۸، ۴۰، ۶۰، ۱۴۰، ۲۰۰ و ۳۲۵ مطابق با استاندارد ASTM) بودند. تیمارهای آزمایشی (در ۳ تکرار) ابتدا از الک ۴/۷۶ میلی‌متر (شماره ۴) رد شده و سپس ۷۰ گرم از آن روی سری الک‌ها قرار گرفته و مجموعهٔ الک‌ها به مدت ۵ دقیقه در دستگاه الک چرخان قرار داده شد. دستگاه الک چرخان با سرعت دورانی افقی ۱۲۰ دور در دقیقه سری الک‌ها را می‌چرخاند. درصد وزنی خاک مانده روی هر الک (W_i) پس از الک کردن تعیین و شاخص‌های پایداری خاکدانه نظیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) از روابط زیر تعیین شدند (۱۳ و ۱۵):

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \overline{x}_i W_i \qquad (۱)$$

$$GMD = \exp\left[\sum_{i=1}^{n} w_i \log \overline{x}_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} w_i\right] \qquad (۲)$$

که در روابط فوق، W_i، w_i، $\overline{x}_i$ و n به ترتیب نسبت وزن خاکدانه‌های مانده روی هر الک نسبت به وزن کل نمونه، وزن خاکدانه مانده روی هر الک، میانگین قطر دو الک متوالی و تعداد الک‌ها است.

پایداری تر

از آن‌جاکه پایدای خاکدانه‌های تر در بررسی فرسایش پذیری آبی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص پایداری خاکدانه‌ها به روش تر نیز انجام شد. در روش تر، پایداری خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۲۵۰ میلی‌متر در آب (۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. از هر تیمار آزمایشی (در ۳ تکرار) ۴ گرم از خاکدانه‌های هر خاک که بین الک ۱ و ۲ میلی‌متر قرار داشتند انتخاب و پس از اشباع سازی (قرار دادن روی کاغذ صافی مرطوب به مدت ۲۴ ساعت)، به آرامی به الک ۰/۲۵۰ میلی‌متر (الک شماره ۶۰) منتقل و به مدت سه تا پنج دقیقه در ۳۰ نوسان، با بالا و پایین شدن الک در هر دقیقه و با دامنه نوسان ۱/۳ سانتی‌متر، در آب حرکت داده شد (۱۲). سپس وزن خشک خاکدانه‌های مانده روی الک، پس از خشک شدن در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، تعیین شد (w_2).

به منظور حذف شن ریز از خاکدانه‌های مانده روی الک ۰/۲۵۰ میلی‌متر، تصحیح شن ریز انجام شد. برای این کار به نمونه خشک شده در آون، پس از توزین، ۵۰ سانتی‌متر مکعب محلول کالگون اضافه و حجم نمونه‌ها به ۱۵۰ سانتی‌متر مکعب رسانده شد. نمونه‌ها در دستگاه تکان دهنده[1] ۱۶۰ دور در دقیقه به مدت ۳ ساعت، قرار گرفتند و سپس، مجدداً از الک ۰/۲۵۰ میلی‌متر عبور داده شد. در نهایت، وزن خشک خاکدانه‌های مانده روی الک پس از خشک شدن در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، تعیین شد (w_1). درصد پایداری خاکدانه‌های تراز رابطه زیر تعیین شد (۱۲).

$$WAS = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \times 100 \qquad (۳)$$

w_2= وزن نمونه خشک بعد از الک شدن در آب (خاکدانه ناپایدار)

w_1= وزن نمونه خشک پس از حذف شن (خاکدانه پایدار)

نتایج و بحث

نتایج آزمایش پایداری خاکدانه‌های خشک

بافت لوم شنی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دو نوع زئولیت طبیعی (Z4) و مصنوعی (A4)، سطوح اختلاط آن‌ها و

