

پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید آنیونی بر خاکدانه‌سازی و رس پخش‌شونده در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی گندم و یونجه

* علی‌اکبر صفری‌سنجانی^۱ و سیما نورمحمدی شفق^۲

^۱ استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: کاربرد پلی‌اکریل‌آمید آنیونی همانند یک بهساز آلی به تنهایی و یا همراه با مواد آلی می‌تواند ویژگی‌های خاک را بهبود دهد. بهبود خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری آن‌ها با افزودن ماده آلی شاه‌راه بهینه کردن ویژگی‌های فیزیکی خاک است که می‌تواند مایه افزایش کربن‌اندوزی و نگهداری کربن آلی در خاک، فروروی آب، پوکی و تهویه، افزایش درصد جوانه‌زنی و کاهش فشردگی خاک، رواناب و فرسایش لایه‌های رویین خاک شود. هدف از این پژوهش بررسی پیامد برخی از بهسازهای آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده در خاک بود.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های لایه ۳۰ سانتی‌متری روئین دو خاک شنی و رسی با مانده‌های یونجه و گندم (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) به اندازه ۵۰ گرم در کیلوگرم وزن خشک خاک تیمار شدند. پلی‌اکریل‌آمید آنیونی نیز به گونه محلول به اندازه ۰، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم از بهساز در کیلوگرم خاک افزوده شد. سپس نمونه‌ها در رطوبت گنجایش کشاورزی در آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شدند. در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روز از خاک‌ها نمونه‌برداری شد و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده اندازه‌گیری شد. میانگین داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های ۱ و ۵ روزه برای هفته نخست جداگانه آزمون شدند و نمونه‌های ۱۰ و ۲۰ روزه برای بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز و به همین گونه بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روزه، بازه زمانی ۶۰ تا ۷۵ روزه نیز جداگانه آزمون شدند. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده از نمونه‌های برداشت شده در زمان ۹۰ روزه در تیمارهای گوناگون نیز جداگانه آزمون شد. برای هر یک از بازه‌های زمانی یادشده فاکتورهای آزمایش در طرح کاملاً تصادفی، مانده گیاهی در سه سطح و پلی‌اکریل‌آمید در چهار سطح بودند که هر یک در سه تکرار آزمایش شده‌اند.

یافته‌ها: افزودن مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید به خاک، مایه کاهش درصد رس پخش‌شونده در هر دو خاک رسی و شنی شد. پیامد این بهسازهای آلی بر کاهش درصد رس پخش‌شونده خاک‌ها هم‌کردار^۱ بود و کم‌ترین درصد رس پخش‌شونده در کاربرد هم‌زمان آن‌ها در خاک اندازه‌گیری شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو خاک، با افزودن مانده‌های گیاهی به گونه چشم‌گیری افزایش یافت که این پیامد سودمند در تیمار کاه گندم، بیش‌تر بود. در هر دو

* مسئول مکاتبه: aa-safari@basu.ac.ir

خاک دیده شد که در خاک بدون مانده گیاهی، کاربرد پلی اکریل آمید مایه افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد. در برابر آن در خاک سنگین تیمار شده با کاه گندم و کاه یونجه، کاربرد پلی اکریل آمید مایه کاهش چشم‌گیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد، ولی این پیامد بد در خاک شنی لومی دیده نشد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک رسی در همه تیمارها از هفته نخست تا بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز افزایش و سپس دوباره کاهش یافت. درصد رس پخش‌شونده روندی وارونه داشت و کم‌ترین آن در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز اندازه‌گیری شد. دگرگونی زمان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده در خاک شنی همانند آن در خاک رسی بود ولی زمان رخداد بیش‌ترین میانگین وزنی خاکدانه و کم‌ترین درصد رس پخش‌شونده کمی دیرتر (بازه ۳۰-۴۵ روز) بود.

نتیجه‌گیری: هر چند کاربرد جداگانه مانده‌های گیاهی و پلی اکریل آمید مایه افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌شود، ولی کاربرد هم‌زمان آن‌ها پادکردار^۱ است. کاربرد پلی اکریل آمید در خاک سنگین تیمار شده با کاه گندم و کاه یونجه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را کاهش داد. مانده‌های گیاهی از راه زیستی و پلی اکریل آمید به‌ویژه در خاک‌های رسی از راه فیزیکوشیمیایی مایه پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. بنابراین پیامد کاربرد آن‌ها هم‌کردار نیست. این رخداد شاید وابسته به واکنش پلی اکریل آمید با رس‌های خاک باشد که در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی از برهم‌کنش سودمند زیستی رس‌ها و مانده‌های گیاهی در خاکدانه‌سازی جلوگیری کرده است.

واژه‌های کلیدی: پلی اکریل آمید، رس پخش‌شونده، مانده‌های گیاهی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مقدمه

بسپارها (پلی مرها) ترکیب‌هایی آلی با وزن مولکولی بالا بوده و بسته به تک‌پار (مونومر) سازنده و ساختمان آن‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گوناگونی دارند. واژه پلی اکریل آمید (PAM) یک نام شیمیایی است که به دسته گسترده‌ای از ترکیب‌های پلی مری گفته می‌شوند. بسپار پلی اکریل آمید دارای فرمول شیمیایی $\text{CH}_2\text{-CH-CO-NH}_2$ بوده و جرم ویژه ظاهری آن ۷۵۰-۸۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. این ترکیب‌ها با شمار یگان سازنده و جان‌شینی گروه‌های عاملی و همچنین وزن مولکولی ناهمانند، بسیار گوناگون می‌باشند. یکی از مهم‌ترین ترکیب‌های آن‌ها، پلی اکریل آمیدهای با ساختار ساده خطی و یا دارای پیوند کناری می‌باشد. پلی اکریل آمیدهای با پیوند کناری جاذب آب هستند، اما محلول در آب نیستند. پلی اکریل آمیدهای محلول در آب اگر دارای پیوند

کناری باشند، کوچک هستند و آن‌هایی که در آب حل می‌شوند، بیش‌تر خطی هستند. آن‌ها می‌توانند با درجه‌های گوناگونی هم‌تافته یا کلوئیدی شوند، چون هر یک از آن‌ها در امتداد زنجیره جان‌شینی هم دارند. پلی اکریل آمید در خاک بسیار پایدار است و در برابر دیگر پلی مرها پایداری بیش‌تری در برابر فروزینگی زیستی^۲ (بیودگریشن) دارد (۳۸).

پلی اکریل آمیدها به سه گونه آنیونی، کاتیونی و خنثی ساخته می‌شوند. در میان این‌ها گونه آنیونی در برابر گونه خنثی با توان بهتر در هم‌آوری دانه‌های خاک و ساخت خاکدانه، کارکرد بهتری دارد. گونه کاتیونی آن به دلایل زیست‌محیطی و زهری بودن کاربردی ندارد. پلی اکریل آمیدهای آنیونی برای کاربردهای محیطی بهتر هستند، زیرا زهری بودن آن‌ها در برابر ریخت‌های کاتیونی یا خنثی بسیار کم است (۴۴).

افزودن بهسازهای چون پلی اکریل آمید به اندازه چشم گیری بهبود یابد. صادقیان و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که کاربرد پلی اکریل آمید و کاه در عمق ۰ تا ۵ سانتی متری خاک لوم شنی به گونه چشم گیری، سه رو بین خاک را از راه کاهش در چگالی ظاهری، کاهش می دهد (۳۱).

برای خاک های با بافت درشت، کاربرد مواد آلی مایه آن می شود که گنجایش نگهداری آب در خاک افزایش یابد و چگالی ظاهری و توزیع اندازه دانه ها را در خاک بهبود بخشد و این پیامدها در برابر خاک های با بافت ریز و میانه بیش تر است (۲۵، ۲۷).

بریان (۱۹۹۲) نشان داد که کاربرد پلی اکریل آمید آنیونی در غلظت ۰/۵ گرم در هر کیلوگرم خاک هوا خشک در چندین خاک با بافت ریز و میانه، توانست به گونه چشم گیری خاکدانه های پایدار در آب (WAS)، هدایت هیدرولیکی اشباع و آب فراهم را افزایش دهد (۸). از سوی دیگر پاگلیایی و همکاران (۱۹۸۱) گزارش کردند که در کاربرد ۵۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست در هکتار، در خاک لوم شنی برای دو سال پی در پی، پایداری خاکدانه های به اندازه ۱-۲ میلی متر در زمان های گوناگون گرما گذاری^۲ ناهمانندی های چشم گیری نداشتند، زیرا خاک آزمایش شده بافت درشتی داشته است (۲۹).

کاربرد پلی اکریل آمید و بیوپلی مرها تکنیک های کارآمدی برای افزایش نگهداری آب در خاک هستند. پس از کاربرد پلی اکریل آمید گرانیروی آب افزایش می یابد که کاهش جریان آب و نگهداری آب را در خاک در پی دارند (۳۸، ۱۹).

درجه جذب پلی مرها بر دانه های خاک بستگی به کاتیون های قابل تبادل خاک، اندازه رس، پ-اچ و اندازه مولکولی پلی مر دارد (۳۵). پیامد پلی اکریل آمید در خاک با رس فراوان، با جذب مولکول های آن بر کانی های رسی از راه پل زدن با کاتیون های قابل تبادل

درباره پیامد سودمند پلی اکریل آمید و دیگر بهسازهای آلی بر رشد گیاهان از راه بهبود ویژگی های فیزیکی خاک بسیار گزارش شده است. در بررسی های وست و همکاران (۲۰۰۴) دیده شد که با افزودن پلی اکریل آمید آنیونی به خاک چگالی ظاهری افزایش یافت، زیرا پلی اکریل آمید رس پخش شونده را در خاک همآوری (فولکوله)^۱ می کند. همچنین زمانی که برهم کنش ها آنالیز شد، ناهمانندی های چشم گیری برای بهسازهای پلی اکریل آمید و مواد آلی و برهم کنش های آن ها گزارش شد. تیمارهای دارای مواد آلی و پلی اکریل آمید ناهمانندی های چشم گیری نداشته و روند همسانی داشتند، ولی در تیمارهای ماده آلی به همراه پلی اکریل آمید پیامدهای گوناگونی دیده شد (۴۵).

سیلبریوش و همکاران (۱۹۹۳) از پلی اکریل آمید برای افزایش گنجایش نگهداری آب در شن های روان بهره گیری نمودند (۳۷). بنا به دیدگاه بسیاری از پژوهشگران زمانی که پلی اکریل آمید و مواد آلی همراه با هم به خاک افزوده شود، پلی اکریل آمید برای یک دوره زمانی دراز پایدار مانده و کارایی دارد (۴۳).

