

مقدمه

فرسایش خاک به طور سالانه موجب هدررفت ۷۵ میلیارد تن خاک در سراسر دنیا می‌شود که موجب تحمیل خسارت‌های فراوانی شده است. از جمله این خسارت‌ها می‌توان به هدررفت مواد آلی، انتشار و تشعشع دی‌اکسید کربن، از بین رفتن کود دامی و حاصلخیزکننده‌های خاک و افزایش سیلاب اشاره کرد. بنابراین ضروری است فن‌آوری‌های مهار فرسایش خاک و منجر به حفاظت خاک و مدیریت منابع آب و خاک بایستی بیش از پیش مورد توجه قرار بگیرند [۴]. هم‌چنین در صورت نیاز به دستیابی به توسعه اقتصادی توجه به دو امر استفاده صحیح و حفاظت خاک اهمیت دوچندان پیدا می‌کند [۲۰].

در دهه‌های اخیر به دلیل رشد سریع جمعیت و احساس رسیدن به خودکفایی در تولید و مدیریت غیر اصولی منابع خاک و آب وضعیت بحرانی مشاهده می‌شود که در تشدید فرسایش و تخریب خاک مؤثر بوده است. امروزه استفاده از افزودنی‌های خاک^۳ به عنوان یکی از روش‌های مهم و نوظهور در مدیریت منابع آب و خاک و هم‌چنین یکی از ابزارهای مهم تصمیم‌گیری متخصصان منابع طبیعی محسوب می‌شود [۱۹].

در راستای تقویت ویژگی‌های خاص خاک‌ها و افزایش مقاومت خاک در برابر عوامل فرساینده آبی و بادی با توجه به نوع و هدف برنامه مدیریتی روش‌هایی نظیر روش‌های بیولوژیکی، مکانیکی و تقویت پوشش سطحی با کاربرد افزودنی‌های خاک می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد [۳۰]. استفاده از افزودنی‌های خاک و خاک‌پوش‌ها^۴ مؤثرترین روش در بهبود و تقویت خاک و یا ایجاد مانع در برابر ضربه قطرات باران معرفی شده است [۲۲]. علاوه بر این در بسیاری از موارد به دلایل متعدد از قبیل عدم تأثیر معنی‌دار روش‌های بیولوژیکی در مهار فرسایش، کاهش هزینه‌های اجرایی و نگهداری و افزایش سرعت اجرای تثبیت خاک، به لزوم استفاده از افزودنی‌ها تأکید شده است [۲، ۳۰]. در همین راستا داشتن آگاهی در رابطه با انواع افزودنی‌های مهم خاک و انتخاب افزودنی مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. تعیین افزودنی مناسب با توجه به ویژگی‌های تراوا و با دوام بودن نسبت به آب، عدم ایجاد مانع برای جوانه‌زنی گیاهان، چسبندگی مناسب، کاربرد آسان، عدم ایجاد آلودگی برای محیط زیست و اقتصادی صورت می‌گیرد که در بحث

نظری بر سابقه و کاربرد افزودنی‌های خاک در مدیریت منابع خاک و آب

زینب حزباوی^۱ و سید حمیدرضا صادقی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۹

چکیده

افزودنی خاک شامل هر گونه ماده‌ای است که بتواند خاک را در برابر عوامل فرساینده خاک به‌ویژه قطرات باران حفظ نماید و هم‌چنین زمینه‌ساز حفظ بهتر منابع آب باشد. لذا آگاهی از انواع افزودنی‌های خاک و عمل‌کرد آن‌ها در تدوین برنامه‌های مختلف مدیریت بحران، حفاظت منابع آب و خاک و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ضروری است. حال آن‌که اطلاعات مرتبط و جامع در خصوص افزودنی‌های خاک بسیار محدود است. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف ارائه اطلاعات جامع از پیشینه و جدیدترین مطالعات انجام شده در خصوص استفاده از افزودنی‌های خاک و ارزیابی تأثیرات مختلف و لحاظ پتانسیل کاربرد آن‌ها در مهار فرسایش و حفاظت آب انجام شد. در تحقیق حاضر ملاحظات رویکردهای استفاده از این مواد در حفاظت آب و خاک و نیز مزایا و معایب آن‌ها تشریح گردیده است. نتایج حاصل از پژوهش‌های صورت گرفته نشان داد که افزودنی‌ها از نظر نوع، مواد تشکیل‌دهنده، نحوه کاربرد و میزان تأثیرگذاری با هم متفاوت هستند. در همین راستا دسته‌بندی افزودنی‌ها بر اساس مفهوم، نوع و منشأ و عملکرد آن‌ها صورت گرفته است. هم‌چنین نتایج به دست آمده در خصوص کاربرد افزودنی‌ها دلالت بر عدم یکسانی و تشابه رفتار آن‌ها در انواع خاک‌ها بود. از اطلاعات ارائه شده در تحقیق حاضر می‌توان در برنامه‌ریزی‌های آینده به منظور توسعه پایدار منابع آب و خاک بهره برد. واژه‌های کلیدی: حفاظت منابع آب و خاک، خاک‌پوش‌ها، مهار فرسایش، مواد نگه‌دارنده خاک

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس
 ۲. استاد (نویسنده مسئول) گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران، sadeghi@modares.ac.ir

3. Soil Amendments
 4. Mulches

حفاظت خاک بایستی مد نظر قرار بگیرد [۹، ۳۲].

