نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۱صفحه‌های ۲۷ تا ۳۸ / سال ۱۳۹۸

اثرات بیوپلیمرهای کیتوسان و صمغ عربی بر برخی از خصوصیات فیزیکی خاک‌های انبساط-پذیر

مهدی رحمتی*[1] و مهدی کوسه‌لو[2]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۱٤ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۱۰

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه
۲- دانشجوی فوق لیسانس، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: mehdirmti@gmail.com

چکیده

عملیات خاکورزی در خاک‌های انبساط‌پذیر به دلیل چسبنده بودن در زمان مرطوب و سخت بودن در مواقع خشک با مشکلاتی همراه می‌باشد. یکی از راهکارهای مدیریت این خاک‌ها، استفاده از بهبود دهنده‌های خاک[1] می‌باشد. در همین راستا، در تحقیق حاضر آزمایشی به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی (CRD) با دو فاکتور شامل نوع (صمغ عربی و کیتوسان) و مقدار مصرف (صفر، پنج و ده گرم بر کیلوگرم) بهبود دهنده‌های خاک با سه تکرار به منظور بررسی اثرگذاری بیوپلیمرهای طبیعی فوق در بهبود کیفیت خاک از دیدگاه خصوصیات فیزیکی خاک‌های انبساط‌پذیر انجام شد. تعدادی از ویژگی‌های خاک پس از یک دوره زمانی حدوداً سه هفته‌ای تیمار خاک مورد پایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد صمغ عربی و کیتوسان موجب افزایش هدایت هیدرلیکی اشباع (K_s) (حدوداً دو برابر) و پایداری خاکدانه‌ها در حالت خیس (WAS) (حدوداً ۳ تا ٤ برابر) شد. شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در اثر تیمار خاک‌ها با صمغ عربی حدوداً دو برابر افزایش و در اثر تیمار با کیتوسان حدوداً به نصف کاهش یافت. در ارتباط با هدر رفت آب خاک نیز، صمغ عربی موجب حفظ رطوبت بیشتری در خاک در مقابل نیروی تبخیر گردید. میزان انبساط خاک-های مورد آزمایش نیز در اثر کاربرد هردو بیوپلیمر فوق به حدود نصف کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد بتوان از بیوپلیمرهای فوق برای کاهش خاصیت انبساط و انقباض خاک‌ها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بیوپلیمر، خاک متورم شونده، نگهداری آب، ورتی‌سول‌ها

[1] - Soil conditioners

Effects of Chitosan and Arabic Gum Biopolymers on Some Physical Properties of Swelling Soils

Mehdi Rahmati*[1], Mehdi Kouselou[2]

Received: March 17, 2019 Accepted: March 17, 2019
[1] Assis. Prof., Dept. of Soil Sci. and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
[2] Master Student, Dept. of Soil Sci. and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
*Corresponding author, Email address: mehdirmti@gmail.com

Abstract

Tillage operations in swelling soils comprise some difficulties due to the fact that they are sticky during wet periods and hard in dry conditions. Applying soil conditioners is one of the solutions for managing these soils. In this study, a completely randomized (CRD) factorial experiment with two factors including type (Arabic gum and Chitosan) and amounts (zero, 5, and 10 grams per kilogram) of two soil conditioners with three replications was carried out to investigate the effect of these natural biopolymers on the improvement of the physical quality of these soils. Several soil characteristics were examined after three weeks of incubation time. The results showed that the use of Arabic gum and Chitosan increased saturated hydraulic conductivity (Ks) (approximately twice) and wet-aggregate stability (WAS) (approximately 3-4 times). The mean weight dimeter (MWD) index increased around twice as a result of the treatment of soil by Arabic gum and decreased around half due to soil treatment by Chitosan. Regarding soil water storage, Arabic gum retained more water in soil exposing to evaporation force. The swelling volume of the examined soils decreased around half as a result of the application of both above-mentioned biopolymers. Therefore, the above-mentioned biopolymers can be used to treat swelling soils hoping a considerable reduction in their swelling and shrinkage characteristics.

Keywords: Biopolymers, Swelling soils, Vertisols, Water retention

مقدمه

مواجهه با خاک‌هایی که شدیداً ایجاد ترک و شکاف می‌کنند عموماً به یک سری مشکلات خاص در ارتباط با مدیریت آب خاک، خاکورزی، سیستم‌های کشت و مدیریت عناصر غذایی منتج می‌شود[1]. این خاک‌ها به رده ورتی‌سول‌ها و زیررده ورتیک دیگر رده‌ها تعلق دارند و اساساً در نواحی حاره‌ای و بعضی از مناطق دیگر به خصوص بعضی مناطق ایران یافت می‌شوند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۰). مهم‌ترین جنبه مدیریتی این خاک‌ها، مدیریت آب خاک می‌باشد. زهکشی داخلی ضعیف و هدایت هیدرولیکی شدیداً کند منجر به ماندابی شدن آب و تأخیر در کشت در فصول مرطوب و ایجاد ترک‌ها و شکاف‌ها عمیق در طی فصول خشک می‌شود. چسبندگی بالای خاک‌ها اجازه انجام عملیات خاکورزی در یک محدوده باریکی از رطوبت خاک را می‌دهد، زیرا خاک‌ها شدیداً در زمان مرطوب بودن چسبنده بوده و در مواقع خشک بودن هم شدیداً سخت هستند. به‌کارگیری ابزارهای شخم در شرایط مرطوب ممکن است به چسبیدن خاک‌ها به ابزارهای خاکورزی و ایجاد کلوخه‌ها درشت در خاک منجر شود. همچنین، شکاف‌های عمیق و عریض در طی فصول خشک نیز موجب حرکت سریع آب باران به داخل ترک-ها و خارج شدن آن‌ها از دسترس گیاهان می‌شود.

