



ارزیابی اثر کربوکسی‌متیل سلولز بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در بافت‌های مختلف

محمد گل پرور^۱، علیرضا راهب^{۲*}، احمد حیدری^۳

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، araheb@ut.ac.ir

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) به‌عنوان یک پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر با قابلیت جذب آب و نسبت تورم بالا و ایجاد شبکه‌های ژل مانند در منافذ خاک می‌تواند موجب بهبود و اصلاح خاک‌های شنی گردد. این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف CMC (۰، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم) در دو شکل محلول و پودری بر برخی خصوصیات فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری (BD)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد رطوبت اشباع (SP) در سه بافت خاک شنی لومی، لومی شنی و لومی رسی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (۶۳ نمونه) و طی دوره انکوباسیون سه‌ماهه اجرا گردید. نتایج نشان داد کاربرد CMC در همه بافت‌ها موجب افزایش معنی‌دار MWD شد، به‌طوری‌که در خاک شنی لومی تیمار محلول یک گرم نسبت به شاهد افزایش ۱۷ برابری (۱۵۹۳ درصدی) را نشان داد. بیشترین SP نیز در همین بافت و تیمار به دست آمد که ۳۳ درصد بیشتر از شاهد بود، در حالی‌که در خاک‌های لومی شنی و لومی رسی برخی تیمارها کاهش SP را نشان دادند. تغییرات BD نیز وابسته به بافت بود به طوری‌که در بافت شنی لومی و لومی شنی کاهش و در لومی رسی روند افزایشی مشاهده شد. در مجموع، نتایج بیانگر آن است که CMC به‌ویژه در بافت‌های سبک و با درصد شن بالاتر و در شکل محلول، با افزایش غلظت کارایی بیشتری در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک داشته و می‌تواند به‌عنوان رویکردی مؤثر برای مدیریت و بهبود ساختمان خاک‌های شنی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: خاک شنی، خاکدانه، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع

مقدمه

خاک‌های شنی از نظر پایداری خاکدانه‌ها و توان نگهداری آب و عناصر غذایی بسیار ضعیف بوده و به دلیل نفوذپذیری زیاد مستعد هدررفت آب هستند، به‌طوری‌که تأمین آب و مواد غذایی کافی برای رشد گیاه را با مشکل روبه‌رو می‌کنند (Fu, 2021). از این رو، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌هایی با درصد شن بالا به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب در کشاورزی و پیشگیری از بیابان‌زایی اهمیت ویژه‌ای دارد (Shao et al., 2023). به‌کارگیری از مواد اصلاح‌کننده خاک همچون رس بنتونیت، بیوپار و هیدروژل‌ها می‌تواند نقش مهمی در افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی داشته باشد و از آبهوشی مواد مغذی و فرسایش خاک جلوگیری کند (Osman, 2018). در این میان، کربوکسی‌متیل سلولز^۱ (CMC) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشتقات سلولزی شناخته می‌شود که به دلیل ویژگی‌هایی نظیر آب‌دوستی، غیرسمی بودن و در دسترس بودن مواد اولیه، امروزه در صنایع مختلف از جمله علوم غذایی، کشاورزی و محیط‌زیست به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از کاربردهای CMC، بهره‌گیری از آن به‌عنوان یک پلیمر طبیعی

^۱ Carboxymethylcellulose



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اصلاح‌شده در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک است. این پلیمر به واسطه گروه‌های عاملی آب‌دوست در ساختار سه‌بعدی خود قادر است مقادیر زیادی آب را ذخیره کرده و به تدریج آزاد نماید و از این طریق ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را بهبود بخشد. پلیمرهای سلولزی به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری و عدم ایجاد آلودگی در خاک، جایگزین مناسبی برای پلیمرهای سنتزی با پایه آکریلات^۱ محسوب می‌شوند. بررسی‌های سمیت سلولی^۲ نیز نشان داده است که CMC فاقد اثرات سمی بوده و به‌عنوان ماده‌ای ایمن در کشاورزی و محیط زیست کاربرد دارد (Cannazza et al., 2014).