به‌هترتقدیر، آگاهی از انواع افزودنی‌های خاک و نحوه عمل‌کرد آن‌ها در تدوین برنامه‌های آینده برای مدیریت بحران، مدیریت منابع خاک و آب، آبخیزداری و برنامه‌های مقابله با فرسایش ضروری است. حال آن‌که اطلاعات جامع و همه‌جانبه در خصوص مزایا، معایب، شرایط استفاده و پتانسیل کاربرد آن‌ها در سطح حوزه آبخیز در اختیار نمی‌باشد. بدین ترتیب تحقیق حاضر با لحاظ این مقوله و به‌منظور ارائه اطلاعات جامع در رابطه با مفاهیم و ویژگی‌های مرتبط با بحث افزودنی‌های خاک و ارائه پیشینه مطالعات انجام شده در خصوص ارزیابی تأثیرات مختلف آن‌ها در مقوله‌های مدیریت منابع آب و خاک انجام شد.

مفهوم افزودنی‌های خاک و اصطلاحات مرتبط با آن‌ها

- افزودنی‌های خاک

افزودنی‌های خاک یا به‌سازها، به هر نوع ماده‌ای از قبیل کمپوست، آهک، کود دامی و بقایای گیاهی اطلاق شده که به خاک افزوده شده و در ارتباط با حاصلخیزکننده‌های خاک^۱ می‌باشد [۲۸]. حاصلخیزکننده‌های خاک شامل موادی هستند که در بهبود مواد مغذی مورد نیاز گیاهان تأثیرگذار هستند [۴۸].

آگیلرا و همکاران [۱] حاصلخیزکننده‌ها را به سه گروه مصنوعی، آلی جامد و مایع و ترکیب آلی و مصنوعی تقسیم‌بندی کرده است. مواد حاصلخیزکننده مصنوعی شامل حاصلخیزکننده‌های با ترکیب اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد. مواد آلی جامد و مایع نیز شامل بقایای محصولات زراعی (گندمیان و غیرگندمیان)، کود دامی، ضایعات جامد شهری کمپوست شده، کود دامی کمپوست شده. فضولات خوک است. هم‌چنین ترکیب آلی و مصنوعی شامل مخلوط منابع نیتروژن حاصل از ترکیبات آلی و مصنوعی می‌باشد.

- اصلاح‌کننده‌های خاک

اصطلاح دیگری به‌نام اصلاح‌کننده‌های خاک^۳ وجود دارد که با اصطلاح افزودنی‌های خاک تقریباً هم‌معنی در نظر گرفته می‌شود زیرا که هر دو شامل موادی هستند که روی خصوصیات فیزیکی خاک تأثیر می‌گذارند.

افزودنی‌های معدنی مثل آهک، ژیپس و اکسید آهن از قابلیت اصلاح فرایندهای فیزیکی و شیمیایی خاک نیز برخوردار هستند و معمولاً در خاک‌های مناطق خشک و حاره‌ای با مواد آلی کم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۸].

- تثبیت‌کننده‌های خاک^۴ و خاک‌پوش‌ها

در مجموع سه اصطلاح قبلی مذکور و هم‌چنین دو اصطلاح دیگر

1. Soil Amendments
2. Soil Fertilizers
3. Soil Conditioners
4. Soil Stabilizers

شامل تثبیت‌کننده‌های خاک و خاک‌پوش‌ها از نظر مفهوم و نحوه عملکرد در بسیاری از اوقات هم‌پوشانی دارند. خاک‌پوش نیز به هر نوع ماده‌ای مانند سنگریزه و شن، تور سیمی، کاه و کلش و هر گونه بقایای گیاهی یا فرش‌های مصنوعی گفته می‌شود که سطح خاک را می‌پوشاند [۲۰]. از آن‌جایی که خاک‌های مختلف دارای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متفاوت هستند لیکن کاربرد افزودنی‌ها در انواع خاک‌ها رفتار مشابه و یکسانی نخواهند داشت [۳۵] و خصوصیات خاک نقش بزرگی در مهار فرسایش و آبشویی عناصر سنگین (آلاینده‌ها) در اثر استفاده از افزودنی‌ها دارند [۵۶].

کاربرد افزودنی‌های خاک در ایران

در ایران در خصوص استفاده از افزودنی‌های خاک مطالعات متعدد و با اهداف گوناگونی انجام شده است. از نتایج چنین بررسی‌هایی که بیش‌ترین زمینه استفاده از افزودنی‌ها در زمینه کاهش روان‌آب و هدررفت خاک [۳، ۵، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۳۷، ۳۸، ۴۳، ۴۴، ۴۶، ۴۷، ۴۸]، مهار فرسایش بادی [۲۹، ۳۰]، بهبود خصوصیات خاک [۲۷، ۳۵، ۴۳]، افزایش رشد و تولید گیاهان [۲۷، ۴۱، ۵۵]، فضای سبز [۴۵] و ظرفیت نگهداشت آب در خاک [۱۵، ۴۲] بوده است. هم‌چنین بیش‌ترین نوع افزودنی مورد استفاده از نوع پلیمری شامل پلیمرهای سوپر جاذب، پلی‌آکریل‌آمید آنیونی و پلی‌وینیل‌استات بوده است.

در خصوص استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب به‌عنوان افزودنی مصنوعی باید به بافت خاک مورد مطالعه توجه کرد زیرا که بر اساس نتایج سید دراجی و همکاران [۴۲]، خاک‌های با بافت سنگین و نسبتاً سنگین از میزان تخلخل موئین بالا و ظرفیت نگهداری رطوبت زیادی برخوردار هستند و افزودن پلیمر سوپر جاذب نه تنها تغییر زیادی در میزان تخلخل تهویه‌ای آن‌ها ایجاد نمی‌کند بلکه مصرف زیاد آن باعث افزایش بیش‌تر تخلخل موئین در این خاک‌ها می‌شود که به نوبه خود می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند. بنابراین کاربرد سطوح پایین پلیمر برای برطرف کردن مشکل تهویه‌ای این بافت توصیه شده است.