1- Shaker

اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط آن بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبودند. میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) تحت تأثیر سطوح کاربرد زئولیت‌ها معنی‌دار بود. اما تفاوت بین دو نوع زئولیت بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شکل ۱ نشان داد که میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) تحت تأثیر سطوح کاربرد زئولیت، اختلاف معنی‌دار داشت. سطوح کاربرد ۱۰ و یک درصد وزنی زئولیت به ترتیب باعث افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه برابر با ۲/۱ و ۳/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. در خاک، وجود پیوندهای موجود بین ذرات، باعث اتصال آن‌ها و تشکیل خاکدانه (با قطرهای مختلف) می‌شود. با مرطوب شدن خاک، به دلیل وجود واکنش‌های شیمیایی و تغییر پیوندهای بین ذرات، خاکدانه‌های موجود در خاک دچار تغییر و تخریب (Collaps) خواهند شد. همان‌طور که قبلاً در روش تحقیق اشاره شد، تیمارها پس از اختلاط با زئولیت‌ها به مدت ۴۸ ساعت اشباع شدند. نتایج نشان داد که وجود زئولیت‌ها و افزایش سطح اختلاط پس از تر شدن خاک، تأثیری در جهت کاهش تخریب خاکدانه‌ها نداشت. به عبارتی دیگر، وجود زئولیت‌ها در خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اتصال ذرات خاک در جهت افزایش اندازه خاکدانه‌ها نداشت.

بافت لوم سیلتی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دو نوع زئولیت طبیعی (Z4) و مصنوعی (A4)، و سطوح اختلاط آن‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شکل ۲ نشان داد که شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر سطوح کاربرد زئولیت اختلافی معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد داشتند. اما افزایش سطوح اختلاط زئولیت باعث کاهش هر دو شاخصمیانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) نسبت به تیمار شاهد شد. به طور کلی، با کاربرد زئولیت‌ها به ویژه زئولیت مصنوعی (A4) در بافت لوم سیلتی، از آن‌جا که درصد ذرات در اندازه سیلت خاک نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت، هماوری و خاکدانه‌سازی کم شده و شاخص‌های پایداری خاکدانه با افزایش سطوح اختلاط کاهش یافت.

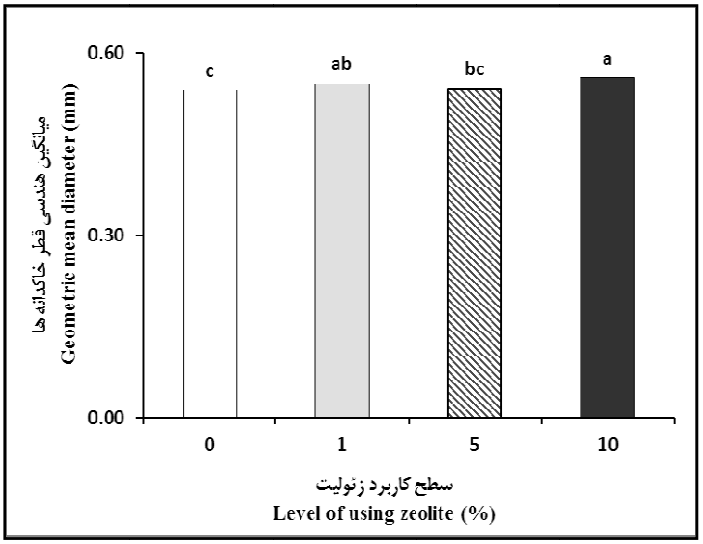
جدول ٤- تجزیهٔ واریانس اثرکاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌هابر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌های خشک در بافت لوم شنی

Table 4- Analysis variance of effect of two zeolites ondry soil aggregate stability indices in sandy loam texture

منابع تغییر (Source)	درجهٔ آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Square)	
		میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (Geometric Mean Diameter, GMD) (mm)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter, MWD) (mm)
زئولیت (Zeolite)	1	0.000^{ns}	0.000^{ns}
سطح اختلاط (Level)	3	0.001^{**}	0.000^{ns}
زئولیت× سطح اختلاط (Zeolite×Level)	3	0.001^{**}	0.00002^{ns}
خطا (Error)	16	0.00006	0.000
ضریب تغییرات (%) (CV)		2.68	5.32

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (Significat differences at the 1% level)

ns: نبود اختلاف معنی‌دار (None significat differences)



