

تأثیر سوپر جاذب‌های پرلیت، زئولیت و A200 بر فرسایش سطحی و رسوب‌زایی خاک اشباع

رضا قضاوی^{۱*}، ابراهیم امیدوار^۲ و فرزانه فدایی^۳

چکیده

در این پژوهش، تأثیر سه نوع سوپر جاذب شامل پرلیت، زئولیت و A200 در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی، در دو شیب ۵ و ۱۰ درصد و با ۳ تکرار روی فرسایش سطحی خاک اشباع بررسی شد. این مطالعه در پلات‌های آزمایشگاهی با ابعاد ۱۰۰×۴۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه‌های خاک پس از اضافه‌شدن سوپر جاذب‌ها در معرض آبیاری با شدت یکسان قرار گرفتند و بعد از اشباع شدن با افزودن دبی با شدت ۲ لیتر در دقیقه در مدت ۲۰ دقیقه به پلات‌ها شیب ۵ و ۱۰ درصد داده و رسوب خارج شده از انتهای پلات‌ها جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که در هر دو شیب زمانی که سوپر جاذب‌ها در سطح‌های ۵ و ۱۰ درصد به خاک اضافه می‌شود، میزان رسوب خروجی از پلات‌ها نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$)؛ ولی زمانی که مقادیر این نوع سوپر جاذب از ۱۵ درصد رسید در میزان رسوب اندازه‌گیری شده افزایش نسبی مشاهده شد. همچنین سایر نتایج در مورد اثربخشی سوپر جاذب‌ها در کاهش رسوب‌دهی، نشان داد که سوپر جاذب A200 با میزان ۴۳/۶ درصد کاهش رسوب نسبت به تیمار شاهد، بیشترین اثربخشی را داشته و سوپر جاذب‌های پرلیت و زئولیت نیز به ترتیب ۳۱/۳ و ۱۶/۵ درصد رسوب‌دهی پلات را کاهش داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اثربخشی، پلات آزمایشگاهی، تجزیه واریانس، رواناب سطحی، رسوب، فرسایش.

ارجاع: قضاوی ر. فدایی ف. و امیدوار ا. ۱۳۹۷. تأثیر سوپر جاذب‌های پرلیت، زئولیت و A200 بر فرسایش سطحی و رسوب‌زایی خاک اشباع. مجله پژوهش آب ایران. ۲۹: ۱۲۱-۱۲۹.

۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
* نویسنده مسئول: ghazavi@kashanu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۹

مقدمه

هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک از اراضی کشاورزی فرسایش می‌یابد (براون و همکاران، ۱۹۹۹). جبران خاک فرسایش یافته برای طبیعت، به‌ویژه در مناطق خشک که وضعیت برای تشکیل خاک بسیار نامساعد است، بسیار دشوار و طولانی بوده و لذا امروزه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقداماتی است که در هر کشوری، بایستی به آن توجه خاصی مبذول داشت (پیمنتال و کونانگ، ۱۹۹۸). استفاده از اصلاح‌کننده خاک‌دانه‌های خاک، یکی از مواردی است که می‌تواند در کنترل فرسایش خاک و افزایش نفوذپذیری مؤثر باشد. اولین اصلاح‌کننده خاک‌دانه‌های خاک در سال ۱۹۵۱ تولید و در قالب مقاله ویژه‌ای در مجله علوم خاک گزارش داده شد (تریپاتی و سینگ، ۲۰۰۱). یکی از این اصلاح‌کننده‌های خاک، سوپر جاذب‌ها هستند. سوپر جاذب‌ها که در بعضی منابع به آن‌ها هیدروژل نیز گفته می‌شود، پلیمرهای آب‌دوستی هستند که توانایی جذب مقدار زیادی آب یا محلول آبی را دارند. بر اساس تعادل ترمودینامیکی، در حالتی که پتانسیل شیمیایی آب در محیط بیش از هیدروژل باشد، نفوذ آب از محیط به داخل این مواد صورت می‌گیرد و موجب تورم این پلیمرها تا چندین برابر حجم اولیه خواهد شد و در حالتی که پتانسیل شیمیایی آب در هیدروژل بالاتر از محیط باشد، نفوذ آب از هیدروژل به سمت محیط اطراف انجام می‌گیرد (نادری و واشقانی، ۱۳۸۵). سوپر جاذب‌ها به دلیل قابلیت نگهداری و حفظ رطوبت در خاک به مدت طولانی، می‌توانند مقدار مصرف آب را در بعضی خاک‌های سبک تا یک سوم کاهش دهند. همچنین بسیاری از این مواد هیچ اثر نامطلوب و محیط زیستی بر خاک ندارند (فینک، ۱۹۹۲).