دشت مراغه و هشترود از مهم‌ترین مراکز تولید و کشت گندم دیم کشور می‌باشد به طوری که طبق گزارش سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی[2]، ۳۵ هزار هکتار از اراضی شهرستان مراغه زیر کشت گندم

[1] - http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/heavy-cracking-clays/en/

[2] - http://ostan-as.gov.ir/

دیم می‌باشند که می‌تواند سهم قابل توجهی در تولید گندم کشور داشته باشد. بخش قابل توجهی از خاک‌های زیر کشت گندم دیم که در محدوده دشت مراغه و هشترود واقع شده‌اند، دارای خصوصیات ورتیک می-باشند که تحت عنوان خاک‌های مشکل‌دار شناخته می-شوند. سرکار داشتن با خاک‌های مشکل‌دار همیشه چالش‌آور بوده است. بنابراین، ضروری است که این خاک‌های مشکل‌دار به درستی مدیریت گردند. یکی از راهکارهای مدیریت این خاک‌ها، استفاده از بهبود دهنده های خاک می‌باشد. با این وجود، انتخاب یک تهویه‌کننده مناسب خیلی حیاتی خواهد بود. زیرا این مواد نه تنها باید عملکرد مناسبی داشته باشد، بلکه باید سازگار با محیط‌زیست نیز باشند.

تحقیقات اخیر نشان داده است که پلیمرهای طبیعی و جایگزین‌های آن ها نقش مهمی را در بهبود کیفیت خاک‌ها بازی می‌کنند. باکتری‌ها بیوپلیمرهای متنوعی را با خواص شیمیایی مختلف، از طریق استفاده از بسترهای مختلف تولید می‌کنند. برخی از این بیوپلیمرها عملکردهای مشابهی دارند، درحالی که برخی دیگر مخصوص گونه‌ی خاص هستند و عملکردهای بیولوژیکی مجزایی دارند (اندرسون و همکاران ۱۹۹۰، رحم و والا ۱۹۹۷). بیوپلیمرها می‌توانند برون سلولی یا درون سلولی باشند. بیوپلیمرهای درون سلولی معدود بوده و به صورت محدودی استفاده می‌شوند، در مقابل بیوپلیمرهای برون سلولی طیف گسترده‌ی دارند و در چهار کلاس بزرگ شامل پلی‌ساکاریدها، پلی‌انیدریدهای معدنی، پلی‌استرها و پلی‌آمیدها گروه‌بندی می‌شوند (سرنینگ ۱۹۹۵، رحم ۲۰۱۰). پلی‌ساکاریدها از فراوان-ترین بیوپلیمرهای برون سلولی هستند (دوگسا و همکاران ۲۰۰۵) که در ساختار دیواره‌های سلولی به عنوان ترکیباتی در اسیدهای تیکوئیک یافت می‌شوند. از دیدگاه ژئومیکروبیولوژی، پلی‌ساکاریدهای برون سلولی[1] (EPS) نقش بسیار جامع و وسیعی را در تشکیل بایوفیلم دارد و شامل نسبت بیشتری از کل زیست‌توده بایوفیلم است (تمپلتون و همکاران ۲۰۰۳). بیش از ۹۹ درصد از میکروارگانیسم‌های خاک به صورت اجتماعی از سلول‌ها در زمینه‌ای از پلیمری برون سلولی زندگی می‌کنند که به عنوان بایوفیلم شناخته می‌شوند (دنخواس و همکاران ۲۰۰۷، ویو و همکاران ۲۰۰۹). این پلیمرهای برون سلولی عمدتاً از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها تشکیل شده‌اند و شامل مقادیر اندکی از اسیدهای نوکلوئیک، لیپیدها یا مواد هیومیک نیز هستند (فلمینگ و وینگردر ۲۰۰۱، رومرو و همکاران ۲۰۱۰). در تعریفی دیگر از تری‌پاتی و همکاران (۲۰۱۱) بایوفیلم‌ها، شامل سلول‌های موجود در زمینه‌ای از مواد برون سلولی هستند که به مقدار زیادی از باکتری‌ها ترشح می‌شوند و به صورت کمپلکس فیزیکی و شیمیایی ناهمگن، در بسیاری از محیط‌های آبی طبیعی و مهندسی شده نمایان می‌شوند. بنابراین، تولید EPS توسط سلول‌های میکروبی امری متداول بوده، که نقش کلیدی در تشکیل بایوفیلم دارد و از طریق افزایش مقاومت به کم‌آبی و حفاظت در برابر آفت‌کش‌ها، باعث تحکیم و حفاظت از ساختار بایوفیلم می‌شود. مواد پلیمری برون سلولی همچنین در تسهیل چسپندگی سلول به سطح ذرات نقش دارد (اوموئیکه و همکاران ۲۰۰٤).

تجمع میکروبی خاک و ترکیبات EPS، یک سازگاری موقتی در وضعیت فراهمی آب و عناصر غذایی فراهم می‌کند و مبادلات ژنتیکی و متابولیکی بین خاک و میکروب‌ها را افزایش می‌دهد. حضور فراگیر چنین مواد پلیمری خارج سلولی میکروبی، در زیست بوم‌ها و شرایط زیست محیطی مختلف به نقش کلیدی آن ها در سازگاری با محیط، نسبت داده شده است. به طور مثال، آن ها مواد مغذی را گیر انداخته و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را بهینه می‌کنند (اور و همکاران ۲۰۰۷). شبکه‌ای از رشته‌های مواد پلیمری برون سلولی

[1] - Exopolysaccharides

با توجه به خصوصیات سطحی آن ها، به عنوان یک اسفنج با ظرفیت نگهداری آب قابل توجه، عمل می‌کنند.

مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی نشان داده که بیوپلیمرها در خاک باعث افزایش مقاومت در برابر فرسایش خاک شده و به رشد بهتر گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر می‌شود (چانگ و همکاران ۲۰۱۵). تولید منافذ نسبتاً بزرگ در خاک و افزایش نگهداری رطوبت خاک، از ویژگی‌های منحصربه‌فرد بیوپلیمرهای هیدروارگانیک می‌باشد (چانگ و همکاران ۲۰۱۵). هدف کلی از تیمار خاک در مهندسی ساختمان خاک، بهبود خصوصیات خاک مثل پایداری خاکدانه، استحکام و مقاومت در برابر فرسایش می‌باشد. معایب زیادی شامل مشکلات زیست‌محیطی برای مواد متداول تیمارکننده‌ی خاک گزارش شده است. بنابراین یک ماده سازگار با محیط‌زیست برای جایگزینی با آن مواد متداول، مورد نیاز است. صمغ زانتان یک پلی‌ساکارید عمومی است که به عنوان یک مکمل غذایی و اصلاح‌کننده خاک استفاده می‌شود (چانگ و همکاران ۲۰۱۵). برای اهداف آزمایشگاهی و تجربی، زانتان می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای مواد پلیمری برون سلولی (EPS) استفاده شود، زیرا ویژگی‌های فیزیکی بسیار مشابهی با مواد پلیمری برون سلولی دارد. مطالعات نشان داد که برای افزایش نگهداری آب خاک و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک که از وظایف تأثیرگذاری بایوفیلم‌هاست، می‌توان از زانتان به عنوان یک جایگزین برای EPS استفاده کرد (روزنکراز و همکاران ۲۰۱۲). علی‌رغم اثرات مفید زانتان در بهبود خصوصیات ساختاری خاک؛ فراهمی و بعضا هزینه بالای آن موجب می‌شود آزمایش و معرفی دیگر جایگزین‌های مناسب برای EPSها که سازگار با محیط زیست نیز هستند، در کانون توجهات قرار گیرد.