پایداری خاکدانه همان توان خاکدانه های خاک برای نشکستن و خردنشدن در برابر نیروهای ویرانگر است. خاک های لوم شنی بافت درشتی دارند و بیش تر آن ها ساختمان ضعیفی دارند. آبی که به هنگام آبیاری به این خاک ها داده می شود، مایه شکسته شدن خاکدانه ها و ناخواسته شدن شرایط فیزیکی خاک می شود. زیرا خاکدانه های بسیاری از خاک های سرزمین های خشک و نیمه خشک سست و دانه های آن پیوند ضعیفی با هم دارند (۳۴، ۱۸) که آبیاری مایه پیدایش سه در آن ها می شود و بدین گونه نفوذ آب در آن ها کاهش و رواناب افزایش می یابد (۳۱). ویژگی های فیزیکی این گونه خاک ها می تواند با

پیوستگی دانه‌های خاک پایدار می‌کنند و بنابراین پایداری خاک را به فرسایش افزایش می‌دهند. اندکی کلسیم در آب، لایه دوگانه الکتریکی پیرامون دانه‌های خاک را فشرده می‌کند و با ساختن پل میان رویه دانه‌های خاک و مولکول‌های پلی‌اکریل‌آمید آبیونی، هم‌آوری دانه‌ها (فولکوله‌سازی) بهتر می‌شود (۴۲).

اکبرزاده و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در شیب‌های تند پیامد چندانی در کاهش رواناب و پاشمان هوایی دانه‌های خاک به سوی پایین شیب نداشت، ولی بهره‌گیری از آن کارایی چشم‌گیری در کاهش خاک فرسایش یافته داشت. پایداری رویه خاک در برابر برش نیز با افزودن پلی‌اکریل‌آمید به خاک با افزایش پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت. همچنین بررسی شناسه‌های پایداری خاکدانه و میانگین وزنی قطر نشان داد که می‌توان با تیمار خاک به کمک پلی‌اکریل‌آمید با بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک پیدایش سله بر رویه آن را کاهش داد (۴). افزون بر آن پژوهشگران دیگر کشور نیز نشان داده‌اند که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید می‌تواند مایه کاهش مقاومت فروروی، فرسایش و از دست رفتن نیتروژن، سفر و پتاسیم خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و آب فراهم برای گیاه شود (۱، ۶، ۳۰). در برابر این پژوهش‌ها حسینی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که پلی‌اکریل‌آمید تیمار شده با هیدرازین منوهیدرات که گروه کربونیل بخش آمیدی آن به گروه هیدرازینی دگگون شده است، پیامد زیانباری بر فراسنجه‌های^۱ رشد گیاه داشته است (۱۷).

آنچه که تاکنون آشکار شده کاربرد پلی‌اکریل‌آمید مایه خاکدانه‌سازی بهتر در خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود که این از راه واکنش‌های فیزیکوشیمیایی انجام می‌شود. از سوی دیگر پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد مانده‌های گیاهی

چند گنجایشی، بر خاکدانه‌سازی چشم‌گیر گزارش شده است (۲۰، ۲۲).

پلی‌اکریل‌آمید نمی‌تواند همانند یک ماده به‌ساز برای خاک‌های شنی چندان سودمند باشد، زیرا پیامد آن بسیار به اندازه رس در خاک بستگی دارد (۲۲). بنابراین کارایی پلی‌اکریل‌آمید در خاک دارای رس فراوان، بیش‌تر است زیرا شمار مکان‌های فراهم برای پیوند یافتن را در برابر خاک دارای ساختمان ضعیف افزایش می‌دهد. در پژوهشی گفته شده که جذب پلی‌اکریل‌آمید تنها در رویه بیرونی خاکدانه‌ها انجام نمی‌شود، بلکه این پلی‌مر به درون خاکدانه‌ها هم می‌رود (۲۰، ۲۶). نیشابوری و همکاران (۲۰۱۲) بیش‌ترین پایداری خاکدانه‌ها در آب (WAS) و میانگین وزنی قطر خاکدانه در خیس شدن تند (MWDF) خاک را در تیمار ۵ درصد ماده آلی و ۳۰ میلی‌گرم PAM بر کیلوگرم گزارش کردند. بیش‌ترین پیامد PAM در خاک با بافت میانه پس از سه بار چرخه خشک و تر شدن دیده شد و در چرخه‌های بعدی کاهش یافت. در برابر آن پیامد PAM بر WAS و MWDF در خاک ریز بافت تا چرخه پانزدهم هم افزایش داشت و کاهش نداشت. آن‌ها پیامد PAM بر کاهش درصد رس پخش‌شونده را چشم‌گیر گزارش کردند (۲۸).

میلر و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که پلی‌اکریل‌آمید در بخش‌های درونی خاکدانه‌ها هم دیده می‌شوند (۲۶). بخشی از پلی‌اکریل‌آمید به درون خاکدانه‌ها فرورفته و بخشی در رویه بیرونی خاکدانه‌ها پایدار شده و مایه پایداری خاکدانه‌ها در خاک می‌شوند (۲۲، ۴۶). از سوی دیگر مالیک و لتی (۱۹۹۱) دریافتند که جذب پلی‌مر در خاک‌ها بیش‌تر بر رویه بیرونی است و این پلی‌مرها به درون خاکدانه فرو نمی‌روند (۲۱). پلی‌اکریل‌آمیدها با داشتن رویه جذب بالا، ساختمان خاک را از راه افزایش دادن

نیز مایه خاکدانه سازی بهتر از راه واکنش های زیستی می شود (۳۲). ولی هنوز برهم کنش آن ها در خاک های رسی و شنی بخوبی روشن نیست و این پژوهش با هدف شناخت این برهم کنش ها انجام شد. آیا پاسخ کاربرد هم زمان آن ها در فرایند خاکدانه سازی بهتر یا بدتر از پاسخ کاربرد جداگانه آن ها است؟ و در فرایند خاکدانه سازی در یک دوره ۹۰ روزه پیامد کدام یک بزرگ تر است؟

مواد و روش ها

جایگاه نمونه برداری و ویژگی های خاک: برای انجام این پژوهش نیاز به دو خاک کشاورزی با بافت ریز و درشت بود که جایگاه نمونه برداری آن ها به گونه زیر است. خاک با بافت ریز از ژرفای ۰ تا ۳۰ سانتی متری یک خاک در روستای قمشانه همدان به روش مرکب نمونه برداری شد. خاک با بافت درشت نیز از ژرفای ۰ تا ۳۰ سانتی متری یک خاک در پیرامون کارخانه سیلیس در نزدیکی همدان به روش مرکب نمونه برداری شد. هر یک از خاک ها جداگانه به خوبی آمیخته و سپس از الک ۲ میلی متری گذرانده شد و برای اندازه گیری ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و به کارگیری در تیمارهای آزمایش، آماده گردید.

میانگین برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از تیمار با بهسازهای آلی به گونه زیر بود. اندازه شن، سیلت و رس در خاک با بافت درشت به ترتیب، ۷۵، ۱۸ و ۷ درصد و در خاک با بافت ریز به ترتیب ۳۲، ۲۶ و ۴۲ درصد بود. بدین گونه بافت خاک درشت، شن لومی و بافت خاک ریز، رسی بود. درصد کربنات کلسیم معادل آن ها در خاک با بافت شن لومی و در خاک با بافت رسی به ترتیب، ۱/۸ و ۳/۲ درصد بود. رسانایی الکتریکی آن ها در خاک با بافت شن لومی ۰/۱۳ و در خاک با بافت سنگین ۰/۱۹

دسی زیمنس بر متر بود. پ-اچ در خاک با بافت شن لومی و رسی به ترتیب برابر با ۷/۴ و ۷/۸ بود. در خاک با بافت شن لومی و رسی گنجایش تبادل کاتیونی به ترتیب ۴/۵ و ۱۸/۱ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک خشک بود. همه کربن آلی نیز در خاک با بافت شن لومی ۳/۹ و در خاک با بافت رسی ۱۲/۶ گرم بر کیلوگرم خاک بود.

نمونه برداری و برخی ویژگی های مانده های گیاهی:

مانده های یونجه و گندم از کشتزارهای دستجرد دانشگاه بوعلی سینا همدان گردآوری شد. ویژگی هایی مانند پ-اچ، رسانایی الکتریکی، کربن آلی، همه مواد جامد محلول و کربن آلی محلول این مانده های آسیاب شده (به اندازه کوچک تر از ۲ میلی متر) پیش از تیمار خاک بررسی گردید. آزمایش ها نشان داد که پ-اچ عصاره ۱:۵ کاه گندم (۷/۳) به اندازه چشم گیری بیش تر از کاه یونجه (۵/۵) بود. در برابر آن رسانایی الکتریکی عصاره ۱:۵ کاه یونجه (۸ دسی زیمنس بر متر) بیش تر از کاه گندم (۴ دسی زیمنس بر متر) بود. اندازه کربن آلی در کاه یونجه و کاه گندم به ترتیب ۵۱۸/۹ و ۵۳۳/۳ گرم بر کیلوگرم بود، که در کاه گندم اندازه آن بیش تر بود. بنابراین نسبت C/N در کاه گندم (۹۲/۲) بیش تر از کاه یونجه (۲۲/۳) بود. از سوی دیگر اندازه ماده جامد محلول در کاه یونجه (۲۵۵/۳ گرم بر کیلوگرم) به اندازه چشم گیری بیش تر از کاه گندم (۶۲/۷ گرم بر کیلوگرم) بود. اندازه کربن آلی محلول در کاه یونجه (۲۷/۴ گرم بر کیلوگرم) به اندازه چشم گیری بیش تر از آن در کاه گندم (۱۹/۶ گرم بر کیلوگرم) بود.

تیمار خاک ها: در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور مانده های گیاهی در سه سطح (بدون مانده، ۵٪ کاه یونجه و ۵٪ کاه گندم) و پلی اکریل آمید آنیونی در چهار سطح (۰، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم از بهساز به

به اندازه ۵۰ گرم از خاک مرطوب بر سری الک‌ها گذاشته شد. سری الک‌ها به ترتیب از بالا به پایین ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۱۵ میلی‌متر بودند. سپس نمونه‌ها برای ۱۲/۵ دقیقه با تندی نوسان ۳۰ دور در دقیقه و دامنه نوسان ۲/۶ سانتی‌متر گذاشته شد. پس از زمان ۱۲/۵ دقیقه نوسان کردن الک‌ها، دستگاه را خاموش کرده و الک‌ها به آرامی از درون سطل بیرون آورده شد و خاکدانه‌های مانده روی هر کدام از آن‌ها گردآوری و در آن با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای جلوگیری از سوختن ماده آلی برای ۲ تا ۳ روز خشک شدند. پس از وزن کردن هر سری از خاکدانه‌ها، درصد شن و سنگریزه با گذراندن از همان الک اندازه‌گیری شد. سپس با بهره‌گیری از رابطه زیر، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) اندازه‌گیری شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \bar{X}_i \quad (1)$$

که در آن، MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)، \bar{X}_i میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک (mm)، w_i نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک و n شمار الک‌ها می‌باشند.