تاکنون پژوهش‌هایی در داخل و خارج از کشور در مورد نقش سوپر جاذب‌های مختلف در میزان رواناب و رسوب انجام شده است. از جمله ژوبین و ژاندین (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای مشخص کرده‌اند که خاک دارای زئولیت می‌تواند نفوذ آب در خاک را بین ۷ تا ۲۰ درصد در شیب ملایم افزایش دهد؛ در حالی که در شیب‌های تند این مقدار تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر هی و هوانگ (۲۰۰۱) تأثیر پودر زئولیت روی نفوذ را در لس‌های آهکی ریزدانه چین بررسی کردند و به این نتیجه

رسیدند که استفاده از پودر زئولیت باعث افزایش نفوذ و کاهش فرسایش شده است. ایشان همچنین گزارش دادند که تأثیر مثبت سوپر جاذب‌ها در شیب‌های ملایم بیشتر از شیب‌های تند بوده است.

همچنین پژوهش‌های دیگری نیز در دنیا روی تأثیر انواع مختلف هیدروژل‌های پلی‌اکریل‌آمید بر میزان رواناب و رسوب در مقیاس پلات در وضعیت شبیه‌سازی بارش و رواناب مصنوعی انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به جیمز و همکاران (۲۰۰۶)، سیاسخواه و شهابی زاد (۲۰۱۰) و پینگ و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد که در تمامی این پژوهش‌ها، نتایج بیان‌کننده تأثیر مثبت این سوپر جاذب در کاهش میزان رواناب و رسوب بود و همچنین با افزایش سطوح مصرف این سوپر جاذب‌ها میزان رواناب کاهش و رسوب خارج شده از پلات افزایش پیدا کرده بود. بررسی سوابق پژوهشی در دنیا نشان می‌دهد که تاکنون بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد سوپر جاذب‌ها روی تأثیر آن‌ها در تغییرات رطوبت خاک تمرکز داشته است؛ برای مثال دابهی و همکاران (۲۰۱۳)، مطالعه‌ای در مورد تأثیر استفاده از سوپر جاذب‌ها برای افزایش رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه خشک انجام دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که استفاده از سوپر جاذب‌ها باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در منطقه هوادار خاک اطراف ریشه گیاهان می‌شود.

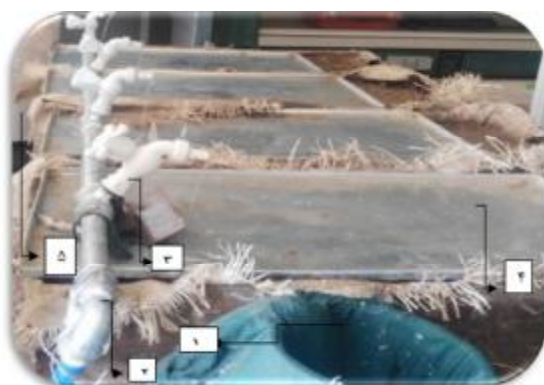
در داخل کشور نیز همانند سوابق پژوهشی خارج اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه تأثیر سوپر جاذب‌ها بر فرسایش بیشتر روی هیدروژل پلی‌اکریل‌آمید انجام شده است. از جمله پورمیدانی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی تأثیر کاربرد پلیمر BT53 بر فرسایش خاک پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مصرف این پلیمر در سطوح مختلف به خصوص سطوح مصرف بیشتر باعث کاهش فرسایش شده است. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از شبیه‌سازی باران مصنوعی روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب را بر اثر کاربرد سطوح مختلف مصرف پلی‌اکریل‌آمید مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از اثر کاهنده استفاده از پلی‌اکریل‌آمید بر هدررفت خاک و غلظت رسوب بود و با افزایش سطوح مصرف نیز هدررفت خاک کاهش پیدا کرده بود. همچنین افراسیاب و همکاران (۱۳۹۲) نیز در پژوهشی، تأثیر مقادیر مختلف پلی‌اکریل‌آمید با دو آبیاری متوالی در