صمغ عربی که به عنوان صمغ اقاقیا نیز شناخته شده است، یک صمغ طبیعی بوده و از سفت و جامد شدن عصاره دو گونه از درخت اقاقیا تشکیل می‌شود (علی و همکاران ۲۰۰۹). صمغ عربی مخلوطی از پلی-ساکارید و گلیکوپروتئین‌هایی است که به آن ویژگی چسبندگی بخشیده و توسط انسان قابل خوردن است. صمغ عربی، صمغ طبیعی از قندهای ریبوز و آرابیوز است که هر دو این قندها از این صمغ استخراج و جداسازی شده و بعد از آن نام‌گذاری شده‌اند.

بر اساس یافته‌های الجک (۲۰۱۵) صمغ عربی، نگهداری آب در خاک ریز بافت و پایداری خاکدانه‌ها را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش و در مقابل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را کاهش داد. افزایش در نگهداری آب ممکن است به دلیل اثر صمغ در اصلاح ساختمان خاک بوده و منجر به جذب آب بیشتری گردد و همچنین به دلیل ظرفیت صمغ عربی در ذخیره رطوبت باشد. کلمن و همکاران (۱۹۸٦) دریافتند که ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های تیمار شده با صمغ به‌طور قابل توجهی بیشتر از خاک‌های آلی است. افزایش پایداری خاکدانه‌ها نیز به دلیل تأثیر پلی‌ساکاریدها در سیمانی کردن ذرات خاک است (الجک ۲۰۱۵). موحامد (۱۹۹۹) گزارش کرده است که صمغ عربی به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/05$) پایداری خاک‌دانه‌ها را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. پلی‌ساکاریدها در حضور آنیون‌های خاص به عنوان عوامل اتصال عمل می‌کنند (استنفورد و بیرد ۱۹۸۳). گرینلند (۱۹۷۲) اشاره کرده است که حلقه‌های موجود در رشته‌های پلیمرها می‌توانند چندین پل اتصال بین خاکدانه‌های رس ایجاد کنند.

از طرفی دیگر، کیتوسان محصول غیرسمی، تجدید شدنی، فراوان و ارزان صنایع فرآیندی صدف‌دار می‌باشد و جزء پلی‌ساکاریدهای طبیعی فراوان در طبیعت می‌باشد (ثاراناتان و کیتور ۲۰۰۳). کیتوسان تا به امروز در بسیاری از کاربردهای صنعتی و محیط زیستی به کار رفته است که می‌توان به کاربرد آن به عنوان عامل پالایش برای خارج کردن عناصر سنگین از محلول‌های آبی اشاره کرد (خرنته و همکاران ۲۰۰۷).

کیتوسان می‌توان به شکل پودر، فلسی شکل یا دانه دانه باشد و می‌تواند به عنوان یک جاذب جایگزین استفاده شود و قابلیت زیادی نیز در خارج کردن عناصر سنگین از محیط‌های آبی را نشان داده است (پانتونی و فابریسیو ۲۰۱۲). کیتوسان همچنین به عنوان عامل اصلاح کننده سطوح جذبی عمل می‌کند. زیرا گروه آمینی آن قابلیت پیوندهی بسیاری با عناصر سنگین دارد (خرنته و همکاران ۲۰۰۷، باتناگار و سیلانپا ۲۰۰۹، پانتونی و فابریسیو ۲۰۱۲). با این وجود تحقیقات کافی در رابطه با کیتوسان و کاربرد آن به عنوان تهویه کننده خاک صورت نگرفته است و در تحقیقات اندک صورت گرفته نیز بیشتر به بررسی اثرات آن بر روی موجودات زنده خاک و پاتوژن‌ها در خاک پرداخته شده است (هالمن و همکاران ۲۰۰۱، سرتویو و همکاران ۲۰۱۳). در همین راستا، در تحقیق حاضر صمغ عربی و کیتوسان که ویژگی‌های مشابه زیادی به زانتان دارند، به منظور بررسی اثرگذاری آن ها در بهبود کیفیت خاک از دیدگاه خصوصیات هیدرولیکی و ساختمانی و به‌طور خاص به منظور جلوگیری از انبساط‌پذیری و ایجاد ترک و شکاف‌های خاک‌های با خصوصیات ورتیک انجام شد و نتایج قابل توجهی نیز به‌دست آمد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق یک نمونه مرکب خاک از موسسه تحقیقات دیم مراغه[1] (DARI) تهیه شد. بر اساس مطالعات خاکشناسی تفصیلی، خاک‌های فوق در رده اینسپتی‌سول در زیرگروه ورتیک هپلوزرپتز[2] قرار دارند (سیدقیاسی، ۱۹۹۱). مشخصه بارز نمونه‌های فوق خصوصیت ورتیک آن‌ها می‌باشد که در فصول مرطوب سال موجب انبساط و افزایش حجم خاک و در فصول خشک موجب ایجاد ترک و شکاف‌های عمیق در سطح خاک می‌شوند. خاک‌های فوق در حالت مرطوب چسبندگی بسیاری زیادی دارند و در عملیات کشت و کار و شخم مشکلاتی را ایجاد می‌کنند. نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتیمتری خاک تهیه شد.