درصد رس پخش‌شونده: این شناسه برای شناخت ناپایداری خاکدانه‌ها بسیار سودمند است. هرچه پایداری ساختمان خاک بالاتر باشد، درصد رس پخش‌شونده کم‌تر خواهد بود. برای اندازه‌گیری آن از روش بورت (۲۰۰۹) بهره‌گیری شد (۹). در آغاز ۴ گرم خاک را وزن کرده و درون لوله‌های ساتریفیوژ ریخته شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و برای ۱۵ ساعت شیک و تکان داده شد. پس از پایان زمان شیک، لوله‌ها را روی ریک گذاشته و درب آن‌ها باز کرده، سپس با رعایت نسبت ۱:۱۰ (آب : خاک) ۱۰ میلی‌لیتر دیگر آب به دورن لوله‌ها ریخته شده

هر کیلوگرم از خاک) بنا به اندازه‌های به‌کار رفته در پژوهش‌های پیشین (۱، ۴، ۵، ۶، ۲۸، ۳۰) با طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بهره‌گیری شد. در زمان‌های گوناگونی نمونه‌برداری از خاک انجام شد و داده‌های به‌دست آمده برای هر بازه زمانی جداگانه آزمون شدند.

پلی‌اکریل‌آمید آنیونی به وزن مولکولی $10^6 \times 18$ گرم بر مول از پژوهشگاه پلیمر ایران خریداری شد که به اندازه‌های صفر، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک هوا خشک به‌کار گرفته شد. اندازه‌های پلی‌اکریل‌آمید به‌کار رفته، به گونه محلول به خاک پاشیده و آمیخته شدند.

برای تیمار خاک به مانده‌های گیاهی هر یک از مانده‌ها آسیاب شد و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شد. مانده‌های یونجه و گندم به اندازه ۵۰ گرم بر کیلوگرم از خاک نمونه‌برداری شده، افزوده شد. پس از آن پلی‌اکریل‌آمید آنیونی نیز به گونه محلول به اندازه ۰، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم از بهساز به هر کیلوگرم از خاک نمونه‌برداری شده به گونه محلول افزوده شد. سپس درون ظروف شیشه‌ای با درب نیمه باز، ۲ کیلوگرم خاک آمیخته با مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید ریخته شد، سپس نمونه‌ها به رطوبت گنجایش کشاورزی رسانده شد و ظروف در آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شدند.

پس از ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روز از کاربرد تیمارها، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده به روش‌های زیر اندازه‌گیری شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها: برای به‌دست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از روش یودر (۱۹۳۶) بهره‌گیری گردید (۴۷). با نگاه به ویژگی‌های خاک و دستگاه به‌کار رفته، این روش به گونه زیر انجام شد. در روش به‌کار رفته،

داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در زمان‌های ۱ و ۵ روز برای هفته نخست جداگانه آزمون شدند و داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ روز برای بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز، داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در زمان‌های ۳۰ و ۴۵ روز برای بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روز، داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در زمان‌های ۶۰ و ۷۵ روز برای بازه زمانی ۶۰ تا ۷۵ روز و داده‌های به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده در زمان ۹۰ روز برای زمان ۹۰ روز نیز هر یک جداگانه آزمون آماری شدند. پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در پایه آماری ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید و مانده‌های گیاهی در خاک رسی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که افزودن مانده‌های گیاهی، پلی‌اکریل‌آمید و برهم‌کنش آن‌ها در بیش‌تر زمان‌های نمونه‌برداری پیامد چشم‌گیری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده داشته است. در این خاک تنها پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هفته نخست و زمان ۳۰ تا ۴۵ روز از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود. همچنین پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید بر درصد رس پخش‌شونده در زمان ۹۰ روز نیز چشم‌گیر نبود (جدول ۱). این جدول نشان می‌دهد که در خاک رسی پیامد کاربرد مانده‌های گیاهی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش‌شونده بسیار بزرگ‌تر از پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید بر این ویژگی‌ها است.

به‌گونه‌ای که پیرامون و درب لوله را خوب شستشو شود تا خاکی در پیرامون لوله نماند. سپس دمای شاهد را با دماسنج خوانده شد و از روی جدول زمان نمونه‌برداری در دماهای گوناگون با نگاه به دمای شاهد، زمانی که باید لوله‌ها آرام رها شوند، به‌دست آمد. پس از این‌که دمای شاهد اندازه‌گیری شد، با همزن برای ۳۰ ثانیه سوسپانسیون درون لوله به هم زده شد و پس از آن با نگاه به زمان به‌دست آمده از روی جدول، لوله‌ها آرام و پایدار رها شد. پس از پایان زمان یاد شده، با یک پیپت از ژرفای ۲/۵ سانتی‌متری سوسپانسیون درون لوله یک نمونه ۲/۵ میلی‌لیتری برداشت شد و در آن در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس از رابطه زیر درصد رس پخش‌شونده به‌دست آمد (۹).

$$\text{Clay (\%)} = 100 \times [(Wc_2 \times CF) / Ws]$$

که در آن، Clay(%) = درصد دانه‌های پخش‌شونده کوچک‌تر از ۲ میکرومتر خاک، Wc_2 = وزن رس پخش‌شونده در ۲/۵ میلی‌لیتر سوسپانسیون پس از آن خشک کردن (گرم)، CF = نسبت حجم کل سوسپانسیون (۴۰ میلی‌لیتر) به حجم پیپت (۲/۵ میلی‌لیتر) و Ws = وزن کل نمونه هوا خشک شده (۴ گرم) است.

تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش برای بررسی پیامد کاربرد مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید بر کربن آلی خاکدانه‌ها و دیگر ویژگی‌های بررسی شده خاک در زمان‌های گوناگون نمونه‌برداری، از آزمایش فاکتوریل با طرح کامل تصادفی بهره‌گیری شد. فاکتورهای آزمایش مانده‌های گیاهی در سه سطح (بدون مانده، ۰/۵ کاه یونجه و ۰/۵ کاه گندم) و پلی‌اکریل‌آمید آبیونی در چهار سطح (۰، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ گرم از به‌ساز به هر کیلوگرم از خاک) بود.

کمترین (۰/۲۰ mm و ۰/۱۸) بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در زمان‌های پایانی در تیمار کاه گندم بدون پلی‌اکریل‌آمید بیش‌ترین و در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی‌اکریل‌آمید کم‌ترین به‌دست آمد.

بنابراین در این پژوهش دیده شد که روه‌م‌رفته پیامد مانده‌های گیاهی بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در آب بسیار نمایان‌تر و بزرگ‌تر از پلی‌اکریل‌آمید در اندازه‌های به‌کار رفته است. همچنین در تیمارهای کود آلی خاک میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید صفر بالاتر است. به‌ویژه در کاه گندم بدون پلی‌اکریل‌آمید در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روز و زمان ۹۰ روز از گرماگذاری خاک بالاترین میانگین وزنی قطر خاکدانه به‌دست آمد. در برابر آن‌ها در خاک‌های بدون مانده گیاهی دیده شد که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید مایه افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه شده است و در میان تیمارهای خاک بدون مانده گیاهی، خاک تیمار شده با ۰/۴ گرم در هر کیلوگرم پلی‌اکریل‌آمید بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه را داشت. شاید بتوان گزارش کرد که افزودن پلی‌اکریل‌آمید به تنهایی خاکدانه‌سازی را افزایش می‌دهد، اما در خاک‌های تیمار شده با مواد آلی (مانده‌های گیاهی) افزودن پلی‌اکریل‌آمید نه تنها کمک‌کننده نیست، بلکه تا اندازه‌ای از پیدایش خاکدانه‌های پایدار در آب جلوگیری می‌کند. این یافته با گزارش‌های سوچکا و همکاران (۱۹۹۸) و بوسچر و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی داشت (۳۹، ۱۰). این یافته شاید وابسته به واکنش پلی‌اکریل‌آمید با رس‌های خاک باشد که در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی از پیامد سودمند خاکدانه‌سازی رس‌ها جلوگیری می‌کند. در خاکدانه‌سازی زیستی^۱ مواد آلی دانه‌ای (مانده‌های گیاهی افزوده شده) هسته میانی خاکدانه را پدید می‌آورند. این مواد در آغاز سرشار از ترکیب‌های گوناگون مانند کربوهیدرات‌ها هستند و باکتری‌ها

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک با بافت

رسی: در هفته نخست بیش‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمار کاه یونجه بدون کاربرد پلی‌اکریل‌آمید (۱/۱ mm) و کم‌ترین در تیمارهای خاک بدون مانده گیاهی با پلی‌اکریل‌آمید در هر چهار سطح آن تیمار که به‌ترتیب برابر ۰/۲۷ mm، ۰/۳۴، ۰/۳۷ و ۰/۵۰ بود، دیده شد. این یافته کارایی چشم‌گیر تیمار خاک با مانده‌های گیاهی را در برابر پلی‌اکریل‌آمید در خاکدانه‌سازی نشان می‌دهد که در این زمان کارایی کاه یونجه بیش‌تر از کاه گندم بوده است. در زمان‌های نخست تیمار خاک، کاه یونجه بهتر مایه شکوفایی و افزایش فراوانی ریزجانداران خاک شده و خاکدانه‌های پایدارتری در برابر خاک تیمار شده با کاه گندم پدید آورده است (جدول ۲).

در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز، در تیمار بدون کاربرد پلی‌اکریل‌آمید میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (۱/۴ mm) بیش‌ترین اندازه را داشت، بیش‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار کاه گندم بدون پلی‌اکریل‌آمید به‌دست آمد و کم‌ترین اندازه آن در تیمارهای خاک بدون مانده گیاهی با پلی‌اکریل‌آمید در اندازه‌های صفر و ۰/۱ گرم بر کیلوگرم خاک (۰/۳۲ mm و ۰/۳۷) دیده شد و این بار دیگر کارایی چشم‌گیر تیمار خاک با مانده‌های گیاهی را در برابر پلی‌اکریل‌آمید در خاکدانه‌سازی نشان می‌دهد.

در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روز، تیمارهای کاه گندم بدون پلی‌اکریل‌آمید (۱/۴ mm) بیش‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و تیمارهای خاک بدون مانده گیاهی با پلی‌اکریل‌آمید در هر چهار سطح (۰/۳۹ mm، ۰/۳۲، ۰/۳۸ و ۰/۴۵) کم‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را داشت.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بازه زمانی ۶۰ تا ۷۵ روز و در زمان ۹۰ روز، در کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در اندازه صفر بیش‌ترین (۱/۳ mm و ۱/۳) و در خاک بدون مانده گیاهی و تیمار صفر پلی‌اکریل‌آمید

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها جداسازی شده با روش الک تر می‌تواند نشانگر شایسته‌ای برای ارزیابی پایداری خاکدانه‌های خاک باشد. هرچه فراوانی نسبی خاکدانه‌های هر الک و همچنین نسبت خاکدانه‌های درشت‌تر به ریزتر بیش‌تر باشد، خاک از ساختمان پایداری بهره‌مند بوده است. خاکدانه‌های بزرگ، بیش‌تر در پیرامون پس‌مانده‌های تازه به کمک هیف قارچ‌ها پدید می‌آیند (۳۲). روی هم‌رفته میانگین وزنی قطر خاکدانه در بیش‌تر زمان‌ها، در تیمار کاه گندم بیش‌ترین و در تیمار خاک بدون مانده گیاهی کم‌ترین بود. پیامد کاه یونجه در هفته نخست نگهداری خاک نمایان‌تر بود که با فروزینگی^۱ آن با گذشت زمان کم‌تر شد (جدول ۲).

