Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 113-126

Effect of Organic and Chemical Conditioners on Aggregate Stability, Least Limiting Water Range and Integral Water Capacity under Wheat Cultivation in Saline Soils

A. Nosrati Miandoab[1], H. Emami[2]*, A.R. Astaraei[3], M.R. Mosaddeghi[4], H. Asgarzadeh[5]

Received: 22-01-2022
Revised: 08-02-2022
Accepted: 14-03-2022
Available Online: 20-05-2022

How to cite this article:
Nosrati Miandoab A., Emami H., Astaraei A.R., Mosadeqi M.R., and Askarzadeh H. 2022. Effect of Organic and Chemical Conditioners on Aggregate Stability, Least Limiting Water Range and Integral Water Capacity under Wheat Cultivation in Saline Soils. Journal of Water and Soil 36(1): 113-126. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JSW.2022.74361.1128

Introduction

Soil salinity has a negative effect on physical, chemical and biological properties of soil. Salinity also affects the relationships between soil and plants, which in turn has a significant effect on plant growth. One of the solutions used to reduce the effects of salinity and improve the physical properties of the soil is application of organic and chemical conditioners. Organic matter as well as calcium improve the structure and physical condition of the soil. Conditioners in saline soils include soluble calcium salts such as gypsum ($CaSO_4.2H2O$), calcium chloride ($CaCl_2.2H2O$) and phosphogypsum (phosphorous gypsum), and acids such as sulfuric acid, sulfur, pyrite, Aluminum sulfate and sulfur lime (calcium polysulfide). Strategies aimed at evaluating and ameliorating the structural quality of soils should be developed to ensure the sustainable use of lands. The least limiting water range (LLWR) attempts to incorporate crop-limiting values of soil strength, aeration, and water supply to plant roots into one effective parameter (on the basis of soil water content). The LLWR can be a useful indicator of soil quality and soil physical constraints on crop production. Therefore, the objective of this research was to study the effects of organic and inorganic conditioners on some structural and hydraulic indices of saline sodic soils.

Material and Methods

In this study, the effect of two types of organic and chemical conditioners and the simultaneous application of them on modifying the physical properties of 5 saline soils around the lake of Urmia were investigated. Treatments included algae, salfit and algae+salfit. The soil samples were transferred to culture boxes (40 × 40 × 40) according to the bulk density of the sampling site. The soil samples were wetted and dried several times. Conditioners treatments including application of calcium and organic compounds. After reaching the field capacity, wheat seeds were sown and irrigated with water (electrical conductivity 0.28 dS/m and pH= 7.78). It should be noted that irrigation was done at intervals of 8 days. Two months after the beginning the experiment, irrigation was stopped and soil moisture was allowed to reach a permanent wilting point. At this stage, undisturbed soil samples were prepared from the treated soil of each box and the mean weight-diameter of dry (MWD_{dry}) and wet (MWD_{wet}) aggregates were measured. Then the values of least limiting water range in two suctions of 330 and 100 cm and water integral capacity of samples were measured.

Results and Discussion

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: emami@um.ac.ir)
4- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
5- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

According to the initial analysis, all soils used were saline and the amount of calcium carbonate was high in two soils (number 3 and 5). Soil organic carbon content was also low. The results of salfit analysis also showed that the dissolved calcium and sulfur content were 8 and 3.9%, respectively. The results showed that soil 1 had the highest amount of MWD_{wet} and soil 5 had the lowest amount of MWD_{wet}. The highest and lowest aggregate stability values were obtained in soils 3 and 5, respectively, where soil 5 was very saline soil. The studied soils differed in terms of soil water relations. The highest amount of LLWR330 was found in soil 5, while the lowest amount of LLWR100 and IWC parameters was also obtained in same soil. The results of this study showed that salfit treatment caused the highest increase in aggregate stability (74.9%) LLWR330 (14.5%) and integral water capacity (26.2%) compared to the control and the highest mean weight-diameter of aggregates in both wet and dry conditions was obtained in salfit-algae treatment (52.4% and 40.4% increase, respectively). The results of correlation analysis among the measured parameters showed that the highest correlation was found between aggregate stability and MWD_{wet}. Among the measured parameters, aggregate stability had the highest correlation with other parameters and the correlation of this parameter with LLWR330, LLWR100, IWC and MWD_{wet} were 0.36, 55, 75 and 88 %, respectively. Soil water integral capacity also had a significant correlation ($p < 0.01$) with LLWR330 (0.84) and MWD_{wet} (0.7).

Conclusion

The effect of initial soil properties on studied parameters was significant and the use of conditioners improved studied parameters, and use of conditioners increased indices structural and hydraulic of saline soils. In general, the results of this study showed the positive effect of conditioners on physical properties of the studied soils, in which salfit and salfit-algae have a better effect on studied parameter, and they could be useful to improve soil physical condition. It seems that the application of different rates of conditioners as well as their interaction with each other should be considered according to the basic properties of the soil.

Keywords: Algae, Dry and wet sieve, Mean weight diameter of aggregates, Salfit

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۱، ص ۱۱۳-۱۲۶

تأثیر اصلاح کننده آلی و شیمیایی بر پایداری ساختمان خاک، دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت و گنجایش آب انتگرالی گیاه گندم در خاک‌های شور

اکرم نصرتی میاندوآب[۱]- حجت امامی[۲*]- علیرضا آستارایی[۳]- محمدرضا مصدقی[٤]- حسین عسگرزاده[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

شوری خاک بر بیشتر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر منفی دارد. شوری همچنین بر روابط خاک و گیاه تأثیرگذار بوده و با کاهش دادن مقدار جذب آب رشد گیاه را محدود می‌کند. از راهکارهای مورد استفاده برای کاهش اثرات شوری و اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک، استفاده از اصلاح کننده‌های آلی و شیمیایی می‌باشد. در این پژوهش اثر دو نوع اصلاح کننده آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیکی ۵ نمونه خاک شور با درجه شوری و سدیمی متفاوت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اطراف دریاچه ارومیه بررسی شد. تیمارهای مورد استفاده شامل جلبک، سالفید و جلبک+سالفید بودند. شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در دو حالت تر و خشک و پایداری خاکدانه (AS) به عنوان شاخص‌های پایداری ساختمان خاک و دامنه رطوبت با حداقل محدودیت محدودیت (LLWR) و گنجایش آب انتگرالی (IWC) به عنوان شاخص‌های هیدرولیکی خاک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد در ۵ نوع خاک مورد مطالعه استفاده از ترکیبات اصلاح کننده باعث افزایش شاخص‌های پایداری ساختمان خاک شد که این افزایش در خاک ۱، ۲ و ۴ بیشترین مقدار بود. همچنین سالفید باعث بیشترین افزایش در مقدار پایداری خاکدانه (۷۴/۹ درصد افزایش)، دامنه رطوبت بدون محدودیت در مکش ۳۳ کیلوپاسکال (LLWR33، ۱۴/۵ درصد افزایش) و گنجایش آب انتگرالی (۲۶/۲ درصد افزایش) نسبت به شاهد شد. بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه در دو حالت تر و خشک نیز در تیمار سالفید+جلبک به ترتیب با ۵۲/۴ و ۴۰/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد. تأثیر خصوصیات اولیه خاک بر میزان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود و کاربرد اصلاح کننده‌ها باعث بهبود این ویژگی‌ها در خاک‌های مورد مطالعه شد.