در زمینه تحلیل اثر افزودنی‌های معدنی در فرسایش بادی در ایران موحدان و همکاران [۲۹] از سطح ۲۵ گرم در مترمربع پلی‌وینیل‌استات یک نوع پلیمر مصنوعی بر سه نوع خاک با بافت‌های متفاوت استفاده کردند. نتایج مؤید اختلاف معنی‌دار بین میزان فرسایش بادی نمونه‌های تیمار شده با پلیمر و آب (شاهد) بود. به‌طوری‌که افزودن پلی‌وینیل‌استات میزان فرسایش بادی با سرعت ۲۶ متر بر ثانیه را در خاک‌های تحت آزمایش به بیش از ۹۰ درصد کاهش داده بود. در ادامه موحدان و همکاران [۳۰] از پلی‌وینیل‌استات با مقادیر ۰، ۲۵، ۴۰ و ۵۰ گرم در مترمربع در شرایط آزمایشگاهی برای تحلیل تغییرات پایداری خاک‌دانه‌های خشک در طول زمان بر سه نوع خاک با بافت‌های متفاوت نیز استفاده نمودند. نتایج بیان‌گر تأثیر پلیمر بر افزایش میزان پایداری خاک‌دانه‌ها در تمام سطوح مورد استفاده بود.

میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های خشک در خاک سبک نسبت به تیمار شاهد حتی پس از ۶ ماه معنی‌دار بود، اما در خاک متوسط تمام تیمارها تا ۳ ماه بالاتر از شاهد بوده و پس از ۶ ماه تنها تیمار ۵۰ گرم در مترمربع از پلیمر دارای مقادیر بزرگ‌تری نسبت به شاهد بوده است. در نهایت با تحلیل نتایج به دست آمده سطح ۲۵ گرم در مترمربع از پلیمر به عنوان سطح مؤثر به دلیل دارا بودن کم‌ترین میزان پلیمر و کم‌ترین میزان حجم امولسیون اضافه شده به خاک پیشنهاد شد.

دلیل مورد توجه قرار گرفتن لزوم استفاده از اقدامات نوین و به‌کار گرفتن مواد افزودنی در مهار فرسایش بادی در ایران را می‌توان به دلیل عدم کارآمد بودن مالچ‌های نفتی [۳۲] و مشکلات ثانویه ایجاد شده در اثر استفاده از روش‌های بیولوژیکی از قبیل افت سطح آب‌های زیرزمینی، شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی و خشک شدن برخی از قنات‌ها ذکر کرد [۳۰].

بررسی نتایج حاصل از کاربرد افزودنی‌های خاک در مدیریت منابع آب و خاک

- کاربرد افزودنی‌های آلی

تحلیله مداوم خاک از مواد آلی یک معضل بحرانی در اکثر خاک‌های سراسر دنیا [۳۳]، به‌ویژه در زمین‌های کشاورزی [۶] محسوب می‌شود. به‌همین دلیل ضروری است با استفاده از بقایای آلی ارزان و در دسترس برای حل این معضل جهانی در برابر عوامل فرساینده مانند آب و باد و در نتیجه کاهش میزان فرسایش اقدام کرد [۳۵]. از انواع افزودنی‌های آلی در زمینه‌های مختلفی استفاده شده است. از مزایای کاربرد افزودنی‌های آلی به‌ویژه ضایعات آلی حاصل از کشاورزی و کارخانه‌های کشت و صنعت می‌توان به افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها و خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک [۷]، افزایش مواد آلی، فعالیت بیولوژیکی در خاک [۶، ۷]، افزایش ظرفیت نگهداشت آب قابل دسترس برای گیاهان و ظرفیت کاتیون تبادلی، کاهش وزن مخصوص ظاهری و پرورش میکروارگانیسم‌هایی مفید در خاک [۱۱]، افزایش تولید و کاهش بیماری‌های گیاهی [۲۵] اشاره کرد.

به دلیل مزایای اشاره شده در راستای استفاده از افزودنی‌های آلی توجه محققان به استفاده از پسماندهای آلی و ضایعات کشاورزی به عنوان افزودنی‌های آلی مناسب به دلیل تولید انبوه این ضایعات و انباشتگی آن‌ها در محیط زیست معطوف شده است. در این راستا کاربرد کاه و کلش در زمینه پایداری خاک‌دانه‌ها و کاهش فرسایش [۶، ۱۳، ۱۴، ۲۵، ۳۵]، کاربرد محصولات فرعی حاوی مواد آلی مثل کمپوست تکه‌های پنبه، محصول فرعی حاصل از مرحله دوم فرایند استخراج روغن زیتون، لجن فاضلاب و محصولات فرعی حاصل از زیاله‌های شهری در زمینه پایداری ساختمان خاک و کاهش هدررفت خاک [۵۱]، کاربرد ویناس^۱ در بهبود خصوصیات شیمیایی خاک و افزایش عناصر موردنیاز گیاهان [۱۰، ۳۶] از جمله مطالعاتی است که

در این زمینه صورت گرفته است.

