



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 15
No. 2 (58)

Received:
2025-01-13

Accepted:
2025-07-12

Pages: 77-91

Changes Study of the Aggregates Stability After Composition of Soil Conditioner

Niusha Mohabbati¹, Leila Gholami^{2*}, Ataollah Kaviani³ and Fatemeh Shokrian⁴

- 1) Master Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
 - 2) Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
 - 3) Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
 - 4) Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
- *Corresponding author emails: l.gholami@sanru.ac.ir

Abstract:

Background and Objective: Soil aggregates stability is a key indicator of soil quality that it significantly affects on the water movement, aeration and nutrient distribution in the soil. On the other hand, the conditioners application in eroded soils can have the great impact on changes in the stability of soil aggregates. Therefore, this study was conducted with the Aim of investigation the compost and zeolite impact on soil aggregate stability under laboratory conditions and simulated rainfall with intensity of 80 mm h⁻¹. Considering the importance of aggregate stability in erosion control and improving soil quality, the present study also evaluated the combination of the two conditioners.

Research Methodology: In this study, surface soil was collected from eroded rangelands and then transported to university laboratory. soil samples air-drying, these were prepared by sieving. Then various treatments including compost, zeolite, and their combination were added to the soil. To measurement the aggregates stability, the samples were examined in conservation treatments for time periods of 24 h, two, four, eight, 16 and 32 weeks. To the effects comparison of rainfall simulators, the samples were collected at before and after the application of the rainfall simulator. For this purpose, the surface soil was collected before and after the application of the rain simulator system for time periods of 24 h, two, four, eight, 16 and 32 weeks, to the depth of 2-mm with amount of 50 g. Then, the aggregates stability was calculated using the wet sieve method. In order to performance of the granulation operation, six sieves were used that the diameter ranges were the size of 500, 250, 125, 100, 53, 38 and less than 38 micrometer and a container for collecting particles smaller than 38 micrometers. Finally, tests were performed using SPSS and Gradistat software.

Findings: The results indicated that the compost addition to soil the cause significantly increased aggregates stability compared to the control treatment. Furthermore, zeolite also positively impacted aggregates stability by improving physical characteristics of the soil and increasing water retention capacity. The combination of compost and zeolite had the the more effect on the aggregates stability compared to their separately effects. The application time of conditioners showed that at eight and four weeks had the the more effects on the average aggregates diameter. The stability of soil aggregates decreased at 16 and 32 week compared to eight and four week. The effect of soil conditioners (compost, zeolite and their combination) on the components D10, D90, D10/D90, 1D0-D90, D25/D75, D25-D75, skewness and sorting was significant at the level of 99 percent, but it was not significant on the variables D50 and kurtosis. The effect of time interval on all the studied variables was significant at level of 99 percent. Also, the effect of rain simulator was only significant on the variables D10, D50, D25/D75, skewness, and kurtosis at the level of 99 percent.

Conclusion: This research showed that the usage of compost and zeolite can be the effective strategy for improvement of aggregates stability and reducing soil erosion. The results of this research can be used as a basis for sustainable soil management practices and at improving the soil quality in agriculture. It is also suggested that the further research be conducted on the long-term effects of these conditioners on soil quality so that these can be used in natural resource management programs.

Keywords: Combination of organic and inorganic conditioners, Aggregate stability, Rainfall simulator, Soil erosion



شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال پانزدهم

شماره ۲ (۵۸)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۴/۲۱

صفحات: ۷۷-۹۱

بررسی تغییرات پایداری خاکدانه‌ها پس از ترکیب افزودنی‌های خاک

نیوشا محبتی^۱، لیلا غلامی^{۲*}، عطاله کاویان^۳ و فاطمه شکران^۴

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(۲) دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(۳) استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(۴) دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: gholami.leily@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: پایداری خاکدانه‌ها به عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی کیفیت خاک، تأثیر زیادی بر حرکت آب، تهویه و انتشار عناصر غذایی در خاک دارد. از سویی کاربرد افزودنی‌ها در خاک‌های فرسایش‌یافته می‌تواند تأثیر زیادی بر تغییرات در پایداری خاکدانه‌های خاک داشته باشد. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کمپوست و ژئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها در شرایط آزمایشگاهی و تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۸۰ میلی‌متر بر ساعت انجام شده است. با توجه به اهمیت پایداری خاکدانه‌ها در جلوگیری از فرسایش و بهبود کیفیت خاک، پژوهش حاضر ترکیب دو افزودنی مورد نظر را نیز مورد ارزیابی قرار داد.

روش پژوهش: در این مطالعه، از خاک سطحی جمع‌آوری شده از اراضی مرتعی فرسایش‌یافته و انتقال داده شده به آزمایشگاه دانشگاه استفاده شد. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در معرض هوا، از طریق الک‌کردن آماده‌سازی شدند. سپس، تیمارهای مختلف شامل کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها به خاک اضافه گردید. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک نمونه‌ها در تیمارهای حفاظتی برای بازه‌های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته، بررسی شدند. برای مقایسه اثرات شبیه‌ساز باران نیز نمونه‌ها هم در قبل و هم بعد از کاربرد شبیه‌ساز باران جمع‌آوری شدند. بدین منظور خاک سطحی قبل و بعد از کاربرد سامانه شبیه‌ساز باران برای بازه‌های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته، به عمق دو میلی-متر به مقدار ۵۰ گرم جمع‌آوری شدند. سپس پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش الک تر محاسبه شد. به‌منظور انجام عملیات دانه‌بندی از شش الک با دامنه قطری ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۵۳، ۳۸ و کمتر از ۳۸ میکرومتر و ظرف جمع‌آوری-کننده ذرات کوچک‌تر از ۳۸ میکرومتر استفاده شد. در نهایت آزمون‌های با استفاده از نرم‌افزار SPSS و گرادستات انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن کمپوست به خاک موجب افزایش قابل توجهی در پایداری خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین، ژئولیت نیز توانست با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب، تأثیر مثبتی بر پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. ترکیب کمپوست و ژئولیت اثرات بیشتری بر پایداری خاکدانه‌ها نسبت به کاربرد افزودنی‌ها به‌طور جداگانه داشت. زمان کاربرد افزودنی‌ها نشان داد که در زمان‌های هشت و چهار هفته تأثیرات افزودنی‌های بر میانگین قطر خاکدانه‌های بیش‌تر است. پایداری خاکدانه‌های خاک در زمان‌های ۱۶ و ۳۲ هفته نسبت به هشت و چهار هفته کاهش داشت. اثر افزودنی‌های خاک (کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها)، بر مولفه‌های D_{10} ، D_{90} ، D_{50} ، D_{10}/D_{90} ، D_{90}/D_{50} ، D_{75}/D_{25} ، چولگی و جورشدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود اما روی متغیرهای D_{50} و کشیدگی معنی‌دار نبود. اثر بازه زمانی بر تمامی متغیرهای مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر شبیه‌ساز باران تنها بر متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{75}/D_{25} ، چولگی و کشیدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

نتایج: این پژوهش نشان داد که استفاده از کمپوست و ژئولیت می‌تواند راهکار مؤثری برای بهبود پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش خاک باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای مدیریت پایدار خاک و ارتقاء کیفیت آن در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه تأثیرات بلندمدت این افزودنی‌ها بر کیفیت خاک انجام شود تا بتوان از آن‌ها در برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی بهره برد.

کلید واژه‌ها: ترکیب افزودنی‌های آلی و معدنی، پایداری خاکدانه، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک

مقدمه

ساختمان خاک بر مقدار و چگونگی حرکت آب در خاک، گرما و تهویه، انتشار عناصر غذایی، اندازه منافذ خاک، جوانه زنی و رشد ریشه، تجزیه کربن آلی و پویایی آن به‌طور مستقیم مؤثر است (Annabi et al. 2007; Denef et al. 2004). ساختمان خاک از ویژگی‌های فیزیکی و فعال خاک است که می‌توان آن را با معیار شکل یا پایداری ارزیابی نمود (Haghjoo et al., 2019). خاکدانه‌ها ترکیبی از دانه‌های شن، سیلت و رس هستند که پیوستگی‌شان به یکدیگر باعث تشکیل خاک می‌شود. به‌عبارت دیگر پیدایش خاکدانه‌ها پیامدی از هم‌آوری، هم‌آرایی و سیمانی شدن ذرات اولیه است (Bast et al., 2015). از طرفی دیگر توانایی خاکدانه‌ها به پایداری آن‌ها در برابر فروپاشی را پایداری خاکدانه^۱ می‌گویند (Hoseini et al., 2015) و از آن به‌عنوان شاخص ارزیابی کیفیت ساختمان خاک استفاده می‌شود (Bronick and Lal., 2005). پایداری خاکدانه‌ای در واقع مقاومت خاکدانه‌ها در مقابل نیروهای گسیختگی حاصل از عملیات خاک‌ورزی و نیز رخدادهای فرسایشی است (Khademalrasoul et al. 2019). علل عمده تخریب خاکدانه‌ها، وارفتگی خاکدانه‌ها^۲، سدیمی شدن، تخریب ناشی از تورم خاک، تخریب ناشی از قطرات باران و پراکنش فیزیک و شیمیایی حاصل از فشار اسمزی است (Tisdall and Adem., 1986). فرایند خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر درصد ماده‌ی آلی، نوع و درصد رس، مقدار کاتیون‌های قابل جذب و میزان اکسید آهن موجود در خاک است (Gang et al., 2013). از میان عوامل مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، عامل ماده‌ی آلی خاک از بیش‌ترین سطح اثربخشی برخوردار بوده که جایگاه آن را در تحقق اهداف مدیریت پایدار خاک نشان می‌دهد. وجود برخی از یون‌های آلی همچون ترکیبات اسید فولیک و اسید سیتریک در خاک؛ رس قابل پراکنش^۳ را به شکل معنی‌داری افزایش و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد. در واقع برخی آنیون‌های آلی مانند سیترات، اگزالات، فولوات، لاکتات و استات سبب افزایش رس قابل پراکنش و کاهش پایداری ساختمان خاک می‌شود. اما وجود اسیدهای با ساختار حلقوی در خاک، سبب هم‌آوری ذرات رس شده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می‌دهد. ترکیبات آلی با ایجاد پیوند کاتیونی با رس‌های خاک، موجب خنثی کردن بارهای موجود در سطح رس‌ها توسط یون‌های آلی شده و ترکیبات آلی روی سطوح خاکدانه‌ها را تشکیل می‌دهند که در نهایت سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Mohamadi and khdem rasol, 2021). توزیع اندازه خاکدانه‌ها معمولاً با استفاده از روش الک تر اندازه‌گیری شده (Benkova et al., 2005) و بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار

توصیف می‌شود. پایداری خاکدانه بر طیف گسترده‌ای از فرآیندهای فیزیکی و زیست ژئوشیمیایی در محیط‌های کشاورزی تأثیر می‌گذارد و توانایی خاک برای حفظ ساختار خود در برابر نیروهای خارجی را منعکس می‌کند (Amezketi, 2017; Haghjo et al., 1999). در حین فرسایش حساسیت خاکدانه‌ها با تأثیر انرژی جنبشی قطرات باران و تنش برشی رواناب حاصل از بارندگی روی سطح خاک مشخص می‌شود. بنابراین با افزایش میانگین قطری ذرات خاک و در نتیجه بالا رفتن پایداری خاکدانه‌ها تا حد زیادی میزان فرسایش کاهش می‌یابد (Le Bissonnais, 1996; Legout et al. 2005; Shi et al. 2020). مواد آلی موجب بهبود محیط ریشه و تحریک رشد گیاه شده که در نهایت می‌تواند موجب پایداری خاکدانه‌ها و بهبود محصولات و گیاهان مستقر در خاک باشند. به همین دلیل سال‌های اخیر افزودنی‌های آلی مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته تا با استفاده از آن‌ها بتوان علاوه بر بهبود خاک، موجب پایداری خاکدانه‌های خاک نیز شد (Syadat and Moradi telavat, 2011). کمپوست، هوموس کلونیدی بی-شکل، قهوه‌ای تیره تا سیاه رنگی است که تحت شرایط مناسب از نظر دما، رطوبت و تهویه و در نتیجه توالی فعالیت گروه‌های مختلف ریزسازواره‌ها (میکروب‌ها) به‌وجود می‌آید. به این ترتیب محصول این فرایند میکروبی یک کود زیستی به شمار می‌آید (Sadeghi et al., 2000; Gruhn et al. 2017). از سویی دیگر پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از افزودنی‌های معدنی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک در دوره‌های طولانی مدت می‌شوند. افزودنی‌های معدنی مانند ژئولیت برای موجب بهبود خواص خاک (Foley and Cooperband, 2000) و کاهش فلزات سنگین در خاک‌های آلوده می‌شود (Benkova et al., 2005; Ramesh et al. 2011). ژئولیت با داشتن تخلخل زیاد و ساختار کریستالی این امکان را به وجود می‌آورد که تا بیش از ۶۰ درصد وزن خود آب را جذب کند و به‌عنوان سوپرجاذب معدنی سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب شود (Taghdisi Heidaryan et al, 2018). پارادلو^۴ و همکاران (۲۰۱۹) اثر کمپوست باقی‌مانده‌های گیاهی روی خاک سیلتی‌لومی در منطقه هاپلیک لوویسول^۵ را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که اضافه کردن کمپوست به خاک باعث پایداری خاکدانه‌ها بعد از دوره‌های مورد نظر شد. تئودرو^۶ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از کمپوست و زغال‌زیستی آن در یک خاک آلوده به فلز در کشور چک در شهر پراگ خصوصیات خاک را ارزیابی نمودند. نتایج نشان دادند که این افزودنی‌ها به ترتیب باعث بهبود خصوصیات خاک و پایداری خاکدانه‌های آن گردید. بیان^۷ و همکاران (۲۰۲۴) بر اثرات بیوجار بر تراکم پذیری خاک با محتوای آب بالا کار کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که

اسید به ترتیب ۲۶/۶۵ و ۲۵/۶۵ درصد اندازه گیری شد. یکنواختی^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۲) بر روی تأثیرگذاری زغال زیستی برگ نخل و تفاله لیموترش بر برخی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی یک خاک لوم شنی کار کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد زغال زیستی در خاک اثر معناداری بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و همچنین افزایش معناداری در پایداری خاکدانه ها و مقاومت برشی داشت، که بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک می تواند بر حفاظت خاک در مقابل فرسایش آبی و بادی اثرگذار باشد. بر اساس نتایج فوق می توان نتیجه گیری کرد که انتخاب حالتی بهینه از منابع، سطوح و اندازه ذرات زغال زیستی به عنوان اصلاح کننده آلی خاک می تواند ضمن کاهش هزینه های مدیریت کشاورزی، حداکثر بهره روری در تولیدات کشاورزی را به دنبال داشته باشد. معافی^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۴) تغییرات خاکدانه ها در اثر کاربرد زغال زیستی حاصل از سرشاخه های صنوبر بررسی کردند. یافته های این مطالعه حاکی از تأثیر مثبت افزودنی زغال زیستی بر شاخص های پایداری خاکدانه است که افزایش محدودی در میانگین های وزنی و هندسی قطر خاکدانه ها و تغییرات ۴۰ درصدی در مؤلفه های اندازه ذرات ایجاد کرده است. به طور کلی بررسی شاخص های MWD و GMD در تیمارهای شاهد و زغال زیستی در چهار زمان متوالی به فواصل شش ماه حاکی از معنی داری اثر جداگانه زغال زیستی و زمان در هر دو شاخص و اثر تعاملی زغال زیستی و زمان در شاخص GMD در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است. بازه زمانی دوم دارای بیشترین درصد تغییرات در مؤلفه های توزیع اندازه ذرات بوده است. همچنین بین میانگین های شاهد و زغال زیستی در بازه زمانی دوم در هر دو شاخص اختلاف معنی داری مشاهده شده است، لذا براساس یافته های این آزمایش بهترین عملکرد زغال زیستی در زمینه بهبود پایداری خاکدانه و ساختمان خاک بعد از گذشت یک سال از اعمال آن به خاک بود. مطابق با نتایج این پژوهش پایداری خاکدانه عاملی تأثیرپذیر از گذر زمان و تغییرات آب و هوایی فصلی است. میدانی بودن مقیاس آزمایش و همچنین قرارگیری کرت ها در معرض آب و هوای طبیعی بر پیچیدگی های حاکم بر چنین فرآیندهایی افزوده و لذا طراحی مطالعات جزئی و در مقیاس زمانی مناسب تر و بازه های زمانی کوچک تر به منظور کسب نتایج دقیق تر ضروری است

جمع بندی پژوهش های انجام شده تاکنون نشان داد که تاکنون پژوهشی مبنی بر اثر ترکیبی کمپوست و زئولیت بر پایداری خاکدانه ها در دوره های مختلف زمانی ثبت نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کمپوست، زئولیت و ترکیب آن ها روی پایداری خاکدانه ها در شرایط آزمایشگاهی و در شدت باران ۸۰ میلی متر بر ساعت در قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران و برای بازه های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته انجام شد.

خاک تیمار شده با بیوپار با محتوای آب بالا، ویژگی های ژئوتکنیکی مطلوبی را نشان می دهد و آن را برای استفاده به عنوان احیا کننده های خاک یا در کاربردهای دفن زباله مناسب می سازد. سهراب^۸ و همکاران (۲۰۱۵) اثر کاربرد زئولیت بر شاخص های پایداری خاکدانه ها را بررسی کردند. نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که شاخص های پایداری خاکدانه ها در بافت خاک اختلاف معنی دار نسبت به تیمار شاهد داشتند. افزایش سطوح زئولیت باعث کاهش هر دو شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه ها نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، نتایج نشان داد که در هر دو بافت خاک، کاربرد دو نوع زئولیت و سطح اختلاط آن ها تأثیر قابل ملاحظه ای بر افزایش پایداری خاکدانه های تر نداشتن. امیراحمدی^۹ و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی تأثیر زئولیت بر پایداری خاکدانه ها پرداختند آزمایشات انجام شده در محوطه دانشکده منابع طبیعی ساری انجام شد. نتایج نشان داد استفاده از زئولیت باعث افزایش معنی دار رویش قطری و ارتفاعی، زی توده و بهبود عناصر تغذیه ای خاک و برگ نهال های بلندمازو و همچنین بهبود نمایه های پایداری خاک شد. یافته های پژوهش های پیش رو حاکی از آن بود پنج درصد زئولیت با کاهش آشفته نیرات و افزایش پایداری خاکدانه ها، موجب افزایش رویش نهال می شود. حق جو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات پاشمان خاک و پایداری خاکدانه های خاک با استفاده از پلی وینیل استات در سطح های یک، سه و پنج درصد در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از الک تر پرداختند. نتایج نشان داد که اثر پلی وینیل استات بر پاشمان خالص و پاشمان کل به ترتیب در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار بود. نتایج ایشان نشان داد که پلی وینیل استات توانست علاوه بر کاهش فرسایش پاشمانی خاک، پایداری خاکدانه های خاک را نیز افزایش داد. محمدی و خادم الرسول^{۱۱} (۲۰۲۱) زئولیت و زغال زیستی باگاس بر میانگین وزنی قطر خاکدانه ها و حد آتر برگ خاک های آلوده به مواد نفتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزودن تیمارها سبب افزایش میانگین قطر خاکدانه ها، رطوبت حدروانی و حدخمیری خاک و در نتیجه کاهش شاخص خمیری شد. Naji و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه ها و رطوبت ظرفیت مزرعای در خاک های شور و سدیمی پرداختند. این پژوهش با استفاده از چهار سطح شوری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی زیمنس بر متر و کاربرد دو نوع اصلاح کننده (هیومیک اسید و پلی آکرلیک اسید) در چهار سطح (صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزنی) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه ای اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر پایداری خاکدانه ها در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و در سطح ۰/۸ درصد پلی آکرلیک و هیومیک اسید و به ترتیب ۳/۱۳ و ۱/۵۱ میلی متر بود. بیشترین مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه در سطح شوری ۴۰ دسی زیمنس بر متر و مقدار ۰/۸ درصد پلی آکرلیک و هیومیک

مواد و روش

خاک و اصلاح کننده‌های مورد استفاده

پژوهش حاضر با استفاده از خاک سطحی جمع‌آوری شده از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری اراضی مرتعی فرسایش‌یافته در شهرستان میاندرد انجام شد (Gholami et al. 2019; Kaviani et al, 2019). خاک انتقال داده شده در معرض هوای آزاد خشک شد (Gholami et al. 2016 and 2019) و از الک چهار میلی‌متری (Gholami et al. 2014) عبور داده شد. خاک جمع‌آوری شده دارای بافت لومی‌شنی با درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، چگالی حقیقی، مواد آلی، کربن آلی، pH و EC به ترتیب با مقادیر ۵۲/۲۲ درصد، ۳۲/۳۶ درصد، ۱۵/۵۴ درصد، ۲/۶۳ گرم بر مترمکعب، ۰/۲۴ درصد، ۰/۱۴ درصد، ۷/۳۷ و ۰/۴۸۳ دسی‌زیمنس بر متر برآورد گردید. جهت انجام پژوهش حاضر از افزودنی‌های زئولیت، کمپوست و ترکیب آن‌ها بر پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. استفاده از کمپوست‌ها (به‌عنوان یک افزودنی آلی خاک)، ابزار موثری برای بهبود خاکدانه‌سازی، ساختمان خاک، افزایش جمعیت و تنوع میکروبی، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و نیز افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در آن می‌باشد. کمپوست‌سازی فرآیند تجزیه بیولوژیکی برای زباله‌های آلی در شرایط هوازی یا بی‌هوازی است که توسط میکروارگانیسم‌های خاک انجام می‌شود و در آن زباله‌های آلی به ترکیبات معدنی و هم‌چنین ترکیبات آلی غنی از هوموس تبدیل می‌شوند که در

جهت بهبود خصوصیات ساختمانی خاک مناسب هستند (Lim et al. 2014; Qian et al. 2016). کمپوست مورد استفاده در این پژوهش کمپوست سبز تهیه شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بود. ویژگی‌های کمپوست مورد استفاده شامل پتاسیم، فسفر، نیتروژن، به ترتیب ۶۲٪، فسفر ۰/۴۶، نیتروژن ۱/۳۱ درصد، هدایت الکتریکی ۱۳/۰۶ دسی-زیمنس بر متر، pH ۷/۹۳، کربن آلی ۱۲/۷۰ و ماده آلی ۲۱/۸۹ است. مقدار کمپوست استفاده شده ۷/۱ تن بر هکتار بود (Gholami et al, 2019) (شکل ۱ سمت راست).