شکل ۱- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط آن بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌هادر بافت لوم شنی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 1- Mean comparisonof interaction of zeolite and its levels on dry soil aggregate stability indices in sandy loam texture

(Columns followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05))

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس اثر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌هابر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌های خشک در بافت لوم سیلتی

Table 5- Analysis variance of effect of two zeolites on dry soil aggregate stability indices in silty loam texture

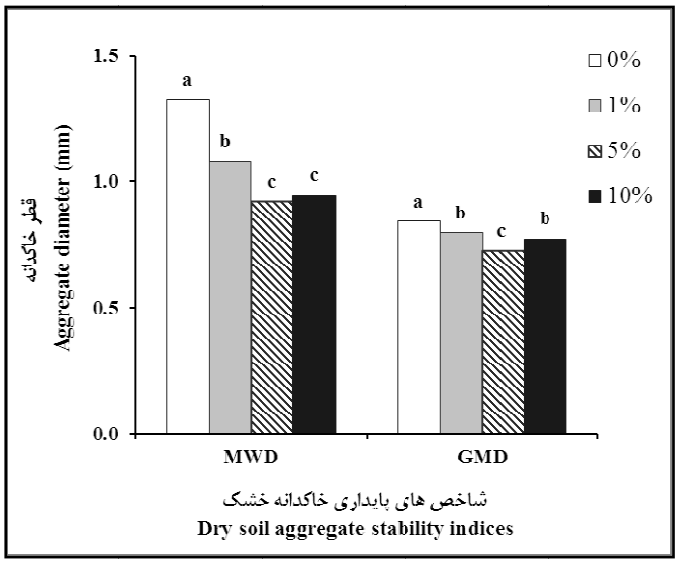
منابع تغییر (Source)	درجهٔ آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Square)	
		میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (Geometric Mean Diameter, GMD) (mm)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter, MWD) (mm)
زئولیت (Zeolite)	1	0.008**	0.117**
سطح اختلاط (Level)	3	0.015**	0.203**
زئولیت× سطح اختلاط (Zeolite×Level)	3	0.009**	0.019ns
خطا (Error)	16	0.001	0.007
ضریب تغییرات (%) (CV)		8.18	18.43

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (Significat differences at the 1% level)

ns: نبود اختلاف معنی‌دار(None significant differences)

از نظر تاپ و همکاران (۱۹) خاک‌هایی کـه دارای خاکدانـه‌هـای قوی بوده و سهم خاکدانه‌های درشت در آن‌ها زیاد است، خـاک‌هـای پایدار می‌باشند. لال (۱۴) سطوح بحرانی پایداری خاک را بـر اسـاس میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) در جدول ۶ ارائه کرده است.

بر اساس سطوح بحرانی ارائه شده در جدول ۶، نتایج تحقیق فوق نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانـه (MWD) در دو بافـت لـوم شنی و لوم سیلتی پایین و افزودن زئولیت‌ها و افزایش سـطح اخـتلاط تـأثیری بـر افـزایش ایـن شـاخص و در نهایـت افـزایش پایـداری خاکدانه‌های خشک نداشته است. با توجه به اهمیت و نقـش پایـداری خاکدانه‌های خشک در کنترل فرسایش پذیری یک خاک، نتـایج ایـن تحقیق نشان داد که زئولیت‌های مورد مطالعـه کـارایی مطلـوب را در جهت کنترل فرسایش بادی ندارند.



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط آن‌بر شاخص‌های پایداری خاکدانه خشک در بافت لوم سیلتی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 2- Mean comparisonof interaction of zeolite and its levels on dry soil aggregate stability indices in silty loam texture
(Columns followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05))

جدول ٦- سطوح بحرانی پایداری خاکدانه خشک بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه (١٤)

Table 6- Critical levels of dry soil aggregate stability based on mean weight diameter (14)

محدودیت (Critical levels)	بسیار شدید (Very Severe)	شدید (Severe)	متوسط (Medium)	کم (Low)	هیچ (None)
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean Weight Diameter, MWD) (mm)	0.5>	0.5-1	1-2	2-2.5	2.5<