واژه‌های کلیدی: الک خشک و تر، جلبک، سالفید، میانگین وزنی قطر خاکدانه

مقدمه

خاک‌های شور به طور گسترده‌ای در سراسر جهان توزیع شده‌اند و حدود ۲۰ درصد از زمین‌های زیر کشت جهان تحت تأثیر نمک است (Schumann and Sumner, 2000). این مشکل شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Worku *et al*., 2016). شوری آب آبیاری نه تنها روند شور و قلیایی شدن خاک را تسریع می‌کند، بلکه بر محتوای نیتروژن و معدنی شدن آن، آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌های خاک نیز تأثیرگذار بوده که همه این‌ها می‌توانند بر انتشار N_2O خاک تأثیر بگذارند (Irshad *et al*., 2005). تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک ناشی از تورم و پراکندگی ذرات کلوئیدی در حضور مقادیر بیش از حد سدیم قابل تبادلی منجر به اختلال در نفوذ آب، حرکت هوا، ظرفیت نگهداری آب، نفوذ ریشه و مشکلات ظهور گیاهچه می‌شود (

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: emami@um.ac.ir)
۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، ایران
۵- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه مشهد. ارومیه، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.74361.1128

;Murtaza *et al*., 2009; Peng and Bruns, 2019; Ghafoor *et al*., 2008). افزایش نمک‌های مختلف در خاک به ویژه افزایش میزان سدیم خاک باعث پراکنده شدن کلوئیدهای خاک، تغییر توزیع اندازه منافذ خاک و فشردگی خاک می‌شود. تغییر توزیع اندازه منافذ خاک توسط شاخص‌های مختلف کیفیت فیزیکی خاک قابل بررسی و شناسایی است. یکی از شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک که تحت تأثیر مقدار شوری خاک و حضور سدیم قابل تبادل قرار می‌گیرد چگالی ظاهری (BD) خاک است. افزایش مقدار سدیم قابل تبادل با تخریب خاکدانه‌ها، افزایش فشردگی خاک و کاهش حجم کل خاک، BD را افزایش می‌دهد (Bayat *et al*., 2013). از جمله اثرات شوری خاک تغییر توزیع اندازه منافذ و افزایش فشار اسمزی محلول خاک بوده که این امر بر روابط آب، خاک و گیاه تأثیرگذار می‌باشد. دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (LLWR)[1] و گنجایش آب انتگرالی (IWC)[2] که برای محاسبه و تعیین مقدار آب قابل استفاده خاک برای گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند حساسیت بالایی به تغییرات توزیع اندازه منافذ خاک داشته و می‌توانند به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک برای بررسی تأثیر عوامل مختلف بر ساختمان خاک مورد استفاده قرار گیرند. LLWR که توسط داسیلوا و همکاران (da Silva and Kay, 1997) ارائه شد، دامنه‌ای از رطوبت خاک است که رشد گیاه از نظر پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت مکانیکی خاک با حداقل محدودیت روبرو باشد (da Silva *et al*., 1994). در روش IWC که توسط گرونولت و همکاران (Groenevelt *et al*., 2001) پیشنهاد گردید، تأثیر عوامل موثر بر آب قابل استفاده خاک به صورت تدریجی در نظر گرفته می‌شود که می‌توان محدودیت‌های فیزیکی که باعث کاهش رشد گیاه در نیمرخ خاک می‌شوند را لحاظ کرد (Groenevelt *et al*., 2001). نیشابوری و همکاران (Neyshabouri *et al*., 2014) LLWR را در ۳۲ خاک مختلف از منطقه آذربایجان شرقی برآورد کرده و گزارش کردند که اثر ویژگی‌های مختلف خاک مانند درصد رس، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ... بر LLWR مشابه نبوده و درصد رس، چگالی ظاهری و آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم بیشترین همبستگی را با LLWR نشان دادند و SAR بر θ_{fc} و θ_{pwp} اثر معنی‌داری داشت، ولی بر LLWR اثر معنی داری نشان نداد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و پایداری خاکدانه (AS) به عنوان شاخص‌های پایداری ساختمان علاوه بر LLWR و IWC به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک بسیار حائز اهمیت می‌باشند. پایداری خاکدانه به عنوان شاخص ساختمان خاک در نظر گرفته می‌شود (Six *et al*., 2000) و به عنوان یک شاخص مهم کیفیت خاک نیز شناخته می‌شود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اغلب برای ارزیابی اثرات شیوه‌های مدیریتی مختلف بر ساختمان خاک استفاده می‌شود (Six *et al*., 2000). وجود دلایلی مانند تاثیر مستقیم بر مقاومت در برابر عوامل فرسایشی و تراکم (Chaplot and Cooper, 2015) و امکان جابجایی و ذخیره سازی بهینه گازها، آب و عناصر غذایی در زمان پایداری ساختمان خاک؛ (Gliñski *et al*., 2011) گواه این مطلب بوده که پایداری خاکدانه یک شاخص مفید برای نظارت بر کیفیت خاک می‌باشد (Chaplot and Cooper, 2015).

از جمله مواد اصلاح کننده که در خاک‌های شور به کار می‌روند می‌توان به نمک‌های کلسیم‌دار محلول مانند گچ ($CaSO_4.2H_2O$)، کلرید کلسیم ($CaCl_2.2H_2O$) و فسفوجیپسوم (گچ فسفری) (Wang et al., 2009) و اسیدها مانند اسید سولفوریک، گوگرد، پیریت، سولفات آهن، سولفات آلومینیوم و آهک گوگرددار (پلی سولفید کلسیم) (Wang *et al*., 2009; Sadiq *et al*., 2007) اشاره کرد. تأثیر کاربرد جلبک و سیانوباکتر بر بهبود خاکدانه‌سازی توسط پژوهشگران مختلفی بررسی شده است (Falchini *et al*., 1996 ; Peng and Bruns, 2019). سیانوباکتر و جلبک‌های خاص می‌توانند از طریق مکانیسم‌های بیوفیزیکی و بیوشیمیایی (چسباندن به وسیله اگزوپلی ساکاریدهای تولیدی)، ذرات خاک را به هم متصل کرده و به عنوان عامل سیمان کننده عمل کنند (Malam *et al*., 2001). تأثیر اگزوپلی ساکاریدهای تولیدی توسط جلبک بر بهبود پایداری خاک نیز توسط لیو و همکاران (Liu *et al*., 2005) گزارش شده است.

با توجه به اهمیت مسئله شور شدن خاک استفاده از روابطی برای برآورد آب قابل استفاده که در برگیرنده این اثرات باشد و ارائه راه‌کارهایی برای افزایش قابلیت دسترسی آب برای گیاهان مانند استفاده از مواد اصلاح کننده خاک که به محیط‌زیست آسیبی نرساند و مقرون به صرفه باشد، ضرورت دارد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی (جلبک)، شیمیایی (سالفید) و کاربرد همزمان این دو اصلاح کننده بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک‌های شور زیر کشت گندم بود.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش ۵ نمونه خاک با درجه شوری و سدیمی متفاوت از اطراف دریاچه ارومیه انتخاب و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها مانند بافت (Gee and Bauder, 1986)، کربن آلی (Thomas, 1996)، کربنات کلسیم معادل (Loeppert and - Suarez, 1996)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب در گل اشباع و عصاره آن (Thomas, 1996) و چگالی ظاهری (Jones, 1983) خاک با استفاده از روش‌های مرسوم آزمایشگاهی اندازه‌گیری

1- Least Limiting Water Range
2- Integral Water Capacity

شدند.

طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش به صورت کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل با سه تکرار بود. فاکتورهای مورد آزمایش شامل نوع خاک در پنج سطح و اصلاح کننده در چهار سطح (شاهد، سالفید، جلبک دریایی و سالفید+جلبک دریایی) بودند که به صورت جداگانه در هر خاک اعمال شدند. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها با توجه به چگالی ظاهری تعیین شده در محل نمونه‌برداری به جعبه‌های کشت (با ابعاد 40 × 40 × 40) انتقال داده شده و نمونه‌های خاک داخل جعبه‌ها به مدت دو ماه تر و خشک شدند. پس از رسیدن به ظرفیت زراعی بذر گندم به روش خطی و تعداد ۳۵۰ عدد در هر متر مربع کشت شد و در طول مدت آزمایش، آبیاری با آب منطقه (قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۲۸ دسی‌زیمنس بر متر و پهاش ۷/۷۸) انجام شد. لازم به ذکر است که آبیاری با فواصل ۸ روز انجام شد. مواد اصلاح کننده که حاوی ترکیبات کلسیمی و ترکیبات آلی بودند، در مرحله تر و خشک شدن و آبیاری به خاک اضافه شدند. نحوه اضافه کردن اصلاح کننده‌ها بدین صورت بوده که ترکیب سالفید با توجه به توصیه شرکت سازنده برای خاک‌های با هدایت الکتریکی بالا، ۶۰ لیتر در هکتار برای دوره رشد اضافه شد که این افزودن در سه مرحله (قبل از کاشت، بعد از جوانه زدن و قبل از مرحله ساقه دهی) انجام شد. پودر جلبک نیز به تمامی خاک‌ها به یک مقدار یکسان و به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار اضافه شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله ساقه دهی (دو ماه از شروع آزمایش) آبیاری متوقف شده و اجازه داده شد رطوبت خاک برای گیاه گندم به نقطه پژمردگی دائم برسد. در این مرحله از خاک هر جعبه نمونه‌های دست خورده و دست نخورده تهیه شد و ویژگی‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خشک (MWD_d) و تر (MWD_w) بر اساس روش کمپر و روسنا (Kemper and Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شدند. در این روش در ابتدا خاک هوا خشک شده از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شده بر روی سری الک شامل الک‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌متری قرار گرفتند. در روش الک تر با سرعت ۳۰ نوسان در دقیقه و به مدت ۳ دقیقه انجام شده و الک خشک با استفاده از دستگاه ویژه الک خشک انجام شده و در نهایت خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن شد و سپس تصحیح شن انجام شد و MWD_w و بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$MWD = \sum_{i=1}^{k} W_i \bar{x}_i \qquad \text{رابطه ۱}$$

k: تعداد دامنه اندازه خاکدانه‌ها، X_i: میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک، و W_i: نسبت جرم خشک خاکدانه‌های روی هر الک i به جرم خشک کل خاکدانه‌های خاک می‌باشد.

پایداری خاکدانه‌ها (AS) نیز به روش کمپر و روسنا (Kemper and Rosenau, 1986) به استفاده از الک تر و بعد از تصحیح شن بر اساس رابطه ۲ تعیین شد.

$$AS = \frac{WSA - M_{sand}}{M_{sample} - M_{sand}} \times 100 \qquad \text{رابطه ۲}$$

WSA: جرم خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری؛ M_{sand} جرم شن و M_{sample} جرم نمونه خاک

محاسبه LLWR

برای محاسبه LLWR از الگوریتم به کار رفته توسط داسیلوا و همکاران (da Silva *et al.*, 1994) استفاده شد. حد بالایی LLWR، مقدار رطوبت خاک در مکش‌های ماتریک ۱۰ و ۳۳ kPa یا در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد (هر کدام کمتر بود) و حد پایینی LLWR، مقدار رطوبت خاک در مکش ماتریک ۱۵۰۰ kPa یا در مقاومت مکانیکی ۲ MPa (هر کدام بیشتر بود) در نظر گرفته می‌شود که می‌توان این مراحل را به طور ساده به صورت رابطه ۳ نشان داد:

رابطه ۳

$$:(\theta_{AFP} > \theta_{FC})and\ (\theta_{PWP} > \theta_{SR}) \Rightarrow LLWR = \theta_{FC} - \theta_{PWP}$$

θ_{FC} رطوبت ظرفیت زراعی، θ_{PWP} رطوبت نقطه پژمردگی دائمی، θ_{AFP} رطوبت نظیر تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد و θ_{SR} رطوبت نظیر مقاومت مکانیکی ۲ MPa می‌باشد.

θ_{AFP} از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$\theta_{AFP} = \theta_s - 0.1 = (1 - \frac{D_b}{D_s}) - 0.1 \qquad \text{رابطه ۴}$$

که θs: رطوبت در نقطه اشباع، Db: چگالی ظاهری و Ds: چگالی حقیقی است.

محاسبه IWC

برای محاسبه IWC از معادله گرانولت و همکاران (Groenevelt *et al.*, 2001) استفاده شد:

$$IWC = \int_0^{\infty} \left(\prod_{i=1}^{m} \omega_i(h)\right) C(h)\, dh \qquad \text{رابطه ۵}$$

$C(h)$، گنجایش ویژه آب که شیب منحنی مشخصه رطوبتی می‌باشد و از رابطه ۶ به دست آمد:

$$C(h) = \left|\frac{d\theta}{dh}\right| \qquad \text{رابطه ۶}$$

$\omega_i(h)$، توابع وزنی چندگانه برای برآورد ویژگی‌های فیزیکی محدود کننده خاک است. تعداد محدودیت‌ها از یک تا m است. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP 8 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های اولیه خاک و اصلاح کننده‌ها

نتایج آنالیز اولیه خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است. طبق این نتایج کلیه خاک‌های مورد استفاده شور بوده و مقدار کربنات کلسیم معادل در دو خاک ۳ و ۵ بالاست. مقدار کربن آلی خاک‌ها نیز کم بود. نتایج تجزیه سالفید نیز نشان داد که میزان کلسیم و گوگرد محلول این ترکیب به ترتیب ۸ و ۳/۹ درصد بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده نوع اصلاح کننده بر IWC معنی‌دار نبود. اثر ساده نوع خاک بر تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده اثر معنی‌داری داشت و اثر متقابل نوع خاک و اصلاح کننده بر میزان LLWR100 معنی‌دار نبود و بر سایر موارد تاثیر معنی‌دار داشت. مقایسه میانگین اثر ساده اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان داد که کمترین مقدار MWD_w، MWD_d و پایداری خاکدانه در تیمار شاهد به دست آمد. استفاده از سالفید و همچنین ترکیب سالفید+جلبک بیشترین تأثیر را بر ویژگی های مورد اندازه گیری داشت. سه تیمار سالفید، سالفید+جلبک و جلبک در مقایسه با شاهد به ترتیب باعث افزایش ۴۶/۶، ۵۲/۴ و ۳۳/۷ درصدی MWD_w شدند و این افزایش در مورد MWD_d به ترتیب ۳۰، ۴۰ و ۱۹/۸ درصد بود. این تیمارها همچنین باعث افزایش ۷۴/۹، ۴۸/۴ و ۶۰/۱ درصدی پایداری خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد شدند. اثر ساده تیمارهای اصلاح کننده بر میزان دو ویژگی LLWR330 و IWC معنی‌دار بود، ولی بر میزان LLWR100 معنی‌دار نبود.