Shao و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که کاربرد همزمان بیوجار و CMC در خاک شنی موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری تا ۹/۴۱ درصد، افزایش ظرفیت نگهداری آب تا ۳۶/۸۷ درصد، افزایش رطوبت اشباع تا ۳۰/۷۴ درصد، بهبود پایداری خاکدانه‌ها تا ۲۵۶/۸۶ درصد و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع تا ۹۴/۹۸ درصد می‌شود (Shao et al., 2024). مطالعات داخلی نیز نشان داده‌اند که ترکیب CMC با بنتونیت موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، کاهش جرم مخصوص ظاهری و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک شنی شده است (حسینی بادآشینی و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین گزارش شده است که این ترکیب‌ها رطوبت اشباع را افزایش و جرم مخصوص ظاهری را کاهش داده‌اند که در نهایت پایداری خاکدانه‌ها و توان نگهداشت آب ارتقا یافته است (طلایی خسروشاهی و همکاران، ۱۴۰۳).

با وجود شواهد متعدد از نقش مثبت CMC در بهبود ویژگی‌های خاک‌های شنی، اطلاعات درباره تأثیر آن در خاک‌هایی با بافت و درصد شن متفاوت محدود است. بیشتر مطالعات پیشین بر خاک‌های سبک‌ترکز داشته و تأثیر CMC در بافت‌های متوسط و نیمه‌سنگین کمتر بررسی شده است. همچنین، در اغلب پژوهش‌ها تنها شکل محلول CMC استفاده شده و مقایسه بین فرم جامد و محلول انجام نگرفته است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف CMC در دو شکل مصرفی (جامد و محلول) بر ویژگی‌های فیزیکی سه نوع خاک با بافت شنی لومی، لومی شنی و لومی رسی انجام شد. نوآوری پژوهش در مقایسه هم‌زمان اثر CMC در بافت‌ها و اشکال مختلف مصرف آن است که دیدی جامع‌تر از کارایی این پلیمر در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک فراهم می‌سازد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، نمونه‌های سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از سه منطقه با بافت‌های مختلف در استان البرز شامل شنی لومی، لومی شنی و لومی رسی برداشت شد. این پژوهش در چهار مرحله انجام شد که شامل نمونه برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اعمال تیمارهای آزمایشی و خوابانیدن^۳ خاک، انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی در پایان دوره خوابانیدن و تجزیه و تحلیل داده‌ها است. پس از نمونه‌برداری، خاک‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و در شرایط محیطی و در دمای اتاق هواخشک گردیدند و سپس بقایای گیاهی و سنگریزه‌ها از آن‌ها حذف و خاک‌های خشک‌شده از الک با قطر ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. برای توصیف دقیق خاک‌های مورد استفاده، قبل از دوره خوابانیدن، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه آن‌ها اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)،

^۱ Acrylate

^۲ Cytotoxicity

^۳ Incubation



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع (Carter & Gregorich, 2007)، کربن آلی به روش والکی بلک (Walkley & Black, 1934) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Allison et al, 1965) بودند. به منظور انجام دوره خوابانیدن، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۲۱ تیمار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح کربوکسی متیل سلولز سدیم (صفر، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ گرم در کیلوگرم خاک) در دو شکل جامد پودری و محلول آبی بودند. نمونه‌ها پس از سه ماه خوابانیدن در رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، برخی خصوصیات فیزیکی خاک شامل درصد رطوبت اشباع (SP)، جرم مخصوص ظاهری (BD) به روش استوانه (Blake & Hartge 1986) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به روش چند غربالی الک تر (Van Bavel, 1950) اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی و تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 27 استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. از تحلیل ANOVA برای تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها و آزمون Tukey برای شناسایی گروه‌هایی که میانگین آنها به طور معنی‌داری از یکدیگر متفاوت هستند، استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد مطالعه