نتایج آزمایش پایداری خاکدانه‌های تر

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌ها بر تغییرات پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) در هر دو بافت لوم شنی و لوم سیلتی در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر دو نوع زئولیت طبیعی (Z4) و مصنوعی (A4)، و اثر متقابل زئولیت و سطوح اختلاط آن‌هابر تغییرات پایداری خاکدانه تر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در شکل ۳ نشان داد که در بافت لوم شنی با افزایش سطح کاربرد زئولیت‌ها پایداری خاکدانه تر نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در بافت لوم سیلتی سطح اختلاط یکدرصد وزنی باعث کاهش پایداری خاکدانه تر نسبت به تیمار شاهد شد. از طرفی، در این بافت خاک، سطوح ۵ و ۱۰ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشتند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس مجموعه نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها و بررسی‌های به عمل آمده در این پژوهش، موارد زیر قابل استنتاج است:

نتایج آزمایش شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها خشک (میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها) در دو بافت لوم شنی و لوم سیلتی نشان داد که وجود زئولیت‌ها در خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اتصال ذرات خاک در جهت افزایش اندازه خاکدانه‌ها نداشت. با توجه به اهمیت و نقش پایداری خاکدانه‌های خشک در کنترل فرسایش‌پذیری یک خاک، نتایج این تحقیق نشان داد که زئولیت‌های مورد مطالعه، کارایی مطلوب در جهت کنترل فرسایش بادی را ندارند.

نتایج تأثیر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط بر تغییرات پایداری خاکدانه‌های تر در دو بافت لوم شنی و لوم سیلتی نشان داد کاربرد زئولیت‌های مورد مطالعه در هر دو بافت خاک، افزایشی بر

پایداری خاکدانه‌های تر و کنترل فرسایش آبی خاک نداشت.

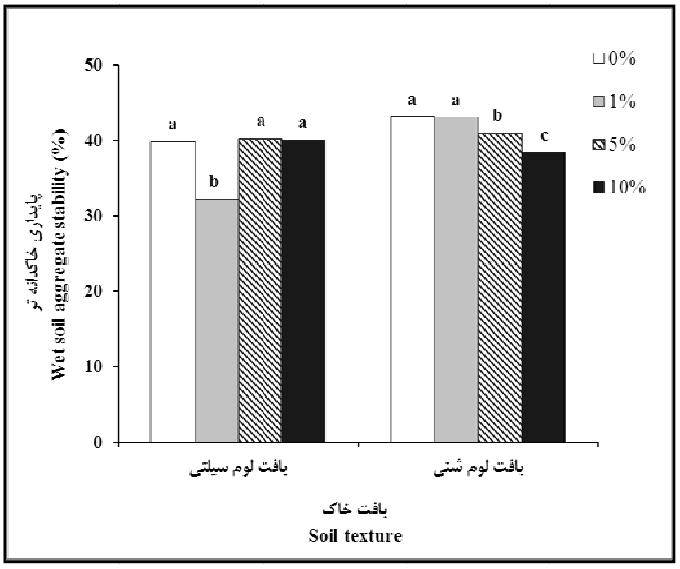
جدول ۷- تجزیهٔ واریانس اثر کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن‌ها بر پایداری خاکدانه‌هایتر در دو بافت خاک مورد مطالعه

Table 7- Analysis variance of effect of two zeolites on wet soil aggregate stability in two types of soil texture

منابع تغییر (Source)	درجهٔ آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Square)	
		بافت لوم شنی (Sandy Loam) (%)	بافت لوم سیلتی (Silty Loam) (%)
زئولیت (Zeolite)	1	22.504**	73.991**
سطح اختلاط (Level)	3	29.491**	91.876**
زئولیت× سطح اختلاط (Zeolite×Level)	3	14.768**	35.815**
خطا (Error)	16	2.093	1.301
ضریب تغییرات (%) (CV)		6.92	11.96

**اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (Significat differences at the 1% level)

ns: نبود اختلاف معنی‌دار (None significat differences)



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر متقابل زئولیت و سطح اختلاط آن بر پایداری خاکدانه تر در دو بافت خاک مورد مطالعه

