

The Effect of Different Levels of Polyacrylic and Humic Acid on Aggregates Stability and Soil Moisture Content of Saline and Sodic Soils

ZAHRA NAJI¹, MOHAMMADD BABA AKBARI SARI^{*1}, ALIREZA VAEZI¹, SHERVIN AHMADI²

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

2. Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran.

ABSTRACT

Saline and sodic soils have a poor structure. The chemical and physical properties of these soils can be modified using various modifiers. Consumption of organic modifiers increases aggregate stability, soil water holding capacity and percentage of usable moisture for the plant. The use of water-soluble polymers and fertilizers containing humic acid is suitable for reducing water use in agriculture and improving soil structure in salt-affected soils. The purpose of this study was to investigate the effect of polyacrylic and humic acid on aggregate stability and field capacity in saline and sodic soils. This study was conducted using four salinity levels of 10, 20, 30 and 40 dSm⁻¹ and application of two modifiers (humic acid and polyacrylic acid) at 4 levels (0, 0.2, 0.4 and 0.8% by weight) in factorial arrangement with completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. The results showed that the highest values of aggregates stability were at the salinity level of 10 dSm⁻¹ and the level of 0.8% polyacrylic acid (3.13 mm) and humic acid (1.51 mm), respectively. The highest moisture content of the field capacity was measured at the salinity level of 40 dSm⁻¹ and at the level of 0.8% polyacrylic acid (26.65%) and humic acid (25.65%), respectively.

Keywords: Aggregate Stability, Field Capacity Moisture, Leaching, Poly Acrylic Acid.

اثر سطوح مختلف پلی آکرلیک و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک‌های شور و سدیمی

زهرا ناجی^۱، محمد بابا اکبری ساری^{۱*}، علی رضا واعظی^۱، شروین احمدی^۲

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

۲. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران.

چکیده

خاک‌های شور و سدیمی ساختمان ضعیفی دارند. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی این خاک‌ها با استفاده از اصلاح‌کننده‌های مختلف قابل اصلاح است. با مصرف اصلاح‌کننده‌های آلی پایداری خاکدانه‌ها، ظرفیت نگهداری آب خاک و درصد رطوبت قابل استفاده برای گیاه افزایش می‌یابد. برای کاهش مصرف آب در کشاورزی و بهبود ساختمان خاک در خاک‌های متأثر از نمک استفاده از پلیمرهای محلول در آب و کودهای حاوی اسید هیومیک مناسب است. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در خاک‌های شور و سدیمی بود. این پژوهش با استفاده از چهار سطح شوری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی زیمنس بر متر و کاربرد دو نوع اصلاح‌کننده (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 گلخانه‌ای اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر پایداری خاکدانه‌ها 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 میلی‌متر بود. بیشترین مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه در سطح شوری ۴۰ دسی زیمنس بر متر و مقدار ۰/۸ درصد پلی آکرلیک و هیومیک اسید به ترتیب ۲۶/۶۵ و ۲۵/۶۵ درصد اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، پلی آکرلیک اسید، پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای.

مقدمه

ساختمان خاک به‌طور مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله مقدار و چگونگی حرکت آب در خاک، گرما و تهویه، انتشار عناصر غذایی و اندازه منافذ خاک، جوانه‌زنی و رشد ریشه و تجزیه کربن آلی و پویایی آن مؤثر است (Annabi et al., 2007; Denef et al., 2004). خاکدانه‌ها آمیزه‌ای از دانه‌های اولیه شن، سیلت و رس هستند که پیوستگی‌شان به یکدیگر بیش از خاک پیرامون این مجموعه است. به‌عبارت دیگر پیدایش خاکدانه‌ها پیامدی از هم‌آوری، هم‌آرایی و سیمانی شدن ذرات اولیه است (Bast et al., 2015). توانایی خاکدانه‌ها به پایداری آن در برابر فروپاشی را پایداری خاکدانه^۱ می‌گویند (Hosseini et al., 2015) و از آن به‌عنوان شاخص ارزیابی کیفیت ساختمان خاک استفاده می‌شود (Bronick and Lal, 2005). پایداری خاکدانه‌ها موجب ایجاد ساختمان فیزیکی مطلوب برای یک خاک می‌شود. در مناطق نیمه‌خشک پایداری خاکدانه‌های خاک یکی از ویژگی‌های

بسیار مهم خاک است که رشد گیاهان را کنترل می‌کند (Kohler et al., 2010). علل عمده تخریب خاکدانه‌ها، وارفتگی^۲ خاکدانه‌ها، سدیمی شدن، تخریب ناشی از تورم خاک، تخریب ناشی از قطرات باران و پراکنش فیزیکی-شیمیایی حاصل از فشار اسمزی است (Tisdall and Adem, 1986).

از طرفی کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک گسترش کشاورزی در اراضی مستعد را با محدودیت مواجه ساخته است. اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری روش‌های پیشرفته به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب است (Bian et al., 2018).