جدول ۱ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. این جدول نشان‌دهنده تنوع قابل توجه در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌هاست و بیانگر تفاوت شرایط بسترهای مورد استفاده در آزمایش است، چنین تفاوتی زمینه مناسبی را برای ارزیابی کارایی CMC در بافت‌های گوناگون فراهم می‌آورد.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مورد مطالعه

نوع خاک	pHe	EC (dS m ⁻¹)	OC (%)	CCE (%)	BD (g/cm ³)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
شنی لومی	۷/۷۰	۰/۷۵	۰/۱۱	۱۶/۰۹	۱/۶۶	۸۴/۰۷	۴/۳۳	۱۱/۶۰
لومی شنی	۷/۴۳	۰/۹۱	۰/۳۴	۳/۲۲	۱/۴۰	۷۵/۶۴	۱۰	۱۴/۳۶
لومی رسی	۷/۴۱	۱/۶۸	۰/۹	۹/۶۳	۱/۳۶	۳۳	۳۷	۳۰

اثر کربوکسی متیل سلولز بر خصوصیات فیزیکی خاک

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزودن کربوکسی متیل سلولز (CMC) در دو شکل محلول و پودری، در سطوح مختلف (۰، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ g kg⁻¹) اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رطوبت اشباع، در سه بافت شن‌شنی لومی، لومی شن‌شنی و لومی رسی بر جای گذاشت. به‌طور کلی، تیمارهای حاوی CMC به ویژه در غلظت‌های بالاتر و به شکل محلول، موجب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در همه بافت‌ها شدند. در بافت شن‌شنی لومی (جدول ۲) بیشترین مقدار SP مربوط به تیمار L_1 با میانگین ۳۷/۷۹ درصد بود که در مقایسه با تیمار شاهد (۲۸/۵۰ درصد) تفاوتی چشمگیر داشت و باعث افزایش ۳۳ درصدی رطوبت اشباع در این بافت گردید، همچنین MWD در تیمار L_1، از ۰/۳ میلی‌متر در خاک شاهد به ۵/۰۸ میلی‌متر، افزایش ۱۷ برابری (۱۵۹۳ درصد) را نشان داد. جرم مخصوص ظاهری در اکثر تیمارهای بافت شن‌شنی لومی روند ثابت و نزدیک به یکدیگر داشتند و تیمارهای L_0.5 و L_0.2 بیشترین تغییر را نشان دادند که باعث کاهش آن از ۱/۶۶ gcm⁻³ در خاک شاهد به ۱/۳۷ gcm⁻³ شد.



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



جدول ۲. نتایج میانگین تکرارهای برخی خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در بافت شنی لومی

تیمار	جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	درصد رطوبت اشباع (درصد)
LS_S_0.2	۱/۴۴ ^{bc}	۰/۳۸ ^a	۳۰/۵۸ ^{abc}
LS_S_0.5	۱/۴۷ ^c	۰/۳۶ ^a	۳۲/۵۵ ^{cd}
LS_S_1	۱/۳۸ ^a	۰/۹۱ ^b	۲۸/۷ ^{ab}
LS_L_0.2	۱/۳۸ ^a	۰/۵ ^a	۳۲/۱۰ ^{bc}
LS_L_0.5	۱/۳۷ ^a	۲/۵۷ ^c	۳۵/۶۵ ^{de}
LS_L_1	۱/۴۰ ^{ab}	۵/۰۸ ^d	۳۷/۷۹ ^e
LS_0	۱/۶۶ ^d	۰/۳ ^a	۲۸/۵ ^a
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱ ^{***}	۰/۰۰۱ ^{***}	۰/۰۰۱ ^{***}
حداقل	۱/۳۷	۰/۳	۲۸/۵
حداکثر	۱/۶۶	۵/۰۸	۳۷/۷۹
میانگین	۱/۴۴	۱/۴۴	۳۲/۲۶

میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) تفاوت معناداری ندارند. حروف بر اساس آزمون Tukey HSD و سطح معنی‌داری بر اساس آزمون ANOVA محاسبه شده است. *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۰/۱ درصد ($p < 0.001$) است.