به‌ویژه گونه‌های تند رشد آن‌ها پیش از ریزجانداران دیگر آن را از خود می‌کنند. پس از فراوان شدن باکتری‌ها بر رویه مانده‌های گیاهی (به‌ویژه بر کاه یونجه با نسبت کربن به نیتروژن کم‌تر) با ساخت مواد موسیلاژی و موکوپروتئینی در پیرامون خود، موسیژلی از رس‌ها و باکتری‌های درون آن پدید می‌آید که مانده گیاهی را پوشانده و خاکدانه پدید می‌آید (۳۲). این خاکدانه‌ها تا زمانی که ریزجانداران بر رویه مانده گیاهی فراوان باشند، در آب پایدار می‌مانند و رس‌های آن به آسانی پخش نمی‌شوند. شاید در خاک‌های تیمار شده با پلی‌اکریل‌آمید رس‌ها با این ماده به هم پیوسته و دیگر نمی‌توانند در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی در فرایند یاد شده پیامد سودمند خود را نمایان سازند. به هر گونه این یافته نیاز به بررسی بیش‌تر دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد رس پخش‌شونده (DCP) در تیمارهای مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید در خاک با بافت رسی و شن لومی.

Table 1. Analysis of variance for mean weight diameter (MWD) of aggregates and dispersible clay percentage (DCP) in clay and loamy sand soils treated with plant residues and polyacrylamide.

مجموع مربعات Sum of squares				درجه آزادی Df	منابع دگرگونی Source of variation	
خاک شن لومی Loamy sand soil		خاک رسی Clay soil				
DCP	MWD	DCP	MWD			
1.50**	0.81**	41.9**	1.90**	2	مانده گیاهی Plant residue	
0.34**	0.02 ^{ns}	1.8**	0.02 ^{ns}	3	پلی‌اکریل‌آمید PAM	هفته نخست
0.37**	0.19**	8.1**	0.38**	11	مانده گیاهی * پلی‌اکریل‌آمید Plant residue*PAM	1 st week
0.02	0.01	0.28	0.01	66	خطا error	
2.60**	1.20**	72.2**	2.80**	2	مانده گیاهی Plant residue	
0.20**	0.26**	1.10*	0.05**	3	پلی‌اکریل‌آمید PAM	۱۰ تا ۲۰ روز
0.53**	0.39**	13.4**	0.55**	11	مانده گیاهی * پلی‌اکریل‌آمید Plant residue*PAM	10-20 days
0.02	0.03	0.35	0.01	66	خطا error	

1- Degradation

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

مجموع مربعات Sum of squares				درجه آزادی Df	منابع دگرگونی Source of variation	
خاک شن لومی Loamy sand soil		خاک رسی Clay soil				
DCP	MWD	DCP	MWD			
1.10**	1.90**	59.8**	3.10**	2	مانده گیاهی Plant residue	
0.25**	0.07 ^{ns}	2.80**	0.07 ^{ns}	3	پلی اکریل آمید PAM	۳۰ تا ۴۵ روز
0.31**	0.46**	11.80**	0.60**	11	مانده گیاهی * پلی اکریل آمید Plant residue*PAM	30-45 days
0.03	0.03	0.66	0.01	66	خطا error	
4.00**	0.95**	51.90**	2.70**	2	مانده گیاهی Plant residue	
0.47**	0.04 ^{ns}	2.90**	0.06**	3	پلی اکریل آمید PAM	۶۰ تا ۷۵ روز
0.88**	0.26**	10.40**	0.54**	11	مانده گیاهی * پلی اکریل آمید Plant residue*PAM	60-75 days
0.01	0.02	0.41	0.01	66	خطا error	
0.84**	1.20**	25.80**	1.30**	2	مانده گیاهی Plant residue	
0.19**	0.10*	0.65 ^{ns}	0.03*	3	پلی اکریل آمید PAM	۹۰ روز
0.22**	0.28**	4.90**	0.26**	11	مانده گیاهی * پلی اکریل آمید Plant residue*PAM	90 days
0.03	0.02	0.33	0.01	30	خطا error	

* و ** به ترتیب نشانگر پیامدهای چشم گیر در پایه آماری ۵ و ۱ درصد است.

* and ** shows the significant effects in 0.05 and 0.01 levels of significant.

جدول ۲- آزمون میانگین‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) در خاک با بافت رسی در تیمارهای مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید.

Table 2. Mean test of mean weight diameter (MWD, mm) of clay soil treated with plant residues and polyacrylamide.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD					تیمار خاک Soil treatment	
۹۰ روز 90 days	۶۰ تا ۷۵ روز 60-75 days	۳۰ تا ۴۵ روز 30-45 days	۱۰ تا ۲۰ روز 10-20 days	هفته نخست 1 st week	پلی‌اکریل‌آمید PAM	مانده گیاهی plant residue
0.18 ⁱ (±0.01)	0.2 ⁱ (±0.01)	0.39 ^e (±0.06)	0.32 ^g (±0.02)	0.27 ^f (±0.02)	0	
0.25 ^h (±0.01)	0.3 ^h (±0.01)	0.32 ^f (±0.01)	0.37 ^g (±0.02)	0.34 ^f (±0.02)	0.1	بدون مانده No-plant
0.32 ^g (±0.02)	0.38 ^g (±0.02)	0.38 ^{ef} (±0.05)	0.48 ^f (±0.06)	0.37 ^{ef} (±0.05)	0.2	
0.40 ^f (±0.01)	0.44 ^f (±0.01)	0.45 ^e (±0.01)	0.51 ^f (±0.02)	0.50 ^e (±0.02)	0.4	
1.00 ^b (±0.03)	1.00 ^c (±0.02)	1.20 ^b (±0.07)	1.10 ^c (±0.05)	1.10 ^a (±0.02)	0	
0.78 ^e (±0.01)	0.84 ^e (±0.02)	0.98 ^d (±0.05)	0.99 ^e (±0.04)	0.94 ^{bcd} (±0.02)	0.1	کاه یونجه Alfalfa straw
0.92 ^d (±0.01)	0.95 ^d (±0.02)	1.00 ^d (±0.02)	1.10 ^c (±0.03)	0.97 ^{abcd} (±0.07)	0.2	
0.96 ^{cd} (±0.03)	1.00 ^c (±0.04)	1.00 ^d (±0.01)	0.98 ^e (11.0±)	0.87 ^d (11.0±)	0.4	
1.30 ^a (±0.03)	1.30 ^a (±0.06)	1.40 ^a (±0.06)	1.40 ^a (±0.06)	0.90 ^{cd} (24.0±)	0	
0.93 ^{cd} (±0.01)	0.98 ^d (±0.02)	1.10 ^c (±0.05)	1 ^{de} (±0.06)	0.89 ^{cd} (±0.05)	0.1	کاه گندم Wheat straw
0.97 ^{bc} (±0.01)	1.00 ^c (±0.02)	1.20 ^b (±0.06)	1.10 ^{cd} (±0.07)	1.00 ^{ab} (±0.04)	0.2	
1.00 ^b (±0.02)	1.10 ^b (±0.01)	1.20 ^{bc} (±0.02)	1.30 ^b (±0.04)	1.00 ^{abc} (±0.01)	0.4	

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

In each column, means with at least a similar letter have no significant difference at 0.05 level.

آلی می‌تواند با پیامد پلی‌اکریل‌آمید برهم‌کنش منفی داشته باشد (۱۱).

روند دگرگونی زمانی میانگین وزنی قطر

خاکدانه‌ها در خاک رسی: بررسی روند دگرگونی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با گذر زمان در تیمارهای گوناگون در خاک رسی نشان می‌دهد که گذشته از هفته نخست، روه‌رفته میانگین وزنی قطر خاکدانه در بیش‌تر زمان‌های اندازه‌گیری در تیمار کاه گندم بیش‌ترین است. میانگین وزنی قطر خاکدانه در همه تیمارها از هفته نخست تا زمان ۱۰ تا ۲۰ روز افزایش و سپس دوباره کاهش یافت. بنابراین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز از گرماگذاری (انکوباسیون) خاک بیش‌ترین و در هفته نخست آزمایش کم‌ترین بود. این یافته با گزارش‌های افضل‌پور (۲۰۱۰) و فرخ‌نیا (۲۰۱۰) در خاک‌های تیمار شده با کودهای گیاهی و جانوری همخوانی دارد (۳، ۱۳). بیشینه بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز هم‌زمان با بیشینه بودن فراوانی باکتری‌ها و کارکرد آن‌ها است. باکتری‌ها با ساخت مواد موسیلاژی و پلی‌ساکاریدی به پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها در آب کمک فراوانی می‌کنند و در این زمان است که بیش‌ترین کربن آلی محلول در آب گرم از خاک نیز به‌دست می‌آید (۳۳).

درصد رس پخش‌شونده در خاک رسی: آزمون میانگین درصد رس پخش‌شونده در تیمارهای گوناگون در جدول ۳ آمده است. در همه زمان‌ها درصد رس پخش‌شونده در برابر آنچه در بررسی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دیده شد، در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بیش‌ترین و در تیمار کاه گندم کم‌ترین بود.

گزارش‌های بسیاری شده که در آن‌ها افزودن مانده‌های گیاهی به خاک مایه افزایش خاکدانه‌های پایدار در آب می‌شود. کاربرد کودهای سبز مایه پیدایش بیشینه پایداری خاکدانه‌ها در کم‌تر از یک ماه می‌شود و پس از آن پایداری خاکدانه‌ها به حالت نخستین بر می‌گردد. پایداری خاکدانه‌ها در این تیمارها به لاشه‌های ریزجانداران نسبت داده شده است (۲). گریفیت و برن (۱۹۷۲) گزارش کردند موادی که به تندی فروزینه^۱ می‌شوند، پیامد تند و گذرای بر پایداری خاکدانه‌ها دارند (۱۶). در برابر آن موادی که به تندی فروزینه می‌شوند بیشینه خاکدانه‌سازی آن‌ها دیرتر رخ می‌دهد، اما پیامد سودمند آن‌ها بر خاکدانه‌سازی برای مدت زمان بیش‌تری پایدار خواهد ماند (۲۳، ۲۴). در این پژوهش دیده شد که پیامد سودمند کاه یونجه بر خاکدانه‌سازی در هفته نخست بیش‌تر از کاه گندم است ولی در هفته‌های پس از آن پیامد کاه گندم نمایان‌تر است.