انتخاب نوع مناسب از افزودنی‌های آلی نیاز به بررسی‌های دقیق‌تری نسبت به سایر افزودنی‌ها دارد و بر حسب ماهیت این افزودنی‌ها در داشتن مواد آلی و طبیعتاً اثر مثبت آن‌ها نمی‌توان برای هر منطقه‌ای آن‌ها را پیشنهاد کرد زیرا که محتویات دیگر این مواد باید در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال تجادا و گانزالز [۵۰] با استفاده از دو افزودنی کمپوست ضایعات پنبه و ویناس چغندر قند به تحلیل تغییرات فرسایش‌پذیری خاک در بازه زمانی بلندمدت طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ پرداختند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مناسب افزودنی کمپوست ضایعات پنبه بر فرسایش‌پذیری خاک و عدم تأثیر ویناس چغندر قند بود. ایشان دلیل عدم تأثیر ویناس چغندر قند را به مقادیر بالای Na^+ در ویناس چغندر قند و تبعاً تأثیر آن در افزایش درصد سدیم تبادلی و ناپایداری ساختمان خاک نسبت دادند. نتایج به دست آمده لزوم توجه به استفاده از افزودنی‌ها متناسب با محتوای عناصر شیمیایی ماده افزودنی و نوع خاک مورد استفاده را تأکید می‌نماید.

- کاربرد افزودنی‌های معدنی

از مزایای کاربرد افزودنی‌های معدنی می‌توان به افزایش تدریجی ماده آلی در عمق ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک و افزایش میزان تولید محصول در بلندمدت [۷] و کاهش رسوبات معلق و فسفر [۳۱] اشاره کرد.

در این راستا نتایج حاصل از مطالعات ژوبین و ژاندین [۵۴] دلالت بر تأثیر ژئولیت در افزایش نفوذپذیری (۲۰-۳۰ درصد) و هم‌چنین افزایش رطوبت (۰/۴-۱/۸ درصد) خاک‌های لسی بود. به هنگام استفاده از افزودنی‌های معدنی باید توجه داشت که خاک‌های مناطق خشک به دلیل دارا بودن pH خنثی تا قلیایی نیاز به استفاده از افزودنی‌های پتاسیم‌دار و آهکی ندارند [۳۷، ۴۴].

از جمله مهم‌ترین افزودنی‌های معدنی ژئوسیل می‌باشد. ژئوسیل یک افزودنی معدنی متخلخل به عنوان یک منبع الکترولیت، عموماً به منظور اصلاح خاک‌های اسیدی و سدیمی و نیز برای تأمین کلسیم و سولفور خاک به‌کار برده می‌شود [۲۶].

- کاربرد افزودنی‌های مصنوعی

فن‌آوری به‌کارگیری طیف وسیعی از افزودنی‌های مصنوعی به‌ویژه پلیمرها به منظور بهبود پایداری خاک‌دانه‌های لایه سطحی شخم‌خورده در زمین‌های کشاورزی از سال ۱۹۵۰ در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت [۱۶].

از میان افزودنی‌های مصنوعی پلیمرها به‌خوبی شناخته شده‌اند و به‌عنوان یکی از مؤثرترین گزینه‌های حفاظت منابع آب و خاک مطرح شده‌اند [۲۶] و از میان پلیمرها پلی‌آکریل‌آمید^۲ آنیونی، به‌عنوان یکی از غالب‌ترین پلیمرهای مورد استفاده در حفاظت منابع خاک معرفی شده است [۱۶]، کاربرد پلی‌آکریل‌آمید در بخش آبیاری و

2. Polyacrylamide

1. Vinasse

کشاورزی به خوبی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متنوع مطالعه شده است [۱۶، ۴۰، ۴۸].

استفاده از ترکیبات پلیمری مانند پلی‌آکریل‌آمید در مدیریت منابع آب و خاک از دهه ۱۹۹۰ مورد توجه قرار گرفت. به نحوی که در تحقیقات بسیاری نتایج مثبت استفاده از این ترکیب پلیمری در کاهش فرسایش و تثبیت شیب‌ها به اثبات رسیده است [۸، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۳۷، ۴۰، ۳۹، ۴۴، ۵۳]. ماده نام‌برده به‌آهستگی در اثر فرآیندهای شیمیایی، زیستی، نورشیمیایی و مکانیکی (مانند سایش، یخ‌زدگی یا ذوب) در خاک تخریب می‌شود. طبق پژوهش‌های انجام شده، پلی‌آکریل‌آمید هر سال به مقدار تقریباً ۱۰ درصد تخریب و به کربن و نیتروژن تبدیل می‌شود، بدین ترتیب باعث افزایش منابع مغذی خاک می‌شود [۱۲].

در سنتز پلی‌آکریل‌آمید یک ترکیب شیمیایی حد واسط (مونومر) آکریل‌آمید^۱ استفاده می‌شود. آکریل‌آمید یک ترکیب شیمیایی و در واقع آلی است که در دسته مشخصی از غذاها که فرایند حرارتی را سپری کرده‌اند و هم‌چنین بر پایه نشاسته هستند مثل انواع نان، انواع شیرینی، کلوچه و کیک و نیز غلات صبحانه یافت می‌شود [۴۹]. فرم آکریل‌آمید برای سیستم عصبی سمی بوده و به‌عنوان یک عامل سرطان‌زا در حیوانات شناخته شده است در حالی که سرطان‌زا بودن آن در انسان هنوز مورد تردید است. به‌همین دلیل تعیین سطح بهینه مصرف آن به‌منظور کمینه‌سازی مقدار بقایای آن در خروجی حوزه‌های آبخیز ضروری است [۱۷].