پدیده شوری زمانی که با قلیائیت همراه شود، می‌تواند بر پایداری خاکدانه‌ها اثر منفی بگذارد. یکی از عواملی که منجر به تخریب ساختمان خاک می‌شود پدیده قلیائیت است که ناشی از وجود سدیم تبدلی بالا است (Barzegar, 2001). سدیم

* نویسنده مسئول: babaakbari@znu.ac.ir

های مکرر، تر و خشک شدن مسدود شد (Han *et al.*, 2013). تحقیقات Sivapalan (2001) نشان می‌دهد که با اضافه کردن پلیمرهای مختلف به خاک‌های سبک به قدرت نگهداری آب در این خاک‌ها افزوده و به دنبال آن میزان آب قابل دسترس گیاه در خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزودن پلیمر در نسبت ۰/۳/۰ و ۰/۷/۰ درصد وزنی به خاک سبک علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری و میزان کارآیی مصرف آب به افزایش تولید و ماده خشک بیشتر، در گیاه سویا می‌انجامد. (Hosseini *et al.*, 2015) نشان دادند، هیومیک اسید باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه شده و حاکی از تأثیرات مثبت این نوع ماده آلی در واکنش گیاه، تحت تنش شوری بود و با افزایش غلظت هیومیک اسید تنش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Hosseini *et al.*, 2015). Kiem and Kandeler (1997) نشان دادند که افزودن مواد آلی تأثیر مثبتی بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها داشته است، پژوهشگران دلیل آن را افزایش فعالیت تجزیه‌کنندگان میکروبی در اثر افزایش اسیدهای آلی عنوان کردند (De Gryze *et al.*, 2005).

با توجه به اینکه خاک‌های شور و شور سدیمی بخش قابل ملاحظه‌ای از کل اراضی ایران و جهان را تشکیل می‌دهند، لازم است تحقیقاتی برای اصلاح و استفاده از این خاک‌ها و کشت و استقرار گیاهان مقاوم انجام گیرد، از طرفی به‌علت ساختمان ناپایدار این خاک‌ها و در اثر بادهای منطقه‌ای گرد و غبار و نمک‌های فراوانی وارد جاده‌ها، اراضی کشاورزی و مسکونی می‌گردد. در سال‌های اخیر استفاده از مواد پلیمری مصنوعی، به منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است اما اطلاعات اندکی در مورد اثرات پلی-آکرلیک محلول در آب و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در خاک‌های شور و سدیمی ایران وجود دارد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر مقادیر مختلف پلی‌آکرلیک اسید و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک‌های شور و سدیمی مختلف بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در خاک‌های شور و سدیمی در چهار سطح شوری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر و با مصرف دو نوع اصلاح‌کننده (هیومیک اسید و پلی‌آکرلیک اسید) در سطوح صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزنی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان به اجرا در آمد. برای تهیه نمونه خاک ابتدا خاک‌های شور و سدیمی از شهرستان‌های قیدار و اشتهراد

قابل تبادل از دلایل اصلی جدا شدن ذرات رس از خاکدانه‌ها، افزایش پراکنش رس‌ها، فروپاشی خاکدانه‌ها و به دنبال آن ناپایداری ساختمان خاک است. به این صورت که با جذب سدیم توسط خاکدانه‌ها و افزایش ضخامت لایه دوگانه الکتریکی مقدمات فروپاشی خاکدانه‌ها فراهم می‌شود. به همین دلیل خاک‌هایی که سدیمی می‌شوند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی نامطلوبی خواهند داشت و توان تولید محصول نیز در آن‌ها کم است (Tajik *et al.*, 1999). اثر هم‌زمان شوری و سدیمی بر شاخص‌های گوناگون مربوط به پایداری ساختمان خاک پیچیده است. به نظر می‌رسد شوری خاک اثر بیشتری بر هدایت هیدرولیکی و تورم رس در مقایسه با سدیم دارد. برعکس، پایداری خاکدانه‌ها بیشتر تحت تأثیر سدیم قرار می‌گیرد (Bhardwaj *et al.*, 2008). عوامل متعددی مانند، نوع کانی‌های رسی، درصد سدیم تبدالی، کربنات کلسیم، ماده آلی خاک و مدیریت کشاورزی، اصلاح‌کننده‌ها، عملیات خاک‌ورزی و شرایط اقلیمی از عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها است (Wang *et al.*, 2016).