در بافت لومی شنی (جدول ۳) اثر معنی‌دار و افزایشی بر پایداری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در همه تیمارها در مقایسه با خاک شاهد مشاهده شد، به طوری که در تیمار L_1 از ۰/۶۵ میلی‌متر در خاک شاهد به ۳/۰۷ میلی‌متر رسید که افزایش ۴/۷ برابری (۳۷۰ درصد) را نشان می‌دهد. در درصد رطوبت اشباع بر خلاف بافت شنی لومی تغییرات مثبت زیادی دیده نشد و در تیمار S_0.2 کمتر از ۱ درصد افزایش مشاهده گردید و باقی تیمارها باعث کاهش جزئی درصد رطوبت شدند. جرم مخصوص ظاهری نیز در این بافت اثر معنی‌داری نداشت هرچند که در همه غلظت‌ها روند کاهشی نسبت به خاک شاهد نشان داده شد و بیشترین کاهش در تیمار L_0.5 و S_1 بود که BD از ۱/۴۰ $g\ cm^{-3}$ به ۱/۳۲ $g\ cm^{-3}$ رسید.

جدول ۳. نتایج میانگین تکرارهای برخی خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در بافت لومی شنی

تیمار	جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	درصد رطوبت اشباع (درصد)
SL_S_0.2	۱/۳۷	۰/۷۳ ^{ab}	۳۶/۱۰ ^b
SL_S_0.5	۱/۳۴	۰/۸۷ ^{bc}	۳۵/۷۹ ^{ab}
SL_S_1	۱/۳۲	۰/۹۸ ^c	۳۵/۷۶ ^{ab}
SL_L_0.2	۱/۳۵	۱/۵۴ ^d	۳۴/۱۳ ^a
SL_L_0.5	۱/۳۲	۲/۲۶ ^e	۳۴/۰۷ ^a
SL_L_1	۱/۳۵	۳/۰۷ ^f	۳۵/۷۹ ^{ab}
SL_0	۱/۴۰	۰/۶۵ ^a	۳۵/۹۰ ^{ab}
سطح معنی‌داری	۰/۰۵۱	۰/۰۰۱ ^{***}	۰/۰۰۶ ^{**}
حداقل	۱/۳۲	۰/۶۵	۳۴/۰۷
حداکثر	۱/۴۰	۳/۰۷	۳۵/۹۰



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



میانگین ۱/۳۵ ۱/۴۴ ۳۵/۳۶
میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) تفاوت معناداری ندارند. حروف بر اساس آزمون Tukey HSD و سطح معنی داری بر اساس آزمون ANOVA محاسبه شده است. *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۰/۱ درصد ($p < 0.001$) است. ** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱ درصد ($p < 0.01$) است.

در بافت لومی رسی (جدول ۴)، کاربرد کربوکسی‌متیل سلولز در غلظت‌های آزمایشی منجر به تغییرات معنی‌دار در هر سه متغیر مورد بررسی شد. بیشترین اثر در تیمار L_1 و سپس L_0.5 مشاهده گردید؛ درصد رطوبت اشباع در این تیمار ۳۹/۳۸ درصد گزارش شد در حالی که مقدار متناظر در خاک شاهد ۳۷/۱۹ درصد بود که نشان‌دهنده افزایش حدود ۵/۹ درصدی نسبت به شاهد است. در درصد رطوبت اشباع باقی تیمارهای پودری و محلول اثر مثبتی دیده نشد و شاهد کاهش SP در همه تیمارهای پودری و L_0.2 بودیم. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نیز در تیمار L_1 از ۱/۳ میلی‌متر (شاهد) به ۳/۲۷ میلی‌متر افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش ۲/۵ برابری (۱۵۱ درصد) در این غلظت است. در جرم مخصوص ظاهری همه غلظت‌ها در دو شکل جامد و محلول شاهد افزایش معنی‌داری نسبت به خاک شاهد بودیم، به طوری که باعث افزایش آن از ۱/۳۶ به ۱/۴۶ g cm^{-3} گردید.