زئولیت یک ترکیب آلومینوهیدراته‌ای با ظرفیت تبادل کاتیونی بالاست که مواد مغذی خاک را افزایش داده و نیاز به کود را کاهش می‌دهد. مهم‌ترین دلیل استفاده از زئولیت ظرفیت بالای تبادل کاتیونی و نیز توانایی آن برای جذب یون آمونیوم و مواد مغذی است (Ramesh et al. 2011). زئولیت استفاده شده در پژوهش حاضر به صورت جامد در اندازه‌های یک تا دو میلی-متری، رنگ سفید و مقدار ۵/۷ تن بر هکتار (Behzadfar et al. 2017) بود (شکل ۱ سمت چپ). ویژگی‌های آنالیز شیمیایی زئولیت مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل: سدیم کلرید ۱/۳ درصد، تیتانیوم دی اکسید ۰/۳ درصد، آلومینیوم اکسید ۹/۵ درصد، اکسید کلسیم ۰/۵ درصد، اکسید منیزیم ۰/۶ درصد، سدیم اکسید ۲/۷ درصد، گوگرد تری اکسید ۰/۴ درصد و سیلیسیم دی اکسید ۶۳/۱ درصد است.



شکل ۱. کمپوست استفاده شده (راست) و زئولیت استفاده شده (چپ) جهت انجام پژوهش حاضر

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های خاک نمونه‌ها در تیمارهای حفاظتی برای بازه‌های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته، بررسی شدند. برای مقایسه اثرات شبیه‌ساز باران نیز نمونه‌ها هم در قبل و هم بعد از کاربرد شبیه‌ساز باران جمع‌آوری شدند. بدین منظور خاک سطحی قبل و بعد از کاربرد سامانه شبیه‌ساز باران برای بازه‌های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته، به عمق دو میلی‌متر به مقدار ۵۰ گرم جمع‌آوری شدند. سپس پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش الک تر محاسبه شد (Kay, 2000; Haghjo et al, 2019). به‌منظور انجام عملیات دانه‌بندی از شش الک با دانه قطری ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۵۳، ۳۸ و کمتر از ۳۸ میکرومتر و ظرف جمع‌آوری -کننده ذرات کوچک‌تر از ۳۸ میکرومتر استفاده شد. برای دانه‌بندی نمونه‌های خاک در شرایط تر از دستگاه شیکر که در قسمت فوقانی آن به یک نازل متصل است استفاده شد (Haghjo et al, 2019). عملیات تکان دادن نمونه‌ها با شدت متوسط به مدت ۱۰ دقیقه (Molaei renani, 2014) انجام شد. سپس خاک باقی‌مانده روی هر الک به تفکیک هر تیمار و الک، به روش شستشو به داخل ظروف تخلیه و به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شدند (Haghjo et al, 2019). پس از تخلیه آب اضافی نمونه‌ها، رسوب باقی‌مانده به داخل ظروف مناسب با وزن مشخص منتقل و در نهایت به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و در نهایت وزن آن‌ها توسط ترازو توزین شدند. شکل

(۲) نمونه‌های شاهد، کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها (سمت راست) و دستگاه الک تر (سمت چپ) را نشان می‌دهد.

تجزیه تحلیل‌های آماری

به‌منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای Excel و SPSS26 استفاده گردید. تغییرات میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار و درصد تغییرات پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از افزودنی‌های مورد استفاده در دوره‌های زمانی ۲۴ ساعت، دو، چهار، هشت، ۱۶ و ۳۲ هفته، به دست آمد. سپس نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و با استفاده از آزمون آماری GLM در نرم‌افزار SPSS تاثیر جداگانه و متقابل تیمارهای حفاظتی و دوره‌های زمانی بر پایداری خاکدانه‌ها محاسبه شد. به‌منظور استخراج مولفه‌های دانه‌بندی شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی به روش‌های ترسیمی، هندسی و لگاریتمی گشتاورها کلیه متغیرهای، D_{10} ، D_{50} ، D_{90} ، $D_{10}-D_{90}$ ، D_{90}/D_{10} ، $D_{25}-D_{75}$ و D_{75}/D_{25} برحسب میکرومتر با استفاده از نرم‌افزار گرایستات محاسبه شد (Haghjo et al, 2019).

نتایج و بحث

نتایج پایداری در تیمارهای حفاظتی زئولیت، کمپوست و ترکیب آن‌ها در قبل و بعد از کاربرد شبیه‌ساز باران برای دوره‌های زمانی مورد بررسی در جداول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین جدول ۸ و ۹ نتایج آماری GLM و Duncan در تیمارهای حفاظتی و دوره‌های زمانی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمونه‌های شاهد، کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی (سمت راست) و الک تر (سمت چپ) جهت اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

جدول ۱. نتایج پایداری خاک در تیمار شاهد قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران

تیمار	تکرار	شماره الک					
		۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸ >
شاهد	۱	۰/۷	۲/۳	۱۰/۱	۶/۲	۱۶/۶	۷
	۲	۰/۵	۲/۲	۱۰/۱	۶/۱	۱۶/۴	۷/۵
	۳	۰/۶	۲/۲	۱۱/۱	۶/۴	۱۶/۱	۷/۳
	میانگین	۰/۶	۲/۲۳	۱۰/۴۳	۶/۲۳	۱۶/۳۶	۷/۲۶
	انحراف معیار	۰/۱	۰/۰۵	۰/۵۷	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۲۵
	ضریب تغییرات	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳

جدول ۲. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی ۲۴ ساعت

تیمار	بازه زمانی											
	قبل از کاربرد شبیه‌ساز						بعد از کاربرد شبیه‌ساز					
کمپوست	شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸ >	۳۸	۵۳	۱۰۰	۲۵۰	۳۸ >
	۱	۱/۹	۲/۹	۱۰/۴	۵/۸	۱۳/۱	۴/۱	۳۶/۷	۴/۱	۱۳/۱	۵/۸	۴/۱
	۲	۲/۸	۲/۷	۱۰/۴	۵/۳	۱۵/۱	۶/۳	۳۷/۳	۳/۷	۸/۲	۲/۷	۴/۷
	۳	۳/۱	۳/۷	۱۰/۴	۵/۳	۱۵/۳	۷/۷	۳۴/۹	۳/۹	۱۲/۳	۲/۶	۴/۱
	میانگین	۲/۹	۳/۳۶	۱۰/۴	۵/۳۶	۱۵/۳۶	۶/۹۶	۳۵/۳	۳/۱۶	۹/۵۳	۲/۷۳	۴/۳
	انحراف معیار	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۶۹	۴/۳	۰/۹	۰/۳۴	۱/۷	۰/۱۵	۱/۱۷	۰/۳۴	۱/۷۰
ژئولیت	ضریب تغییرات	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۰۴
	درصد تغییرات	۲۹/۸۵	۶۷/۷۳	۶۶/۸۴	۶۷/۳	۱۱۱/۴۶	۷۳/۱	۳۶/۲۹	۴۲۷/۷۷	۲۲/۳۸	۸/۶۲	۱۷/۶۴
	۱	۴	۲/۷	۱۰/۲	۵/۸	۱۴/۱	۶/۷	۳۵/۱	۵/۷	۸/۹	۲/۶	۴/۱
	۲	۳/۴	۲/۲	۹/۲	۴	۱۴/۲	۴	۳۲/۲	۴/۵	۷/۹	۱/۷	۴/۱
	۳	۳/۴	۲/۶	۱۰	۵/۱	۱۴/۷	۷	۳۸/۳	۳/۸	۲/۹	۸/۹	۴/۳
	میانگین	۳/۶	۲/۵	۹/۸	۲/۰۳	۱۴/۳۳	۶/۲۳	۴/۷۳	۳/۶	۲/۵	۹/۸	۲/۰۳
ترکیب و ژئولیت	انحراف معیار	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۹	۰/۳۲	۱/۰۷	۳	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۳۲
	ضریب تغییرات	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۱۶۳	۰/۲۰	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۰۳
	درصد تغییرات	۵۰۰	۱۱/۹۴	۶۱/۰۷	۶۷/۳۷	۱۲/۴۲	۱۴/۲۲	۸۱/۷۲	۵۰۰	۱۱/۹۴	۶۱/۰۷	۱۴/۲۲
	۱	۳/۲	۳/۱	۱۰	۴/۸	۱۵/۶	۵/۲	۳۵/۶	۲/۷	۲/۱	۱۰/۲	۴/۱
	۲	۳/۸	۳/۶	۱۱	۵/۸	۱۷/۵	۷/۷	۳۸/۷	۴/۱	۹/۶	۳/۲	۵/۴
	۳	۳/۵	۲/۵	۹/۵	۴/۵	۱۵/۷	۶/۵	۳۸/۱	۴/۳	۸/۷	۲/۹	۴/۳
کمپوست	میانگین	۳/۵	۳/۰۶	۱۰/۱۶	۵/۰۳	۱۶/۲۶	۶/۴۶	۳۷/۴۶	۴/۶۶	۲/۴	۸/۵۶	۴/۱۶
	انحراف معیار	۰/۳	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۶۸	۱/۰۶	۱/۲۵	۱/۶۴	۰/۹۶	۰/۶۲	۰/۵۷	۰/۱۵
	ضریب تغییرات	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۰۳
	درصد تغییرات	۴۸۳/۳۳	۷۳/۳۱	۲/۵۵	۱۹/۲۵	۰/۶۱	۱۱/۰۱	۴۴/۶۵	۵۱۶/۶۶	۷/۴۶	۱۷/۸۹	۳۳/۱۵
	۱	۳/۲	۳/۱	۱۰	۴/۸	۱۵/۶	۵/۲	۳۵/۶	۲/۷	۲/۱	۱۰/۲	۴/۱
	۲	۳/۸	۳/۶	۱۱	۵/۸	۱۷/۵	۷/۷	۳۸/۷	۴/۱	۹/۶	۳/۲	۵/۴