مواد و روش‌ها

پلات‌های آزمایشی و دستگاه شبیه‌ساز رواناب

این پژوهش در قالب یک طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام شد؛ به گونه‌ای که برای هر تیمار تعداد سه تکرار و یک تیمار شاهد در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن سه نوع سوپرچادب (ژئولیت، پرلیت و A200)، با چهار سطح مختلف مصرف (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) در دو شیب متفاوت ۵ و ۱۰ درصد و همچنین با لحاظ کردن سه تکرار در هر تیمار در کل تعداد ۷۲ آزمایش و نمونه رسوب حاصل شد.

برای هر آزمایش روی یک تیمار در کل تعداد چهار پلات آزمایشگاهی مورد نیاز بود. این پلات‌ها از جنس فلز و با ابعاد یکسان ۲۵×۴۰×۱۰۰ سانتی‌متر ساخته شدند. برای برقراری وضعیت مساعد زهکشی و جلوگیری از ماندابی شدن بستر در آزمایش‌ها، در کف پلات‌ها سوراخ‌های متعددی تعبیه و تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر از هر پلات نیز با فیلتری از جنس سنگریزه پوشانده شد. در قسمت انتهایی هر پلات یک لوله هدایت‌کننده و مخزن جمع‌آوری‌کننده رواناب تعبیه شد. همچنین جریان آب ورودی از مخزن اصلی به وسیله یک پمپ برقی (۱)، لوله (۲) و شیرهایی قابل تنظیم (۳) وارد هر پلات (۴) می‌شد (شکل ۱). شیب پلات‌ها با استفاده از یک جک چرخشی مکانیکی (۵) که از قسمت زیرین برای کل پلات‌ها تعبیه شده به صورت هم‌زمان قابل تغییر است. میزان دبی آب ورودی به پلات‌ها قبل از شروع آزمایش از طریق شیرها تنظیم می‌شد تا دبی کاملاً یکسانی (دو لیتر در دقیقه) وارد پلات‌ها شود.



شکل ۱- اجزای مختلف دستگاه شبیه‌ساز رواناب و پلات‌های آزمایشگاهی

کنترل رواناب، فرسایش و نفوذپذیری در اراضی شیب‌دار را با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز ارزیابی کردند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها در بخش رواناب و رسوب نشان داد که با افزایش غلظت پلی‌اکریل‌آمید در شیب‌های مختلف، رواناب و فرسایش خاک کاهش یافته است.

در مورد دیگر سوپر چادب‌ها نیز بروغنی و میرنیا (۱۳۹۳) به بررسی مقادیر مختلف نانوزئولیت (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ گرم بر مترمربع) روی مقدار فرسایش خاک در سه شیب ۷، ۹ و ۱۴ درجه با استفاده از باران‌ساز FEL3 بر روی خاک ماری پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که همه سطوح نانوزئولیت نسبت به شاهد در سه شیب اختلاف معنی‌داری در کاهش فرسایش خاک نداشته است. البته در مطالعات دیگری نیز به صورت جنبی به تأثیر استفاده از سوپر چادب‌ها در کاهش میزان رواناب و رسوب در حالت خاک غیراشباع اشاره شده است (بی‌لی و مینگان، ۲۰۱۱؛ شکفته و همکاران، ۱۳۸۴؛ جعفری و همکاران، ۲۰۱۲؛ روستا و همکاران، ۱۳۹۲).

بررسی سوابق پژوهشی نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌های انجام شده در مورد نقش سوپرچادب‌ها در کنترل فرسایش با تمرکز بر مکانسیم جذب آب، افزایش ظرفیت نفوذپذیری و جلوگیری از رواناب سطحی در حالت غیراشباع انجام شده است. به نظر می‌رسد در حالتی که سوپرچادب‌ها به اندازه حداکثر ظرفیت خود آب جذب کرده و همچنین خاک سطحی نیز اشباع شده باشد، نقش سوپرچادب‌ها متفاوت از حالت غیراشباع باشند. در مورد نقش عوامل فرساینده خاک نیز تاکنون بیشتر پژوهش‌ها روی نقش توأم فرسایش پاشمانی و رواناب سطحی تمرکز کرده‌اند اما در مورد نقش هرکدام از این عوامل فرساینده به صورت مجزا پژوهش‌های کمی انجام شده است. همچنین بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی به مقایسه اثربخشی سوپرچادب‌های مختلف در کاهش فرسایش و رسوب نپرداخته است. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این پژوهش مقایسه تأثیر سوپرچادب‌های مختلف و همچنین سطوح مختلف مصرف آن‌ها بر میزان فرسایش خاک در اثر عامل فرساینده رواناب سطحی در وضعیت اشباع خاک و در مقیاس پلات‌های آزمایشگاهی است.