در پژوهشی بیش‌ترین خاکدانه‌سازی انجام شده با قارچ بازیدیومیست در خاکدانه‌های بزرگ (۲-۱ و ۱-۰/۵ میلی‌متر) در تیمارهای دارای بهسازهای پلی‌اکریل‌آمید و یا پلی‌اکریل‌آمید همراه با مانده‌های گندم در برابر خاک شاهد بود. بنابراین پلی‌اکریل‌آمید به تنهایی و یا پلی‌اکریل‌آمید همراه با مانده‌های گندم می‌تواند همانند خواستگاه مواد غذایی برای بازیدیومیست‌ها بوده و برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌کار برده شود (۱۲). در پژوهش دیگری با افزایش پلی‌اکریل‌آمید خاکدانه‌سازی هم افزایش یافت اما زمانی که پلی‌اکریل‌آمید و مواد آلی به خاک افزوده شده بودند روند ویژه‌ای دیده نشد. این نشان می‌دهد که پیامد مواد

بیشترین است. درصد رس پخش شونده از هفته نخست تا زمان ۱۰ تا ۲۰ روز کاهش، سپس تا زمان ۶۰ تا ۷۵ روز افزایش و تا پایان دوره از یک روند کاهشی پیروی کرد، اما در تیمارهای کاه گندم با پلی اکریل آمید در اندازه‌های ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک آن روند افزایشی تا پایان ۹۰ روز هم دیده شد. کاهش و افزایش درصد رس پخش شونده با افزایش و کاهش میانگین وزنی خاکدانه‌ها هم‌زمان رخ می‌دهد.

شینبرگ و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که پلی اکریل آمید آنیونی مایه پایداری خاکدانه‌ها گردیده و پراکنش دانه‌های رس را کاهش داد و از پیدایش سله در خاک روئین جلوگیری کرد (۳۶). همچنین دیده شد که با گذشت زمان درصد رس پخش شونده با کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه افزایش یافته است. بنابراین شاید میان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد رس پخش شونده همبستگی منفی دیده شود. تاجیک (۲۰۰۴) با بررسی ۵۴ نمونه خاک برداشت شده از سرزمین‌های گوناگون ایران نیز نشان داد که میان پایداری خاکدانه‌ها در آب و رس پخش شونده در آب همبستگی منفی و چشم‌گیری است (۴۰). به هر گونه این پژوهش نشان داد که اگرچه پیامد کاربرد پلی اکریل آمید بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها تنها در خاک‌های تیمارنشده با مانده‌های آلی چشم‌گیر است و بر خاکدانه‌سازی در خاک‌های تیمارنشده با مانده‌های گیاهی پیامد بد دارد ولی کاربرد پلی اکریل آمید در خاک‌های تیمارنشده با مانده‌های گیاهی و همچنین خاک تیمارنشده به مانده‌های گیاهی به‌ویژه کاه گندم به اندازه چشم‌گیری از درصد رس پخش شونده آن‌ها می‌کاهد.

در همه زمان‌ها در کاربرد پلی اکریل آمید در اندازه صفر بیشترین درصد رس پخش شونده و در کاربرد پلی اکریل آمید به اندازه ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک، کمترین درصد رس پخش شونده به دست آمد که این نشان از برهم‌کنش چشم‌گیر رس‌ها با پلی اکریل آمید افزوده شده به خاک دارد که با افزایش در اندازه پلی اکریل آمید به کار رفته در خاک، درصد رس پخش شونده به اندازه چشم‌گیری کاهش یافت. در پژوهشی وست و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که با افزودن پلی اکریل آمید آنیونی، چگالی ظاهری هم افزایش یافت زیرا پلی اکریل آمید رس پخش شونده را در خاک فولکوله می‌کند (۴۵).

در پژوهشی کاربرد پلی اکریل آمید در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر، هم‌آوری دانه‌های رس^۱ را بیش از ۵۰ درصد افزایش داد (۷). در این پژوهش در زمان‌های هفته نخست، بازه ۱۰ تا ۲۰، بازه ۳۰ تا ۴۵، بازه ۶۰ تا ۷۵ و زمان ۹۰ روز از تیمار خاک، بیشترین اندازه رس پخش شونده در تیمارهای خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی اکریل آمید به دست آمد که به ترتیب برابر ۵/۱٪، ۴/۲٪، ۴/۱٪، ۴/۹٪ و ۴/۸٪ بود و کمترین اندازه آن در تیمارهای کاه گندم با پلی اکریل آمید در اندازه ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک دیده شد، که برابر ۱/۹٪، ۰/۴۸٪، ۰/۲۳٪ و ۱/۲٪ بودند.

روند دگرگونی زمانی درصد رس پخش شونده در خاک با بافت رسی: بررسی روند دگرگونی درصد رس پخش شونده با گذر زمان در تیمارهای گوناگون در خاک با بافت رسی نشان داد که درصد رس پخش شونده در همه زمان‌های اندازه‌گیری در تیمار خاک بدون مانده گیاهی و بدون پلی اکریل آمید

جدول ۳- آزمون میانگین درصد رس پخش شونده در تیمارهای مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید در خاک با بافت رسی.

Table 3. Mean test of dispersible clay percentage (DCP) in clay soil treated with plant residues and polyacrylamide.

درصد رس پخش شونده DCP					تیمار خاک Soil treatment		
۹۰ روز 90 days	۶۰ تا ۷۵ روز 60-75 days	۳۰ تا ۴۵ روز 30-45 days	۱۰ تا ۲۰ روز 10-20 days	هفته نخست 1 st week	پلی‌اکریل‌آمید PAM	مانده گیاهی plant residue	
4.80 ^a (±0.01)	4.90 ^a (±0.93)	4.10 ^a (±0.85)	4.20 ^a (±0.83)	5.10 ^a (±0.55)	0	بدون مانده No-plant	
4.50 ^a (±0.01)	4.70 ^a (±0.74)	3.80 ^a (±0.90)	3.90 ^a (±0.85)	4.80 ^a (±0.57)	0.1		
4.40 ^a (±0.80)	4.60 ^a (±0.33)	3.70 ^a (±0.83)	3.80 ^a (±0.87)	4.70 ^a (±0.48)	0.2		
4.30 ^a (±0.61)	4.20 ^a (±0.49)	3.60 ^a (±0.80)	3.70 ^a (±0.69)	4.50 ^a (±0.59)	0.4		
2.40 ^b (±0.11)	2.80 ^b (±0.57)	1.90 ^b (±0.31)	1.30 ^b (±0.64)	2.90 ^b (±0.59)	0		کاه یونجه Alfalfa straw
2.30 ^b (±0.83)	2.40 ^{bc} (±0.21)	1.30 ^{bc} (±0.79)	1.10 ^b (±0.47)	2.70 ^b (±0.60)	0.1		
2.10 ^b (±0.23)	2.20 ^{bc} (±0.42)	1.00 ^{bcd} (±0.83)	0.870 ^b (±0.47)	2.50 ^{bc} (±0.96)	0.2		
1.90 ^b (±0.23)	2.10 ^{bc} (±0.93)	0.93 ^{bcd} (±0.79)	0.73 ^b (±0.64)	2.20 ^{bc} (±0.61)	0.4		
2.00 ^b (±0.40)	2.50 ^{bc} (±0.41)	1.60 ^{bc} (±0.11)	1.10 ^b (±0.59)	2.90 ^b (±0.30)	0	کاه گندم Wheat straw	
2.00 ^b (±0.40)	1.900 ^c (±0.41)	1.00 ^{bcd} (±0.66)	0.93 ^b (±0.41)	2.50 ^{bc} (±0.33)	0.1		
2.00 ^b (±0.40)	1.80 ^c (±0.22)	0.74 ^{cd} (±0.58)	0.67 ^b (±0.33)	2.20 ^{bc} (±0.42)	0.2		
1.20 ^b (±0.40)	1.0 ^d (±0.42)	0.23 ^d (±0.19)	0.48 ^b (±0.38)	1.90 ^c (±0.30)	0.4		

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

In each column, means with at least a similar letter have no significant difference at 0.05 level.

در بازه زمانی ۶۰ تا ۷۵ روز، نیز کاربرد پلی اکریل آمید بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها چشم‌گیر نبود، میانگین وزنی قطر خاکدانه در برهم‌کنش کاه یونجه با پلی اکریل آمید در اندازه ۰/۱ گرم بر کیلوگرم خاک (۰/۹۲ mm) بیش‌ترین و در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی اکریل آمید (۰/۱۲ mm)، کم‌ترین به‌دست آمد.

در زمان ۹۰ روز از کاربرد تیمارها، در تیمار کاه گندم با پلی اکریل آمید در اندازه‌های صفر و ۰/۱ گرم بر کیلوگرم خاک بیش‌ترین (۱/۱ mm) و تیمار خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی اکریل آمید، کم‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه (۰/۰۸ mm) را داشت.

روی هم‌رفته در هر دو خاک دیده شد که در خاک‌های بدون مانده گیاهی، کاربرد پلی اکریل آمید مایه افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. در خاک با بافت رسی در میان تیمارهای کاه گندم و کاه یونجه، پلی اکریل آمید پیامد کاهنده‌ای بر خاکدانه‌سازی و افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت، ولی در خاک با بافت شن لومی این پیامد بد چندان آشکار نیست. در پژوهش لوی و میلر، (۱۹۹۹) دیده شد رس فراوان‌تر در خاک سسیل^۱، در برابر خاک ورشام^۲، جذب پلی اکریل آمید در خاک را افزایش داده است. بنا به رای آنان رس فراوان مایه افزایش فراوانی سوراخ‌های کوچک‌تر می‌شود که فرورفتن مولکول‌های پلی اکریل آمید را به درون برخی از خاکدانه‌های خاک سسیل را در برابر خاک ورشام، دشوارتر کرده است. ناهمانندی در رفتار این دو خاک، نشان می‌دهد که جذب پلی اکریل آمید بر رویه درونی خاکدانه‌ها، نه تنها وابسته به فراوانی رس است، بلکه به توزیع اندازه سوراخ‌های خاک هم وابسته است. در خاک با بافت درشت‌تر دسترسی پلی اکریل آمید به رویه درونی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. آن‌ها پیشنهاد

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک با بافت شن لومی: آزمون میانگین‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خاک با بافت شن لومی در تیمارهای مانده‌های گیاهی، پلی اکریل آمید و برهم‌کنش آن‌ها در جدول ۴ آمده است. میانگین وزنی قطر خاکدانه در خاک با بافت شن لومی نیز در بیش‌تر زمان‌ها در تیمار کاه گندم بیش‌ترین اندازه را داشت. به هر گونه در خاک با بافت رسی در هفته نخست و در خاک با بافت شن لومی در بازه زمانی ۶۰ تا ۷۵ روز تیمار کاه یونجه بیش‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را داشت. از سوی دیگر کاربرد پلی اکریل آمید در خاک با بافت شن لومی تیمار نشده با مانده‌های گیاهی نیز پیامد سودمندی بر خاکدانه‌سازی داشته است که این پیامد در خاک‌های تیمار شده به مانده‌های گیاهی چندان آشکار نبود (جدول ۴).