جدول ۱- نتایج آنالیز اولیه خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Results of initial analysis of studied soils

نوع خاک Soil type	چگالی ظاهری Bulk density	درصد اشباع وزنی Saturation percent	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	pH	شن (درصد) Sand (%)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	کربنات کلسیم معادل (درصد) Calcium carbonate equivalent (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	بافت خاک Soil texture
خاک ۱ Soil 1	1.42	55.7	4.29	7.85	62	8	30	4.5	0.51	Sandy loam
خاک ۲ Soil 2	1.37	56	5.31	7.95	15	31	54	7.5	0.88	Silty clay loam
خاک ۳ Soil 3	1.27	58.2	4.52	7.83	17	40	43	30.5	0.72	Silty clay loam
خاک ۴ Soil 4	1.63	49	8.45	7.26	74	10	16	7.25	0.18	Sandy loam
خاک ۵ Soil 5	1.56	57.8	24	8.48	25	18	57	14.5	0.04	Silt loam

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده اصلاح کننده بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

Table 2 -Results of comparison of mean of modifier simple effect on measured parameters

اصلاح کننده Conditioner	IWC ($cm^3.cm^{-3}$)	LLWR330 ($cm^3.cm^{-3}$)	AS (%)	MWD_d (mm)	MWD_w (mm)
سالفید Salfid	0.20^a	0.17^b	21.81^a	2.50^b	0.48^a
سالفید+جلبک Salfid+algae	0.20^a	0.18^a	18.50^c	2.69^a	0.50^a
جلبک Algae	0.20^a	0.16^{bc}	19.97^b	2.29^c	0.44^b
شاهد Control	0.16^b	0.15^c	12.47^d	1.91^d	0.33^c

در هر ستون تیمارهایی با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, treatments with at least one similar letter are not significant.

بیشترین مقدار LLWR330 در تیمار جلبک-سالفید مشاهده شده و تیمارهای اصلاح کننده باعث افزایش مقدار این ویژگی در مقایسه با شاهد شدند که مقدار این افزایش در سه تیمار سالفید، جلبک+سالفید و جلبک به ترتیب ۱۳/۳، ۱۹/۷ و ۶/۶ درصد بود. مقدار گنجایش آب انتگرالی نیز تحت تأثیر مواد اصلاح کننده قرار گرفت و حضور این ترکیبات باعث افزایش میزان این ویژگی در مقایسه با

شاهد شدند. البته لازم به ذکر است که بین سه نوع اصلاح کننده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. میزان افزایش گنجایش آب انتگرالی مشاهده شده در سه تیمار سالفید، سالفید–جلبک و جلبک در مقایسه با شاهد تقریبا ۲۵ درصد بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده نوع خاک مورد مطالعه بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق این نتایج خاک ۱ دارای بیشترین مقدار MWD_w بود و خاک ۵ دارای کمترین مقدار MWD_w بود. بیشترین و کمترین مقدار پایداری خاکدانه نیز به ترتیب در دو خاک ۳ و ۵ به دست آمد که خاک ۵ اختلاف زیادی با سایر خاک های مورد مطالعه داشت. خاک های مورد مطالعه از نظر مقادیر روابط آب خاک با یکدیگر تفاوت داشتند. بررسی ویژگی‌های اولیه خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که شاخص‌های پایداری ساختمان با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ها ارتباط دارند، به طوری که خاک ۵ با کمترین مقدار ماده آلی و بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی دارای کمترین مقدار پایداری خاکدانه و میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت تر بود. به نظر می‌رسد در این خاک‌ها به دلیل شوری بالا رشد گیاهان کم شده و در نتیجه بقایای گیاهی کمتری به خاک بر می‌گردد و در واقع کمبود ماده آلی سبب کاهش پایداری ساختمان خاک می‌شود. از سوی دیگر به دلیل شوری زیاد، فعالیت ریزجانداران خاک و نقش آن‌ها در افزایش پایداری ساختمان خاک نیز کاهش می‌یابد. خاک ۱ با دارا بودن کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی، بیشترین پایداری خاکدانه را دارا بود (جدول ۳). در مورد تأثیر ویژگی‌های خاک بر شاخص‌های پایداری نتایج مختلفی گزارش شده است. به عنوان مثال اعظمی ساردو و محمود آبادی (Azami Sardou and Mahmood Abadi, 2016) گزارش کردند که میانگین وزنی قطر خاکدانه با درصد رس، ماده آلی و سیلت همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته در حالی که با ویژگی‌های درصد شن و قابلیت هدایت الکتریکی خاک همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. اثر مثبت مواد آلی بر پایداری خاکدانه در مطالعات انجام شده توسط فاتت و همکاران (Fattet *et al.*, 2011)، امادودین و همکاران (Emadodin *et al.*, 2009) و لادو و همکاران (Lado *et al.*, 2004) گزارش شده است که این محققین دلیل این امر را خاصیت پیوند دهندگی ذرات خاک توسط ماده آلی و بهبود ساختمان خاک بیان کردند. در مطالعه دیگری گزارش شد که از بین ویژگی‌های خاک رس، کربنات کلسیم و مواد آلی بیشترین ارتباط را با پایداری خاک داشتند (Mbagwu, 2003; To biašová, 2011).

بیشترین مقدار LLWR330 در خاک ۵ مشاهده شد و این در حالی بود که کمترین مقدار دو ویژگی LLWR100 و IWC نیز در این خاک مشاهده شد. نتایج خاک ۵ ممکن است ناشی از تفاوت در توزیع اندازه ذرات معدنی باشد، زیرا در این خاک مقدار رس ۱۸ درصد است این مقدار در حد نسبتا مطلوبی است و درصد شن آن هم نسبتا کم (۲۵ ٪) است.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده نوع خاک بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

Table 3- Comparison results of the soil type simple mean effect on measured parameters

نوع خاک Soil type	IWC ($cm^3.cm^{-3}$)	LLWR100 ($cm^3.cm^{-3}$)	LLWR330 ($cm^3.cm^{-3}$)	AS (%)	MWD_d (mm)	MWD_w (mm)
خاک ۱ Soil 1	0.234^{b}	0.220^{ab}	0.167^{bc}	25.058^{b}	1.949^{d}	0.683^{a}
خاک ۲ Soil 2	0.225^{b}	0.244^{a}	$0.175a^{b}$	11.475^{d}	3.224^{a}	0.391^{b}
خاک ۳ Soil 3	0.266^{a}	0.235^{ab}	0.163^{c}	34.508^{a}	2.616^{b}	0.665^{a}
خاک ۴ Soil 4	0.229^{b}	0.211^{b}	0.141^{d}	15.150^{c}	1.558^{e}	0.285^{c}
خاک ۵ Soil 5	0^{c}	0.0182^{c}	0.185^{a}	4.733^{e}	2.394^{c}	0.191^{d}

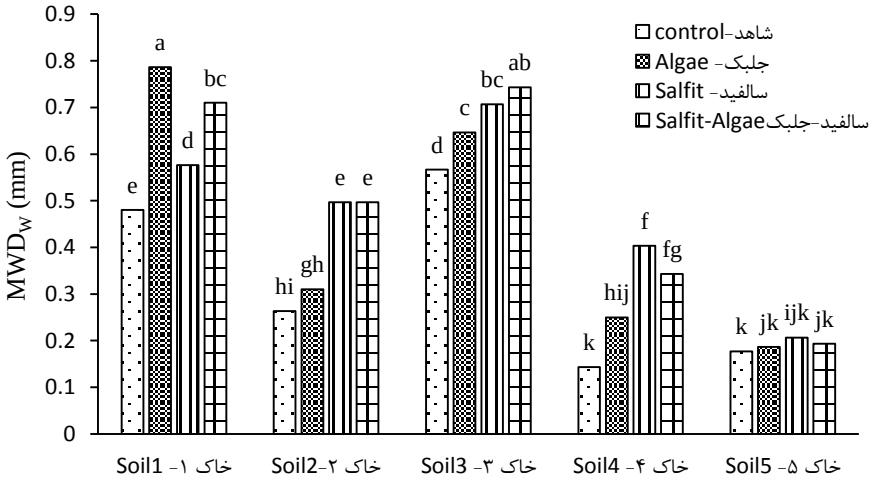
در هر ستون تیمارهایی با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, treatments with at least one similar letter are not significant.