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

Figure 3- Mean comparisonof interaction of zeolite and its levels on wet soil aggregate stability in two types of soil texture

(Columns followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05))

به طور کلی با توجه به هدف تحقیق (بررسی تأثیر کاربرد زئولیت‌ها بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها) نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت‌ها اگرچه بر شاخص‌های پایداری خاکدانه با اختلاف کم نسبت به تیمار شاهد (به خصوص در سطوح بالای کاربرد) تأثیری معنی‌دار داشته‌اند، اما به عنوان یک عامل مثبت و اثرگذار در جهت بهبود این شاخص‌ها به حساب نمی‌آیند.

منابع

1- Andry H., Yamamoto T. and Inoue M. 2009. Influence of Artificial Zeolite and Hydrated LimeAmendments on the Erodibility of an Acidic Soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40: 1053–1072.
2- Ansari Mahabadi A., Hajabbasi M. A., Khademi H. and Kazemian H. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural Zeolite. Geoderma, 137: 388–393.
3- Barthes B. G., KouoaKouoa E., Larre-Larrouy M. C., Razafimbelo T. M., de Luca E. F., Azontonde A., Neves C. S., de Freitas P. L. and Feller C. L. 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. Geoderma, 143:14-25.
4- Benkova M., Filcheva E., Raytchev T., Sokolowska Z. and Hajnos M. 2005. Impact of different ameliorants on humus state in acid soil polluted with heavy metals. P. 46-58. In: Raytchev, T., G. Józefaciuk., Z, Sokołowska, and M. Hajnos (eds), Physicochemical management of acid soils polluted with heavy metals. ALF-GRAF. Lublin. Poland.
5- Boroghani M., Mirnia S. Kh. and Vahhabi J. 2013. Effect of Nanozeolite on Decreasing Runoff Using FEL3 Rainfall Simulator at Different Slope. Journal of Water and Soil Conservation, 20(2): 241-248. (in Persian with English abstract)
6- Bronick C. J. and Lal R. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio. USA, Soil Tillage. Research, 81: 239-252.
7- 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 & Biochemistry, 33: 2145-2153.
8- Eynard A., Schumacher T. E., Lindstrom M. J. and Malo D. D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota Prairie Ustolls and Usterts. Soil ScienceSocity. American Journal, 68: 1360–1365.
9- Geebelen W., Vangronsveld J., Adriano D. C., Carleer R. and Clijsters H. 2002. Amendment-induced immobilization of lead in a lead-spiked soil: Evidence from phytotoxicity studies. Water, Air, and Soil Pollution, 140: 261–277.
10- Judy Z. and MovahediNaeini S. A. R. 2007. Effects of Leca, Zeolite and Compost on Soil Moisture and Evaporation. Journal of Agricultural Science Nature Recourses, 14(2): 31-42. (in Persian with English abstract)
11- Kazemian H. 2004. Literature on Zeolites. 1st Edition. Behesht Publish. Tehran, Iran.
12- Kemper W. D. and Rosenau R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods. A. Klute (Eds) (Monograph no. 9, 2ndedn). ASA, Madison, Wis, America.
13- Klute A. 1986. Methods of soil analysis- Part 1, Madison, Wisconsin, USA,1188p
14- Lal R. 1998. Soil quality and agricultural sustainability. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 3-12.
15- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility, Theory and practice, Euro. Journal of Soil Science, 47(11): 425-437.
16- Mumpton F. A. and Ormsby W. C. 1978. Morphology of zeolites insedimentary rocks by scanning electron microscopy. P: 113–125. In: Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use؛ Sand, L. B., Mumpton, F. A.(eds), Pergamon Press: Elmsford, NY.
17- Seybold C. A. and Herrick J. E. 2001. Aggregate stabilitykit for soil quality assessment. Catena, 44(1): 37-45.
18- Skaggs T. H., Arya L. M., Shouse P. J. and Mohanty B. P. 2001. Estimating particle size distribution from limited soil texture data. Soil Science Society American Journal, 65:1038-1044.
19- Topp G. C., Reynolds W. D. and Carter M. R. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E. G. and M. R. Carter, (Eds), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, PP. 81-114, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 663-672