استفاده از جاذب‌ها و سوپرجاذب‌های مصنوعی اثرات مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک‌ها دارد (Morlat and Chaussod., 2008). در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای مصنوعی، به‌منظور افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها و تثبیت خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های بارز پلیمرها این است که باعث اتصال ذرات به یکدیگر می‌شوند و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌کنند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Mohavehdan *et al.*, 2014). Farhpour *et al.* (2005) تأثیر پلیمر جاذب رطوبت PR3005A بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، نگهداری آب، تخلخل و هدایت هیدرولیکی دو نوع خاک با بافت‌های لومی و لومی‌شنی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ماده مورد نظر می‌تواند میزان رطوبت را در خاک‌های درشت بافت افزایش دهد و مشکل نفوذپذیری خاک‌های ریز بافت را برطرف کند و به‌طور کلی با بهبود شرایط فیزیکی خاک مانع از تنش‌های رطوبتی شود و باعث افزایش موفقیت برنامه‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردد. Han *et al.* (۲۰۱۳) به بررسی اثر انواع مختلف سوپر جاذب تحت شرایط رطوبتی یکسان و اثر سوپر جاذب‌های مشابه تحت شرایط رطوبتی متفاوت بر رطوبت اشباع، هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ آب در خاک پرداختند. نتایج ایشان حاکی از افزایش قابل توجه رطوبت اشباع خاک (در حدود ۰/۱۸۶ سانتی‌مترمکعب در سانتی‌مترمکعب) با اعمال پلیمرهای سوپر جاذب بود، در حالی که هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری کاهش یافت زیرا خلل و فرج خاک توسط حجم سوپر جاذب‌های متورم در طول دوره

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه: MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک بر حسب میلی‌متر، w_i جرم نسبی خاکدانه‌های روی هر الک (گرم بر گرم) و X_i میانگین قطر خاکدانه‌ها روی هر الک بر حسب میلی‌متر است.

برای تعیین رطوبت ظرفیت مزرعه ابتدا مقداری از خاک تیمار شده با پلی‌اکریلیک اسید و هیومیک اسید را به داخل سیلندر مخصوص دستگاه ریخته و سپس آن‌ها را درون سینی قرار داده و به این سینی آب افزوده گردید تا نمونه‌ها از پایین سیلندر رطوبت جذب کرده و حالت اشباع برسند و اجازه داده شد تا نمونه‌ها به مدت یک‌شب به حالت اشباع باقی بمانند. صفحه بلوکی دستگاه صفحه فشار نیز به مدت یک‌شب در داخل آب قرار گرفت تا به حالت اشباع برسد. بعد از رسیدن صفحه بلوکی و نمونه‌ها به حالت اشباع آن‌ها را در داخل دستگاه صفحه فشار قرار داده و سپس درب آن را بسته و فشار دستگاه را روی ۰/۳۳ بار قرار داده شد. پس از گذشت چند روز و اتمام خروج آب از دستگاه، نمونه‌ها از دستگاه خارج و سپس توزین و در داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا خشک شوند. بعد از خشک شدن نمونه‌ها مجدداً توزین و درصد رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه به‌صورت وزنی محاسبه گردید.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

ویژگی	واحد	مقدار
شن	%	۳۲/۵
رس	%	۳۷/۵
سیلت	%	۳۰
بافت خاک	-	Silty Clay loam (SiCL)
پ هاش (گل اشباع)	-	۷/۵
قابلیت هدایت الکتریکی	ds .m ⁻¹	۴۰
رطوبت ظرفیت مزرعه	%	۱۹/۱
کربن آلی	%	۰/۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	Cmol(+).kg ⁻¹	۱۸/۰۹
کربنات کلسیم معادل	%	۲۳/۷۵
رطوبت اشباع	%	۳۶

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش به‌صورت دو آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. فاکتور A سطوح مختلف شوری و فاکتور B تیمار پلی‌اکریلیک اسید یا هیومیک اسید در نظر گرفته شد. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از SPSS نسخه ۱۶ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD (سطح ۵ درصد)