برای ارزیابی اثرات صمغ عربی و کیتوسان روی کیفیت خاک‌های مورد بررسی، آزمایشی به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی (CRD) با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمار خاک با صمغ عربی (GA) و کیتوسان (CH) و فاکتور دوم شامل مقادیر مختلف صمغ عربی شامل P1: شاهد (بدون مصرف بهبود دهنده‌های خاک)، P2: مصرف ۵ گرم بر کیلوگرم خاک و P3: مصرف ۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک از بیوپلیمرهای مدنظر بود. در نهایت نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS و آنالیزهای روش‌های واریانس، تجزیه و تحلیل شدند.

در این پژوهش، تعدادی از ویژگی‌های خاک جهت ارزیابی اثرات صمغ عربی و کیتوسان روی شاخص‌های فیزیکی خاک مورد پایش قرار گرفتند. در تحقیقات مختلف زمان خواباندن برای اثرگذاری بیوپلیمرها از چند ساعت تا چند هفته گزارش شده است (اسمیتا و ساچان ۲۰۱۶، پریچهره و همکاران ۲۰۱۷، باقری و افراسیاب ۲۰۱۷). لذا در این تحقیق به طور متوسط یک زمان خواباندن حدوداً سه هفته‌ای برای اثرگذاری تیمارها در نظر گرفته شد. پایداری خاکدانه‌ها در حالت خیس (WAS) با استفاده از دستگاه الک مرطوب[3] اندازه‌گیری شد (نیمو و پرکینز ۲۰۰۲). اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) با روش بار افتان اندازه گیری شد (کلوت و دیرکسن ۱۹۸۶). برای بدست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از روش سری الک‌ها استفاده گردید (یودر۱۹۳۶). برای اندازه‌گیری میزان انبساط خاک‌ها، حجم خاک انبساط یافته در داخل سیلندرهای نمونه‌برداری پس از اشباع کردن خاک و اندازه‌گیری متوسط ارتفاع بالا آمدگی خاک و با در نظر گرفتن سطح مقطع خاک محاسبه شد. در نهایت به منظور ارزیابی اثرات بیوپلیمرهای استفاده

[1] - Dry-land agricultural research institute
[2] - Vertic Haploxerepts
[3] -Wet sieving

شده در حفظ رطوبت خاک، میزان هدر رفت آب خاک در مقابل نیروی تبخیر مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور تمامی خاک‌ها پس از آماده سازی و اعمال تیمارها، به طور دستی به رطوبت اشباع رسانده شد و سپس در داخل یک ظروف که اجازه زهکشی و خروجی آب را نمی‌داد در معرض نیروی تبخیر (هوای آزاد) در داخل آزمایشگاه قرار گرفتند و در زمان‌های مختلف مقدار رطوبت خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و رطوبت خاک در زمان‌های مختلف به روش وزنی تعیین شد (دین و هوپمنز ۲۰۰۲) و در نهایت کاهش رطوبت خاک در زمان‌های مختلف نسبت به شرایط اشباع بررسی شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ خصوصیات پایه‌ای خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. خاک مورد استفاده در این پژوهش در کلاس بافت لوم بوده و از نظر مقدار ماده آلی فقیر می‌باشد. همچنین این خاک با هدایت الکتریکی (EC) عصاره اشباع برابر با ۲/۵ دسی زیمنس بر متر و pH برابر با ٦/٧ در دسته خاک‌های نرمال و غیر شور می‌باشد (چابرا، ۲۰۰٤). مشخصه اصلی خاک مورد استفاده در این پژوهش، خاصیت انبساط و انقباض آن می‌باشد به طوری که خاک فوق در حالت اشباع کامل به طور میانگین حدود ۹ سانتیمتر مکعب انبساط نشان داد که برابر با افزایش حجم حدود ۱۰ درصد می‌باشد. از دیگر مشخصه‌های اصلی این خاک‌ها ایجاد ترک و شکاف در حالت خشک می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس و ارزیابی اثرات تیمارهای صمغ عربی و کیتوسان بر خصوصیات مورد مطالعه نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد در هدایت هیدرولیکی خاک‌ها در اثر کاربرد کیتوسان و صمغ عربی و همچنین مقادیر مختلف هر کدام از این بیوپلیمرها می‌باشد. با این وجود اثر متقابل نوع بیوپلیمر و مقدار مصرف معنی‌دار نشده است. نتایج مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی خاک‌های تیمار شده با کیتوسان (۰/٥٥٦ میلی‌متر بر ساعت) به طور معنی‌داری ($P>0.05$) بیشتر از خاک‌های تیمار شده با صمغ عربی (۰/۳۷۲ میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد. مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی خاک‌های تیمار شده با مقادیر مختلف بیوپلیمرهای کاربردی نیز در شکل ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش میزان بیوپلیمرهای مصرفی هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش نشان داده است (۰/٥۹ و ۰/٤۹ در مقابل ۰/۳۳ میلی‌متر بر ساعت) که می‌تواند در اثر افزایش حجم تخلخل خاک باشد. با این وجود نتایج حاصل شده با یافته‌های الجک (۲۰۱٥) مغایر بود. نتایج تحقیق الجک (۲۰۱٥) نشان داد که تیمار صمغ به طور غیر معنی‌داری هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. ایشان این کاهش در هدایت هیدرولیکی در اثر افزایش صمغ را به دلیل کاهش درصد تخلخل بیان کرده است. با این وجود به نظر می‌رسد که کار بیوپلیمرها منجر به افزایش تخلخل خاک شود. نتایج مربوط به ارزیابی رطوبت اشباع خاک و همچنین اندازه و پایداری خاکدانه‌ها این ادعا را تأیید می‌کند. از طرف دیگر به نظر می‌رسد دلیل اصلی بیشتر بودن هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها در اثر تیمار با کیتوسان در مقایسه با صمغ عربی می‌تواند در افزایش هرچه بیشتر تخلخل خاک در مقایسه با صمغ عربی باشد. زیرا نتایج بررسی اندازه خاکدانه‌ها نشان می‌دهد که کیتوسان علی‌رغم افزایش پایداری خاکدانه‌ها، منجر به ایجاد خاکدانه‌های ریزتری نسبت به صمغ عربی شده است که می‌تواند در بیشتر شدن حجم خلل و فرج خاک مؤثرباشد.