در خصوص استفاده از مواد افزودنی نانو که در دسته افزودنی‌های مصنوعی قرار می‌گیرند هنوز مطالعات گسترده‌ای صورت نگرفته است. یکی از دلایل آن شاید هزینه‌بر بودن مصرف این نوع از افزودنی‌ها باشد که یکی از ویژگی‌های مهم و نهایی در انتخاب افزودنی مناسب محسوب می‌شود.

در ایران بروغنی و همکاران [۵] به هنگام استفاده از نانوذرات در کاهش روان‌آب به عدم تأثیر این ماده در کاهش روان‌آب پی بردند. این محققان عنوان کردند که یکی از ویژگی‌های زئولیت متخلخل بودن این ماده می‌باشد که بعد از اشباع شدن از آب و یا رطوبت، دیگر قادر به جذب بیش از ظرفیت خود نیست و کارایی خود را برای مقادیر بالای روان‌آب از دست می‌دهد. برای جبران این عدم کارایی، استفاده از مقادیر بیش‌تر نانو زئولیت را پیشنهاد کردند.

- کاربرد ترکیبی از افزودنی‌ها

در بسیاری از مطالعات از ترکیب چند افزودنی با هم با هدف‌های مختلف به‌دلیل پتانسیل اثرات هم‌افزایی^۲ بعضی از این ترکیبات استفاده و حتی پیشنهاد هم شده است. به‌عنوان مثال تأثیر مثبت ویناس به‌همراه کود سبز بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک توسط تجادا و همکاران [۵۲] مورد تأکید قرار گرفته است.

علاوه بر این، ژنگ [۵۶] از نانوذرات مغناطیسی^۳ (FeCl₃، NaOH، HCl و ۷H₂O•FeSO₄) به‌همراه پلی‌آکریل‌آمید برای ارتقا کیفیت اثر پلی‌آکریل‌آمید در مهار فرسایش، آشوبی عنصر سنگین آرسنیک^۴ و رسوب از زمین‌های تخریب یافته استفاده کردند. نتایج بیان‌گر کاربرد مؤثر این ترکیبات در مهار فرسایش خاک آلوده به آرسنیک و نیز خاک تخریب یافته بود. نتایج حاصل از پژوهش میلپالی و تامپسون [۲۶] در راستای مهار فرسایش خاک با استفاده از افزودنی‌ها نشان داد که کاربرد پلیمرها در ترکیب با حاصلخیزکننده آلی MilorganitTM و معدنی ژپس تأثیر زیادی در کاهش فرسایش و هدررفت فسفر خاک دارد. آن‌ها عنوان کردند که تأثیر پلیمر پلی‌آکریل‌آمید در ترکیب با MilorganitTM از تأثیر آن در ترکیب با ژپس بیش‌تر بود. زیرا که ذرات MilorganitTM بسیار ریزتر از ذرات ژپس و از قابلیت انحلال کم‌تری نسبت به ژپس برخوردار هستند. چسبندگی کم‌تر ذرات MilorganitTM با پلی‌آکریل‌آمید اجازه چسبندگی ذرات خاک و عمل نمودن پلی‌آکریل‌آمید افزایش پیدا کرده و در نهایت باعث تأثیر معنی‌دار در کاهش فرسایش و هدررفت فسفر می‌شود. اما در رابطه با کاربرد ژپس به‌همراه پلی‌آکریل‌آمید محققان اظهار کردند که عملکرد این دو افزودنی به‌میزان پلی‌آکریل‌آمید و اندازه ذرات ژپس بستگی دارد. زیرا که ژپس ماهیتاً متخلخل می‌باشد. هنگامی که ذرات ژپس با پلی‌آکریل‌آمید مخلوط شود، مقداری از پلی‌آکریل‌آمید به درون حفره‌ها هدایت می‌شود و قسمت آنیونی آن با کلسیم موجود در ژپس کاتیونی واکنش می‌دهد. اگر پلی‌آکریل‌آمید در مقادیر بالاتر به‌کار رود باز هم مقداری از آن جذب ژپس خواهد شد ولی در کنترل رسوب مؤثرتر خواهد بود.

هم‌چنین روستا و عنایتی [۳۵] اظهار کردند که مصرف توأم افزودنی‌های آلی با افزودنی‌های معدنی کلسیم‌دار مانند گچ علاوه بر داشتن مزایای کاربرد گچ باعث تجزیه مواد آلی شده و ترکیباتی را ایجاد می‌کند که با کاتیون کلسیم ترکیب شده و پیوند Ca-Organic را به‌وجود می‌آورد و این ترکیب عامل مؤثری در اتصال ذرات رس به‌یکدیگر و ایجاد خاک‌دانه می‌باشد و در نتیجه موجب میزان پایداری خاک‌دانه می‌گردد.

بررسی اثرات بلندمدت افزودنی‌های خاک

به‌دلیل نوپا بودن کاربرد افزودنی‌ها در زمینه مدیریت منابع آب و خاک در ایران، مطالعات جامعی در این خصوص صورت نگرفته است. با این‌وجود با مرور مطالعات انجام شده، ارزیابی تأثیر بلندمدت افزودنی‌های خاک نکته مهمی است که کم‌تر به آن پرداخته شده است. بدین معنی که تا چه زمانی بعد از استفاده می‌تواند در رسیدن به هدف مورد نظر تأثیر داشته باشد و هم‌چنین مدت زمان ماندگاری اثر آن چقدر است.