جمع‌آوری و به گلخانه منتقل و قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها در عصاره اشباع با EC متر (Rhoades., 1996)، pH گل اشباع با pH متر (Thomas., 1996)، اندازه‌گیری شد. درصد رس، سیلت و شن خاک‌ها با روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (Bouyoucos, 1962) و کربن آلی به روش والکی و بلک اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1996) and کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری اندازه‌گیری شد (Nelson, 1982). خاک با شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر برای تهیه خاک‌های با قابلیت هدایت الکتریکی مختلف انتخاب شد (جدول ۱). پس از هوا خشک کردن نمونه خاک تهیه شده، برای یکنواختی بیشتر از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس با انجام پیش آزمایش و با استفاده از رابطه آبشویی Hoffman خاک‌هایی با شوری‌های مختلف در گلدان‌ها تهیه گردید (Hoffman, 1980). دو نوع اصلاح‌کننده در مقادیر مشخص شده به خاک با سطوح مختلف شوری اضافه شده و به‌طور کامل با خاک مخلوط و سپس ۳ کیلوگرم خاک به درون گلدان‌ها ریخته شد و در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری و به مدت شش ماه خوابانیده شدند. بعد از پایان مدت‌زمان خوابانیدن از گلدان‌ها نمونه‌های دست‌نخورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای جداسازی خاکدانه‌ها، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک چهار میلی‌متری گذرانده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) با روش الک تر اندازه‌گیری شد. برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها از شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD_{wet}) و پس از غربال کردن در آب به دست آمد (Yoder, 1936). برای این منظور ۲۵ گرم نمونه خاک هوا خشک توزین گردید. سری الک‌های ۰/۲، ۱، ۲ و ۴ میلی‌متری برای انجام آزمایش الک تر مورد استفاده قرار گرفت. سری الک‌ها در دستگاه طوری قرار داده شد که با آب پوشیده شدند. آب مقطر تا سطح زیرین الک چهار میلی‌متر داخل محفظه اضافه شد تا هوای محبوس شده داخل خاکدانه‌ها به آرامی خارج گردد. دستگاه با سرعت ۲۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه قرار داده شد. (Vaezi et al., 2014) سپس خاک باقیمانده بر روی سری الک‌ها جمع‌آوری و توزین گردید و جهت حذف شن‌ها، خاک‌های باقی‌مانده در روی هر الک توسط مواد پراکنش‌کننده (هگزامتا فسفات سدیم)، متلاشی شد سپس نمونه‌ها بر روی همان الک قرار گرفته و توسط آب مقطر شسته شدند. بعد از خشک شدن مجدداً توزین گردیدند. مقدار شن از مقدار اولیه باقی‌مانده روی هر الک کم شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب از رابطه ۱ به دست آمد:

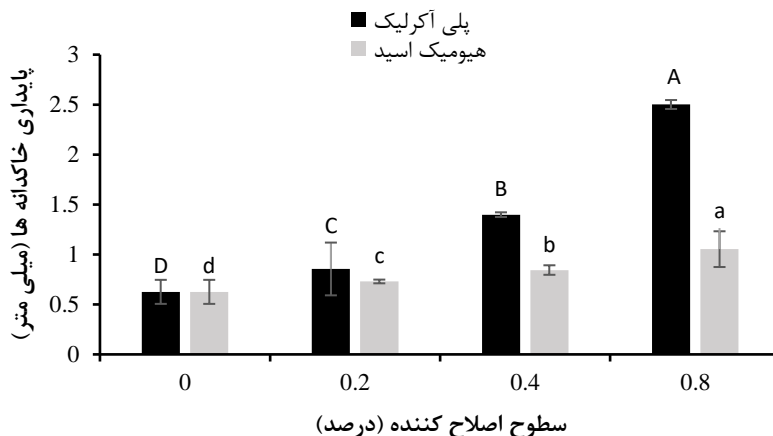
سطوح مختلف پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید مربوط به تیمار ۰/۸ درصد به ترتیب به مقدار ۲/۵۰ و ۱/۰۵ میلی متر بود. کمترین میزان پایداری خاکدانه‌ها نیز در سطوح مختلف پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید از تیمار صفر درصد به مقدار ۰/۶۲ میلی متر اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آن است با افزایش سطوح مصرف پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید تا ۰/۸ درصد میزان پایداری خاکدانه‌ها به ترتیب ۳۰۳ و ۶۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است (شکل ۱).

انجام شد. اشکال به وسیله نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

اثرات ساده سطوح پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها

نتایج تأثیر سطوح مختلف پلی آکرلیک اسید و هیومیک اسید بر میزان پایداری خاکدانه‌ها نشان داد که با افزایش سطح مصرف اصلاح کننده میزان پایداری خاکدانه‌ها به طور معنی داری افزایش یافته است (شکل ۱). بیشترین میزان پایداری خاکدانه‌ها در



شکل ۱- اثرات ساده سطوح مختلف اصلاح کننده بر میزان پایداری خاکدانه‌ها

ستون‌هایی که حروف متفاوت دارند از لحاظ آماری معنی دار می‌باشند و ستون‌های دارای حروف مشابه معنی دار نمی‌باشند

بقایای گیاهی به‌عنوان مالچ تجزیه شده و هوموس به خاک اضافه شده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Koocheki *et al.*, 2010). به طوری که یکی از عوامل اساسی در خصوصیات فیزیکی خاک، کربن آلی است. هرگونه تغییر در مدیریت بقایا می‌تواند بر میزان کربن آلی مؤثر باشد (Singh and kaur, 2012). کربن آلی اثرات مطلوب زیادی بر ویژگی‌های خاک نظیر بهبود وضعیت حاصلخیزی و ساختمان، نفوذپذیری و ظرفیت رطوبت مزرعه آن دارد (Johnson *et al.*, 2006). روش‌های مختلف مدیریت بقایای گیاهی، اثرات متفاوتی بر میزان کربن آلی خاک و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی آن دارد. به طور کلی، استفاده از بقایای گیاهی باعث افزایش ذخیره کربن آلی به ویژه در لایه سطحی خاک می‌شود (Lou *et al.*, 2011). علاوه بر این، کاربرد بقایا موجب افزایش نگهداشت رطوبت خاک مزرعه می‌گردد (Guenet *et al.*, 2010). استفاده از بقایای گیاهی در اراضی کشاورزی، ساختمان و ظرفیت نگهداری آب در خاک را بهبود می‌دهد (Bhattacharyya *et al.*, 2007). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد بقایا و مواد آلی در سطح خاک منجر به ۵۰ تا ۸۰ میلی متر ذخیره رطوبتی بیشتر می‌شود