جدول ۱- خصوصیات عمومی خاک ارزیابی شده

پارامتر	رس	سیلت	شن	OC	S_w	EC	pH
	٪				cm^3	dS/m	
مقدار	۲٥/۰	۳۳/۳	٤۱/۷	۰/٥٤	۹/٤	۲/٥۲	٦/۷۲

بافت: لوم انبساط: ۱۰٪ کلاس شوری: غیر شور

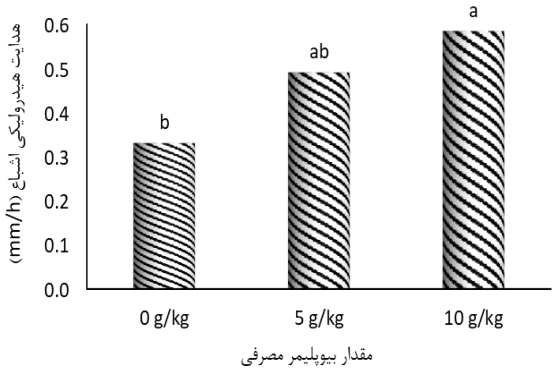
گروه بزرگ: Vertic Haploxerepts

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تاثیر صمغ عربی و کیتوسان بر خصوصیات فیزیکی خاک

منبع تغییر	df	K_s	WAS	MWD
نوع	۱	۰/۱۷۰*	۱۱۰/۲۱۲^{ns}	۲۳/۸۰**
مقدار	۲	۰/۰۹۹*	٤٥٠٢/٥٥**	۰/۱٦۷^{ns}
اثر متقابل	۲	۰/۰٦۰^{ns}	۱۸۰/۳۹^{ns}	٤/۸۷**
خطا	۱۲	۰/۰۲۱	۷۰/۰٥	۰/۱٤٥

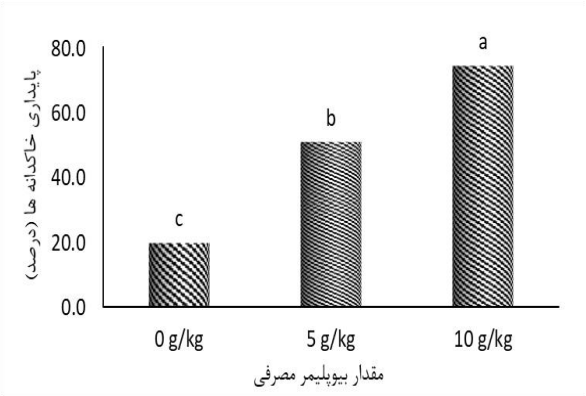
*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns: غیرمعنی‌دار

df: درجه آزادی؛ K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع؛ WAS: پایداری مرطوب خاکدانه‌ها؛ MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها؛ S_w: انبساط خاک؛ θ_s: رطوبت اشباع خاک؛ θ_{24} و θ_{48} رطوبت خاک به ترتیب پس از ۲٤ و ٤۸ ساعت قرار گرفتن در معرض تبخیر



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف بیوپلیمرهای مصرفی در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

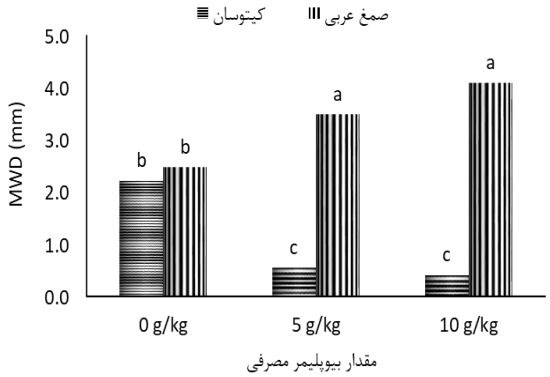
جدول ۲ نشان می‌دهد که اگرچه اختلاف معنی-داری بین کیتوسان و صمغ عربی در پایدار کردن خاکدانه‌ها وجود ندارد، ولی مقادیر مختلف مصرفی از بیوپلیمرهای فوق منجر به پایداری‌های متفاوت شده است؛ به طوری که نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف بیوپلیمرهای مصرفی در پایداری خاکدانه‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که با مصرف ۵ و ۱۰ گرم بیوپلیمر بر کیلوگرم خاک، پایداری خاکدانه‌ها را به ترتیب حدود ۳ و ٤ برابر افزایش داده است به طوری که پایداری خاکدانه‌ها از حدود ۲۰ درصد به حدود ٦۰ و ۸۰ درصد رسیده است. الجک (۲۰۱۵) نیز نشان داد که خاک تیمار شده با صمغ عربی در مقایسه با تیمار شاهد، پایداری خاکدانه را افزایش داد. به نظر می‌رسد افزایش پایداری خاکدانه‌ها به دلیل تاثیر پلی‌ساکاریدها در سیمانی کردن ذرات خاک است. موعامبر (۱۹۹۹) نیز گزارش کرده است که صمغ عربی به طور معنی‌داری پایداری خاک-دانه‌ها را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. پلی-ساکاریدها در حضور آنیون‌های خاص به عنوان عوامل اتصال عمل می‌کنند (استنفورد و بیرد ۱۹۸۳). به دام انداختن ذرات خاک توسط پلی‌مرهای زیستی (پلی-ساکاریدهای برون سلولی)، نقش بسیار مهمی در تشکیل خاکدانه‌های ریز خاک دارد و در پایداری آن ها بسیار مهم است (چنو و استوتزکی ۲۰۰۲). قابل ذکر می‌باشد ساختمان فیزیکی خاک‌های تیمار شده با پلیمرها، به وسیله پیوند دادن خاکدانه‌ها، توسط مولکول‌های بلند زنجیر بهبود می‌یابد (شانموگاناسان و اودز ۱۹۸۲). همچنین از طریق تضعیف استحکام پوسته خاک، باعث کاهش فرسایش می‌شود (وود و اوستر ۱۹۸۵).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف بیوپلیمرهای مصرفی در پایداری خاکدانه‌ها