در آزمایش خاک با بافت شن لومی در هفته نخست و بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز، بیش‌ترین اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه در برهم‌کنش کاه گندم با پلی اکریل آمید در اندازه ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد که به ترتیب در زمان‌های یاد شده برابر ۰/۷۷ mm و ۱/۱ بود، و کم‌ترین آن در این زمان‌ها در برهم‌کنش خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی اکریل آمید دیده شد که به ترتیب برابر ۰/۰۷ mm و ۰/۱۰ بودند.

در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روز، کاربرد پلی اکریل آمید بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها چشم‌گیر نبود و بیش‌ترین اندازه آن در تیمار کاه گندم بدون پلی اکریل آمید و کاه یونجه با پلی اکریل آمید در اندازه ۰/۱ گرم بر کیلوگرم خاک (۱/۱ mm) دیده شد و کم‌ترین اندازه آن در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی اکریل آمید (۰/۱۲ mm) به‌دست آمد.

1- Cecil
2- Worsham

یافته بود. شاید پیامد بد آشکار شده در خاک رسی تیمار شده با مانده‌های گیاهی وابسته به واکنش پلی‌اکریل‌آمید و درگیر کردن رس‌ها باشد و این گمان با کاهش چشم‌گیر درصد رس پخش‌شونده در تیمارهای با پلی‌اکریل‌آمید نیروی بیش‌تری می‌گیرد.

کردند که دسترسی پلی‌اکریل‌آمید به رویه درونی خاکدانه‌ها به بافت خاک وابسته است و آن با کاهش فراوانی رس، افزایش می‌یابد (۲۰). در این پژوهش در خاک با بافت شن لومی، شاید بتوان گفت که دسترسی پلی‌اکریل‌آمید به رویه داخلی خاکدانه‌ها هم افزایش

جدول ۴- آزمون میانگین‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) در خاک با بافت شن لومی در تیمارهای مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید.

Table 4. Mean test of mean weight diameter (MWD, mm) of loamy sand soil treated with plant residues and polyacrylamide.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها					تیمار خاک	
MWD					Soil treatment	
۹۰ روز 90 days	۶۰ تا ۷۵ روز 60-75 days	۳۰ تا ۴۵ روز 30-45 days	۱۰ تا ۲۰ روز 10-20 days	هفته نخست 1 st week	پلی‌اکریل‌آمید PAM	مانده گیاهی plant residue
0.08 ^h (±0.01)	0.12 ^f (±0.01)	0.12 ^f (±0.01)	0.1 ^g (±0.02)	0.07 ^d (±0.01)	0	
0.12 ^h (±0.01)	0.15 ^f (±0.03)	0.15 ^f (±0.01)	0.16 ^g (±0.01)	0.36 ^c (±0.01)	0.1	بدون مانده No-plant
0.37 ^g (±0.04)	0.41 ^e (±0.02)	0.3 ^e (±0.01)	0.32 ^f (±0.05)	0.36 ^c (±0.01)	0.2	
0.44 ^f (±0.04)	0.57 ^d (±0.01)	0.67 ^d (±0.05)	0.76 ^{cd} 0.1	0.44 ^c (±0.09)	0.4	
0.35 ^g (±0.01)	0.56 ^d (±0.05)	0.64 ^d (±0.06)	0.48 ^e (±0.06)	0.75 ^a 0.2	0	
0.75 ^d (±0.02)	0.92 ^a 0.1	1.10 ^a (±0.06)	0.89 ^b (±0.05)	0.74 ^a (±0.01)	0.1	کاه یونجه Alfalfa straw
0.61 ^e (±0.01)	0.68 ^c (±0.05)	0.79 ^c 0.12	0.57 ^e (±0.05)	0.68 ^{ab} (±0.01)	0.2	
1.00 ^b (±0.01)	0.57 ^d (±0.08)	0.76 ^c (±0.02)	0.69 ^d (±0.04)	0.56 ^b (±0.03)	0.4	
1.10 ^a (±0.02)	0.86 ^{ab} (±0.04)	1.10 ^a (±0.02)	0.98 ^{ab} 0.11	0.74 ^a 0.11	0	
1.10 ^a (±0.01)	0.70 ^c (±0.05)	0.80 ^c (±0.06)	0.67 ^d (±0.03)	0.70 ^a (±0.02)	0.1	کاه گندم Wheat straw
0.87 ^c (±0.01)	0.72 ^c (±0.05)	0.99 ^b (±0.08)	0.78 ^c (±0.06)	0.65 ^{ab} (±0.03)	0.2	
0.99 ^b (±0.03)	0.83 ^b (±0.02)	0.96 ^b (±0.09)	1.10 ^a (±0.10)	0.77 ^a (±0.08)	0.4	

در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۰.۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

In each column, means with at least a similar letter have no significant difference at 0.05 level.

سودمند مانده‌های گیاهی در خاکدانه‌سازی زیستی که بسیار بزرگ‌تر از پیامد پلی‌اکریل‌آمید است، می‌کاهد.

روند دگرگونی زمانی میانگین وزنی قطر

خاکدانه‌های خاک با بافت شن لومی: بررسی روند دگرگونی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با گذر زمان در تیمارهای گوناگون در خاک با بافت شن لومی نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانه در همه زمان‌های اندازه‌گیری جز زمان ۳۰ تا ۴۵ روز و ۶۰ تا ۷۵ روز که در تیمار کاه یونجه بیش‌تر است، در تیمار کاه گندم بیش‌ترین بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک با بافت شن لومی در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز و زمان ۳۰ تا ۴۵ روز بیش‌ترین به‌دست آمد، ولی در خاک با بافت رسی بیش‌ترین اندازه در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ روز از گرماگذاری خاک به‌دست آمد. همچنین در هر دو خاک، در هفته نخست آزمایش میانگین وزنی قطر خاکدانه کم‌ترین بود.

میانگین وزنی قطر خاکدانه در تیمارهای کاه گندم با پلی‌اکریل‌آمید در اندازه‌های صفر، ۰/۲ و ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک و کاه یونجه با پلی‌اکریل‌آمید در اندازه‌های ۰/۱ و ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک از هفته نخست تا زمان ۳۰ تا ۴۵ روز افزایش، و تا زمان ۶۰ تا ۷۵ روز کاهش و سپس تا پایان آزمایش افزایش یافت. دیگر تیمارها از هفته نخست تا زمان ۱۰ تا ۲۰ روز کاهش و تا زمان ۳۰ تا ۴۵ روز افزایش و سپس تا پایان آزمایش از یک روند کاهشی پیروی کردند. این دگرگونی‌ها وابسته به درگیری رس‌ها در تیمارهای پلی‌اکریل‌آمید، شکوفایی و فراوان شدن ریزجانداران در زمان‌های گوناگون در تیمارهای به‌کار رفته باشد زیرا پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها از یک سو وابسته به فرایندهای فیزیکوشیمیایی در خاک‌های با مواد آلی اندک و از سوی دیگر وابسته به فرایندهای زیستی در خاک‌های با مواد آلی بیش‌تر است (۴۱، ۱۴).

در خاک با بافت شن لومی نیز مانند خاک با بافت رسی دیده شد که هنگامی که تنها پلی‌اکریل‌آمید به خاک افزوده شود، پیامد سودمند پلی‌اکریل‌آمید بر خاکدانه‌سازی آشکار می‌شود و اگر پلی‌اکریل‌آمید همراه با کود آلی به خاک افزوده شود، پیامدی وارونه به‌دست می‌آید (۳۹، ۱۰).

در پژوهشی دیده شد که اندازه میانگین وزنی قطر خاکدانه و درصد خاکدانه‌های پایدار در آب، بسته به کم بودن مواد آلی خاک و درشتی بافت خاک آزمایش شده بسیار کم بود. زیرا در خاک‌های با بافت درشت فروزینی تند مواد آلی رخ می‌دهد (۵). گفته شده که پلی‌اکریل‌آمید خاکدانه‌سازی را افزایش می‌دهد و ویژگی‌های فیزیکی خاک را در خاک‌های لوم شنی بهبود می‌بخشد. ولی درباره پیامدهای پلی‌اکریل‌آمید بر ریزجانداران درگیر در پیدایش خاکدانه پژوهشی انجام نشده است. گزارش‌های بسیاری آمده است که پلی‌اکریل‌آمید مایه بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (۱۰) و خاکدانه‌سازی (۱۱) در خاک‌های شنی شده و کاربرد آن پایداری خاکدانه‌ها را در خاک‌های گوناگون (۱، ۴، ۶، ۱۵، ۲۸، ۳۰) را به دنبال دارد. در آزمایش لوی و میلر (۱۹۹۹) دیده شد که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید آبیونی با وزن مولکولی 10^7 دالتون در یک خاک لوم شنی تا اندازه‌ای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (به روش الک تر) را در برابر تیمار شاهد افزایش داده است (۲۰).

بنابراین آنچه که از این پژوهش و پژوهش‌های دیگر برمی‌آید آن است که مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید، هر دو در کاهش درصد رس پخش‌شونده و خاکدانه‌سازی کارایی دارند. بر پایه این پژوهش کاربرد هم‌زمان آن‌ها بر خاکدانه‌سازی کم‌تر از مجموع پاسخ‌های جداگانه آن‌ها شد. زیرا کاربرد پلی‌اکریل‌آمید مایه هم‌آوری رس‌ها شده و از پیامد

۶۰ تا ۷۵ روز افزایش و تا پایان دوره از یک روند کاهشی پیروی کرد. یافته‌ها در خاک با بافت شن لومی نیز نشان داد که افزودن پلی‌اکریل‌آمید و مانده‌های گیاهی مایه کاهش درصد رس پخش‌شونده خاک‌ها شده و در این خاک کاهش و افزایش درصد رس پخش‌شونده با افزایش و کاهش میانگین وزنی خاکدانه‌ها هم‌زمان رخ می‌دهد.

آنچه که از این پژوهش و پژوهش‌های دیگر برمی‌آید آن است که مواد آلی و پلی‌اکریل‌آمید، هر دو در کاهش درصد رس پخش‌شونده و خاکدانه‌سازی کارایی دارند. بر پایه این پژوهش پاسخ کاربرد هم‌زمان آن‌ها بر کاهش درصد رس پخش‌شونده و هم‌آوری رس‌ها در خاک رسی آزمایش شده افزایشی بود. ولی پاسخ پیامد کاربرد هم‌زمان آن‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو خاک و به‌ویژه در خاک رسی کاهشی بود. این پیامد بد پلی‌اکریل‌آمید بر خاکدانه‌سازی در خاک‌های تیمار شده به مانده‌های گیاهی شاید وابسته به توان پلی‌اکریل‌آمید بر هم‌آوری رس‌های خاک باشد. همان‌گونه پیش‌تر یاد شد، درگیر شدن و بهم پیوستن رس‌ها با پلی‌اکریل‌آمید از پیامد سودمند مانده‌های گیاهی بر خاکدانه‌سازی که بزرگ‌تر است، جلوگیری می‌کند. پیدایش خاکدانه‌های زیستی (Biotic aggregates) در لایه‌های رویین خاک‌ها وابسته به برهم‌کنش میان باکتری‌ها، رس‌ها و مواد آلی دانه‌ای است (۳۲). از سوی دیگر پیامد بد پلی‌اکریل‌آمید در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی می‌تواند وابسته به پیامدهای آن‌ها بر ریزجانداران خاکدانه‌ساز در خاک باشد (۵). این‌که کدام یک از فرایندهای یاد شده پیامد بد پلی‌اکریل‌آمید بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی را بهتر روشن می‌سازد، نیاز به پژوهش بیشتر دارد.