جدول ۳. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی دو هفته

تیمار	بازه زمانی											
	قبل از کاربرد شبیه‌ساز						بعد از کاربرد شبیه‌ساز					
کمپوست	شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸ >	۳۸	۵۳	۱۰۰	۲۵۰	۳۸ >
	۱	۲/۳	۲/۸	۱۰/۴	۴/۸	۱۴/۵	۷/۹	۲۳/۷	۲/۷	۲/۳	۲/۵	۴/۹
	۲	۲/۹	۳	۹/۶	۴/۸	۱۷/۴	۶	۲۵/۳	۴/۳	۳/۳	۲/۳	۴/۵
	۳	۳/۲	۳/۳	۱۰/۷	۴/۹	۱۵/۷	۶/۸	۲۳/۱	۲/۱	۳/۱	۱۰/۲	۴/۱
	میانگین	۳/۱۳	۱۰/۲۳	۴/۸۳	۱۵/۸۶	۲۴/۰۳	۶/۹	۱۱/۳	۲/۷	۲/۹	۷/۶	۴/۷
	انحراف معیار	۰/۲	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۵۶	۰/۱۵
ژئولیت	ضریب تغییرات	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲
	درصد تغییرات	۴۲۲/۲۲	۳۴/۳۲	۱/۹۱	۲۲/۴۵	۳/۰۵	۵/۰۴	۷/۲	۳۵۰	۲۹/۸۵	۲۷/۱۵	۴/۸۸
	۱	۵/۱	۲/۵	۹/۵	۴/۶	۱۴/۶	۷/۴	۱۷/۱	۲/۶	۲/۶	۹/۷	۴/۳
	۲	۴/۴	۲/۴	۹/۵	۵/۴	۱۵	۷/۵	۲۷/۱	۱/۶	۲/۶	۹/۸	۴
	۳	۴/۷	۲/۹	۱۰/۴	۵/۶	۱۶/۷	۵/۴	۲۵/۹	۱/۹	۲/۵	۹/۴	۱۴
	میانگین	۴/۷۳	۲/۶	۹/۸	۵/۲	۱۵/۴۳	۶/۷۶	۲۶/۷	۲/۰۳	۲/۵۶	۹/۶۳	۴/۵۳
ترکیب و ژئولیت	انحراف معیار	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۵۲	۱/۱۱	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۵	۱/۷
	ضریب تغییرات	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۲
	درصد تغییرات	۶۸۸/۸۸	۱۶/۴۱	۶/۰۷	۱۶/۵۷	۵/۷۰	۶/۸۸	۳۱/۰۸	۲۳۸/۸۸	۱۴/۹۲	۷/۶۶	۲۷/۲۷
	۱	۴	۲/۷	۹/۳	۴/۵	۱۶/۵	۴/۹	۳۶/۶	۲/۴	۲/۹	۱۱/۱	۴/۹
	۲	۳/۲	۳/۶	۱۰/۵	۵/۴	۱۵/۱	۵/۶	۱۸/۴	۲/۷	۲/۳	۹	۴/۶
	۳	۳/۸۶	۳/۰۶	۱۰/۳۶	۵/۵	۱۶/۰۶	۵/۲۳	۲۱/۲۶	۲/۶۳	۲/۶۳	۹/۶۳	۴/۸
کمپوست	میانگین	۳/۸۶	۳/۰۶	۱۰/۳۶	۵/۵	۱۶/۰۶	۵/۲۳	۲۱/۲۶	۲/۶۳	۲/۶۳	۹/۶۳	۴/۸
	انحراف معیار	۰/۶۱	۰/۴۷	۱/۰۰۶	۱/۰۵	۱/۰۵	۰/۳۵	۲/۶۴	۰/۲۰	۰/۳۰	۱/۲۷	۰/۱۷
	ضریب تغییرات	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۳
	درصد تغییرات	۵۴۴/۴۴	۳۷/۳۱	۰/۶۳	۱۱/۷۶	۱/۸۳	۲۷/۹۸	۱۷/۸۸	۲۳۸/۸۸	۱۷/۹۱	۷/۶۶	۲۲/۹۹
	۱	۳/۲	۳/۶	۱۰/۵	۵/۴	۱۵/۱	۵/۶	۱۸/۴	۲/۷	۲/۳	۹	۴/۶
	۲	۳/۸۶	۳/۰۶	۱۰/۳۶	۵/۵	۱۶/۰۶	۵/۲۳	۲۱/۲۶	۲/۶۳	۲/۶۳	۹/۶۳	۴/۸

جدول ۴. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی چهار هفته

تیمار	بازه زمانی													
	قبل از کاربرد شبیه‌ساز							بعد از کاربرد شبیه‌ساز						
شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	>۳۸	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	>۳۸
۱	۲	۳/۵	۱۰/۵	۵/۲	۱۷/۱	۵/۸	۲۷/۶	۲/۱	۳	۹/۸	۴/۷	۱۶/۵	۵/۱	۲۶/۶
۲	۲/۴	۴	۱۰/۸	۵/۸	۱۶/۱	۴/۶	۲۷/۴	۲/۳	۴/۶	۱۰/۵	۵/۶	۱۶/۴	۴/۹	۲۷/۲
۳	۲/۷	۴/۶	۱۱/۲	۴/۸	۱۵/۹	۴/۷	۲۶/۸	۲/۱	۴/۱	۱۰/۹	۵/۱	۱۶/۸	۴/۲	۲۵/۵
میانگین	۲/۳۶	۴/۰۳	۱۰/۸۳	۵/۲۶	۱۶/۳۶	۵/۰۳	۲۷/۰۶	۲/۱۶	۳/۹	۱۰/۴	۵/۱۳	۱۶/۵۶	۴/۷۳	۲۶/۴۳
انحراف معیار	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۲	۰/۴۷	۰/۸۶
ضریب تغییرات	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۳
درصد تغییرات	۲۹۴/۴۴	۸۰/۵۹	۳/۸۳	۱۵/۵	۰	۳۰/۷۳	۵۲/۷	۲۶۱/۱۱	۷۴/۶۲	۰/۳۱	۱۷/۶۴	۱/۲۲	۳۴/۸۶	۲/۰۵
۱	۲	۴	۱۱/۲	۵/۶	۱۵/۹	۶/۱	۲۹/۱	۱/۵	۳/۲	۱۰/۱	۵	۱۵/۱	۵/۷	۲۸/۹
۲	۲/۱	۳/۸	۱۱/۳	۶	۱۶/۲	۵/۸	۲۸/۶	۱/۷	۲/۹	۱۰/۶	۵/۵	۱۱/۴	۶/۱	۳۰/۱
۳	۲/۵	۴/۲	۱۱/۵	۵/۷	۱۵/۳	۶/۱	۳۰/۲	۲/۶	۳/۱	۱۱/۱	۵/۱	۱۰/۱	۵/۸	۳۰/۶
میانگین	۲/۲	۴	۱۱/۳۳	۵/۷۶	۱۵/۸	۶	۲۹/۳	۱/۹۳	۳/۰۶	۱۰/۶	۵/۲	۱۲/۲	۵/۸۶	۲۹/۸۶
انحراف معیار	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۵	۰/۲	۰/۴۵	۰/۱۷	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۱۵	۰/۵	۰/۲۶	۲/۵۹	۰/۲	۰/۸۷
ضریب تغییرات	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۰۲
درصد تغییرات	۲۶۶/۶۶	۷۹/۱	۸/۶۲	۷/۴۸	۳/۴۶	۱۷/۴۳	۱۷/۱۲	۲۲۲/۲۲	۳۷/۳۱	۱/۵۹	۱۶/۵۷	۲۵/۴۵	۱۹/۲۶	۱۵/۳۱
۱	۲/۴	۴/۶	۱۰/۶	۶/۲	۱۵/۴	۶/۱	۲۷/۶	۲/۱	۴	۱۱/۴	۵/۵	۱۵/۷	۵/۱	۲۷/۵
۲	۱/۹	۵/۵	۱۲/۱	۶/۴	۱۵/۸	۵/۹	۲۸/۴	۲	۵/۹	۱۱/۹	۵	۱۶/۱	۵/۵	۲۸/۱
۳	۲/۲	۵/۴	۱۲/۶	۵/۹	۱۱/۹	۶/۲	۳۰/۱	۱/۹	۶/۱	۱۲/۲	۴/۸	۱۶/۴	۵/۳	۲۷/۹
میانگین	۲/۱۶	۵/۱۶	۱۱/۷۶	۶/۱۶	۱۴/۳۶	۶/۰۶	۲۸/۷	۲	۵/۳۳	۱۱/۸۳	۵/۱	۱۶/۰۶	۵/۳	۲۷/۸۳
انحراف معیار	۰/۲۵	۰/۴۹	۱/۰۴	۰/۲۵	۲/۱۴	۰/۱۵	۱/۲۷	۰/۱	۱/۱۵	۰/۴	۰/۳۶	۰/۳۵	۲/۰	۰/۳
ضریب تغییرات	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱
درصد تغییرات	۲۶۱/۱۱	۱۳۱/۳۴	۱۲/۷۷	۱/۰۶	۱۲/۲۲	۱۶/۵۱	۱۰/۸۱	۲۳۲/۳۳	۱۳۸/۸	۱۳/۴۱	۱۸/۱۸	۱/۸۳	۲۷/۰۶	۷/۴۶