برای ارزیابی اثر بیوپلیمرهای استفاده شده در این تحقیق بر اندازه خاکدانه‌ها از شاخص میانگین وزنی (MWD) خاکدانه‌ها استفاده شد. جدول ۲ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در شاخص MWD در اثر کاربرد کیتوسان و صمغ عربی می‌باشد. با این وجود علی‌رغم معنی‌داری اثرات متقابل

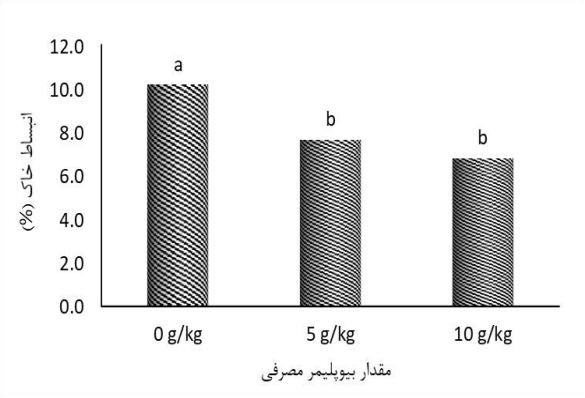
نوع بیوپلیمر و مقدار مصرفی آن‌ها در سطح احتمال یک درصد، اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار مصرفی بیوپلیمرها وجود ندارد. شکل ۳ مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع بیوپلیمر و مقدار مصرفی برای MWD را نشان می‌دهد. مقایسات میانگین نشان می‌دهد که با افزایش مقدار مصرفی کیتوسان اندازه خاکدانه‌ها (MWD) کاهش و با افزایش مقدار مصرفی صمغ عربی اندازه خاکدانه‌ها (MWD) افزایش می‌یابد. دلیل افزایش اندازه خاکدانه‌ها در اثر افزایش مقدار صمغ عربی مصرفی قابل درک می‌باشد. زیرا استنفورد و بیرد (۱۹۸۳) بر این عقیده هستند که پلی‌ساکاریدها در حضور آنیون‌های خاص به عنوان عوامل اتصال عمل می‌کنند. پلی‌ساکاریدها و پلی‌اکریل‌آمیدها به هم متصل شده و به عنوان یک پل برای اتصال به کانی‌های رس عمل می‌کنند. گرینلند (۱۹۷۲) اشاره کرده است که حلقه-های موجود در رشته‌های پلیمرها می‌توانند چندین پل اتصال بین خاکدانه‌های رس ایجاد کنند. با توجه به اینکه صمغ عربی حالت ژل کنندگی و چسبندگی دارد بنابراین ذرات خاک را بهم چسبانده و خاکدانه سازی را تسهیل کرده و ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد (ویستلر و هیمویتز ۱۹۷۹، ویستلر ۲۰۱۲). پلی‌مرهای طبیعی از جمله صمغ عربی، ساختمان خاک را پایدار کرده، بنابراین تهویه خاک، جریان آب در خاک، جوانه-زنی گیاهان و خاکدانه‌سازی را بهبود می‌بخشد (گاردنر ۱۹۷۲). با این وجود کاهش اندازه خاکدانه‌ها در اثر افزایش مقدار کیتوسان علی رغم افزایش پایداری فرآیند پیچیده‌ای است که احتمالا نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد ولی به نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش اندازه خاکدانه‌ها در اثر افزایش کیتوسان، کاهش مقدار پتانسیل زتای خاک (نتایج چاپ نشده) باشد که باید بررسی شود. به نظر می‌رسد با کاهش پتانسیل زتا ضخامت لایه پخشیده خاک کاهش یافته و خاک تمایل بیشتری برای هماوری نشان می‌دهد (هانتر ۲۰۱۳). لذا در اثر افزایش مراکز هماوری در خاک، خاکدانه‌ها به جای تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر به ذرات کوچکتر ولی پایدارتر شکسته می‌شوند. کاهش پتانسیل زتای خاک در اثر افزایش کیتوسان در تحقیق دیگر گزارش شده است که نتایج آن در حال حاضر چاپ نشده است.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع بیوپلیمر و مقدار مصرفی آن ها بر شاخص *MWD* خاکدانه‌ها

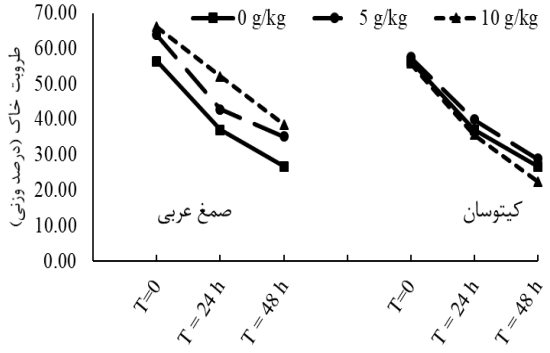
با توجه به اینکه هدف اصلی از این پژوهش بررسی کارایی بیوپلیمرهای استفاده شده (کیتوسان و صمغ عربی) برای بهبود وضعیت خاک‌های با خصوصیات ورتیک در مقابل فرآیندهای افزایش و کاهش حجم در شرایط مختلف رطوبتی بود، لذا میزان انبساط‌پذیری خاک‌ها نیز مورد آزمایش قرار گرفت. جدول ۲ نشان می‌دهد که اگر چه اختلاف معنی‌داری از نظر انبساط‌پذیری خاک در اثر مصرف دو بیوپلیمر مختلف وجود نداشت، با این وجود استفاده مقادیر مختلف از هرکدام از دو بیوپلیمر مصرفی موجب بروز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در انبساط-پذیری خاک شد. شکل ٤ نشان می‌دهد که در اثر استفاده ۱۰ گرم بیوپلیمر (کیتوسان یا صمغ عربی)، انبساط خاک از حدود ۱۰ درصد (۱۰ سانتیمترمکعب در یک نمونه با حجم حدود ۱۰۰ سانتیمتر مکعب) به حدود ٦ درصد کاهش یافته است. این کاهش حجم انبساط بیانگر این است که بیوپلیمرهای استفاده شده توانسته-اند تا حدود زیادی خاصیت انبساط و انقباض خاک‌ها را کنترل نمایند. به طور عملی نیز مشاهده شد که حجم ترک‌های تشکیل شده در خاک‌های تیمار شده در اثر

فرآیند خشک و مرطوب شدن متوالی کاهش یافته بود. اگرچه این کاهش به نظر کم می‌باشد ولی با توجه به مقدار بسیار اندک بیوپلیمرهای مصرفی می‌توان انتظار داشت که با مصرف مقدار بیشتر از بیوپلیمرها انبساط خاک فوق به مقدار بیشتری کاهش یابد.