درصد رس پخش‌شونده در خاک با بافت شن لومی: آزمون میانگین درصد رس پخش‌شونده در تیمارهای گوناگون در جدول ۵ آمده است. در هر دو خاک، در همه زمان‌های اندازه‌گیری، درصد رس پخش‌شونده در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بیش‌ترین و در تیمار کاه گندم کم‌ترین به‌دست آمد.

همچنین، در هر دو خاک، درصد رس پخش‌شونده در همه زمان‌های آزمایش، در کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در اندازه صفر بیش‌ترین و در اندازه ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک کم‌ترین به‌دست آمد و بیش‌ترین اندازه آن در تیمار خاک بدون مانده گیاهی بدون پلی‌اکریل‌آمید به‌دست آمد که در زمان‌های نمونه‌برداری از خاک به‌ترتیب برابر ۱/۲٪، ۱/۱، ۰/۸۷، ۱/۲ و ۰/۹۳ بوده و کم‌ترین اندازه آن در تیمار کاه گندم با پلی‌اکریل‌آمید در اندازه ۰/۴ گرم بر کیلوگرم خاک دیده شد که در بازه‌های زمانی یاد شده به‌ترتیب برابر ۰/۴۷٪، ۰/۲۷، ۰/۱۳ و ۰ بود.

بنابراین آشکار است که، در هر دو خاک بررسی شده، با افزایش در اندازه پلی‌اکریل‌آمید به‌کار رفته در خاک، درصد رس پخش‌شونده به اندازه چشم‌گیری کاهش یافته است.

روند دگرگونی زمانی درصد رس پخش‌شونده در خاک با بافت شن لومی: روند درصد رس پخش‌شونده با گذر زمان در خاک با بافت شن لومی در تیمار بدون مانده گیاهی و بدون پلی‌اکریل‌آمید همانند آن در خاک با بافت رسی بود. در هر دو خاک، درصد رس پخش‌شونده در همه زمان‌های اندازه‌گیری در خاک تیمارنشده بیش‌ترین است. در خاک با بافت شن لومی، درصد رس پخش‌شونده از هفته نخست تا زمان ۳۰ تا ۴۵ روز کاهش و تا زمان ۶۰ تا ۷۵ روز افزایش، و سپس تا پایان دوره کاهش یافت. ولی در خاک با بافت رسی، درصد رس پخش‌شونده از هفته نخست تا زمان ۱۰ تا ۲۰ روز کاهش، سپس تا زمان

جدول ۵- آزمون میانگین درصد رس پخش شونده در تیمارهای مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید در خاک با بافت شن لومی.

Table 5. Mean test of dispersible clay percentage (DCP) in loamy sand soil treated with plant residues and polyacrylamide.

درصد رس پخش شونده					تیمار خاک	
DCP					Soil treatment	
۹۰ روز	۶۰ تا ۷۵ روز	۳۰ تا ۴۵ روز	۱۰ تا ۲۰ روز	هفته نخست	پلی‌اکریل‌آمید	مانده گیاهی
90 days	60-75 days	30-45 days	10-20 days	1 st week	PAM	plant residue
0.93 ^a	1.20 ^a	0.87 ^a	1.10 ^a	1.20 ^a	0	
(±0.23)	(±0.03)	(±0.16)	(±0.17)	(±0.02)		
0.55 ^b	1.00 ^b	0.73 ^a	1.00 ^{ab}	1.10 ^{ab}	0.1	بدون مانده
(±0.44)	(±0.19)	(±0.30)	(±0.22)	(±0.28)		
0.53 ^{bc}	0.90 ^c	0.47 ^b	0.87 ^{bc}	1.00 ^{bc}	0.2	No-plant
(±0.23)	(±0.17)	(±0.29)	(±0.11)	(±0.20)		
0.41 ^{bcd}	0.76 ^{de}	0.37 ^{bc}	0.76 ^c	1.00 ^{bc}	0.4	
(±0.02)	(±0.18)	(±0.17)	(±0.31)	(±0.16)		
0.53 ^{bc}	0.81 ^{cd}	0.23 ^{cd}	0.49 ^d	0.87 ^{cd}	0	
(±0.23)	(±0.02)	(±0.21)	(±0.16)	(±0.06)		
0.43 ^{bcd}	0.67 ^e	0.30 ^{bcd}	0.45 ^{de}	0.78 ^d	0.1	کاه یونجه
(±0.05)	(±0.07)	(±0.20)	(±0.06)	(±0.06)		
0.35 ^{bcd}	0.41 ^f	0.18 ^{cd}	0.37 ^{de}	0.55 ^f	0.2	Alfalfa straw
(±0.02)	(±0.02)	(±0.10)	(±0.16)	(±0.05)		
0.21 ^{cde}	0.34 ^f	0.17 ^{cd}	0.29 ^e	0.50 ^f	0.4	
(±0.02)	(±0.04)	(±0.04)	(±0.05)	(±0.04)		
0.17 ^{de}	0.23 ^g	0.33 ^{bcd}	0.43 ^{de}	0.81 ^d	0	
(±0.06)	(±0.05)	(±0.03)	(±0.04)	(±0.21)		
0.15 ^{de}	0.20 ^g	0.30 ^{bcd}	0.39 ^{de}	0.72 ^{de}	0.1	کاه گندم
(±0.02)	(±0.05)	(±0.03)	(±0.02)	(±0.09)		
0.00 ^e	0.17 ^g	0.27 ^{bcd}	0.35 ^{de}	0.60 ^{ef}	0.2	Wheat straw
(±0.00)	(±0.04)	(±0.04)	(±0.04)	(±0.03)		
0.00 ^e	0.00 ^h	0.13 ^d	0.27 ^e	0.47 ^f	0.4	
(±0.00)	(±0.00)	(±0.04)	(±0.07)	(±0.07)		

در هر ستون میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۰.۵٪ ناهمبندی چشم‌گیری ندارند.

In each column, means with at least a similar letter have no significant difference at 0.05 level.

نتیجه‌گیری

پلی‌اکریل‌آمید در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ روز و زمان ۹۰ روز از گرماگذاری خاک رسی بالاترین میانگین وزنی قطر خاکدانه به دست آمد. ولی در خاک با بافت شن لومی در میان تیمارهای کاه گندم و کاه یونجه، پلی‌اکریل‌آمید پیامد چندانی روی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشت. در برابر آنها در خاک‌های بدون مانده گیاهی دیده شد که کاربرد پلی‌اکریل‌آمید مایه افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه شده است و در

– روهم‌رفته پیامد کاربرد مانده‌های گیاهی بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در آب (MWD) بسیار بزرگ‌تر از پیامد کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در اندازه‌های به کار رفته در این پژوهش بود.
– در خاک با بافت رسی، در میان تیمارهای کاه گندم و کاه یونجه، پلی‌اکریل‌آمید پیامد کاهنده‌ای بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت. در تیمار کاه گندم بدون

شد. در دوره گرماگذاری خاک کاهش و افزایش درصد رس پخش شونده با افزایش و کاهش میانگین وزنی خاکدانه‌ها هم‌زمان رخ می‌دهد.

- آنچه که از پیامد تیمارها بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های شنی لومی و رسی در این پژوهش به دست آمد این گمانه را می‌توان داشت که مانده‌های گیاهی از راه زیستی مایه پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود و بنابراین پیامد آن‌ها گذرا است. در برابر آن‌ها پلی‌اکریل‌آمید به‌ویژه در خاک‌های با رس فراوان از راه فیزیکوشیمیایی مایه پیدایش و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. بنابراین شاید پیامد پلی‌اکریل‌آمید بر پایداری خاکدانه‌ها ماندگارتر باشد. بررسی زمان ماندگاری خاکدانه‌های پدید آمده از مانده گیاهی و خاکدانه‌های پدید آمده از پلی‌اکریل‌آمید نیاز به پژوهش ویژه‌ای دارد.

خاک بدون مانده گیاهی تیمار ۰/۴ گرم در هر کیلوگرم پلی‌اکریل‌آمید، بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه را داشت. پس شاید بتوان دریافت که افزودن پلی‌اکریل‌آمید به تنهایی خاکدانه‌سازی را بهبود داده و پایداری آن‌ها را افزایش می‌دهد، ولی در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی افزودن پلی‌اکریل‌آمید نه تنها کمک‌کننده نیست بلکه تا اندازه‌ای هم از پیدایش خاکدانه‌های پایدار در آب جلوگیری می‌کند که شاید وابسته به واکنش پلی‌اکریل‌آمید با رس‌های خاک باشد. از سوی دیگر افزودن پلی‌اکریل‌آمید می‌تواند بر کارکرد ریزجانداران کارا در خاکدانه‌سازی در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی پیامدهایی داشته باشد. این‌که کدام یک از فرایندهای بالا مایه این برهم‌کنش ناخواسته شده است، نیاز به پژوهش ویژه دارد.