جدول ۵. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی هشت هفته

تیمار	بازه زمانی													
	قبل از کاربرد شبیه‌ساز							بعد از کاربرد شبیه‌ساز						
شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	>۳۸	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	>۳۸
۱	۱/۵	۴	۹	۵/۵	۱۶/۵	۴	۲۵/۶	۲۴/۴	۴/۵	۱۸/۳	۴/۹	۱۰/۳	۳/۵	۱/۱
۲	۱/۶	۲/۹	۱۱/۶	۵	۱۸/۶	۴/۷	۲۲/۳	۲۸/۶	۳	۱۵/۵	۵/۱	۹/۹	۴	۱/۳
۳	۱/۷	۲/۸	۱۰	۴/۵	۱۶/۹	۶	۲۷/۱	۲۵/۳	۳/۸	۱۷/۴	۴/۳	۱۱/۱	۳/۷	۱/۴
میانگین	۱/۶	۳/۲۳	۱۰/۲	۵	۱۷/۳۳	۴/۹	۲۵	۱/۲۶	۳/۷۳	۱۰/۴۳	۴/۷۶	۱۷/۰۶	۳/۷۶	۲۶/۱
انحراف معیار	۰/۱	۰/۶۶	۱/۳۱	۰/۵	۱/۱۱	۱/۰۱	۲/۴۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۶۱	۰/۴۱	۱/۴۲	۰/۷۵	۲/۲۱
درصد حفاظت	۱۶۶/۶۶	۴۴/۷۷	۲/۲۳	۱۹/۷۸	۵/۹	۳۲/۵۶	۳/۴۷	۱۱۱/۱۱	۶۷/۱۶	۱/۷	۲۳/۵۲	۴/۲۷	۴۸/۱۶	۰/۷۷
درصد تغییرات	۱۶۶/۶۶	۴۴/۷۷	۲/۲۳	۱۹/۷۸	۵/۹	۳۲/۵۶	۳/۴۷	۱۱۱/۱۱	۶۷/۱۶	۱/۷	۲۳/۵۲	۴/۲۷	۴۸/۱۶	۰/۷۷
۱	۵/۳	۲/۶	۱۰/۹	۶/۵	۱۶/۲	۶/۷	۲۵/۵	۱/۱	۲/۸	۹/۲	۵/۴	۱۴/۲	۶/۶	۲۹/۱
۲	۲/۹	۲/۶	۱۰/۸	۶/۱	۱۷/۸	۵/۶	۲۳/۸	۲/۴	۴/۱	۱۰/۴	۵/۸	۱۲/۹	۶/۷	۲۶/۶
۳	۲/۳	۲/۶	۹/۶	۷/۶	۱۹/۳	۵	۱۹/۲	۳/۴	۳/۲	۱۰/۷	۴	۱۳/۳	۶/۳	۲۸/۸
میانگین	۳/۵	۲/۶	۱۰/۴۳	۶/۷۳	۱۷/۷۶	۵/۷۶	۲۲/۸۳	۲/۳	۳/۳۶	۱۰/۱	۵/۰۶	۱۳/۴۶	۶/۵۳	۲۸/۱۶
انحراف معیار	۱/۵۸	۰	۰/۷۲	۰/۷۷	۱/۵۵	۰/۸۶	۳/۲۵	۱/۱۵	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۲	۱/۳۶
ضریب تغییرات	۰/۴۵	۰	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۵۰	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴
درصد تغییرات	۴۸۳/۳۳	۱۶/۴۱	۳/۴۱	۸/۰۲	۸/۵۵	۲۰/۶۴	۱۱/۸۴	۲۸۳/۳۳	۵۰/۷۴	۳/۱۹	۱۸/۷۱	۱۷/۷۱	۱۰/۰۹	۸/۷۵
۱	۲/۴	۲/۷	۱۰/۵	۶/۴	۱۴/۳	۶/۴	۲۲/۹	۲/۴	۵/۵	۱۲/۶	۵/۷	۱۴/۹	۶/۷	۳۰
۲	۲/۳	۳/۱	۱۰/۶	۵/۶	۱۴/۳	۴/۴	۲۱/۴	۱/۸	۵	۱۱/۵	۶	۱۵/۵	۵/۸	۲۸
۳	۱/۶	۳/۱	۱۰/۲	۵/۸	۱۵/۱	۵/۵	۲۴/۲	۲/۱	۵/۹	۱۳	۵/۷	۱۱	۶/۵	۲۹/۴
میانگین	۲/۱	۲/۹۶	۱۰/۴۳	۵/۹۳	۱۴/۵۶	۵/۴۳	۲۲/۸۳	۲/۱	۵/۴۶	۱۲/۳۶	۵/۸	۱۳/۸	۶/۳۳	۲۹/۱۳
انحراف معیار	۰/۴۳	۰/۲۳	۰/۲	۰/۴۱	۰/۴۶	۱	۱/۴	۰/۳	۰/۴۵	۰/۷۷	۰/۱۷	۲/۴۴	۰/۴۷	۱/۰۲
ضریب تغییرات	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۳
درصد تغییرات	۲۵۰/۰۰	۳۲/۸۳	۱/۷	۴/۸۱	۱۰/۹۹	۲۵/۲۲	۱۱/۸۴	۲۵۰	۱۴۴/۷۷	۱۸/۵۳	۶/۹۵	۱۵/۶۸	۱۲/۸۴	۱۲/۴۸

جدول ۶. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی ۱۶ هفته

بازه زمانی														تیمار	
قبل از کاربرد شبیه‌ساز							بعد از کاربرد شبیه‌ساز								
شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	۳۸	۳۸	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	>۳۸
۱	۱/۷	۳/۴	۹/۸	۶/۲	۱۳/۵	۷/۱	۲۹/۶	۱/۲	۲/۷	۱۰/۵	۵	۱۴/۴	۵/۶	۳۲	
۲	۱/۵	۳	۱۰/۷	۵/۲	۱۴/۶	۵/۸	۲۶/۵	۱/۳	۲/۸	۱۰/۳	۴/۴	۱۶/۶	۴/۸	۲۲/۲	
۳	۱/۶	۲/۸	۱۰/۶	۵/۷	۱۴/۹	۶/۵	۲۸	۱	۳	۱۱/۲	۴/۵	۱۴/۷	۵/۹	۳۲/۴	
میانگین	۱/۶	۳/۰۶	۱۰/۳۶	۵/۷	۱۴/۳۳	۶/۴۶	۲۸/۰۳	۱/۱۶	۲/۸۳	۱۰/۶۶	۴/۶۳	۱۵/۲۳	۵/۴۳	۲۸/۸۶	
انحراف معیار	۰/۱	۰/۳	۰/۴۹	۰/۵	۰/۷۳	۰/۶۵	۱/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۳۲	۱/۱۹	۰/۵۶	۵/۷۷	
ضریب تغییرات	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱	۰/۲	
درصد تغییرات	۱۶۶/۶۶	۷۳/۳۱	۰/۶۳	۸/۵۵	۱۲/۴۲	۱۱/۰۱	۸/۲۳	۹۴/۴۴	۲۶/۸۶	۲/۲۳	۲۵/۶۶	۶/۹۲	۲۵/۲۲	۱۱/۴۵	
۱	۲/۲	۳/۱	۱۰/۶	۵	۱۴/۳	۵/۸	۳۰/۲	۱/۹	۲/۵	۹/۴	۴/۷	۱۳/۲	۶	۲۹	
۲	۱/۸	۳/۲	۹/۱	۵	۱۴/۳	۶/۱	۲۸/۵	۱/۶	۲/۳	۹/۵	۴/۳	۱۵/۹	۵/۴	۳۰	
۳	۲	۲/۶	۹/۸	۵/۷	۱۵/۲	۶/۵	۲۹/۶	۲/۱	۲/۳	۱۰/۲	۵/۱	۱۶	۴/۹	۲۸/۹	
میانگین	۲	۲/۹۶	۹/۸۳	۵/۲۳	۱۴/۶	۶/۱۳	۲۹/۴۳	۱/۸۶	۲/۳۶	۹/۷	۴/۷	۱۵/۰۳	۵/۴۳	۲۹/۳	
انحراف معیار	۰/۲	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۴	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۸۶	۰/۲۵	۰/۱۱	۴/۳۴	۰/۴	۱/۵۸	۰/۵۵	۰/۶	
ضریب تغییرات	۰/۱	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱	۰/۰۲	
درصد تغییرات	۲۳۴/۳۳	۳۲/۸۳	۵/۷۵	۱۶/۰۴	۱۰/۷۹	۱۵/۵۹	۱۳/۶۴	۲۱۱/۱۱	۵/۹۷	۷/۰۲	۲۴/۵۹	۸/۱۴	۲۵/۲۲	۱۳/۱۲	
۱	۱/۶	۲/۸	۱۰/۲	۴/۵	۱۵/۳	۵/۸	۲۹/۶	۱/۲	۲/۴	۹/۸	۴/۷	۱۵/۹	۵	۳۱/۱	
۲	۱/۸	۲/۶	۱۰/۲	۴	۱۳/۴	۶/۱	۳۱/۸	۱/۳	۲/۲	۹/۵	۳/۸	۱۴/۳	۵/۶	۳۰/۷	
۳	۲	۲/۱	۹/۶	۴/۸	۱۴/۸	۶/۱	۳۰/۵	۱/۲	۲/۶	۱۰/۵	۵/۳	۱۵/۴	۵/۸	۳۲/۷	
میانگین	۱/۸	۲/۵	۱۰	۴/۴۳	۱۴/۵	۶	۳۰/۶۳	۱/۲۳	۲/۴	۹/۹۳	۴/۶	۱۵/۲	۵/۴۶	۳۱/۵	
انحراف معیار	۰/۲	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۴	۰/۹۸	۰/۱۷	۱/۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۴۱	۱/۰۵	
ضریب تغییرات	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۳	
درصد تغییرات	۲۰۰	۱۱/۹۴	۴/۱۵	۲۸/۸۷	۱۱/۴	۱۷/۴۳	۱۸/۲۷	۱۰۵/۵۵	۷/۴۶	۴/۷۹	۲۶/۲	۷/۱۲	۲۴/۷۷	۲۱/۶۲	

جدول ۷. نتایج پایداری خاک در تیمارهای کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها قبل و بعد از کاربرد شبیه ساز باران برای بازه زمانی ۳۲ هفته