از سوی دیگر درصد سیلت نیز ۵۷ درصد است که بیشترین فراوانی سیلت در بین خاک مورد بررسی مربوط به این خاک است و از آنجا که ذرات سیلت راحت تر از ذرات رس آب را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرا می‌رهند و در مقایسه با ذرات شن نیز قدرت نگهداری آب بیشتری دارند، بنابراین ممکن است باعث افزایش LLWR330 شده باشند. روند مشاهده شده در مورد دو ویژگی LLWR100 و IWC مشابه بوده (همبستگی ۸۴/۵ درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد) و این در حالی بود که این روند در LLWR330 برعکس بود.

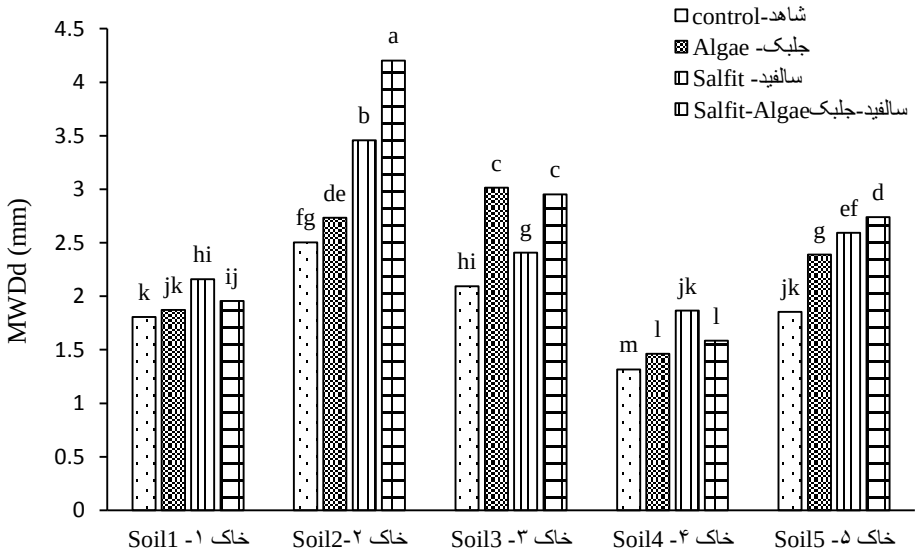
شاخص‌های پایداری خاکدانه

شکل ۱ نتایج اثر متقابل مواد اصلاح کننده و نوع خاک بر MWD_w را نشان می‌دهد. در ۵ نوع خاک مورد مطالعه استفاده از ترکیبات اصلاح کننده باعث افزایش MWD_w شد که این افزایش در خاک ۱، ۲ و ۴ بیشترین مقدار بوده و در خاک ۵ این افزایش معنی‌دار نبود. در خاک ۱ تا ۵ بیشترین افزایش در مقایسه با شاهد به ترتیب در تیمارهای جلبک (۶۲/۵ درصد)، سالفید+جلبک (۸۶/۴ درصد)، سالفید+جلبک (۳۱/۲ درصد)، سالفید (۸۱/۸ درصد) و سالفید (۱۷ درصد) مشاهده شد.



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و ماده اصلاح کننده بر MWD_w

Figure 1- Results of comparison of means for interaction effect of soil type and conditioner on MWD_w



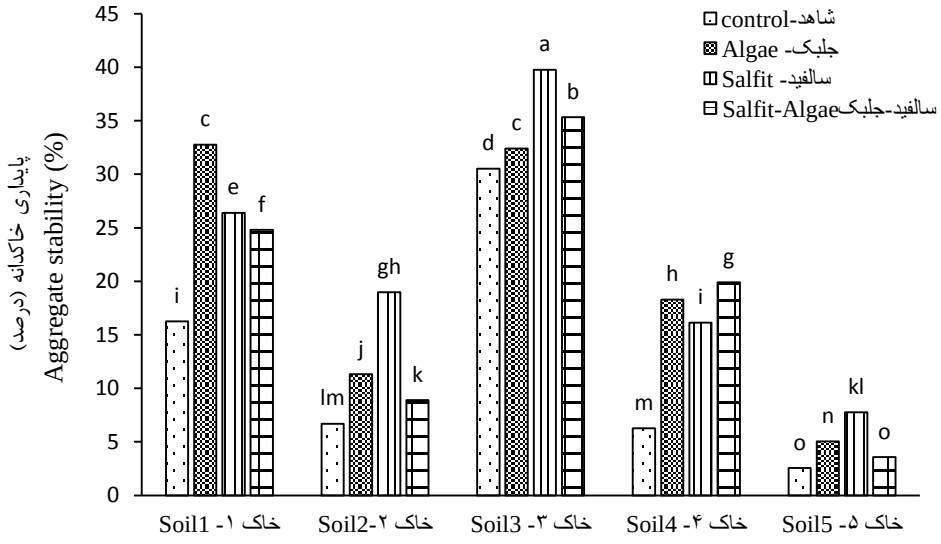
شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و ماده اصلاح کننده بر MWD_d

Figure 2- Results of comparison of means for interaction effect of soil type and conditioner on MWD_d

شکل ۲ نتایج اثر متقابل مواد اصلاح کننده و نوع خاک بر MWD_d را نشان می‌دهد. همانند ویژگی قبل، در ۵ نوع خاک مورد مطالعه استفاده از ترکیبات اصلاح کننده باعث افزایش MWD_d شدند که این افزایش در خاک ۲ بیشترین مقدار بود و در سه خاک ۳، ۴ و ۵ این افزایش تقریبا مشابه هم بود. در خاک ۱ تا ۵ بیشترین افزایش در مقایسه با شاهد به ترتیب در تیمارهای سالفید (۱۹/۶ درصد)، سالفید+جلبک (۶۷/۹ درصد)، جلبک (۴۳/۸ درصد)، سالفید (۴۱/۷ درصد) و سالفید+جلبک (۴۷/۸ درصد) اندازه‌گیری شد.

شکل ۳ نتایج اثر متقابل مواد اصلاح کننده و نوع خاک بر پایداری خاکدانه را نشان می‌دهد. روند مشاهده شده در مورد این پارامتر نیز مانند MWD_d و MWD_w بود و در ۵ نوع خاک مورد مطالعه استفاده از ترکیبات اصلاح کننده باعث افزایش پایداری خاکدانه شد که این افزایش در خاک ۱، ۲، ۴ و ۵ بیشترین مقدار بود. در خاک ۱ تا ۵ بیشترین افزایش در مقایسه با شاهد به ترتیب در تیمارهای جلبک (۱۰۱ درصد)، سالفید (۱۸۲ درصد)، سالفید (۳۰/۲ درصد)، سالفید+جلبک (۲۱۷ درصد) و سالفید+جلبک (۲۰۳ درصد) اندازه‌گیری شد.