توجه به اثرات بلند مدت افزودنی‌های خاک به‌دلیل پویا بودن

3. Magnetite Nanoparticles
4. Arsenic (As₂O₃)

1. Acrylamide
2. Synergetic Effects

Cropping Systems. A Review. Agriculture, Ecosystems and Environment. 164: 32-52

2. Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Feiznia, S. and Ghaneei Bafghi, M.J. 2002. Investigation of Method of Wind Erosion Control for Railtrain conservation, Case Study: Bafgh Region. Iran Natural Resources Journal. 55: 327-342. (In Persian)

3. Akbarzadeh, A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Refahi, H.G., Rouhipour, H. and Gorji M. 2009. Using Soil Binders to Control Runoff and Soil Loss in Steep Slopes under Simulated Rainfall. International Agrophysics. 23: 99-109.

4. Awad, Y.M., Blagodatskaya, E., OK, Y.S. and Kuzeyakov, Y. 2012. Effects of Polyacrylamide, Biopolymer, and Biochar on Decomposition of Soil Organic Matter and Plant Residues as Determined by 14C and Enzyme Activities. European Journal of Soil Biology. 48: 1-10.

5. Boroghani, M., Mirnia, S.Kh. and Vahhabi, J. 2013. Effect of Nanozeolite on Decreasing Runoff using FEL3 Rainfall Simulator at Different Slope. Journal of Water and Soil Conservation. 20(2): 8p. <http://jwsc.gau.ac.ir>. (In Persian)

6. Bulluck III, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K. and Ristaino, J.B. 2002. Organic and Synthetic Fertility Amendments Influence Soil Microbial, Physicals and Chemical Properties on Organic and Conventional Farms. Applied Soil Ecology. 19: 147-160.

7. Celik, I., Gunal, H., Budak, M. and Akpınar, C. 2010. Effects of Long-Term Organic and Mineral Fertilizers on Bulk Density and Penetration Resistance in Semi-Arid Mediterranean Soil Conditions. Geoderma. 160: 236-243.

8. Chaudhari, K. and Flanagan, D.C. 1998. Polyacrylamide Effect on Sediment Yield, Runoff, and Seedling Emergence on a Steep Slope. Technical papers, American Society of Agricultural Engineers ASAE Annual International Meeting, Paper No. 982155. St. Joseph, Mich, 20 July. 1998.

9. Chepil, W.S. and Woodruff, N.P. 1963. The

محیط زیست، بروز احتمالی اثرات زیست محیطی جانبی و احتمال تغییر اثرات افزودنی‌های خاک در بلندمدت ضروری است. تحقیقات بلندمدت در تدوین سناریوهای واقعی تر در رابطه با تغییرات فرایندها و خصوصیات خاک اهمیت بسیاری دارد. به این دلیل علی‌رغم وجود مطالعات اندک، توجه به این امر مهم در دهه اخیر نظر محققان را به خود جلب کرده است.

در همین راستا حزباوی [۱۷] به تعیین سطح بهینه مصرف افزودنی مهم پلی‌آکریل‌آمید در زمینه مدیریت منابع آب و خاک در شرایط آزمایشگاهی پرداخت. ایشان از تیمارهای شاهد و پلی‌آکریل‌آمید با هفت سطح مختلف به ترتیب ۰/۴، ۰/۶، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ گرم در مترمربع در قبل از بارش مصنوعی برای انجام تحقیق استفاده نمودند. ارزیابی مقدار مناسب مصرف پلی‌آکریل‌آمید به‌عنوان سطح بهینه از طریق تحلیل نمودارهای حاصل از ترسیم هم‌زمان مقدار پلی‌آکریل‌آمید، روند تغییر فرسایش و میزان پلی‌آکریل‌آمید باقی‌مانده در آب و رسوب خروجی از پلات‌ها انجام شد. مقدار بهینه پلی‌آکریل‌آمید بر اساس تحلیل نتایج تحقیق به‌منظور کنترل روان‌آب و رسوب به ترتیب ۲ و ۱ گرم در مترمربع به‌دست آمد. طبعاً نتایج حاصل از این تحقیق در تبیین الگوی مدیریتی حفاظت آب و خاک مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با بررسی دقیق و جزئی‌تر کاربرد افزودنی‌ها چنین برداشت می‌شود که انتخاب بهترین نوع افزودنی و یا ترکیب مناسب از افزودنی‌ها برای کاربرد در حفاظت آب و خاک میسر نیست بلکه مجموعه عوامل مؤثر را باید بررسی کرد. در عین حال می‌توان برای یک شرایط خاص و پس از بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی و منطبق بودن آن‌ها، نوع افزودنی مناسب و حتی سطح بهینه از مصرف آن را پیشنهاد کرد. علاوه بر آن انجام تحقیقات در خصوص بررسی اقتصادی استفاده از هر کدام از افزودنی‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد که در حال حاضر اطلاعات مستندی در این خصوص به‌دست نیامد. از بررسی پیشینه‌ی پژوهش‌های موجود و مستندات قابل دسترس مطالعه در رابطه با استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و کارخانه‌ها، می‌توان جمع‌بندی نمود که تأثیر پسماندهای کارخانه‌ها از جمله ویناس بیش‌تر در بخش کشاورزی و اثر آن‌ها بر تولید محصول مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر آن بر کاهش فرسایش و رسوب و تعیین سطح بهینه مصرف آن‌ها به‌ندرت بررسی شده است که نیازمند مطالعات بیش‌تری است.