بازه زمانی														تیما
قبل از کاربرد شبیه‌ساز							بعد از کاربرد شبیه‌ساز							
شماره الک (میکرومتر)	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۳	۳۸	۳۸	۵۳	۱۰۰	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۳۸	۳۸
۱	۰/۹	۲/۸	۹/۹	۶/۲	۱۱/۸	۶/۳	۲۴/۹	۱/۰	۲/۳	۷/۱	۴/۸	۹/۲	۲/۷	۲۱/۵
۲	۲	۲/۵	۱۰/۲	۵/۷	۱۶/۳	۶/۳	۲۲	۱/۰	۲/۶	۷/۶	۳/۶	۱۰/۵	۴/۵	۲۴/۴
۳	۲/۳	۲/۶	۹/۵	۵/۲	۱۶/۳	۵/۶	۲۳/۷	۱/۲	۳	۶/۸	۴/۱	۹/۹	۵/۱	۲۲/۹
میانگین	۱/۷۳	۲/۶۳	۹/۹۸	۵/۷	۱۴/۸	۶/۰۶	۲۳/۵۳	۱/۰۶	۲/۶۳	۷/۱۶	۴/۱۶	۹/۸۶	۴/۱	۲۲/۹۳
انحراف معیار	۰/۷۳	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۵	۲/۵۹	۰/۴۰۴	۱/۴۵	۱/۷۳	۲/۶۳	۹/۸۶	۵/۷	۱۴/۸	۶/۰۶	۲۳/۵۳
ضریب تغییرات	۰/۴۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۳	۰/۰۶
درصد تغییرات	۱۸۸/۱۸۸	۱۷/۹۱	۵/۴۳	۸/۵۵	۹/۵۷	۱۶/۵۱	۹/۱۳	۷۷/۷۷	۱۷/۹۱	۳۱/۳	۳۳/۱۵	۳۹/۷۱	۴۳/۵۷	۱۱/۴۵
۱	۲/۴	۲/۶	۸/۶	۵/۶	۱۴/۵	۴/۶	۲۴	۱/۸	۲/۷	۹/۲	۳/۵	۱۳/۲	۴/۳	۲۳/۱
۲	۲/۱	۲/۶	۹/۱	۵/۸	۱۲	۶/۱	۲۶/۲	۱/۵	۲/۳	۷/۹	۴/۵	۱۱/۱	۴/۶	۲۵/۴
۳	۲/۴	۲/۲	۸/۶	۵/۱	۱۲/۳	۵/۶	۲۹/۲	۲/۴	۲/۸	۱۰/۳	۵/۵	۱۷/۷	۷/۱	۲۶/۳
میانگین	۲/۳	۲/۴۶	۸/۷۶	۵/۵	۱۲/۹۳	۵/۴۳	۲۶/۴۶	۱/۹	۲/۶	۹/۱۳	۴/۵	۱۴	۵/۳۳	۲۴/۹۳
انحراف معیار	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۳۶	۱/۳۶	۰/۷۶	۲/۶۱	۰/۴۵	۰/۲۶	۹/۱۳	۱	۳/۳۷	۱/۵۳	۱/۶۵
ضریب تغییرات	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۹
درصد تغییرات	۲۸۳/۳۳	۱۰/۴۴	۱۵/۹۷	۱۱/۷۶	۲۰/۹۷	۲۵/۲۲	۲/۱۵	۲۱۶/۶۶	۱۶/۴۱	۱۲/۴۶	۲۷/۸	۱۴/۴۶	۲۶/۶	۳/۷۳
۱	۱/۸	۲/۷	۸/۹	۴/۸	۱۳/۱	۵/۶	۲۶/۸	۲/۴	۳/۶	۹/۶	۷/۲	۱۱/۵	۵/۸	۳۶/۶
۲	۲/۵	۲/۵	۸/۸	۷/۱	۱۰/۹	۵/۷	۲۵	۱/۶	۲	۶/۸	۳/۷	۱۰/۳	۴/۶	۲۶/۷
۳	۱/۹	۳/۳	۹/۹	۴/۷	۱۴	۵/۲	۲۵/۹	۱/۹	۴/۶	۱۰/۶	۴/۱	۱۴/۵	۵/۱	۲۲/۷
میانگین	۲/۰۶	۲/۸۳	۲/۹	۵/۵۳	۱۲/۶۶	۵/۵	۲۹/۹	۱/۹۶	۳/۴	۹	۵	۱۲/۱	۵/۱۶	۲۴/۳۳
انحراف معیار	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۶	۱/۳۵	۱/۵۹	۰/۲۶	۰/۹	۰/۴	۱/۳۱	۱/۹۶	۱/۹۱	۳/۹۷	۰/۶	۲/۰۹
ضریب تغییرات	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۲	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۰۸
درصد تغییرات	۲۴۴/۴۴	۲۶/۸۶	۱۱/۸۲	۱۱/۲۲	۲۲/۶	۲۴/۳۱	۰	۲۷۷/۷۷	۵۲/۲۳	۱۳/۷۳	۱۹/۷۸	۲۶/۰۶	۲۸/۸۹	۶/۰۴

جدول ۸. نتایج آنالیز GLM گرا دیستات قبل و بعد از کاربرد افزودنی‌ها بر پایداری خاک در دوره‌های زمانی مورد بررسی

سطح	آماره F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۰	۹/۰۴	۰/۳۹	۳	۱/۱۹	D _{۱۰}
۰/۰۶۴	۲/۴۹	۵۸/۳۱	۳	۱۷۴/۹۵	D _{۵۰}
۰/۰۰	۵۶/۴۹	۱۳۴۲۵/۲۶	۳	۴۰۲۷۵/۸۰۲	D _{۹۰}
۰/۰۰	۱۳۷/۸۴	۳/۷۰۸	۳	۱۱/۱۲	جورشدگی
۰/۰۰	۶۸/۵۷	۰/۱۱	۳	۰/۳۳	چولگی
۰/۱۴	۱/۸۵	۰/۰۰۴	۳	۰/۰۱	کشیدگی
۰/۰۰	۹/۱۲	۰/۴	۵	۲/۰۰۲	D _{۱۰}
۰/۰۰	۱۲/۶۲	۲۹۴/۸۵	۵	۱۴۷۴/۲۵	D _{۵۰}
۰/۰۰	۸/۷۷	۲۰۸۴/۸۳	۵	۱۰۴۲۴/۱۵	D _{۹۰}
۰/۰۰	۱۷/۸۴	۰/۴۸	۵	۲/۴۰۱	جورشدگی
۰/۰۰	۱۵/۱۲	۰/۰۲	۵	۰/۱۲	چولگی
۰/۰۰	۹/۲۰۸	۰/۰۱	۵	۰/۰۹	کشیدگی
۰/۰۰	۱۷/۲۴	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	D _{۱۰}
۰/۰۰	۱۹/۳۳	۴۵۱/۵۶	۱	۴۵۱/۵۶	D _{۵۰}
۰/۲	۱/۵۸	۳۷۷/۶۵	۱	۳۷۷/۶۵	D _{۹۰}
۰/۱۶	۲/۰۰۹	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	جورشدگی
۰/۰۱	۶/۴	۰/۰۱	۱	۰/۰۱	چولگی
۰/۰۰	۳۹/۳	۰/۰۸	۱	۰/۰۸	کشیدگی
۰/۰۸	۱/۶۱	۰/۰۷	۱۵	۱/۰۶	D _{۱۰}
۰/۰۰۸	۲/۲۹	۵۳/۶۷	۱۵	۸۰۵/۰۹	D _{۵۰}
۰/۰۰۲	۲/۶۲	۶۲۳/۱۹	۱۵	۹۳۴۷/۹۸	D _{۹۰}
۰/۰۰۲	۲/۶۷	۰/۰۷	۱۵	۱/۰۷	جورشدگی
۰/۰۴	۱/۸۳	۰/۰۰۳	۱۵	۰/۰۴	چولگی
۰/۰۰۶	۲/۳۶	۰/۰۰۵	۱۵	۰/۰۷	کشیدگی
۰/۰۰	۱۱/۸۱	۰/۵۱	۳	۱/۵۵	D _{۱۰}
۰/۰۵	۲/۶۹	۶۲/۸۳	۳	۱۸۸/۵۱	D _{۵۰}
۰/۸۷	۰/۲۳	۵۶/۲۵	۳	۱۶۸/۷۷	D _{۹۰}
۰/۰۰۵	۴/۵۴	۰/۱۲	۳	۰/۳۶	جورشدگی
۰/۵	۰/۷۵	۰/۰۰۱	۳	۰/۰۰۴	چولگی
۰/۰۰۵	۴/۵۱	۰/۰۰۹	۳	۰/۰۲	کشیدگی
۰/۰۰۸	۳/۳۳	۰/۱۴	۵	۰/۷۳	D _{۱۰}
۰/۰۲	۲/۷۷	۶۴/۸۵	۵	۳۲۴/۲۸	D _{۵۰}
۰/۰۰	۵/۶۳	۱۳۳۹/۶۲	۵	۶۶۹۸/۱۲	D _{۹۰}
۰/۰۲	۲/۶۲	۰/۰۷	۵	۰/۳۵	جورشدگی
۰/۲۱	۱/۴۴	۰/۰۰۲	۵	۰/۰۱	چولگی
۰/۰۰	۵/۸۱	۰/۰۱	۵	۰/۰۶	کشیدگی

جدول ۹. نتایج آنالیز Duncan قبل و بعد از کاربرد افزودنی‌ها بر پایداری خاک در دوره‌های زمانی مورد بررسی			
زیرگروه اول	زیرگروه دوم	زیرگروه سوم	
D _۱ . زئولیت، کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت (۳/۸۹، ۳/۸۶ و ۳/۹۱)	شاهد (۴/۰۹)	--	
D _۵ . زئولیت، کمپوست و ترکیب کمپوست و زئولیت (۵۴/۱ و ۵۳/۳۵، ۵۲/۱۴)	کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت، شاهد (۵۵/۱۶، ۵۴/۱، ۵۳/۳۵)	--	
D _۹ . شاهد (۱۸۹/۸۶)	کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت، زئولیت (۲۳۰/۴۵، ۲۳۰/۱۶، ۲۲۲/۹۸)	--	
جورشدگی (۴/۲۴)	کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت (۴/۸۶، ۴/۸۲)	ترکیب کمپوست و زئولیت، زئولیت (۴/۹۳، ۴/۸۶)	
چولگی (-۰/۳۵)	کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت (-۰/۲۵۲، -۰/۲۵۵)	زئولیت (-۰/۲۳)	
کشیدگی (۰/۸۷، ۰/۸۸، ۰/۸۹)	شاهد، کمپوست، ترکیب کمپوست و زئولیت (۰/۸۸، ۰/۸۹، ۰/۹۰)	--	
بازه زمانی			
زیرگروه اول	زیرگروه دوم	زیرگروه سوم	زیرگروه چهارم
D _۱ . ۲۴ ساعت (۳/۷۱)	۱۶ هفته، ۳۲ هفته، چهار هفته، ۳۲ هفته، چهار هفته، دو هفته، هشت هفته (۳/۹۹، ۳/۹۴، ۳/۸۹)	۱۶ هفته، ۳۲ هفته، چهار هفته، دو هفته، هشت هفته (۴/۰۶، ۴/۰۴، ۳/۹۹، ۳/۹۴)	--
D _۵ . ۲۴ ساعت (۴۷/۳۹)	۱۶ هفته، ۳۲ هفته، دو هفته (۵۵/۳۹، ۵۳/۴۸، ۵۲/۵۵)	دو هفته، هشت هفته، چهار هفته (۵۶/۷۳، ۵۶/۵۷، ۵۵/۳۹)	--
D _۹ . ۱۶ هفته، ۳۲ هفته (۲۰۹/۷۴، ۲۰۵/۳۲)	۳۲ هفته، هشت هفته (۲۱۷/۳، ۲۰۹/۷۴)	۲۴ ساعت، چهار هفته، دو هفته (۲۲۷/۷۹، ۲۲۷/۳۹، ۲۲۲/۶۴)	هشت هفته، ۲۴ ساعت (۲۲۲/۶۴، ۲۱۷/۳)
جورشدگی (۴/۵۷، ۴/۴۶، ۴/۴۲)	۱۶ هفته، ۳۲ هفته، هشت هفته (۴/۷۹، ۴/۷۶)	۲۴ ساعت (۴/۹۴)	--
چولگی (-۰/۲۹۷، -۰/۲۹۵، -۰/۲۸۹، -۰/۲۸۶)	دو هفته (-۰/۲۶)	۲۴ ساعت (-۰/۲۱)	--
کشیدگی (۰/۸۵، ۰/۸۶، ۰/۸۸، ۰/۸۸۲)	۱۶ هفته، ۲۴ ساعت، ۳۲ هفته، چهار هفته (۰/۸۸۲، ۰/۸۸۱، ۰/۸۶)	هشت هفته، دو هفته (۰/۹۳، ۰/۹۱)	--