جدول ۴. نتایج میانگین تکرارهای برخی خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در بافت لومی رسی

تیمار	جرم مخصوص ظاهری (g cm^{-3})	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)	درصد رطوبت اشباع (درصد)
CL_S_0.2	۱/۴۲ ^{ab}	۱/۳۷ ^{ab}	۳۵/۷۵ ^a
CL_S_0.5	۱/۴۶ ^b	۱/۶۵ ^{abc}	۳۶/۱۴ ^a
CL_S_1	۱/۴۵ ^b	۱/۶۹ ^{abc}	۳۷/۱ ^{ab}
CL_L_0.2	۱/۴۴ ^b	۱/۸۵ ^{bc}	۳۷/۰۷ ^{ab}
CL_L_0.5	۱/۴۵ ^b	۲/۰ ^c	۳۸/۳۰ ^{ab}
CL_L_1	۱/۴۴ ^b	۳/۲۷ ^d	۳۹/۳۸ ^b
CL_0	۱/۳۶ ^a	۱/۳۰ ^a	۳۷/۱۹ ^{ab}
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۲ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{***}	۰/۰۰۴ ^{**}
حداقل	۱/۳۶	۱/۳۰	۳۵/۷۵
حداکثر	۱/۴۶	۳/۲۷	۳۹/۳۸
میانگین	۱/۴۳	۱/۸۷	۳۷/۲۷



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) تفاوت معناداری ندارند. حروف بر اساس آزمون Tukey HSD و سطح معنی داری بر اساس آزمون ANOVA محاسبه شده است. *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۰/۱ درصد ($p < 0.001$) است. ** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۱ درصد ($p < 0.01$) است.

افزایش پایداری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در همه تیمارهای سه نوع بافت نشان‌دهنده اثر CMC بر ساختمان میکروسکوپی خاک، از طریق پر کردن منافذ، تشکیل پل‌های پلیمری و افزایش چسبندگی ذرات است که به طور مؤثری پایداری را افزایش داده است. این نتایج با یافته‌های Yang و همکاران (۲۰۱۹)، Wu و همکاران (۲۰۱۵) و Zinchenko و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد. اثر CMC بر رطوبت اشباع بسته به نوع بافت خاک و سطح مصرف متفاوت بود، در بافت شنی لومی بیشترین مقدار افزایش و تأثیرگذاری مشاهده شد و بیانگر نقش CMC در جذب آب و افزایش ظرفیت نگهداری آن است. این افزایش ناشی از گروه‌های کربوکسیل، نسبت تورم بالا و تشکیل ساختارهای ژل‌مانند در حضور آب می‌باشد که منجر به پر شدن بخشی از منافذ درشت و افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌گردد. نتایج به دست آمده با مطالعات Shao و همکاران (۲۰۲۳) و Akalin & Pulat (۲۰۲۰) و حسینی‌بادآشینی و همکاران (۱۴۰۴) مطابقت دارد. با این حال، در بافت‌های لومی شنی و لومی رسی روند متفاوتی مشاهده و در برخی تیمارها اثر معکوس گذاشته شد، علت این امر ممکن است به دلیل برهم کنش گروه کربوکسیل CMC با کاتیون‌های خاک، پر شدن منافذ ریز، مسدود شدن آن و کاهش ظرفیت نگهداری آب باشد. کاهش جرم مخصوص ظاهری در بافت شنی لومی نشان‌دهنده اصلاح ساختمان خاک در غلظت‌های بالاتر و به شکل محلول است که با نتایج Shao و همکاران (۲۰۲۴)، طلایی‌خسروشاهی و همکاران (۱۴۰۴) و Shao و همکاران (۲۰۲۳) همسو است. افزایش جرم مخصوص ظاهری در بافت لومی رسی نشان‌دهنده افزایش تراکم بیش از حد و چسبندگی بین ذرات است که باعث اثر منفی نیز شده است. به طور کلی، بیشترین تأثیر مثبت CMC بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در بافت شنی لومی با درصد شن بالای ۸۴ درصد مشاهده شد که شکل محلول در غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم به عنوان کارآمدترین تیمار شناسایی گردید. این نتایج نشان می‌دهد که کارایی CMC به شدت وابسته به نوع بافت خاک، شکل و غلظت پلیمر و اهداف مدیریتی است. در صورتی که هدف اصلی، کاهش فرسایش و افزایش پایداری ساختمان خاک باشد، CMC می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر در تمامی بافت‌ها مورد استفاده قرار گیرد، چرا که به طور کلی منجر به افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها در هر سه بافت خاک گردید. با این حال، برای بهبود هم‌زمان خصوصیات رطوبتی، اصلاح ساختمان و کاهش جرم مخصوص ظاهری، این پلیمر در خاک‌های با بافت سبک و درصد شن بالا از کارایی بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌های این پژوهش، کربوکسی‌متیل سلولز به عنوان یک اصلاح‌کننده مؤثر در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک به ویژه در خاک‌های با بافت سبک عمل می‌کند. بیشترین کارایی این پلیمر در خاک شنی لومی با بیش از ۸۴ درصد شن و در شکل محلول با غلظت ۱ گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید که منجر به افزایش ۱۷ برابری پایداری خاکدانه‌ها، بهبود ۳۳ درصدی رطوبت اشباع و کاهش جرم مخصوص ظاهری شد. اگرچه CMC در تمامی نمونه‌ها پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد، اما اثرات آن بر جرم مخصوص ظاهری و رطوبت اشباع تحت تأثیر بافت خاک قرار داشت. در خاک‌های شنی لومی و لومی رسی، افزایش جرم مخصوص ظاهری و