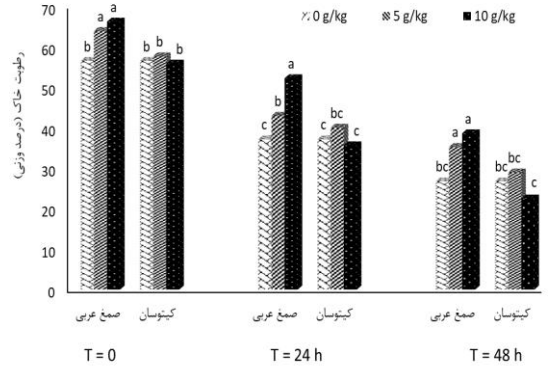


شکل ۴- مقایسه میانگین مقدار بیوپلیمرهای مصرفی بر میزان انبساط خاک

به منظور بررسی اثر بیوپلیمرها بر ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، محتوای رطوبتی خاک‌های تیمار شده به سطح اشباع رسانده شد و سپس خاک‌ها در داخل آزمایشگاه با تغیرات دمایی بین ۱۸ تا ۲٤ درجه سانتی‌گراد در معرض تبخیر قرار گرفتند و مقدار رطوبت خاک در دو بازه زمانی مختلف یک و دو روز بعد مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس و ارزیابی اثرات تیمارهای صمغ عربی و کیتوسان بر خصوصیات رطوبتی خاک مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که از جدول فوق قابل مشاهده هست، نوع و مقادیر مختلف بیوپلیمرها استفاده شده به طور معنی‌داری مقدار رطوبت خاک در حالت اشباع و بعد از ۲٤ و ٤۸ ساعت در معرض تبخیر قرار گرفتن را تحت تاثیر قرار داده است. شکل ٥ تغییرات رطوبت خاک در زمان‌های مختلف پس از تیمار و در معرض نیروی تبخیر قرار گرفتن را نشان می‌دهد. رطوبت خاک در شروع آزمایش بیانگر رطوبت اشباع خاک در اثر مصرف مقادیر مختلف از بیوپلیمرها می‌باشد. شکل ٥ نشان می‌دهد که کیتوسان تقریبا هیچ تاثیر مثبتی در نگهداری آب در خاک در مقابل نیروی تبخیر از خود نشان نداد و حتی در مقادیر بالای مصرف آن به هدر رفت بیشتر آب خاک در مقابل نیروی تبخیر منجر شد. با این وجود، با افزایش مقدار مصرف صمغ عربی، خاک مقاومت بیشتری در مقابل تبخیر آب نشان داده است. به طوری که پس از ٤۸ ساعت آب بیشتری در مقایسه با نمونه شاهد در خاک ذخیره شده بود که این مورد در مقایسات میانگین اثرات متقابل نوع و مقدار مصرفی بیوپلیمرها در شکل ٦ به خوبی مشخص است.



شکل ۵- تغییرات رطوبت خاک در اثر تیمار خاک‌ها با کیتوسان و صمغ عربی در روزهای مختلف پس از تیمار



شکل ۶- اثرات متقابل بین بیوپلیمرهای مختلف و مقادیر مصرفی آن ها بر رطوبت خاک در روزهای مختلف

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد صمغ عربی و کیتوسان موجب حدوداً دو برابر شدن هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و حدوداً ۳ تا ٤ برابر پایداری خاکدانه‌ها شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نیز در اثر تیمار خاک‌ها با صمغ عربی حدوداً دو برابر افزایش و در اثر تیمار با کیتوسان حدوداً دو برابر کاهش نشان داد. در ارتباط با تبخیر آب خاک نیز، صمغ عربی موجب حفظ رطوبت بیشتری در خاک در مقابل نیروی تبخیر گردید. در حالی که کیتوسان از قدرت حفظ آب در خاک کمتری برخوردار بود. میزان انبساط خاک‌های مورد آزمایش نیز در اثر کاربرد هردو بیوپلیمر فوق به حدود نصف کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد بسته به هدف می‌توان از بیوپلیمرهای کیتوسان و صمغ عربی برای تیمار خاک‌ها و کاستن از خاصیت انبساط و انقباض آن‌ها استفاده کرد.

تقدیر و تشکر

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی و بین‌المللی انجام شده است.

Authors gratefully thank Prof. Dr. Harry Vereecken and Prof. Dr. Andreas Pohlmeier, soil scientists from the Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany for their scientific cooperation in this project.

منابع مورد استفاده

Ali BH, Ziada A and Blunden G, 2009. Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. Food and Chemical Toxicology 47(1): 1-8.

Anderson AJ, Haywood GW and Dawes EA, 1990. Biosynthesis and composition of bacterial poly hydroxyalkanoates .International Journal of Biological Macromolecules 12(2): 102-105.

Bagheri H and Afrasiab P, 2017. Effect of super-absorbent and vermicompost at different levels of irrigation water salinity on some soil chemical properties. Water and Soil Science- University of Tabriz 27(1): 227-238.

Bhatnagar A and Sillanpää M, 2009. Applications of chitin-and chitosan-derivatives for the detoxification of water and wastewater – a short review. Advances in Colloid and Interface Science 152(1): 26-38.

Cerning J, 1995. Production of exopolysaccharides by lactic acid bacteria and dairy propionibacteria. Le Lait 75(4-5): 463-472.

Chang I, Im J, Prasidhi AK and Cho G-C, 2015. Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. Construction and Building Materials 74: 65-72.

Chenu C and Stotzky G, 2002. Interactions Between Microorganisms and Soil Particles: an Overview. *Interactions Between Soil Particles and Microorganisms: Impact on the Terrestrial Ecosystem*. IUPAC. John Wiley & Sons, Ltd., Manchester, UK: 1-40.

Chhabra R. 2004. Classification of salt-affected soils. Arid Land Research and Management 19(1): 61-79.