خاک به هم چسبیده و در نتیجه میانگین قطر خاکدانه‌های خاک را افزایش دهد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج برخی از پژوهش‌گران هم‌خوانی دارد. در این زمینه Folli and Cooperband (۲۰۰۲) بیان کردند اضافه کردن کمپوست موجب می‌شود که میزان کربن آلی خاک افزایش یافته و نیز باعث بهبود و افزایش پایداری خاکدانه‌ها شده که در اثر برهم کنش بین ریز جانداران و ذرات معدنی خاک به وجود می‌آید. هم‌چنین با نتایج Bouslihim و همکاران (۲۰۲۱) نیز هم‌خوانی داشته، ایشان بیان داشتند که مواد آلی موجود در خاک موجب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌های خاک شود. زئولیت نیز به‌عنوان یک افزودنی معدنی موجب تغییرات در پایداری خاکدانه‌ها و میانگین قطر خاکدانه‌های شد. که در این زمینه نیز Benkova و همکاران (۲۰۰۵) اثر زئولیت بر پایداری خاکدانه‌ها را با استفاده از الک تر بررسی کردند و دریافتند که میانگین قطر خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. ایشان بیان داشتند که زئولیت تأثیرات قابل توجهی بر اتصال ذرات خاک برای افزایش اندازه خاکدانه‌های آن دارد. هم‌چنین در زمینه سایر افزودنی‌ها بر تغییرات میانگین قطر خاکدانه‌های

نتایج ارزیابی تغییرات پایداری خاکدانه‌ها با الک ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۵۳، ۳۸ و کمتر از ۳۸ میکرومتر با استفاده از کاربرد افزودنی کمپوست، زئولیت و ترکیب آن‌ها نسبت به تیمار شاهد نشان داد که این افزودنی‌ها در زمان‌های مختلف پایداری خاکدانه‌های خاک را افزایش دادند (Bouslihim et al, 2021; Amirahmadi et al, 2019; Haghjo et al, 2019). در زمینه اثر افزودنی و دوره‌های زمانی Haghjo و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که کاربرد افزودنی پلی‌وینیل‌استات توانست پایداری خاکدانه‌های خاک را در دوره‌های زمانی مورد استفاده افزایش دهد. بنابراین نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج ایشان مطابقت دارد. تغییرات میانگین قطر خاکدانه‌های خاک نشان داد که تأثیر تیمارهای حفاظتی استفاده شده بر این مولفه تقریباً مشابه بود، اما همان‌گونه که در زیرگروه بندی تیمارها مشاهده می‌شود زئولیت و ترکیب کمپوست و زئولیت نتایجی مشابه با تیمار شاهد نشان دادند. اما تیمار کمپوست نتایج بهتری را بر میانگین قطر خاکدانه‌های خاک داشت. دلیل این موضوع می‌تواند به وجود مواد آلی در کمپوست نسبت داده شود. چراکه با ایجاد چسبندگی در بین خاکدانه‌های خاک موجب می‌شود که ذرات

که تیمار ژئولیت اثر بیش‌تری بر این متغیرها داشته و در زیرگروه سوم قرار داشت و تیمار ترکیبی آن‌ها نتایجی مشابه با تیمار کمپوست و ژئولیت داشت و بنابراین در هر دو زیرگروه دوم و سوم قرار گرفت (جدول ۹). بررسی نتایج آزمون دانکن نشان داد که افزایش بازه زمانی موجب افزایش تدریجی متغیرهای D_{10} و D_{50} شد که خود نشان‌دهنده زمان برای اتصال ذرات بوده که در روش الک کردن مقاومت کرده است. بازه زمانی ۲۴ ساعت در زیرگروه اول قرار گرفت و بازه زمانی چهار و هشت هفته زیرگروه سوم قرار داشتند که اثرات مناسب-تری را نسبت به دیگر بازه‌های زمانی داشتند. بازه‌های زمانی ۱۶ و ۳۲ هفته در زیرگروه دوم قرار داشتند و اثرات کمتری را نسبت به بازه‌های چهار و هشت نشان دادند. احتمالاً یکی از دلیل اثرات کمتر بازه زمانی ۱۶ و ۳۲ هفته می‌تواند تجزیه شدن مواد آلی با گذشت زمان باشد. نتایج نشان داد هر چه زمان اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها بیش‌تر باشد، میزان متغیر D_{90} کمتر شده و در بازه زمانی کم مقدار این متغیر بیش‌تر خواهد شد. این نشان می‌دهد که افزودنی‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در بازه‌های زمانی کمتر اثر چسبندگی بیش‌تری دارند (خصوصاً چهار و هشت هفته) و با افزایش بازه‌های زمانی اثر چسبندگی خود را از دست می‌دهند. همچنین اثر بازه زمانی بر متغیر جورشدهگی نشان داد که گذشت زمان موجب انحراف معیار کمتر شده و جورشدهگی بیش‌تر خواهد شد. ولی از هشت هفته به بعد دیگر تغییری در این متغیر مشاهده نشد. متغیر چولگی نیز تغییرات آن مشابه با جورشدهگی بود اما در مورد این متغیر از چهار هفته به بعد تغییری مشاهده نشد (جدول ۹).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر کمپوست، ژئولیت و ترکیب این دو تیمار بر پایداری خاکدانه‌ها در شرایط آزمایشگاهی تحت شبیه-ساز باران و دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اضافه کردن افزودنی کمپوست بر خاک باعث افزایش پایداری خاکدانه شد و دو افزودنی دیگر تاثیر تقریباً مشابه با خاک شاهد داشت. دلیل این موضوع می‌تواند به وجود مواد آلی در کمپوست نسبت داده شود. چراکه با ایجاد چسبندگی در بین خاکدانه‌های خاک موجب می‌شود که ذرات خاک به هم چسبیده و در نتیجه میانگین قطر خاکدانه‌های خاک را افزایش دهد. همچنین اثر گذشت زمان نیز باعث تاثیر بیش‌تر افزودنی کمپوست برای افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردید. نتایج آزمون GLM نشان داد که اثر افزودنی‌های خاک (کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها)، بر مولفه‌های D_{10} ، D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، D_{25}/D_{75} ، D_{50} را افزایش دهند. اثر

خاک، Mohamadi and KHademrasol (۲۰۲۱) بیان کردند که تیمارهای ژئوپلانت و زغال‌زیستی باگاس سبب افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها می‌شود. در پژوهش حاضر زمان کاربرد افزودنی‌ها نیز بیان کننده این موضوع بود که در زمان‌های هشت و چهار هفته تاثیرات افزودنی‌های خاک بر میانگین قطر خاکدانه‌های خاک بیش‌تر است. در حالی‌که تاثیرات افزودنی‌ها در زمان‌های ۱۶ و ۳۲ هفته نسبت به هشت و چهار هفته بر پایداری خاکدانه‌های خاک کمتر بود که یکی از دلایل آن می‌تواند این باشد که با گذشت زمان رطوبت موجود در خاک کاهش می‌یابد. پس خاکدانه‌ها در این شرایط نسبت به خرد شدن و شکنندگی مستعدترند. Teodoro و همکاران (۲۰۱۹) و Paradelo و همکاران (۲۰۱۹) نیز به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن کمپوست به خاک باعث پایداری خاکدانه‌ها بعد از دوره‌های زمانی مورد بررسی شد.

نتایج آزمون GLM نشان داد که اثر افزودنی‌های خاک (کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها)، بر مولفه‌های D_{10} ، D_{90} ، D_{10}/D_{90} ، D_{25}/D_{75} ، D_{50} ، چولگی و جورشدهگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود اما روی متغیرهای D_{50} و کشیدگی معنی‌دار نبود. اثر بازه زمانی بر تمامی متغیرهای مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. هم-چنین اثر شبیه‌ساز باران تنها بر متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{25}/D_{75} ، چولگی و کشیدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها و بازه زمانی بر متغیرهای D_{10} و D_{25}/D_{75} معنی‌دار نبود و بر سایر متغیرهای بررسی شده جهت پایداری خاک معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارهای حفاظتی و شبیه‌ساز باران بر متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{10}/D_{90} ، D_{25}/D_{75} ، جورشدهگی و کشیدگی در سطح ۹۵ درصد معنی-دار بود. در نهایت اثر متقابل بازه زمانی و شبیه‌ساز باران بر تمامی متغیرها بجز چولگی معنی‌دار بود (جدول ۸). در بررسی نتایج آزمون دانکن بر متغیرهای مورد بررسی در پایداری خاکدانه‌های خاک مشخص شد که افزودنی‌های مورد استفاده برای متغیر D_{10} ، کمپوست، ژئولیت و ترکیب آن‌ها همگی در زیرگروه اول قرار گرفتند که موجب ریزتر شدن خاک شدند و این امر می‌تواند دلیل وجود ذرات بسیار ریز موجود در ژئولیت باشد. تغییرات متغیر D_{50} نیز شبیه به تغییرات متغیر D_{10} است. با این تفاوت که اختلاف شاهد، کمپوست و ترکیب کمپوست و ژئولیت زیاد نبوده و فقط تیمار ژئولیت با شاهد اختلافات بیش‌تری از نظر میانگین دارد. در مورد متغیر D_{90} ، در تیمار شاهد میانگین برآورد شده از سه میانگین تیمارهای حفاظتی کوچک‌تر است. سه تیمار حفاظتی در یک زیرگروه قرار داشتند که در واقع این‌گونه می‌توان بیان نمود که ژئولیت و هم‌چنین کمپوست توانستند متغیر D_{90} را افزایش دهند. اثر تیمارهای حفاظتی بر جورشدهگی، چولگی و کشیدگی نشان داد

جورشده‌گی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود و اثر بازه زمانی بر تمامی متغیرهای مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر شبیه‌ساز باران تنها بر متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{75}/D_{25} ، چولگی و کشیدگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها و بازه زمانی بر متغیرهای D_{10} و D_{75}/D_{25} معنی‌دار نبود و بر سایر متغیرهای بررسی شده

جهت پایداری خاک معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارهای حفاظتی و شبیه‌ساز باران بر متغیرهای D_{10} ، D_{50} ، D_{90}/D_{10} ، D_{75}/D_{25} ، جورشده‌گی و کشیدگی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. در نهایت اثر متقابل بازه زمانی و شبیه‌ساز باران بر تمامی متغیرها بجز چولگی معنی‌دار بود.