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴ تا ۱۶ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



در برخی موارد کاهش رطوبت اشباع، نشان‌دهنده چسبندگی بیش از حد ذرات خاک، افزایش تراکم و پرشدن منافذ ریز خاک است. بنابراین، در خاک‌هایی با درصد شن کمتر از ۸۰ درصد، کاربرد CMC باید با احتیاط بیشتری صورت پذیرد. این پژوهش بر ضرورت انتخاب شکل و غلظت بهینه CMC با توجه به بافت خاک و اهداف مدیریتی تأکید نموده و این پلیمر را به عنوان گزینه‌ای امیدبخش برای کاهش فرسایش و بهبود کیفیت فیزیکی خاک‌های شنی معرفی می‌نماید. برای مطالعات آینده نیز، بررسی اثرات بلندمدت CMC بر ویژگی‌های هیدرولیکی و خصوصیات شیمیایی همراه با ارزیابی اقتصادی پیشنهاد می‌شود.

منابع

- حسینی بادآشیا، سید محمد، حیدری، احمد، راهب، علیرضا، اعتصامی، حسن، بی همتا، محمدرضا و گودرزوند چگینی، خدابخش. (۱۴۰۴). مقایسه عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم سیروان در خاک‌های شنی اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده در شرایط گلخانه‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶(۴)، ۹۴۹-۹۶۴.
- حسینی بادآشیا، سید محمد، حیدری، احمد، راهب، علیرضا، اعتصامی، حسن و بی همتا، محمدرضا. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر برخی مواد آلی، معدنی و باکتری‌های محرک رشد گیاه در اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یک خاک اِنْتی‌سول شنی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶(۱)، ۷۴-۵۵.
- طلایی خسروشاهی، سارا، راهب، علیرضا، حیدری، احمد، اعتصامی، حسن، خسرویان چترودی، حدیث، عبدالله پور، مصطفی و مختاری اسفیدواجانی، حمیدرضا. (۱۴۰۴). بررسی امکان اصلاح خاک‌های کم‌بازده شنی با استفاده از کربوکسی متیل سلولز و اسید هیومیک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶(۴)، ۸۵۱-۸۶۳.
- Akalin, G. O., & Pulat, M. (2020). Controlled release behavior of zinc-loaded carboxymethyl cellulose and carrageenan hydrogels and their effects on wheatgrass growth. *Journal of Polymer Research*, 27(1).
- Allison, L.E. and Moodie, C.D. (1965) Carbonate. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1379-1396.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- Bouyoucos, G.J. (1962), Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.*, 54: 464-465.
- Cannazza, G., Cataldo, A., de Benedetto, E., Demitri, C., Madaghiele, M., & Sannino, A. (2014). Experimental assessment of the use of a novel superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process. *Water (Switzerland)*, 6(7), 2056-2069.
- Carter, M.R., & Gregorich, E.G. (Eds.). (2007). *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2nd ed.). CRC Press.
- Fu, X., Wu, X., Wang, H., Chen, Y., Wang, R., & Wang, Y. (2023). Effects of fertigation with carboxymethyl cellulose potassium on water conservation, salt suppression, and maize growth in salt-affected soil. *Agricultural Water Management*, 287.
- Osman, K. T. (2018). Sandy Soils. In *Management of Soil Problems* (pp. 37-65). Springer International Publishing.
- Shao, F., Yan, H., Lin, S., Wang, Q., Tao, W., Wu, J., & Su, L. (2024). Magnetically treated water drip irrigation combined with carboxymethyl cellulose (CMC) application: A regulating strategy for enhancing the jujube yield and quality in southern Xinjiang of China. *Scientia Horticulturae*, 326, 112723.