منابع

Aguilera, A., Lassaletta, L., Sanz-Cobena, A., .1
Garnier, J. and Vallejo, A. 2013. The Potential of Organic Fertilizers and Water Management to Reduce N₂O Emissions in Mediterranean Climate

Residues in Runoff and Sediment. M.Sc Thesis, Iran, Tarbiat Modares University. 98 p. (In Persian)

18. Hazbavi, z., Sadeghi, S.H.R. and Younesi, H. 1391. Analysis and Assessing Effectability of Runoff Components from Different Levels of Polyacrylamide. *Water and Soil Resources Conservation Journal*. ISSN 2251-7480. 2(2): 1-13. (In Persian)

19. Hazbavi, z., Sadeghi, S.H.R. and Younesi, H. 1392. The Role of Soil Amendments on Runoff Rate. *Proceedings of 9th National Conservation on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran, Yazd, Iran*. 30 and 31 October 2013. 6p. (In Persian)

20. Jafari, M., Tahmoures, M. and Ghodoosi, J. 2012. *Biological Soil Erosion Control*. University of Tehran Press 3256. 790p. (In Persian)

Jiang, T., Teng, L., Wei, Sh., Deng, L., Luo, Z. and Chen, Y. 2010. Application of Polyacrylamide to Reduce Phosphorus Losses from a Chinese Purple Soil: A Laboratory and Field Investigation. *Journal of Environmental Management*. 91: 1437-1445.

21. Kukal, S.S. and Srakar, M., 2011. Laboratory Simulation Studies on Splash Erosion and Crusting in Relation to Surface Roughness and Raindrop Size. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 59 (1): 87-93.

22. Kumar, A. and Saha, A. 2011. Effect of Polyacrylamide and Gypsum on Surface Runoff, Sediment Yield and Nutrient Losses from Steep Slopes. *Agricultural Water Management*. 98: 999-1004.

23. Levy, G.J., Levin, J., Gal, M., Ben-Hur, M. and Shainberg, I. 1992. Polymers' Effects on Infiltration and Soil Erosion during Consecutive Simulated Sprinkler Irrigations. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 902-907.

24. Liu, B., Gumpertz, M.L., Hu, Sh. And Ristaina, J.B. 2007. Long-Term Effects of Organic and Synthetic Soil Fertility Amendments on Soil

Physics of Wind Erosion and Its Control. *Advances in Agronomy*. 15:211-302.

10. DaSilva, M.A.S., Griebeler, N.P. and Borges, L.C. 2007. Use of Stillage and Its Impact on Soil Properties and Groundwater, *Journal of Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*. 11(1):108 -114.

11. Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., van Bruggen, A.H.C. and Shennan, C. 1995. Fundamental Differences between Conventional and Organic Tomato Agroecosystems in California. *Journal of Applied Ecology* 5: 1098-1112.

12. Entry, J.A. and Sojka R.E. 2008. Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios can Estimate Anionic Polyacrylamide Degradation in Soil. *Geoderma*. 145: 8-16.

13. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R. and Homaei, M. 2012. Efficiency of Rice Straw Mulch as a Soil Amendment to Reduce Splash Erosion. *Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment (Proceedings of a symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11-15 October 2012)*. IAHS Publication. 356: 173-177.

14. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R. and Homaei, M. 2013. Straw Mulching Effect on Splash Erosion, Runoff and Sediment Yield from Eroded Plots. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 268-278.

15. Ghorbani vagheie, H., Bahrami, H.A. and Taliey Tabari, F. 2004. Efficiency of Anionic Polyacrylamide in increasing of Water Penetration in soil. *Iranian Journal of Water and Soil Research*. 39(1): 77-84. (In Persian)

16. Green, V.S. and Stott, D.E. 2001. Polyacrylamide: A Review of the Use, Effectiveness, and Cost of a Soil Erosion Control Amendment. 10th International Soil Conservation Meeting, May 24-29, 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. 384-389.

17. Hazbavi, z. 2013. Soil Erosion Control by Application of Polyacrylamide to Minimize its

Organic Matter Quality under Tropical Conditions. *Geoderma*. 123(3-4): 355-361.

33. Ross, M.A. and Lembi, C.A. 1985. *Applied Weed Science*. McMillan and Company. New York. 340p.

34. Rousta, M.J. and Enayati, K. 2013. Effects of Organic and Mineral Amendments on Mean-Weight Diameter of Soil Aggregates. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*. 98: 24-33. (In Persian)

35. Santos, J.D.D., Da Silva, L.L, Costa, J.D.L. and Scheidt, G.N. 2012. Development of a Vinasse Nutritive Solution for Hydroponics. *Journal of Environmental Management*. 114(1):8-12.

36. Sepaskhah, A.R. and Bazrafshan-Jahromi, A.R. 2006. Controlling Runoff and Erosion in Sloping Land with Polyacrylamide under a Rainfall Simulator. *Biosystems Engineering*. 93(4): 469-474.

37. Sepaskhah, A.R. and Mahdi-Hosseiniabadi, Z. 2008. Effect of Polyacrylamide on the Erodibility Factor of a Loam Soil. *Biosystems Engineering*. 99: 598-603.

38. Sepaskhah, A.R. and Shahabizad, V. 2010. Effects of Water Quality and PAM Application Rate on the Control of Soil Erosion, Water Infiltration and Runoff for Different Soil Textures Measured in a Rainfall Simulator. *Biosystems Engineering*. 106: 513-520.

39. Seybold, C.A., 1994. Polyacrylamide Review: Soil Conditioning and Environmental Fate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25(11-12): 2171-2185.

40. Seyed Doraji, S., Golchin, A. and Ahmadi, SH. 2010a. The Effects of Hydrophilic Polymer and Soil Salinity on Corn Growth in Sandy and Loamy Soils. *Clean-Soil, Air, Water*. 38(7): 584-591.