Reference:

- Amezketta, E., 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14 (2-3): 83-151.
- Amirahmadi, A., Hojjati, S.M., Bi-Porva, P., and Kaman, K. (2019). The effect of zeolite on nitrate leaching, soil aggregate stability, and seedling growth of Persian oak (*Quercus castaneifolia* CA Mey.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27(3): 258-271.
- Annabi, M., Houot, S., Francou, C., Poitrenaud, M., and Bissonnais, Y. L. (2007). Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 413-423.
- Bast, A., Wilcke, W., Graf, F., Lüscher, P., & Gärtner, H. (2015). A simplified and rapid technique to *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- Behzadfar, M., Sadeghi, S.H., Khanjani, M.J., and Hazbavi, Z., 2017. Effects of rates and time of zeolite application on controlling runoff generation and soil loss from a soil subjected to a freeze-thaw cycle. *International Soil and Water Conservation Research*, 5:2. 95-101
- Benkova, M., E. Filcheva., T. Raytchev., Z. Sokolowska., and Hajnos, M., 2005. Impact of different ameliorants on humus state in acid soil polluted with heavy metals, *Physicochemical Management Of Acid Soils Polluted With Heavy Metals* . 46-58.
- Bian, X., Ren, Z., Zeng, L., Zhao, F., Yao, Y. and Li, X., 2024. Effects of biochar on the compressibility of soil with high water content. *Journal of Cleaner Production*, 434, p.140032.
- Bouslih, Y., A Rochdi., and Paaza, N.E.A., 2021. Machine learning approaches for the prediction of soil aggregate stability. *Heliyon*, 1;7(3), e06480.
- Bronick, C. J., and Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Denef, K., Six, J., Merckx, R., and Paustian, K. (2004). Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1935-1944.
- Foley B. J. and L.R. Cooperband. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *Journal of Environmental Quality*. 31, 2086-2095.
- Gang, Q., Dan, G., and Mei-Ying, F. (2013). Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended. *Journal of Environmental Technology*, (85), 150-155.
- Gerzabek, M.H., H Kirchmann., and Pichlmayer, F. 1995. Response of soil aggregates stability to manure amendments in the Ultuna long- term soil organic matter experiment. *Zeitschrift- Fur Pflanzenernahrung- und- Bodenkunde*. 158: 257-260.
- Gholami, L., A.V Khaledi Darvishan., and kavian, A. 2016. Wood chips as soil conservation in field conditions. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 729.
- Gholami, L., K Banasik., S.H.R Sadeghi., A.V Khaledi Darvishan., and Hejduk, L., 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*, 22 (VII-IX), 51-60.
- Gholami, L., Shahedi, K., and Kavian A., 2019. Determining the optimal amount of livestock compost in order to control runoff and soil loss under simulated rain. *Watershed Management Research (Research and Construction)*, 32 (4), 19-33.
- Gholami, L., Shahidi, K., and Kavian, A. (2019). Determining the optimal amount of animal compost to control runoff and soil loss under simulated rainfall. *Watershed Research (Research and Construction)*, 32(4): 19-33.
- Ghosh, B.N., V.S Meena., R.J Singh., N.M Alam., S Patra., R Bhattacharyya., N.K Sharma., K.S Dadhwal., and Mishra, P.K., 2019. Effects of fertilization on soil aggregation, carbon distribution and carbon management index of maize-wheat rotation in the north western Indian Himalayas. *Ecological Indicators*, 105, 415-424.
- Gruhn, P., F. Goletti and M. Yudelman. 2000. Integrated nutrient management, soil fertility and sustainable agriculture: current issues and future challenges. p. 38. IFPRI (International Food Policy Research Institute), Washington DC, USA. in Chahe town, Southwest China: A hazard index approach. *Catena* 144, 184-193.

- Haghjoo, Z., Gholami, L., Kavian, A., Mosavi, S. R. 2019. Changes study of soil splash and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. (In Persian)
- Haghjou, Z., Gholami, L., Kavyan, A., and Mousavi, S.R. (2017). Evaluation of the timing of polyvinyl acetate application on soil aggregate stability. *Proceedings of the 3rd National Congress on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Sciences in Iran*, Tehran. 5 pages.
- Haghjou, Zahra, Leila Gholami, Ataollah Kavyan, and Seyed Ramadan Mousavi. (2019). Investigation of soil aggregate changes and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(47): 52-62.
- Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A., and Sabzalian, M. R. (2015). Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic holding capacity and plant water use efficiency. In *10th Australian Agronomy Conference 2001*. The Regional Institute. Geoderma, 249, 87-99.
- Kavvan, A., Alipour, A., Soleimani, K., and Gholami, L. (2019). Measurement and comparison of soil splash erosion rates affected by acidity and rainfall intensity. *Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 23(1): 177-186.
- Kay, B.D. 2000. Soil Structure, in: *Handbook of Soil Science*. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229-A264.
- Khademalrasoul A., Naveed, M., Heckrath, G., Kumari, K.G.I.D., de Jonge, L.W., Elsgaard, L., Vogel, H.J., and Iversen, B.V. (2014). Biochar effects on soil aggregate properties under no-till maize. *Soil Science*. (179), 273-283.
- Khademalrasoul, Kuhn, J.N., Elsgaard, L., Hu, Y., Iversen, B.V., Heckrath, G. (2019). A. Short-term Effects of Biochar Application on Soil Loss During a Rainfall-Runoff Simulation. *Soil Science*. (184), 17-24.
- Khaledi Darvishan, A., Gholami, L., and Mohammadi Pour, S. (2007). Introduction of the GRADISTAT macro software for particle size distribution calculations. *Proceedings of the 3rd Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management*, pp. 540-536.
- Le Bissonnais, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. 1. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47 (4), 425-437.
- Legout, C., Leguedois, S., and Le Bissonnais, Y., 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements. *Eur. J. Soil Sci.* 56 (2), 225-237.
- Lim, S.L., L.H Lee., and Wu, T.Y., 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*. 111, 262-278.
- Maafi, G., Gholami, L., Kavvan, A., and Khairfam, H. (2024). Changes in soil aggregates due to the application of biochar derived from poplar branches. *Journal of Watershed Sciences and Engineering in Iran*, 18(66): 26-37.
- Malayi Ranani, M., Bashari, H., Mahdi Basiri, M., and Mohammad Reza Mozdighi. (2014). Evaluation of soil structure stability using the wet sieving method in some rangeland locations of Isfahan province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 18(70): 121-131.
- Mohammadi, N., Khadem Al-Rasoul, A. (2021). Evaluation of the effectiveness of zeoplants and biochar from sugarcane waste on the mean weight diameter of soil aggregates and Atterberg limits of soils contaminated with petroleum substances. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 52(2): 395-407.
- Najafi, Z., Baba Akbari Sari, M., Vaez, A.R., and Ahmadi, Sh. (2021). The effect of different levels of polyacrylate and humic acid on soil aggregate stability and field capacity moisture of saline and sodic soils. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 52(1): 16-24.
- Paradelo, R., TH Z Lerch., S Houot., and Dignac, M F, 2019. Composting modifies the patterns of incorporation of OC and N from plant residues into soil aggregates, *Geoderma* 353, 415-422.
- Qian, X., G Shen., Z Wang., C Guo., Y Liu., Z Lei., and Zhang, Z., 2014. Co composting of livestock manure with rice straw: characterization and establishment of maturity evaluation system. *Waste Manag.* 34(2), 530-535.
- Ramesh, K., D Damodar Reddy., A Kumar Biswas., and Subba Rao, A., 2011. Zeolites and their potential uses in agriculture. *Advances in agronomy*, 113, 219-241.
- Ramesh, K., D Damodar Reddy., A Kumar Biswas., and Subba Rao, A., 2011. Zeolites and their potential uses in agriculture. *Adv. Agron.* 113, 215-230.
- Sadeghi, S.S.H.R., Karimi, Z., and Hashemi Aryan, Z. (2017). Combined application of polyacrylamide and vermicompost on runoff control and soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 9(1): 1-10.
- Seyadat, S.A., and Moradi Talavat, M.R. (2011). *Practical aspects of organic agriculture*. Agricultural Education and Promotion Publications, 246.
- Shi, P., F Castaldi., B Wesemael., and K Oost., 2020. Vis-NIR spectroscopic assessment of soil aggregate stability and aggregate size distribution in the Belgian Loam Belt, *Geoderma* 357.

- Sohraab, F., Abbasi, N., and Mahdipour, A. (2015). Investigation of the effect of zeolite application on soil aggregate stability indices. *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 29(3): 663-672.
- Taqdisi Heydarian, S. Z., Khorasani, R., and Emami, H. (2018). The effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 25(5): 149-166.
- Teodoro, M., L Trakal., Gallagher, B.N, Simek, P, Soudek, P, Pohorely, M, Beesley, L, Jacka, L, Kovar, M, Seyedsadr, S, and Mohan, D, 2019, Application of co-composted biochar significantly improved plant growth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil, chemical properties of a metal contaminated soil, *Chemosphere*, doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125255>.
- Tisdall, J. M., and Adem, H. H. (1986). Effect of type of seedbed, type of irrigation, and of a mulch on seedling emergence, growth and yield of maize (*Zea mays*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26(2), 197-200.
- Yekzaban, A., Mousavi, S.A., Thamani, A.M., and Rezaei, M. (2022). The effect of biochar from palm leaves and lemon peel on some physical and mechanical properties of a sandy loam soil. *Water and Soil Modeling and Management*, 3(1): 69-83.

یادداشت‌ها

¹ *Aggregate Stability*

² *Aggregates Ingress*

³ *Dispersible clay*

⁴ *Paradelo*

⁵ *Haplic Luvisol*

⁶ *Teodoro*

⁷ *Bian*

⁸ *Sohrab*

⁹ *AmirAhmadi*

¹⁰ *Haghjo*

¹¹ *Mohamadi and KHadem rasol*

¹² *Yekzaban*

¹³ *Moaffi*