Cretoiu MS, Korthals GW, Visser JH and van Elsas JD, 2013. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the actinobacterial and oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. Applied and Environmental Microbiology 79(17): 5291-5301.

Dane J and Hopmans JW, 2002. Water retention and storage. Pp. 671-797. In: Dane J H and Topp G C (eds.). Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Denkhaus E, Meisen S, Telgheder U and Wingender J, 2007. Chemical and physical methods for characterisation of biofilms. Microchimica Acta 158(1-2): 1-27.

Dogsa I, Kriechbaum M, Stopar D and Laggner P, 2005. Structure of bacterial extracellular polymeric substances at different pH values as determined by SAXS. Biophysical Journal 89(4): 2711-2720.

El-Jack E-MMS, 2015. Effect of gum Arabic on some soil physical properties and growth of sorghum grown on three soil types, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Khartoum, Sudan.

Flemming H-C and Wingender J, 2001. Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs)-Part I: Structural and ecological aspects. Water Science and Technology 43(6): 1-8.

Gardner W, 1972. Use of synthetic soil conditioners in the 1950's and some implications to their further development. Ghent Rijksfac Landbouwetensch Meded 36: 1046-1061.

Gerente C, Lee V, Cloirec PL and McKay G, 2007. Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption-mechanisms and models review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 37(1): 41-127.

Greenland D, 1972 .Interactions between organic polymers and inorganic soil particles. Ghent Rijksfac Landbouwetensch Meded 36: 897-914.

Hallmann J, Bell D, Kopp-Holtwiesche B and Sikora R, 2001. Effects of natural products on soil organisms and plant health enhancement. Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet 66(2b): 609-17.

Heidari A, Mahmoodi S, Roozitalab, MH, and Mermut AR, 2010. Diversity of clay minerals in the Vertisols of three different climatic regions in Western Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 269-284.

Hunter RJ, 2013. Zeta Potential in Colloid Science: Principles and Applications, Academic press, London, UK.

Klute A and Dirksen C, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. Pp. 687-734. In: Dane JH and Topp GC, (eds.). Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods(methodsofsoilan1):. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Kullmann A, Lehfeldt J and Benkenstein H, 1986. The effect of an organic gel on the physical and physical-chemical properties of a sandy soil. Agrochemistry and Soil Science 35: 234-239

Mohamed B, 1999. Effect of natural amendments on aggregate stability and water flow in different soils. M.Sc. thesis, University of Khartoum, Faculty of Agriculture, Shambat, Sudan.

Nimmo JR and Perkins KS, 2002. 2.6 Aggregate stability and size distribution. Pp. 317-328. In: Dane JH and Topp GC, (eds.). Methods of Soil Analysis: Part 4. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Omoike A, Chorover J, Kwon KD and Kubicki JD, 2004. Adhesion of bacterial exopolymers to α-FeOOH: Inner-sphere complexation of phosphodiester groups. Langmuir 20(25): 11108-11114.

Or D, Phutane S and Dechesne A, 2007. Extracellular polymeric substances affecting pore-scale hydrologic conditions for bacterial activity in unsaturated soils. Vadose Zone Journal 6(2): 298-305.

Parichehre M, Sadeghzadeh F, Bahmanyar MA and Ghajar Sepanlu M, 2017. Effects of rice straw and dicer biochars on chemical characteristics of clay-loam, saline-sodic soil. Water and Soil Science- University of Tabriz 27(2): 39-61.

Pontoni L and Fabbricino M, 2012. Use of chitosan and chitosan-derivatives to remove arsenic from aqueous solutions-a mini review. Carbohydrate Research 356: 86-92.

Rehm B and Valla S, 1997. Bacterial alginates: biosynthesis and applications. Applied Microbiology and Biotechnology 48(3): 281-288.

Rehm BH, 2010. Bacterial polymers: biosynthesis, modifications and applications. Nature Reviews Microbiology 8(8): 578-592.

Romero D, Aguilar C, Losick R and Kolter R, 2010. Amyloid fibers provide structural integrity to Bacillus subtilis biofilms. Proceedings of the National Academy of Sciences 107(5): 2230-2234.

Rosenkranz H, Iden SC and Durner W, 2012. Effect of biofilm on soil hydraulic properties: Laboratory studies using xanthan as surrogate. In EGU General Assembly Conference Abstract. Vol. 14, p. 9306. 22-27 April. Vienna, Austria.

Sandford PA and Baird J, 1983. Industrial utilization of polysaccharides. The Polysaccharides 2: 411-490.

Seyed Ghiasi M, 1991. Detailed Soil Science Studies of Farmlands at Dryland Agricultural Research Institute of Maragheh. Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh, Report No. 495. Pp. 27.

Shanmuganathan R and Oades J, 1982. Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a red-brown earth. Soil Research 20(4): 315-324.

Smitha S, and Sachan A, 2016. Use of agar biopolymer to improve the shear strength behavior of sabarmati sand. International Journal of Geotechnical Engineering 10(4): 387-400.

Templeton AS, Trainor TP, Spormann AM and Brown GE, 2003. Selenium speciation and partitioning within *Burkholderia cepacia* biofilms formed on α-Al 2 O 3 surfaces. Geochimica et Cosmochimica Acta 67(19): 3547-3557.

Tharanathan RN and Kittur FS, 2003. Chitin-the undisputed biomolecule of great potential. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 43: 61-87.

Tripathi S, Champagne D and Tufenkji N, 2011. Transport behavior of selected nanoparticles with different surface coatings in granular porous media coated with *Pseudomonas aeruginosa* biofilm. Environmental Science and Technology 46(13): 6942-6949.

Vu B, Chen M, Crawford RJ and Ivanova EP, 2009. Bacterial extracellular polysaccharides involved in biofilm formation. Molecules 14(7): 2535-2554.

Whistler R, 2012. Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives, Academic Press, INC. Published by Elsevier Inc. London, UK..

Whistler RL and Hymowitz T, 1979. Guar: Agronomy, Production, Industrial Use, and Nutrition. Purdue University Press, South Campus Courts-D, West Lafayette, Indiana.

Wood J and Oster J, 1985. The effect of cellulose xanthate and polyvinyl alcohol on the infiltration, erosion, and crusting at different sodium level. Soil Science 139(3): 243-249.

Yoder RE, 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Agronomy Journal 28(5): 337-351.