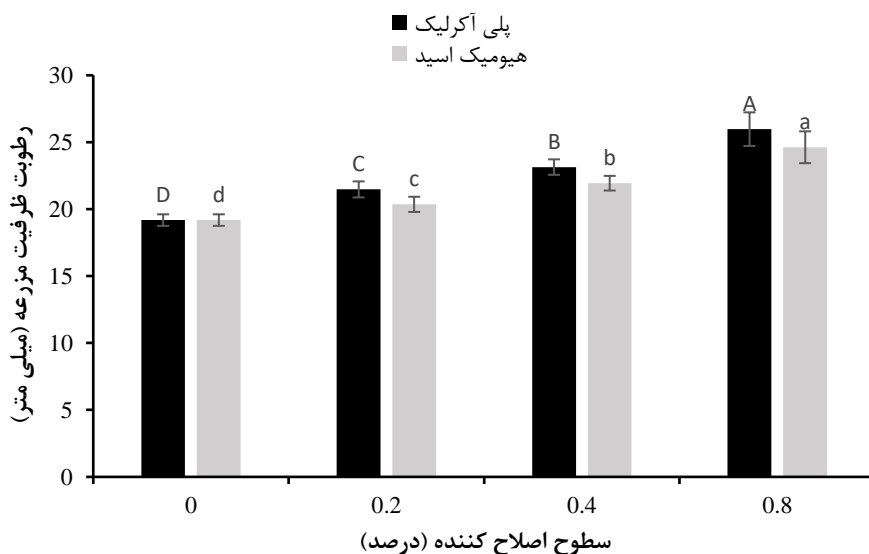
(Jessop and Stewart, 1983). Oades (1984) بیان کرد که مواد آلی، در خاک‌های کشاورزی سبب به هم پیوستن خاکدانه‌ها و افزایش مقاومت آنها نسبت به تنش ناشی از تر شدن ناگهانی خاک می‌شود. اسید هیومیک و اسید فولویک نیز به‌عنوان اسیدهای آلی از منابع مختلف مانند خاک، هوموس، لیگنیت اکسید شده و پیت گرفته شده و به‌عنوان بهبوددهنده خاک استفاده می‌شوند (Sebahattin and Necdet, 2005). ویژگی مهم این اسیدها این است که در برابر تجزیه میکروبی مقاوم بوده و در خاک باقی می‌مانند (Piccolo *et al.*, 1997). در پژوهشی مشاهده شده که استفاده هم زمان از اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش قطر و تخلخل خاکدانه‌ها می‌شود (Fortun *et al.*, 1990). مواد آلی هوموسی شده، ممکن است سبب کاهش اثرات مخرب ناشی از تر و خشک شدن متوالی خاک در خاکدانه‌سازی شوند و در نتیجه افزودن این مواد به خاک می‌تواند به‌عنوان یک روش مدیریتی استفاده شود (Piccolo *et al.*, 1997). اسیدهای آلی با جذب ذرات رس سبب کاهش پراکنش آنها می‌شوند. یکی از روش‌های افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزودن اسیدهای آلی و بقایای گیاهی است. فرآیند هم‌آوری ذرات خاک توسط اسیدهای

تیمار ۰/۸ درصد به مقدار ۲۵/۹۷ و ۲۴/۶۲ درصد بود. کمترین میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در سطوح مختلف پلی‌اکریلیک اسید و هیومیک اسید نیز به ترتیب از تیمار صفر درصد به مقدار ۱۹/۱۸ درصد اندازه‌گیری شد. در کل، با افزایش سطوح مختلف پلی‌اکریلیک اسید و هیومیک اسید تا ۰/۸ درصد میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک به ترتیب ۳۵ و ۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد یا سطح صفر درصد افزایش یافت (شکل ۲).

آلی و پلی‌ساکاریدها به مرور انجام می‌شود و مواد آلی در حال تجزیه در خاک سبب افزایش خاکدانه‌های بزرگ می‌شوند (Oades, 1984).

اثر سطوح پلی‌اکریلیک و هیومیک اسید بر رطوبت ظرفیت مزرعه خاک

با توجه به نتایج آزمایش بیشترین میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در سطوح مختلف پلی‌اکریلیک و هیومیک اسید مربوط به



شکل ۲- اثرات ساده سطوح مختلف اصلاح‌کننده بر میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک

*ستون‌هایی که حروف متفاوت دارند از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند و ستون‌های دارای حروف مشابه معنی‌دار نمی‌باشند.