تهیه بستر

در این پژوهش برای آماده‌سازی یک بستر مناسب، از نمونه‌های خاک با بافت لومی که از اراضی اطراف شهرستان کاشان برداشت شده بود، استفاده شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک انتخاب شده را نشان

می‌دهد. در هر آزمایش به مقدار کافی از خاک مورد نظر برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا خشک و سپس بسته به نوع تیمار مورد نظر خاک با انواع سوپرجاذب پرلیت، زئولیت و A200 مخلوط شد.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش‌های مختلف

Co ₃ (meq/lit)	HCO ₃ (meq/lit)	Cl (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Ca (meq/lit)	K (meq/lit)	Na (meq/lit)	pH	EC (dS/m)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت لومی
۰	۱/۶	۲۸۵	۲۸/۴	۶۸/۴	۵۲۰	۷۴/۵	۷/۴	۱۹/۴۲	۲۱	۳۷	۴۲	

محاسبه غلظت رسوب

در این مرحله ابتدا حجم رواناب جمع‌آوری شده اندازه‌گیری و سپس حجم معینی از رواناب جدا و با روش خشکاندن درون آون با دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت، رسوب باقی‌مانده توزین و غلظت رسوب در کل رواناب برای هر پلات محاسبه شد.

محاسبه اثربخشی سوپرجاذب‌ها

برای ارزیابی اثربخشی سوپرجاذب‌ها در کاهش رسوب، مقادیر کارایی کاهش رسوب (SLRE^۵, %) با توجه به معادله (۱) محاسبه شد (ساتر لند، ۱۹۸۸):

$$SLRE_i = \left(\frac{SL_{Control} - SL_i}{SL_{Control}} \right) \times 100 \quad (1)$$

که در این معادله SL_{control} رسوب پلات تیمار شاهد و SL_i رسوب پلات تیمار سوپرجاذب و SLRE_i شاخص اثربخشی رسوب است که بر اساس مقادیر کل رسوب به‌دست می‌آید.

تجزیه و تحلیل آماری

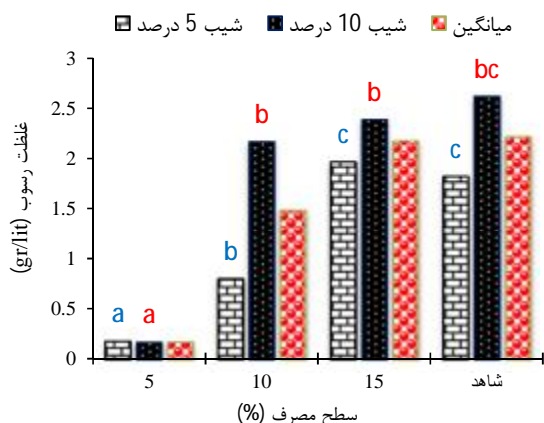
پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در محیط نرم‌افزاری Excel برای تجزیه آماری از نرم‌افزار spss18 استفاده شد. در نخستین مرحله، آزمون نرمال بودن داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون کولوموگروف- اسمیرنوف انجام و داده‌ها با استفاده از تابع تبدیل لگاریتم طبیعی (Ln(x)) نرمال شد. برای بررسی تغییرات اثربخشی کاهش رسوب در تیمارهای مختلف سوپرجاذب‌های پرلیت، زئولیت و A200 و همچنین مقایسه سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب‌ها از

سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب‌های زئولیت و پرلیت با توجه به درصد حجمی از کل خاک مورد استفاده در پلات، در سطوح مصرفی صفر (بدون استفاده از سوپرجاذب)، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد انتخاب شدند. از آنجایی که سوپرجاذب A200 نسبت به سوپرجاذب‌های زئولیت و پرلیت دارای خاصیت متورم شونده و همچنین هزینه خرید به مراتب بالاتری است؛ بنابراین لازم بود که در ابتدا یک همسان‌سازی برای سطوح مصرف سوپرجاذب‌ها صورت پذیرد. بنابراین ابتدا یک آزمایش اولیه در مورد میزان جذب آب روی سوپرجاذب‌ها انجام و سپس با توجه به میزان جذب آب و همچنین هزینه خرید این سوپرجاذب‌ها در بازار سطوح مصرف سوپرجاذب A200 با سطوح مصرف زئولیت و پرلیت (۵، ۱۰ و ۱۵) یکسان‌سازی شد؛ از این‌رو سطوح مصرف A200، برای سطح ۵ درصد معادل ۰/۶۷، سطح ۱۰ درصد معادل ۱/۳۵ و برای سطح ۱۵ درصد معادل ۲ درصد در نظر گرفته شد. در ادامه خاک مخلوط شده با سوپرجاذب‌ها ضمن ایجاد کوبیدگی و فشردگی لازم درون پلات‌های آزمایشگاهی ریخته شد به‌گونه‌ای که سطح نمونه خاک با سطح پلات یکسان شد.

آزمایش و نمونه‌برداری

پس از تهیه بستر مورد نظر ابتدا نمونه‌ها در معرض آبیاری با شدت یکسان قرار گرفته و بعد از رسیدن به مرحله اشباع، دبی با شدت ۲ لیتر در دقیقه (q=۵/۵۶×۱۰^{-۷} m³/s) یا دبی در واحد عرض) به آرامی از قسمت فوقانی به پلات‌ها وارد و از قسمت انتهایی پلات رواناب حاوی رسوب فرسایش یافته به مدت ۴۰ دقیقه جمع‌آوری شد.

سوپرجاذب با سطح مصرف به میزان ۱۵ درصد باعث افزایش رسوب نسبت به دو سطح مصرف ۵ و ۱۰ درصد شده است.



شکل ۲- تغییرات رسوب در سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب پرلیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد)

در مورد سوپر جاذب پرلیت، برای هر دو شیب مورد آزمایش، کمترین میزان رسوبدهی مربوط به تیمار با سطح مصرف ۵ درصد بوده است؛ به گونه‌ای که در این سطح مصرف (۵ درصد) متوسط غلظت رسوب در شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب برابر با ۰/۳ و ۰/۳ گرم بر لیتر بوده که نسبت به تیمار شاهد با مقادیر ۱/۸ و ۲/۶ گرم بر لیتر در شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش میزان پرلیت، میزان غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در هر دو شیب به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است؛ به گونه‌ای که در سطح ۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین شاهد و تیمار پرلیت مشاهده نمی‌شود ($P < 0.05$).

آزمون آماری تجزیه واریانس و روش مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. برای بررسی تأثیر شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد در میزان رسوبدهی تیمارهای مختلف، از آزمون T جفتی استفاده شد.

نتایج

آماره‌های توصیفی تیمارهای مختلف

نتایج حاصل از محاسبه آماره‌های توصیفی داده‌های غلظت رسوب در تیمارهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، در بین سوپرجاذب‌های مختلف کمترین میانگین غلظت رسوب مربوط به سوپرجاذب A200 (۱/۷۹ گرم در لیتر) و بیشترین میانگین غلظت رسوب مربوط به سوپرجاذب پرلیت (۲/۶۲ گرم در لیتر) بوده است؛ ولی تفاوت معنی‌داری بین زئولیت و پرلیت مشاهده نشده است. حداقل میزان رسوب مشاهده شده در یک آزمایش نیز مربوط به تیمار سوپرجاذب A200 بوده است.