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



- Shao, F., Zeng, S., Wang, Q., Tao, W., Wu, J., Su, L., Yan, H., Zhang, Y., & Lin, S. (2023). Synergistic effects of biochar and carboxymethyl cellulose sodium (CMC) applications on improving water retention and aggregate stability in desert soils. *Journal of Environmental Management*, 331.
- Van Bavel, C.H.M. (1950), Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 14: 20-23.
- 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, 29-38.
- Wu, J., Tao, W., Wang, H., & Wang, Q. (2015). Influence of sodium carboxyl methyl cellulose on soil aggregate structure and soil water movement. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(2), 117–123.
- Yang, Q. wen, Pei, X. jun, & Huang, R. qiu. (2019). Impact of polymer mixtures on the stabilization and erosion control of silty sand slope. *Journal of Mountain Science*, 16(2), 470–485.
- Zinchenko, A., Sakai, T., Morikawa, K., & Nakano, M. (2022). Efficient stabilization of soil, sand, and clay by a polymer network of biomass-derived chitosan and carboxymethyl cellulose. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1).

"Evaluation of the Effect of Carboxymethyl Cellulose on Selected Soil Physical Properties in Different Soil Textures"

Mohammad Golparvar¹ | Alireza Raheb^{2*} | Ahmad Heidari³

1. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2. Corresponding Author, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. E-mail: araheb@ut.ac.ir
3. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Carboxymethyl cellulose (CMC), as a biodegradable polymer with high water absorption and swelling capacity, can form gel-like networks within soil pores and thereby improve the structure of sandy soils. This study aimed to evaluate the effects of different CMC levels (0, 0.2, 0.5, and 1 g kg⁻¹), applied in both solution and powder forms, on selected physical properties including bulk density (BD), mean weight diameter of aggregates (MWD), and saturated moisture content (SP) in three soil textures: loamy sand, sandy loam, and clay loam. The experiment was conducted in a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications (63 samples) over a three-month incubation period. Results showed that the application of CMC significantly increased MWD across all soil textures; in loamy sand, the 1 g kg⁻¹ solution treatment increased MWD by 17-fold (1593%) compared to the control. The highest SP was also observed in this treatment, with a 33% increase relative to the control, whereas some treatments in sandy loam and clay loam exhibited a reduction in SP. Bulk density responses were texture-dependent, showing a decrease in loamy sand and sandy loam but an increasing trend in clay loam. Overall, the findings indicate that CMC, particularly in its solution form and at higher concentrations, is more effective in enhancing the physical properties of light-textured soils and can serve as a promising approach for improving the structure and management of sandy soils.

Keywords: Aggregate, Bulk Density, Sandy Soil, Saturation Percentage