(et al., 2014).

جدول ۲- اثرات سطوح مختلف شوری و پلی‌اکریلیک اسید بر میزان رطوبت ظرفیت مزرعه و پایداری خاکدانه‌ها بعد از خواباندن خاک

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
پایداری خاکدانه‌ها	رطوبت ظرفیت مزرعه		
۱/۷۲۴**	۰/۷۴۱ ^{ns}	۳	سطوح شوری
۸/۳۸۴**	۱۴۲/۱۳۸**	۳	سطوح پلی‌اکریلیک
۰/۲۲۳*	۰/۲۹۷ ^{ns}	۹	پلی‌اکریلیک × شوری
۰/۰۰۹	۰/۶۹۰	۳۲	خطا
۹/۱۴	۱۵/۱۳	-	ضریب تغییرات

**،* و ^{ns} به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

نتایج نشان داد، بیشترین میزان پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای حاوی پلی‌اکریلیک اسید مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۳/۱۳ میلی‌متر و کمترین میزان آن نیز در تیمارهای حاوی پلی‌اکریلیک اسید مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده در سطح

اثر متقابل پلی‌اکریلیک اسید و شوری بر پایداری خاکدانه و رطوبت ظرفیت مزرعه

نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات متقابل پلی‌اکریلیک اسید و سطوح مختلف شوری بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در جدول (۲) حاکی از آن است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف پلی‌اکریلیک اسید از نظر تأثیر بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در سطوح مختلف شوری مشاهده شد. به طوری که کاربرد تیمارهای مختلف پلی‌اکریلیک اسید سبب افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌های تشکیل شده و رطوبت ظرفیت مزرعه در سطوح مختلف شوری در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۲). یکی از ویژگی‌های بارز پلیمرها این است که با ایجاد شبکه در سطح خاک همانند پلی بین ذرات خاک عمل کرده و باعث اتصال ذرات به یکدیگر شده و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌نمایند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردند و از پلیمرهای اکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب می‌توان به منظور افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش بادی استفاده شود (Mohavehdan

حفظ و مدیریت بقایای گیاهی است (Bastian et al., 2009).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح شوری و پلی آکرلیک اسید بر میزان پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک

خصوصیات		پلی آکرلیک اسید شوری	پایداری خاکدانه	رطوبت ظرفیت مزرعه
پلی آکرلیک اسید (%)	دSm ⁻¹			
۱۰	۱۰	۰/۹f	۱۹e	
۲۰	۲۰	۰/۶۹hij	۱۹/۳۳e	
۳۰	۳۰	۰/۵۳ij	۱۹/۱۳e	
۴۰	۴۰	۰/۵j	۱۹/۲۶e	
۱۰	۱۰	۱/۲f	۲۱/۵۵cd	
۲۰	۲۰	۰/۹g	۲۱/۲۴d	
۳۰	۳۰	۰/۷۷gh	۲۱/۵۸cd	
۴۰	۴۰	۰/۵۸ghi	۲۱/۲۴d	
۱۰	۱۰	۱/۹۶d	۲۲/۶۷cd	
۲۰	۲۰	۱/۵۳e	۲۳/۴۱b	
۳۰	۳۰	۱/۲f	۲۳/۰۳bc	
۴۰	۴۰	۰/۹g	۲۳/۴۴b	
۱۰	۱۰	۳/۱۳a	۲۵/۳۱a	
۲۰	۲۰	۲/۸۲b	۲۵/۶۳a	
۳۰	۳۰	۲/۵۵c	۲۶/۳۰a	
۴۰	۴۰	۱/۴۹e	۲۶/۶۵a	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند

جدول ۴- اثرات سطوح مختلف شوری و هیومیک اسید بر میزان رطوبت ظرفیت مزرعه و پایداری خاکدانه‌ها بعد از خواباندن خاک

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
پایداری خاکدانه‌ها	رطوبت ظرفیت مزرعه		
۰/۸۰۳**	۰/۶۷۷ ^{ns}	۳	شوری
۰/۴۰۳**	۶۶/۵۰۱**	۳	هیومیک اسید
۰/۵۸*	۰/۲۶۶ ^{ns}	۹	هیومیک اسید × شوری
۰/۰۱۱	۰/۶۲۶	۳۲	خطا
۱۷/۹۲	۱۵/۱۵	-	ضرب تغییرات

**،*،ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار

در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۰/۵ میلی‌متر مشاهده شد. همچنین رطوبت ظرفیت مزرعه خاک نیز در سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده پلی آکرلیک اسید و در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۲۶/۶۵ درصد بیشترین مقدار بود و کمترین مقدار آن نیز مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده پلی آکرلیک اسید و در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۱۹ درصد حاصل شد (جدول ۳). یکی از ویژگی‌های بارز پلیمرها این است که باعث اتصال ذرات به یکدیگر می‌شوند و خاکدانه‌های درشت‌تری را ایجاد می‌کنند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردند. در واقع مواد پلیمری محلول در آب پس از رقیق شدن در آب، بر روی خاک پاشیده می‌شود و در معرض هوا تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری می‌دهد که در نتیجه می‌تواند با ایجاد پیوند بین ذرات خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها شود (Mohavehdan et al., 2014).