مقایسه سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب‌ها

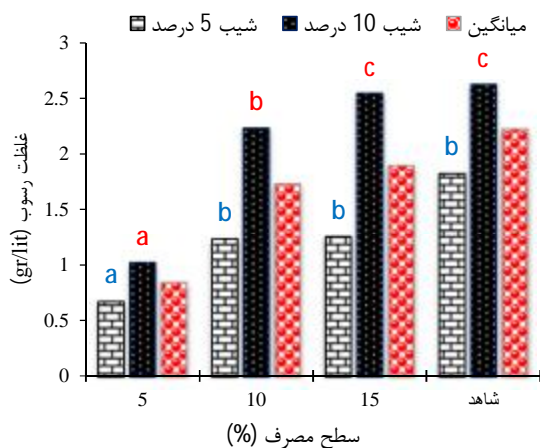
تجزیه و تحلیل آماری حاصل از تأثیر مقادیر مختلف مصرف سوپرجاذب‌ها بر میزان غلظت رسوب خروجی از پلات در ۴ سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به تفکیک برای هر سوپرجاذب در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، در تیمار شاهد میزان غلظت رسوب نسبتاً بالا بوده و با اضافه شدن هر سه نوع سوپر جاذب در سطوح مصرف ۵ و ۱۰ درصد میزان رسوب در هر دو شیب مورد آزمایش کاهش یافته است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴)؛ هر چند در برخی موارد این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. همچنین استفاده از

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مقادیر مختلف غلظت رسوب (g/lit) تیمارهای مختلف

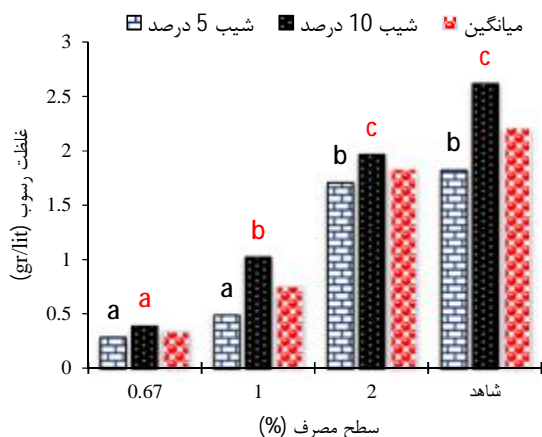
تیمار	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی
زئولیت	۲/۵۲	۱/۲۴	۰/۴۹	۴/۹۹	۰/۵۶	۰/۳۸	۰/۲۲
پرلیت	۲/۶۲	۲/۶۹	۱/۰۲	۶/۶۹	۰/۵۵	۱/۲۷	۰/۸۹
A200	۱/۷۹	۰/۶۲	۰/۷۸	۲/۷۴	۰/۲۳	۲	۴/۹۶
شاهد	۲/۶۴	۱/۳۱	۰/۱۸	۴/۹۴	۰/۳۴	۱/۴۵	۱/۵۵

تفاوتی مشاهده نشده است. در شیب ۱۰ درصد، بین تمام سطوح مصرف تفاوت معنی‌داری مشاهده شده است؛ هر چند که در این شیب نیز بین تیمار ۱۵ درصد و تیمار

در مورد سوپر جاذب زئولیت، در شیب ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مصرف ۵ درصد با سایر سطوح مشاهده شد؛ اما بین سطوح ۱۰ و ۱۵ درصد تیمار شاهد



شکل ۳- تغییرات رسوب در سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب زئولیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد)



شکل ۴- تغییرات رسوب در سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب A200 (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد)

مقایسه میزان اثربخشی سوپرجاذب‌ها در کاهش رسوب

نتایج حاصل از بررسی تغییرات درصد کاهش رسوب نسبت به تیمار شاهد در مورد سوپرجاذب‌های مختلف در جدول ۳ نشان داد که به‌طور کلی سوپرجاذب A200 با ۴۳/۵ درصد کاهش حداکثر کارایی را در کاهش رسوب از خود نشان داده و سوپرجاذب‌های پرلیت و زئولیت به ترتیب با ۳۱/۳ و ۱۶/۵ درصد کاهش میزان رسوب در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. سایر نتایج جدول ۳ حاکی از این بود که به‌طور خاص در برخی تیمارها از جمله سطح مصرف ۵ درصد در هر دو شیب ۵ و ۱۰ درصد اثربخشی سوپرجاذب پرلیت بهتر بوده؛ اما این اثربخشی دارای اختلاف معنی‌داری با سوپرجاذب A200 نبوده است.

شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$). سایر نتایج در مورد این سوپرجاذب نشان داد که در هر دو شیب با افزایش میزان مصرف بیش از ۵ درصد (سطوح مصرف ۵ و ۱۰ درصد)، میزان غلظت رسوب اندازه‌گیری شده به‌طور نسبی افزایش داشته است (شکل ۳). به‌طور کلی نتایج آزمایش‌ها روی سوپرجاذب زئولیت با نتایج بروغنی و همکاران (۱۳۹۳) مغایرت دارد. این پژوهشگران در نتایج خود هیچ تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف مصرف نانوزئولیت در شیب‌های مختلف مشاهده نکرده‌اند. دلیل این امر می‌تواند به خاطر تفاوت در وضعیت آزمایش باشد که این پژوهش برخلاف پژوهش ایشان در مقادیر مصرف متفاوت سوپرجاذب و همچنین وضعیت اشباع خاک انجام شده است.

تجزیه و تحلیل آماری حاصل از تأثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب A200 در ۴ سطح مصرف در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی روند تغییرات سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب A200 نشان می‌دهد ابتدا در حالت بدون استفاده از سوپرجاذب (شاهد) میزان غلظت رسوب در شیب ۵ درصد ۱/۸ گرم بر لیتر و در شیب ۱۰ درصد ۲/۶ گرم بر لیتر بوده است. سپس با افزایش سطوح مصرف به مقادیر ۰/۶۷ و ۱/۳۵ درصد (معادل سطوح ۵ و ۱۰ درصد در زئولیت و پرلیت) یک کاهش معنی‌دار در غلظت رسوب حاصل شده است؛ به‌گونه‌ای که در تیمار ۰/۶۷ درصد (معادل ۵ درصد) میانگین غلظت رسوب در شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب به ۰/۴ و ۰/۳ گرم در لیتر بوده و در تیمار ۱/۳۵ درصد (معادل ۱۰ درصد) غلظت رسوب در شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب به ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر افزایش پیدا کرده است؛ ولی همچنان میزان کاهش نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$). در سطح مصرف ۲ درصد (معادل ۱۵ درصد) یک افزایش در میانگین غلظت رسوب حاصل شد (۱/۷ گرم بر لیتر برای شیب ۵ درصد و ۲ گرم بر لیتر برای شیب ۱۰ درصد)؛ به‌گونه‌ای که تفاوت بین شاهد و تیمار دیگر معنی‌دار نبود.

به ۱۵ درصد برسد، فرسایش سطحی و به تبع آن رسوبدهی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که حد مجاز استفاده از این سوپر جاذب‌ها برای کاهش فرسایش سطحی تا سطح ۱۰ درصد است. این امر بدین علت است که افزایش میزان سوپر جاذب‌ها به مقدار زیاد (۱۵ درصد) باعث می‌شود که این مواد متورم‌تر و از این طریق خلل و فرج سطحی خاک بسته شوند. همچنین نیروی وارد شده در اثر این تورم باعث به هم ریختگی و از بین رفتن ساختمان خاک می‌شود که این نقیصه نیز منجر به افزایش فرسایش می‌گردد. بنابراین وقتی خاک به حالت کاملاً اشباع می‌رسد، افزایش زیاد این مواد به خاک می‌تواند باعث افزایش میزان فرسایش سطحی خاک و در نتیجه افزایش میزان رسوب شود.

نتایج حاصل از این پژوهش در مورد کاهش غلظت رسوب همراه با افزایش سطوح مصرف ۵ و ۱۰ درصد با یافته‌های سوابق پژوهشی مانند جیمز و همکاران (۲۰۰۶)، سپاس‌خواه و شهایی‌زاد (۲۰۱۰)، آی پینگ و همکاران (۲۰۱۱)، یی لی و مینگان (۲۰۱۱)، جعفری و همکاران (۲۰۱۲)، پورمیدانی و همکاران (۱۳۸۹)، شکفته و همکاران (۱۳۸۴)، صادقی و همکاران (۱۳۹۲)، افراسیاب و همکاران (۱۳۹۲)، و همچنین روستا و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. در مورد مصرف سوپر جاذب‌ها در سطح ۱۵ درصد این نتایج با سوابق پژوهشی مورد اشاره مغایرت دارد، علت این امر می‌تواند به خاطر بالابودن میزان سوپر جاذب در این سطح از مصرف نسبت به سایر پژوهش‌ها باشد.