- افزودن مانده‌های گیاهی و پلی‌اکریل‌آمید به خاک، مایه کاهش درصد رس پخش شونده در هر دو خاک

منابع

1. Abbasi, O., Neyshabouri, M.R., Oustan, S., and Ahmadi, A. 2015. Hydromulch and Polyacrylamide Effects on Runoff Control, Sediment Yield and N, P, K Losses in Laboratory Conditions. *Water and Soil Science*. 24: 247-259.
2. Abiven, S., Menasseri, S., and Chenu, C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 1. 1-12.
3. Afzalpour, M. 2010. Effect of some plant residues on soil organic matter fractions, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran, 153p.
4. Akbarzadeh, A., Refahi, H.G., Rouhipour, H., and Gorji, M. 2009. Evaluation of polyacrylamide (PAM) effectiveness in proving aggregate stability and decrease of soil erosion in marly hillslopes of Zanzan province. *Iran. J. Soil Water Res*. 40: 119-131.
5. Asghari, S., Neyshabouri, M.R., Abbasi, F., Aliasghar zad, N., and Oustan, S. 2009. The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution, and respiration activity in a sandy loam soil. *Turk. J. Agric. Forest*. 33: 47-55.
6. Asghari, S., Neyshabouri, M.R., Abbasi, F., Aliasghar zad, N., and Oustan, S. 2010. Effects of polyacrylamide, manure, vermicompost and biological sludge on aggregate stability, penetration resistance and available water capacity in a sandy loam soil. *Water and Soil Science*. 20: 15-29.
7. Bhardwaj, A.K., McLaughlin, R.A., and Levy, G.J. 2010. Depositional seals in polyacrylamide-amended soils of varying clay mineralogy and texture. *J. Soil Sed*. 10: 3. 494-504.
8. Bryan, R.B. 1992. The influence of some soil conditioners on soil properties: laboratory tests on Kenyan soil samples. *Soil Technology*. 5: 225-247.
9. Burt, R. 2009. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. 51, Soil Survey Staff, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

10. Busscher, W.J., Novak, J.M., and Caesar-TonThat, T.C. 2006. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand. *Soil and Tillage Research*. 93: 171-178.
11. Busscher, W.J., Novak, J.M., Caesar-TonThat, T.C., and Sojka, R.E. 2007. Amendments to increase aggregation in United States southeastern coastal plains soils. *Soil Science*. 172: 1-8.
12. Caesar-TonThat, T., Busscher., W.J., Novak, J.M., Gaskin, J.F., and Kim, Y. 2008. Effects of polyacrylamide and organic matter on microbes associated to soil aggregation of Norfolk loamy sand. *Applied Soil Ecology*. 40: 2. 240-249.
13. Farrokhnia, M. 2010. The effect of some animal manures on soil organic matter fractions, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. 171p.
14. Golchin, A., Clarke, P., Oades, J.M., and Skjemsad, J.O. 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33: 975-993.
15. Green, V.S., Stott, D.E., Graveel, J.G., and Norton, L.D. 2004. Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations. *Soil Science*. 169: 573-581.
16. Griffiths, E., and Burns, R.G. 1972. Interaction between phenolic substances and microbial polysaccharides in soil aggregation. *Plant and Soil*. 36: 599-612.
17. Hosseini, H., Shirani, H., Hamidipour, M., Shamshiri, H., Dashti, H., and Ranjbar Karimi, R. 2012. Effect of modified montmorillonite and polyacrylamide on growth parameters and chlorophyll fluorescence of corn in Cd and Pb polluted soils. *J. Sci. Technol. Greenhouse Cul.* 3: 39-50.
18. Imbufe, A.U., Patti, A.F., Burrow, D., Surapaneni, A., Jackson, W.R., and Milner, A.D. 2005. Effect of potassium humate on aggregate stability of two soils from Victoria, Australia. *Geoderma*. 125: 321-330.
19. Letey, J. 1996. Effective viscosity of PAM solution through porous media. In: R.E. Sojka and R.D. Lentz (Editors), *Proceedings of Managing Irrigation-induced Erosion and Infiltration with Polyacrylamide*. University of Idaho Miscellaneous Publication, Idaho, USA. Pp: 94-96.
20. Levy, G.J., and Miller, W.P. 1999. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. *Soil and Tillage Research*. 51: 121-128.
21. Malik, M., and Letey, J. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil material. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 380-383.
22. Mamedov, A.I., Beckmann, S., Huang, C., and Levy, G.J. 2007. Aggregate stability as affected by polyacrylamide molecular weight, soil texture, and water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 71: 1909-1918.
23. Martin, J.P. 1942. The effect of composts and compost materials upon the aggregation of the silt and clay particles of Collington sandy loam. *Soil Science Society America Proceedings*. 7: 218-222.
24. Martin, J.P., and Waksman, S.A. 1941. Influence of microorganisms on soil aggregation and erosion. *Soil Science*. 52: 381-394.
25. Metzger, L., and Yaron, B. 1987. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Advances in Soil Science*. 7: 141-163.
26. Miller, W.P., Willis, R.L., and Levy, G.J. 1998. Aggregate stabilization in kaolinitic soils by low rates of anionic polyacrylamide. *Soil Use and Management*. 14: 101-105.
27. Nelson, D.W., and Kladvko, E.J. 1979. Change in soil properties from application of anaerobic sludge. *J. Water Poll. Con. Fed.* 51: 325-332.
28. Neyshabouri, M.R., Mirzajani, M., and Oustan, S. 2012. Effect of polyacrylamide and organic matter on three structure stability indices in two fine and medium textured soils under various wetting and drying cycles. *Water and Soil Science*. 22: 161-172.
29. Pagliai, M., Guidi, G., La Marca, M., Giachetti, M., and Lucamante, G. 1981. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. *J. Environ. Qual.* 10: 556-561.

30. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Younesi, H., and Bezaifar, M. 2013. Trend of soil loss and sediment concentration change ability due to application of polyacrylamide. *J. Soil Water Resour. Cons.* 2: 53-67.
31. Sadegian, N., Neyshabari, M.R., Jafarzadeh, A.A., and Turchi, M. 2006. Effects of three soil conditioner on the physical properties of soil surface layer. *Iran. J. Agric. Sci.* 37: 341-351.
32. Safari Sinigani, A.A. 2015. *Soil Organic Matter*. Bu-Ali Sina University Publication Center, Hamadan, Iran. 364p.
33. Safari Sinigani, A.A., and Afzalpour, M. 2014. Effect of application of plant residues on chemical and biological fractions of organic carbon in soil. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 4: 3. 33-60.
34. Schjonning, P., Christensen, B.T., and Carstensen, B. 1994. Physical and chemical properties of a sandy loam soil receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *Europ. J. Soil Sci.* 45: 257-268.
35. Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamide review: soil conditioning and environmental fate. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 25: 2171-2185.
36. Shainberg, I., Levy, G.J., Rengasamy, P., and Frenkel, H. 1992. Aggregate stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 154: 113-119.
37. Silberbush, M., Adar, E., Malach, Y., and De-Malach, Y. 1993. Use of a hydrophilic polymer improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. *Agriculture Water Management.* 23: 1. 122-134.
38. Sojka, R.E., Bjerneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D., and Orts, W.J. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy.* 92: 75-162.
39. Sojka, R.E., Lentz, R.D., Trout, T.J., Ross, C.W., Bjerneberg, D.L., and Aase, J.K. 1998. Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture. *J. Soil Water Cons.* 53: 325-331.
40. Tajik, F. 2004. Evaluation of soil aggregate stability in some regions of Iran. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science.* 8: 1. 107-123.
41. Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil.* 159: 115-121.
42. Wallace, A., and Wallace, G.A. 1996. Need for solution or exchangeable calcium and/or critical EC level for flocculation of clay by polyacrylamides. In: R.E. Sojka and R.D. Lentz (Editors), *Proceedings of the Managing Irrigation-Induced Erosion and Infiltration with Polyacrylamide*. University of Idaho Misc. Pub., College of Southern Idaho, Twin Falls, ID., Pp: 59-63.
43. Wallace, A., Wallace, G.A., and Abouzamzam, A.M. 1986. Effects of excess levels of a polymer as a soil conditioner on yields and mineral nutrition of plants. *Soil Science.* 141: 377-379.
44. Wankwo, K.N.N. 2001. *Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control*. Washington Department of Transportation, USA.
45. West, S.L., White, G.N., Deng, Y., McInnes, K.J., Juo, A.S.R., and Dixon, J.B. 2004. Kaolinite, halloysite, and iron oxide influence on physical behavior of formulated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68: 1452-1460.
46. Wu, L., Ok, Y.S., Xu, X.L., and Kuzyakov, Y. 2012. Effects of anionic polyacrylamide on maize growth: a short term ¹⁴C labeling study. *Plant and Soil.* 350: 1-2. 311-322.
47. Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *J. Amer. Soc. Agron.* 28: 5. 337-351.



Effect of anionic polyacrylamide on aggregation and dispersible clay percentage in soils treated with plant residues

***A.A. Safari Sinegani¹ and S. Nourmohammadi Shafagh²**

¹Professor, Dept. of Soil Science, Bu-Ali Sina University,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Bu-Ali Sina University

Received: 07/03/2015; Accepted: 01/13/2016

Abstract

Background and Objectives: Anionic polyacrylamide application as an organic conditioner alone or in combination with organic material, can improve soil properties. Improvement of soil arregation and increase of aggregate stability by addition of organic matter are the most important ways for improving soil physical properties, which can increase carbon retention and sequestration in soil, water infiltration, porosity, aeration and seed germination and decrease soil compaction, water runoff and erosion of soil surface layers. The objective of this study was to investigate the influence some organic conditioners on mean weight diameter (MWD) and dispersible clay percentage (DCP).

Materials and Methods: Soil samples collected from the top 30-cm layer of two loamy sand and clay soils were treated with alfalfa and wheat residues (<2 mm) at a rate of 50 g Kg⁻¹ (dry weight basis). Anionic polyacrylamide as soluble at the rate of 0, 0.1, 0.2 and 0.4 g of the conditioner per kg of soil sample was added. Then samples were incubated in laboratory in field capacity and dark condition. Then soils sampling was done after 1, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 75 and 90 days and MWD and DCP were determined. The means of data obtained in 1 and 5 days was analyzed separately as first week data. Similarly the means of data obtained in 10 and 20 days, in 30 and 45 days and in 60 and 75 days were calculated and separately analyzed for each time period. Data obtained in 90th day of soil incubation were analyzed separately. For statistical analysis of the data in each time interval, a factorial experiment in 3 replicates (plant residue in 3 levels, i.e. control, wheat and alfalfa residues and PAM in 4 levels) with a completely randomized design was used.

Results: The addition of plant residues and polyacrylamide decreased the percentage of dispersible clay in the both clay and loamy sand soils. The effect of these organic soil amendments on the decrease of DCP in soils was synergistic and the lowest percentage was measured in concomitant application of both amendments in soil. The mean weighted diameter in the both soils increased significantly with the addition of plant residues. This beneficial effect in wheat straw treatment was higher. In both soils, we found that in the soil without plant residue, the application of polyacrylamide caused an increase in MWD. But in heavy soil treated with wheat straw and alfalfa straw, the application of polyacrylamide had detrimental effects on MWD. However, this detrimental effect was not significant in the light soil. The mean weighted diameter of the clay soil in all treatments increased during soil incubation up to that measured in the interval time of 10 to 20 day and then decreased. The percentage of dispersible clay had a reverse change. It had the lowest level in this time interval. The temporal changes of soil MWD and DCP in loamy sand soil were similar to those in clay soil. But the highest levels of MWD and the lowest level of DCP were measured in a later interval time (30 to 45 day).

Conclusion: Although separate application of plant residues and polyacrylamide in soil can increase MWD but in concomitant application they had an antagonistic effect on soil MWD. The application of polyacrylamide decreased soil MWD in heavy soil treated with wheat straw and alfalfa straw. Plant residues by increasing biological activity and polyacrylamide especially in clay soil by physico-chemical reactions can improve soil aggregation and aggregate stability. Thus they do not have a synergistic effect on soil MWD. This occurrence may be related to the reaction of polyacrylamide with clays in soil that inhibits the beneficial effect of biological interaction between plant residue and soil clay particles in aggregation.

Keywords: Dispersible clay, Mean weight diameter, Plant residues, Polyacrylamide

* Corresponding Authors; Email: aa-safari@basu.ac.ir