اثر متقابل هیومیک اسید و شوری بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل هیومیک اسید و سطوح مختلف شوری بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه معنی‌دار بود (جدول ۳).

بیشترین میزان پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای حاوی هیومیک اسید به ترتیب مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۱/۳۱ میلی‌متر و کمترین میزان پایداری خاکدانه‌ها نیز مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۰/۵ میلی‌متر بود (جدول ۵). همچنین بیشترین میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در تیمارهای حاوی هیومیک اسید به ترتیب مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۲۵/۶۵ درصد و کمترین میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک نیز مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۱۹ درصد بود (جدول ۵). باقی ماندن مواد آلی و بقایای گیاهی در خاک با تأثیر مثبت بر خصوصیات خاک، نفوذپذیری خاک را افزایش داده (Gangwar et al., 2006) و باعث بهبود ساختمان خاک تولید می‌شود. افزایش تحریک و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک در کنار نفوذپذیری و بهبود ثبات خاکدانه‌ها از فواید

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح شوری و هیومیک اسید بر میزان پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک

خصوصیات		سطوح شوری (dSm ⁻¹)	سطح مصرف هیومیک اسید (%)
رطوبت ظرفیت مزرعه (%)	پایداری خاکدانه‌ها (mm)		
۱۹e	۰/۷۷ef	۱۰	صفر
۱۹/۳۳e	۰/۶۹fgh	۲۰	
۱۹/۱۳e	۰/۵۳gh	۳۰	
۱۹/۲۶e	۰/۵h	۴۰	
۲۰/۱۰cd	۱/۰۶cd	۱۰	۰/۲
۲۰/۰۲۴d	۰/۷۱def	۲۰	
۲۰/۵۸cd	۰/۵۳gh	۳۰	
۲۱/۲۴d	۰/۶۰fgh	۴۰	
۲۱/۶۷cd	۱/۲bc	۱۰	۰/۴
۲۲/۵۴۱b	۰/۹de	۲۰	
۲۲/۱۰۳bc	۰/۶۵fgh	۳۰	
۲۲/۴۴۱b	۰/۶۲fgh	۴۰	
۲۴/۱a	۱/۵۱a	۱۰	۰/۸
۲۴/۶a	۱/۳۱b	۲۰	
۲۴/۳۰a	۰/۷۵ef	۳۰	
۲۵/۶۵a	۰/۶۳fgh	۴۰	

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌دار ندارند

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که پلی‌آکرلیک و هیومیک اسید بر پایداری خاکدانه‌ها و رطوبت ظرفیت مزرعه تأثیر داشتند. با افزایش سطح شوری تا ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر در خاک، میزان پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافت. بیشترین میزان پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای حاوی پلی‌آکرلیک اسید مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۳/۱۳ میلی‌متر و کمترین میزان آن نیز در تیمارهای حاوی پلی‌آکرلیک اسید مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۰/۵ میلی‌متر بود. همچنین بیشترین میزان پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای حاوی هیومیک اسید به ترتیب مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۱/۵۱ میلی‌متر و کمترین میزان

پایداری خاکدانه‌ها نیز مربوط به سطح صفر درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به مقدار ۰/۵ میلی‌متر بود. بیشترین میزان رطوبت ظرفیت مزرعه خاک در تیمارهای حاوی پلی‌آکرلیک و هیومیک اسید مربوط به سطح ۰/۸ درصد اصلاح‌کننده در سطح شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۵/۶۵ و ۲۶/۶۵ درصد اندازه‌گیری شد. پلی‌آکرلیک اسید باعث افزایش بیشتر پایداری خاکدانه‌ها نسبت به هیومیک اسید شد اما رفتار هر دو اصلاح‌کننده در افزایش رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای مشابه بود از این رو با پیشنهاد ادامه تحقیق در مورد اثرات پلی‌آکرلیک اسید بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک، مصرف هیومیک اسید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های تحت تأثیر نمک پیشنهاد می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- 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.
- Barzegar, E. (2001). Soil Physics. Ahwaz University Press. 591p. (In Farsi)
- Bast, A., Wilcke, W., Graf, F., Lüscher, P., & Gärtner, H. (2015). A simplified and rapid technique to determine an aggregate stability coefficient in coarse grained soils. *Catena*, 127, 170-176.
- Bastian, F., Bouziri, L., Nicolardot, B., and Ranjard, L. (2009). Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 262-275.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils.