41. Seyed Doraji, S., Golchin, A. and Ahmadi, SH. 2010b. The Effects of Different Levels of a Superabsorbent Polymer and Soil Salinity on Water Holding Capacity with Three Textures of Sandy, Loamy and Clay. *Journal of Water and Soil*. 24(2): 306-316. (In Persian)

42. Shahbazi, A., Yazdipour, A.R. and Raofi, M.

Microbial Communities and the Development of Southern Blight. *Soil Biology and Biochemistry*. 39: 2302-2316.

25. Mailapalli, D.R. and Tompson, A.M., 2011. Polyacrylamide Coated Milorganite™ and Gypsum for Controlling Sediment and Phosphorus Loads. *Agricultural Water Management*. 101: 27- 34.

26. Malekian, A., Shahbazi Homonlo, K., Didehbaz Moghanolo, G. and Dastoori, M. 2012. Evaluation of Appropriate Technique to Improve Soil Characteristics and Crop Production. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*. ISSN: 2277-209X (Online). 2(1): 26-31.

27. Marx, J., Bary, A., Jackson, S., McDonald, D. and Wescott, H. 1999. The Relationship between Soil and Water How Soil Amendments and Compost Can Aid in Salmon Recovery. King County Department of Natural Resources. 20p. www.metrokc.gov/dnr.

28. Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M. 2011. Investigation Effect of Polyvinyl Acetate Polymer on Dry Soil Aggregates Stability. *Journal of Soil Researches (Soil and Water Sciences)*. 27(1): 71-83. (In Persian)

29. Movahedan, M., Abbasi, N. and Keramati, M. 2013. Experimental Investigation of Polyvinyl Acetate Polymer Application for Wind Erosion Control of Soils. *Journal of Water and Soil*. 25(3): 606-616. (In Persian)

30. O'Flynn, C.J., Healy, M.G., Wilson, P., Hoekstra, N.J., Troy, Sh.M. and Fenton, O. 2013. Chemical Amendment of Pig Slurry: Control of Runoff Related Risks due to Episodic Rainfall Events up to 48 h after Application. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI 10.1007/s11356-013-1630-0. 9p.

31. Rahbar, I. and Darvish, M. 2005. Review of Researches Conducted on Petroleum Mulches. *Range and Desert Researches of Iran*. 12(1)63-71. (In Persian)

32. Rivero, C., Chirenje, T., Ma, L.Q. and Martinez, G., 2004. Influence of Compost on Soil

Soil Treated with Two Organic Amendments. Soil and Tillage Research. 91: 186-198.

50. Tejada, M. and Gonzalez, J.L. 2007. Influence of Organic Amendments on Soil Structure and Soil Loss under Simulated Rain. Soil and Tillage Research. 93: 197-205.

51. Tejada, M., Gomez, I., Hernandez, T. and Garcia, C. 2010. Utilization of Vermicomposts in Soil Restoration: Effects on Soil Biological Properties. Journal of Soil Science Society of America. 74 (2):525-532.

52. Weston, D.D., Lentz, R.D., Cahn, M.D., Ogle, R.S., Rother, A.K. and Lydy, M.j. 2009. Toxicity of Anionic Polyacrylamide Formulations when Used for Erosion Control in Agriculture. Technical Reports: Surface Water Quality. Journal of Environmental Quality. 38: 238-247.

53. Xiubin, H.E., and Zhandin, H. 2001. Zeolite Application for Enhancing Water Infiltration and Retention in Loess Soil. Resources, Conservation and Recycling. ISSN 0921-3449. 34(1): 45-52.

54. Yazdani, F., Allahdadi, I. and Akbari, Gh.A. 2007. Impact of Superabsorbent Polymer on Yield and Growth Analysis of Soybean (*Glycine max L.*) under Drought Stress Condition. Pakistan Journal of Biological Scientific Information: 10(23): 4190-4196.

55. Zheng, M. 2011. A Technology for Enhanced Control of Erosion, Sediment and Metal Leaching at Disturbed Land Using Polyacrylamide and Magnetite Nanoparticles. M.Sc Thesis, USA, Auburn University. 104p.

2009. Study on the Effect of Polyacrylamide on Canola Seedling Emergence in a Crusted Soil and Some Physicochemical Properties of Soil. Journal of Water and Soil. 23(2): 38-45. (In Persian)

43. Shekofteh, H., Rafahi, H.Gh. and Gorji, M. 2005. The Chemical Effect of Polyacrylamide on the Soil Erosion and Runoff. Iranian Journal of Agricultural Science. 36: 177-186. (In Persian)

44. Shooshtarian, S., Abedi-Kupai, J. and TehraniFar, A. 2011. Evaluation of Application of Superabsorbent Polymers in Green Space of Arid and Semi-Arid Regions with emphasis on Iran. Journal of Biodiversity and Ecological Sciences (JBES®). 1(4): 258-269.

45. Sohrabi, T., Jahan Ju, B., Keshavarz, A. 2005. Effect of Polyacrylamid Chemical on Soil Loss and Water Penetration in Rill Irrigation System. Journal of Agriculture Engineering Research. 24(6): 33-46. (In Persian)

46. Sojka, R.E. and Lentz, R.D. 1996. Managing Irrigation-Induced Erosion and Infiltration with Polyacrylamide. Proceedings from Conference Held at College of Southern Idaho Twin Falls, Idaho, May 6-8. 11-20.

47. 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.

48. Swedish National Food Agency. 2002. Analytical Methodology and Survey results for Acrylamide in Foods: <http://www.slv.se/engdefault.asp>.

49. Tejada, M. and Gonzalez, J.L. 2006. The Relationships between Erodibility and Erosion in a