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان از اثر مثبت تیمارهای به کار برده شده بر میانگین وزنی قطر و پایداری خاکدانه‌ها داشت. با وجود افزایش مقدار ویژگی‌های ذکر شده در مقایسه با شاهد ولی با این حال روند مشاهده شده در خاک‌های مورد مطالعه یکسان نبوده و در هر خاک و هر ویژگی اندازه‌گیری شده یک کدام از اصلاح کننده‌ها را می‌توان به عنوان بهترین تیمار انتخاب کرد. دلیل این امر را می‌توان به وجود خصوصیات مختلف و برهمکنش این خصوصیات با اصلاح کننده‌های مورد مطالعه دانست. به نظر می‌رسد که کلسیم موجود در ترکیب سالفید از یک طرف و ترکیبات تولیدی توسط جلبک از جمله اگزوپلی ساکاریدها از طرف دیگر توانسته‌اند باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش پایداری شوند. این اثر مثبت در ۵ خاک مورد مطالعه متفاوت بود که دلیل این امر شوری زیاد این خاک و مقدار کم ماده آلی و در نتیجه کاهش فعالیت ریزجانداران در این خاک است. همانطور که گفته شد در خاک ۱ که دارای کمترین شوری بیشترین پایداری خاکدانه (شکل‌های ۱ و ۳) مربوط به تیمار جلبک است. با مقایسه آن با سایر خاک‌ها به ویژه خاک ۵ (با بیشترین شوری) اهمیت تاثیر شوری در کاهش فعالیت ریزجانداران و آماده آلی خاک در پیادری خاکدانه‌ها بیشتر نمایان می‌شود. در مورد تأثیر اصلاح کننده‌های آلی از جمله جلبک بر خصوصیات فیزیکی و پایداری خاکدانه مطالعات مختلف اثر مثبت این اصلاح کننده را نشان داده‌اند. به عنوان مثال در مطالعه انجام شده توسط ال مالکی و ال مسعودی (Al-Maliki and Al-Masoudi, 2018) بر روی تأثیر تفاله چای، جلبک و مایکوریزا بر ویژگی‌های فیزیکی در دو خاک شور و غیر شور نتایج نشان داد که حضور این اصلاح‌کننده‌ها باعث افزایش MWD_w خاک شد. این پژوهشگران دلیل اصلی این امر را بهبود ماده آلی خاک بیان کردند که باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود.



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و ماده اصلاح کننده بر پایداری خاکدانه

Figure 3- Results of comparison of means for interaction effect of soil type and conditioner on aggregate stability

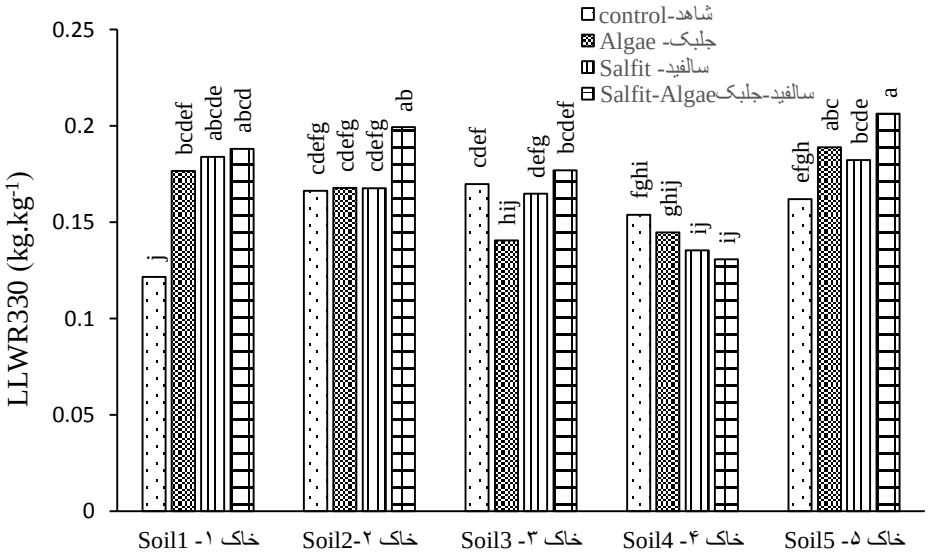
یوشیکاوا و همکاران (Yoshikawa *et al.*, 2018) نیز اثر مثبت ماده آلی بر پایداری خاکدانه را گزارش کردند. سیکس و همکاران (Six et al., 2004) گزارش کردند که به طور خاص، واکنش فاز جامد بین کانی‌های خاک، کاتیون‌های قابل تبادل و کربن آلی موجود در خاک منجر به تشکیل خاکدانه می‌شود. دیگر اصلاح کننده مورد استفاده (سالفید) در این تحقیق شامل ترکیبی با مقدار زیاد کلسیم بود که به نظر می‌رسد کلسیم موجود در این ترکیب باعث بهبود ویژگی‌های خاک در مقایسه با شاهد شده است. در مورد نقش کلسیم در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک بریدیس و همکاران (Briedis *et al.*, 2012) و روولی و همکاران (Rowley *et al.*, 2018) این گونه

بیان کردند که توانایی اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک به این دلیل است که یون کلسیم پیوندهای الکترواستاتیکی بین ذرات رس و مواد آلی تشکیل می‌دهد. تأثیر اصلاح کننده‌های بر پایه کلسیم بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش پراکنش رس و کاهش رواناب و تلفات خاک گزارش شده است (Aye *et* Norambuena *et al*., 2014 ; *al*., 2016;).

دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت و گنجایش آب انتگرالی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و مواد اصلاح کننده بر LLWR330 نشان داد که در پنج نوع خاک مورد مطالعه بیشترین مقدار این ویژگی در خاک ۵ بود (شکل ۴). استفاده از سه نوع اصلاح کننده مورد مطالعه در این تحقیق نیز تنها در دو خاک ۵ توانست اختلاف معنی داری با شاهد ایجاد کند و در چهار خاک دیگر بین تیمارهای اصلاح کننده و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با این وجود در دو خاک ۱ و ۲ نیز روند مانند خاک ۵ بوده و تیمارهای اصلاح کننده باعث افزایش LLWR330 شده و البته اختلاف این تیمارها با شاهد معنی‌دار نبود. میزان افزایش اندازه‌گیری شده در سه تیمار جلبک، سالفید و سالفید–جلبک در خاک ۵ در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۲/۴، ۱۶/۷ و ۱۳/۶درصد بود (شکل ۴).

تأثیر اصلاح کننده های شیمیایی و آلی کاربرد همزمان این دو در خاک های مورد مطالعه اثرات متفاوتی بر دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت داشت. تاثیر مثبت این تیمارها در دو خاک ۱ و ۵ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. در خاک ۲ تنها سالفید اثر مثبتی داشته و این در حالی بود که در دو خاک ۳ و ۴ کاربرد اصلاح کننده‌ها باعث کاهش دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت شد. مطابق با نتایج به دست آمده؛ مشخص شد که در ۵ خاک مورد مطالعه مقادیر اولیه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت متفاوت بود که علت این امر احتمالا در تفاوت بین خصوصیات شیمیایی و فیزیک اولیه خاک‌ها باید بررسی شود. در ارتباط بودن میزان LLWR با خصوصیات اولیه خاک توسط محققینی همچون داسیلوا و کی (da Silva *et al*., 1997) و چان و همکاران (Chan *et al*., 2011) نیز گزارش شده است. در این مطالعه نیز کمترین میزان LLWR330 در خاک ۴ مشاهده شده که این خاک دارای بیشترین وزن مخصوص ظاهری در مقایسه با سایر خاک‌ها بود.