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۷۲-۶۶۳

The Effect of Zeolite on Aggregate Stability Indices

F. Sohrab[1]* -N. Abbasi[2]-A. Mahdipour[3]

Received: 18-01-2014
Accepted:30-12-2014

Introduction: Soil structural stability affects the profitability and sustainability of agricultural systems. Particle size distribution (PSD) and aggregate stability are the important characteristics of soil. Aggregate stability has a significant impact on the development of the root system, water and carbon cycle and soil resistance against soil erosion. Soil aggregate stability, defined as the ability of the aggregates to remain intact when subject to a given stress, is an important soil property that affects the movement and storage of water, aeration, erosion, biological activity and growth of crops. Dry soil aggregate stability (Mean Weight Diameter (MWD), Geometric Mean Diameter (GMD)) and Wet Aggregate Stability (WAS) are important indices for evaluating soil aggregate stability.To improve soil physical properties, including modifying aggregate, using various additives (organic, inorganic and chemicals), zeolites are among what has been studied.According to traditional definition, zeolites are hydratealuminosilicates of alkaline and alkaline-earth minerals. Their structure is made up of a framework of$[SiO4]^{-4}$ and $[AlO4]^{-5}$ tetrahedron linked to each other's cornersby sharing oxygen atoms. The substitution of Si^{+4} by Al^{+3} intetrahedral sites results inmore negative charges and a high cation exchange capacity.Zeolites, as natural cation exchangers, are suitable substitutes to remove toxic cations. Among the natural zeolites,Clinoptilolite seems to be the most efficient ion exchanger and ion-selective material forremoving and stabilizing heavy metals.Due to theexisting insufficient technical information on the effects of using different levels of zeolite on physical properties of different types of soils in Iran, the aim of this research was to assess the effects of two different types of zeolite (Clinoptilolite natural zeolite, Z4, and Synthetic zeolite, A4) on aggregate stability indicesof soil.

Materials and Methods: In this study at first, after preparation of two different types of soil with light and medium texture and doing identification tests such as determination of gradation and hydrometer tests and Atterberg limits, zeolite in four levels, 0 (control), 1%, 5%, and 10%w/w, was mixed with two soil textures (sandy loam and silty loam) in three replications. Then, each treatment was saturated for 48 hours in each month, during 6 months. Dry soil aggregate stability (Mean Weight Diameter (MWD), Geometric Mean Diameter (GMD), and Wet Aggregate Stability (WAS)), were determined. The experiment was carried out using factorial method in a randomized complete design.

Results and Discussion: The results showed that, in sandy loam texture, there was no significant difference between two types of zeolites, their level of using and their interaction on MWD ($p<0.01$). Nevertheless, using zeolite had a significant effect on GMD in this soil texture and it was increased to 2.1 and 3.8% by using 10 and 1% w/w zeolite, respectively. In silty loam texture, although using two types of zeolite had a significant effect on both MWD and GMD, the aggregate stability indices were decreased by increasing the level of zeolite comparing to control. According to critical levels of dry soil aggregate stability based on mean weight diameter (MWD), in two soil textures MWD was low and adding zeolite and increasing their levels did not have a significant effect on these indices. The results also indicated that in two soil textures, using two types of zeolite had no considerable effect on WAS.The erosion rate depends on surface particle sizedistribution.Wind erosion is one of the phenomena which causes land degradation in arid and semi-arid regions. Due to impact of dry soil aggregate stability on soil resistance against soil erosion, and although using a high level of zeolite could improve aggregates stability indices, it was concluded that zeolite is not a proper additive for improving aggregates stability indices of soils to reduce wind and water erosion.

Conclusion: In general, although based on statistical analyses, using zeolite has a significant effect on soil aggregate stability at a high level of zeolite application, using it was not an effective factor in improving this index of soil in this research.

Keywords: Geometric Mean Diameter, Mean Weight Diameter, Wet Aggregate Stability, Zeolite

1, 2, 3- Academic Member, Assosiate Professor and Researcher of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Repectively
(*-Corresponding Author Email: farahnaz_sohrab@yahoo.com)