- Agronomy Journal, 54, 464-465.
- Bhardwaj, A. K., Mandal, U. K., Bar-Tal, A., Gilboa, A., and Levy, G. J. (2008). Replacing saline-sodic irrigation water with treated wastewater: effects on saturated hydraulic conductivity, slaking, and swelling. *Irrigation Science*, 26(2), 139-146.
- Bhattacharyya, R., Chandra, S., Singh, R. D., Kundu, S., Srivastva, A. K., and Gupta, H. S. (2007). Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 386-396.
- Bian, X., Zeng, L., Deng, Y., and Li, X. (2018). The role of superabsorbent polymer on strength and microstructure development in cemented dredged clay with high water content. *Polymers*, 10(10), 1069.
- Bronick, C. J., and Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- De Gryze, S., Six J., Britsand C. and Merckx R. (2005). A quantification of short-term macroaggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. *Soil Biol. Biochem.* 37: 55-66.
- 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.
- Farhpour, M., F. Ghayour, F.A., Sharbaf, H, and Yusefiadeh A. (2005). Comparison of some hydro mulches and oil mulches as adsorbents sand dunes. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 12 (2), 121-134.
- Fortun, A., J. Benayas and C. Fortun (1990). The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. *J. Soil Sci.* 41:563-572.
- Gangwar, K. S., Singh, K. K., Sharma, S. K., and Tomar, O. K. (2006). Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. *Soil and Tillage Research*, 88(1-2), 242-252.
- Guenet, B., Neill, C., Bardoux, G., and Abbadie, L. (2010). Is there a linear relationship between priming effect intensity and the amount of organic matter input?. *Applied Soil Ecology*, 46(3), 436-442.
- Han, Y., Yu, X., Yang, P., Li, B., Xu, L., and Wang, C. (2013). Dynamic study on water diffusivity of soil with super-absorbent polymer application. *Environmental Earth Sciences*, 69(1), 289-296.
- Hoffman, G. J. (1980). Guidelines for the reclamation of salt-affected soils, in G. A. O'Connor, ed., Proc. 2nd International American Conference. on Salinity and Water Management Technology, Juarez, Mexico, December 11-12, 1980, 49-64.
- 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 in a range of soils. *Geoderma*, 249, 87-99.
- Jessop, R. S., and Stewart, L. W. (1983). Effects of crop residues, soil type and temperature on emergence and early growth of wheat. *Plant and Soil*, 74(1), 101-109.
- Johnson, J. F., Allmaras, R. R., and Reicosky, D. C. (2006). Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agronomy journal*, 98(3), 622-636.
- Kiem, R. and Kandeler E. (1997). Stabilization of aggregates by the microbial biomass as affected by soil texture and type. *Applied Soil Ecology*. 5: 221-230
- Kohler, J., Caravaca, F., and Roldán, A. (2010). An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(3), 429-434.
- Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A. and Ganjali, A. (2010). Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7: 583-594. (In Farsi).
- Lou, Y., Xu, M., Wang, W., Sun, X., and Zhao, K. (2011). Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization. *Soil and Tillage Research*, 113(1), 70-73.
- Morlat, R., and Chaussod, R. (2008). Long-term additions of organic amendments in a Loire Valley vineyard. I. Effects on properties of a calcareous sandy soil. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(4), 353-363.
- Nelson, R. E. (1982). Carbonate and Gypsum. P. 181-197. In Page, A. L. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2.* (2nd ed.). Agron. Mongor. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter: Loss-on Ignition Method. P. 1004. In Sparks, D. L. et al. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3.* 3rd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Oades, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*. 76: 319-337.30.
- Piccolo, A., G. Pietramellara and J.S.C. Mbagwu. (1997). Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*, 75: 267-277
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 417-435.
- Sebahattin, A. and C. Necdet. (2005). Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Agron. J.* 4: 130-133.
- Singh, A., and Kaur, J. (2012). Impact of conservation tillage on soil properties in rice-wheat cropping system. *Agriculture Science Research Journal*, 2(1), 30-41.
- Sivapalan, S. (2001). Effect of polymer on soil water

- holding capacity and plant water use efficiency. In *10th Australian Agronomy Conference 2001*. The Regional Institute.
- Tajik, F., Pazira, A., and Rahimmi, H. (1999). Overview of quantitative evaluation methods of aggregate stability. *Journal of Soil and Water*. 13: 63-74. (In persian)
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5, 475-490.
- 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.
- Vaezi, A. R., Akbari, S., and Mohammadi, M.H. (2014). Study of rainfall processes in calcareous soils aggregates under laboratory conditions in NW Zanzan. *Iran Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(1), 87-94. (In persian)
- Wang, J. G., Yang, W., Yu, B., Li, Z. X., Cai, C. F., and Ma, R. M. (2016). Estimating the influence of related soil properties on macro-and micro-aggregate stability in ultisols of south-central China. *Catena*, 137, 545-553.
- Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses 1. *Agronomy Journal*, 28(5), 337-351.