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و ماده اصلاح کننده بر LLWR330

Figure 4- Results of comparison of means for interaction effect of soil type and conditioner on LLWR330

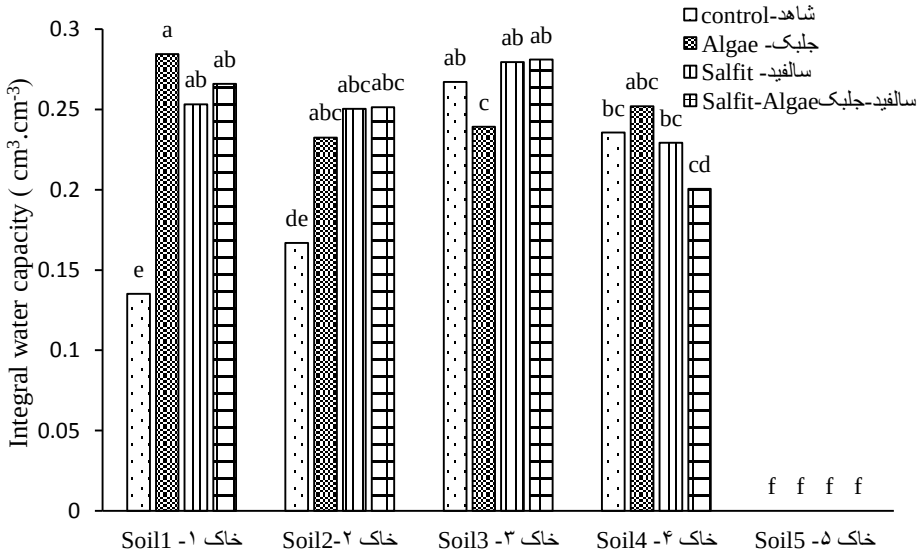
در مورد علت افزایش و بهبود دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت در دو خاک ۱ و ۵ این گونه می‌توان گفت که به نظر می‌رسد در این دو خاک تیمارهای مورد مطالعه باعث افزایش پایداری خاکدانه شده که این امر باعث افزایش مقادیر این دامنه در این دو خاک شده است. در پژوهش انجام شده توسط بیات و همکاران (Bayat *et al*., 2013) نیز گزارش شد که بهبود میانگین وزنی قطر خاکدانه باعث بهبود منحنی مشخصه رطوبتی خاک شد. این محققین علت ارتباط بین مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه و دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت را این گونه بیان کرد که میانگین وزنی قطر خاکدانه جز شاخص‌های ساختمان خاک به شمار می‌رود و از سمت دیگر حدود دامنه رطوبتی نیز وابستگی زیادی به ساختمان خاک دارند.

روند مشاهده شده در مورد گنجایش آب انتگرالی بدین صورت

بود که این ویژگی در خاک ۵ دارای کمترین مقدار بوده و ۴ خاک دیگر اختلاف زیادی با این خاک داشتند. تیمارهای اصلاح کننده به طور کلی باعث بهبود میزان گنجایش آب انتگرالی شدند و البته در خاک ۴ دو تیمار سالفید و سالفید+جلبک باعث کاهش این ویژگی شده که البته این کاهش در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. بیشترین اختلاف مشاهده شده در بین تیمارهای اصلاح کننده با شاهد در دو خاک ۱ و ۲ مشاهده شد. میزان افزایش اندازه‌گیری شده در گنجایش آب انتگرالی در سه تیمار جلبک، سالفید و سالفید-جلبک در خاک ۱ به ترتیب ۳۲/۱، ۲۵/۶ و ۲۸/۳ درصد بود. این افزایش در خاک ۲ به ترتیب ۲۷/۸، ۳۴/۷ و ۳۵/۱ درصد بود (شکل ۵).

مفاهیمی همچون LLWR و IWC علاوه بر تعیین آب قابل استفاده خاک، می‌توانند به عنوان شاخص کیفیت ساختمان خاک در ارزیابی قابلیت خاک برای رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرند (Asgarzadeh et al., 2010). از طرف دیگر طبق گزارش عسگرزاده و همکاران (Asgarzadeh et al., 2010) IWC رفتار پدیده‌های طبیعی در خاک را بهتر نشان داده و می‌توان از آن برای مدیریت مناسب آبیاری استفاده کرد. تاثیر تیمارهای آزمایش در این مطالعه در خاک‌های مختلف بر میزان گنجایش انتگرالی آب متفاوت بود. در مورد علت صفر بودن این مقادیر در خاک ۵ این گونه می‌توان گفت که قابلیت هدایت الکتریکی بسیار بالا در این خاک (جدول ۱) احتمالا علت این امر می‌باشد. محمدی و ختار (Mohammadi and Khataar, 2018) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که شوری با کاهش انرژی آب در خاک در تمام دامنه منحنی رطوبتی باعث کاهش جذب آب می‌شوند.

نتایج بررسی همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان داد که بیشترین میزان همبستگی بین AS و MWD_w مشاهده شد. در بین پارامترهای اندازه‌گیری شده، پایداری خاکدانه بیشترین میزان همبستگی با سایر ویژگی‌ها را دارا بود و میزان همبستگی این ویژگی با LLWR330، LLWR100، IWC و MWD_w به ترتیب ۳۶، ۵۵، ۷۵ و ۸۸ درصد بود. گنجایش انتگرالی آب خاک نیز با دو ویژگی LLWR330 (۰/۸۴) و MWD_w (۰/۷) همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد داشت (جدول ۴). وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین دو پارامتر LLWR100 و IWC نشان دهنده هماهنگی بین روش‌های اندازه‌گیری این پارامترها دارد.



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک و ماده اصلاح کننده بر گنجایش آب انتگرالی

Figure 5- Results of comparison of means for interaction effect of soil type and conditioner on IWC

جدول ۴- نتایج همبستگی ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 4- Correlation results of studied parameters

	LLWR330	LLWR100	IWC	MWD_w	MDW_d	AS
LLWR330	1					
LLWR100	-0.03^{ns}	1				
IWC	-0.15^{ns}	0.84^{**}	1			
MWD_w	-0.17^{ns}	0.17^{ns}	0.70^{**}	1		
MDW_d	0.41^{ns}	0.17^{ns}	0.04^{ns}	0.23^{ns}	1	
AS	-0.36^{**}	0.55^{**}	0.75^{**}	0.88^{**}	0.06^{ns}	1

از طرف دیگر نتایج این مطالعه نشان دهنده‌ی تأثیر مثبت تیمارهای آزمایشی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده بود. که این اثر مثبت در تمام خاک های مورد مطالعه مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق اثر مثبت ترکیبات اصلاح کننده بر خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه را نشان داد که در این بین در هر کدام از پارامترهای مورد بررسی یک اصلاح کننده تأثیر بهتری داشته و به نظر می‌رسد انتخاب نوع اصلاح کننده باید با توجه به هدف نهایی و پارامتر خاص مورد نظر انتخاب شود. اصلاح کننده های مورد استفاده در این تحقیق با تأثیر مثبت بر میانگین وزنی قطر خاکدانه و پایداری خاکدانه توانستند در بهبود سایر خصوصیات مورد اندازه‌گیری نیز مفید واقع شوند. به نظر می‌رسد که کاربرد سطوح مختلف اصلاح کننده‌ها و همچنین بررسی برهمکنش آن‌ها با یکدیگر باید با توجه به خصوصیات اولیه خاک مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Al-Maliki S., and Al-Masoudi M. 2018. Interactions between Mycorrhizal fungi, tea wastes, and algal biomass affecting the microbial community, soil structure, and alleviating of salinity stress in corn yield (*Zea mays* L.). Plants 7(3):63. https://doi.org/10.3390/plants7030063.
2. Asgarzadeh H., Mosaddeghi M.R., Mahboubi A.A., Nosrati A., and Dexter A.R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant Soil 335: 229–244. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0410-6.
3. Aye N.S. Sale P.W., and Tang C. 2016. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. Biology and Fertility of Soils, 52(5): 697-709. https://doi.org/10.1007/s00374-016-1111-y.
4. Azami Sardou R., and Mahmood Abadi M. 2016. Relationship between mean weight of aggregate diameter with some physical and chemical properties of soil in different cultivation systems. Fourth National Conference on the Application of New Technologies in Engineering Sciences. (In Persian)
5. Barik K.M., Canbolat Y., Yanık R., and Rafiq K. 2011. Compressive behavior of soil as affected by aggregate size with Different textures in turkey. Journal of Animal and Plant Sciences 21(2): 186-192.
6. Bayat H., Ebrahimi I., Rastgo M., Zare abyaneh H., and Davatghar N. 2013. Fitting Different Soil Water Characteristic Curve Models on the Experimental Data of Various Textural Classes of Guilan Province Soils. Water and Soil Science 23(3): 151-167.
7. Briedis C., de Moraes Sá J.C., Caires E.F., de Fátima Navarro J., Inagaki T.M., Boer A., and Dos SantosJ B. 2012. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. Geoderma, 170: 80-88. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.10.011.
8. Chan K.Y., Conyers M.K., Li G.D., Helyar K.R., Poile G., Oates A., and Barchia I.M. 2011. Soil carbon dynamics under different cropping and pasture management in temperate Australia: Results of three long-term experiments. Soil Research 49(4): 320-328. https://doi.org/10.1071/SR10185.
9. Chaplot V., and Cooper M. 2015. Soil aggregate stability to predict organic carbon outputs from soils. Geoderma 243: 205-213. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.12.013.
10. Emadodin I., Reiss S., and Bork H.R. 2009. A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (case study near Albersdorf, Northern-Germany). Journal of Agriculture and Biological Sciences 4(4): 48-53.
11. Falchini L., Sparvoli E., and Tomasell L. 1996. Effect of Nostoc (Cyanobacteria) inoculation on the structure and stability of clay soils. Biology and Fertility of Soils 23: 346–352. DOI:10.1007/BF00335965.
12. Fattet M., Fu Y., Ghestem M., Ma W., Foulonneau M., Nespoulous J., Bissonnais Y.L., and Stokes A. 2011. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship betweenaggregate stability and shear strength. Catena 87: 60-69. https://hal.inrae.fr/hal-02649976.
13. Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (Ed), *Agronomy Handbook no 9. Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI. pp. 363–375.
14. Ghafoor A., Murtaza G., Ahmad B., and Boers T.H.M. 2008. Evaluation of amelioration treatments and economic aspects of using saline-sodic water for rice and wheat production on salt-affected soils under arid land conditions. Journal of soil and Irrigation Drainage 57: 424-434. DOI: 10.1002/ird.377.
15. Gliński J., Gliński J., Horabik J., and Lipiec J. 2011. Agrophysical objects (soils, plants, agricultural products, and food). Encyclopedia of Agrophysics (Eds J. Gliński, J. Horabik, J. Lipiec), Springer Press, Dordrecht-Heidelberg-London-New York. DOI: 10.2478/ssa-2013-0012.

16. Groenevelt P.H., Grant C.D., and Semetsa S. 2001. A new procedure to determine soil water availability. Soil Research 39(3): 577-598. DOI: 10.1071/SR99084.
17. Irshad M., Honna T., Yamamoto S., Eneji A.E., and Yamasaki N. 2005. Nitrogen mineralization under saline conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(11-12): 1681-1689. https://doi.org/10.1081/CSS-200059116.
18. Jones C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Science Society of America Journal 47: 1208–1211. https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060029x.
19. Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods, 2nd edition. ASA Madison, WI, pp. 425-442.
20. Lado M., Paz A., and Ben-Hur M. 2004. Organic matter and aggregate size interaction, seal formation, and soil loss. Soil Science Society America Journal 68: 935-942. https://doi.org/10.2136/sssaj2004.9350.
21. Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. *In*: Sparks D.L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America Journal and ASA, Madison, WI. p. 437-474.
22. Liu A., Ma B.L., and Bomke A.A. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. Soil Science Society of America Journal 69(6): 2041-2048.https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0032.
23. Malam Issa O., Le Bissonnais Y., Défarge C., and Trichet J. 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. Geoderma 101: 15–30. DOI: 10.1016/S0016-7061(00)00093-8.
24. Mbagwu J. 2003. Aggregate stability and soil degradation in the Tropics. Geoderma, pp. 3-21.
25. Mohammadi M.H., and Khataar M. 2018. A simple numerical model to estimate water availability in saline soils. Soil Research 56(3): 264-274. https://doi.org/10.1071/SR17081.
26. Muhammad Siddique S., Anwar H., and Abdul R. 2002. Effect of salt on bulk density, particle density and porosity of different soil series, Asia Journal of Plant Sciences 5 (1): 5-6. DOI: 10.3923/ajps.2002.5.6.
27. Murtaza G., Ghafoor A., Owens G., Qadir M., and Kahlon U.Z. 2009. Environmental and economic benefits of saline- sodic soil reclamation using low quality water and soil amendments in conjunction with a rice-wheat cropping system. Journal of Agronomy Crop Science 195: 124–136. https://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00350.x.
28. Neyshabouri M.R., Kazemi Z., Oustan S., and Moghaddam M. 2014. PTFs for predicting LLWR from various soil attributes including cementing agents. Geoderma, 226: 179-187. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.02.008.
29. Norambuena M., Neaman A., Schiappacasse M.C., and Salgado E. 2014: Effect of liquid humus and calcium sulphate on soil aggregation. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14: 701–709. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000056.
30. Pearson K.E. 2004. The basic effects of salinity and sodicity effects on soil physical properties. http://waterqualityMontana.edu/docs/methane/basics_highligh t.shtml.
31. Peng X., and Bruns M.A. 2019. Development of a nitrogen-fixing cyanobacterial consortium for surface stabilization of agricultural soils. Journal of Applied Phycology, 31: 1047–1056. https://doi.org/10.1007/s10811-018-1597-9.
32. Rowley M.C., Grand S., and Verrecchia E.P. 2018: Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. Biogeochemistry 137: 27–49. DOI:10.1007/s10533-017-0410-1.
33. Schumann A.W., and Sumner M.E. 2000. Chemical evaluation of nutrient supply from fly ash-biosolids mixtures. Soil Science Society of America Journal Iss 164: 419-426. DOI : 10.2136/sssaj2000.641419x.
34. Sadiq M., Hassan G., Mehdi S.M., Hussain N., and Jamil M. 2007. Ameliorationof saline sodic soil with tillage implements and sulphuric acid application. Pedosphere 17:182-190. DOI:10.1016/S1002-0160(07)60024-1.
35. da Silva A.P., Kay B.D., and Perfect E. 1994.Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1775–1781. https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x.
36. da Silva A.P., and Kay B.D. 1997. Estimating least limiting water range of soils from properties and management. Soil Science Society of America Journal 61: 877–883. https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100030023x.
37. Six J., Paustian K., Elliott E.T., and Combrink C. 2000. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Science Society of America Journal 64(2): 681-689. DOI: 10.2136/sssaj2000.642681x.
38. Six J., Bossuyt H., Degryze S., and Denef K. 2004: A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil Tillage Research 79: 7–31. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008.
39. Tobiašová E. 2011. The effect of organic matter on the structure of soils of different land uses. Soil and Tillage Research 114(2): 183-192. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.05.003.

40. Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of soil analysis. Part 3(875): 475-490. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16.
41. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.
42. Wang Y.Q., Zhang X.C., Zhang J.L., and Li S.J. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the Loess Plateau. Pedosphere, 19: 486–495. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60141-7.
43. Worku A., Minaleshewa M., and Kidan H.G. 2016. Impact of Gypsum and Sulfuric Acid Application on Cotton Yield under Saline Sodic Soil Condition in Melka Sadi Irrigated Farm. Academia Journal Agriculture Research 4(2): 091-095.38- DOI: 10.15413/ajar.2015.0190.
44. Yoshikawa S., Kuroda Y., Ueno H., Kajiura M., and Ae N. 2018. Effect of phenolic acids on the formation and stabilization of soil aggregates. Soil Science and Plant Nutrition 64(3): 323-334. https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1431011.