همچنین دیگر نتایج نشان داد که در سطح مصرف ۱۵ درصد با اعمال هر دو شیب ۵ و ۱۰ درصد در هر سه نوع سوپر جاذب، اثربخشی کاهش رسوب دارای مقادیر مثبت بوده است. این امر بیان‌کننده این است که افزایش سوپر جاذب‌های پرلیت، زئولیت و A200 در این سطح مصرف باعث افزایش میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد شده و عملکرد نامطلوبی به جا گذاشته است. این نتیجه، تاییدکننده نتایج مقایسه میانگین‌های تیمارهای مذکور در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نیز است. در مورد سوپر جاذب‌های مختلف به‌خصوص زئولیت و A200 نتایج نشان داد که در مقایسه با تیمارهای شاهد اثربخشی سطوح مختلف مصرف آن در شیب ۱۰ درصد به مراتب بهتر از شیب ۵ درصد است. این یافته با نتایج ژوبین و ژاندین (۲۰۰۱) که عنوان کرده بودند مصرف زئولیت در شیب‌های بالاتر نسبت به شیب‌های ملایم باعث افزایش نفوذ بیشتر آب شده، مطابقت دارد. هرچند که این پژوهشگران پژوهش خود را روی فرایند نفوذ انجام داده‌اند، اما میزان فرسایش حاصل از رواناب سطحی در پژوهش حاضر نیز می‌تواند متأثر از فرایند نفوذ باشد. همچنین این یافته با نتایج هی و هوانگ (۲۰۰۱) که مصرف زئولیت را باعث کاهش نفوذ و فرسایش در شیب‌های بالاتر نسبت به شیب‌های ملایم گزارش کرده‌اند نیز مطابقت دارد.

در یک جمع‌بندی کلی از نتایج شکل‌های ۲، ۳ و ۴ و همچنین جدول ۳ می‌توان دریافت که در حالت اشباع، زمانی که این سوپر جاذب‌ها در سطح‌های ۵ و ۱۰ درصد به خاک اضافه می‌شوند، فرسایش سطحی کاهش می‌یابد؛ ولی زمانی که مصرف این سوپر جاذب از ۱۰ درصد بیشتر و

جدول ۳- تجزیه و تحلیل آماری حاصل از اثربخشی سوپر جاذب‌ها بر کاهش رسوب نسبت به تیمار شاهد در شیب‌ها و سطوح مختلف

مصرف				
A200	زئولیت	پرلیت	سطح مصرف (%)	شیب (%)
-۷۵ ^a	-۴۱/۷ ^b	*-۸۳/۳ ^a	۵	
-۵۸/۳ ^a	.	-۳۳/۳ ^a	۱۰	۵
+۴۱/۷	+۸/۳	+۲۵	۱۵	
-۸۴/۶	-۶۱/۵	-۸۸/۵	۵	
-۶۱/۵ ^a	-۳/۸ ^b	-۱۵/۴ ^b	۱۰	۱۰
-۲۳/۱ ^a	.	+۷/۶ ^b	۱۵	
-۴۳/۵	-۱۶/۵	-۳۱/۳		میانگین

* علامت - نشان‌دهنده درصد کاهش رسوب نسبت به تیمار شاهد و علامت + نشان‌دهنده درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد است.

بررسی تأثیر شیب در میزان رسوب‌دهی پلات‌ها

برای بررسی تأثیر شیب در میزان رسوب‌دهی پلات‌ها در حضور سوپر جاذب‌های مختلف، میانگین مقادیر غلظت رسوب در هر کدام از شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد با استفاده از آزمون T زوجی مقایسه شد. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که بین مقادیر غلظت رسوب در شیب‌های ۵ و ۱۰ درصد اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۴). این امر نشان می‌دهد که عامل شیب تأثیر معنی‌داری روی میزان رسوب‌دهی پلات‌ها در آزمایش‌های مختلف داشته است. بر اساس نتایج حاصل، میزان رسوب با افزایش شیب حدود دو برابری داشته است. این امر به خاطر افزایش شیب و در نتیجه افزایش نیروی

فرساینده رواناب سطحی است. بایستی در نظر داشت که در این مقایسه مقادیر غلظت رسوب دو شیب نسبت به یکدیگر انجام و مقادیر پلات‌های شاهد نیز در این مقایسه لحاظ شده است؛ اما در جدول ۳ مقادیر غلظت رسوب هر تیمار در مقایسه با پلات شاهد خود انجام شده است، به همین خاطر در جدول ۳ مقادیر اثربخشی در شیب‌های ۱۰ درصد بهتر از ۵ درصد بوده است.

وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر میانگین غلظت رسوب در دو شیب ۵ و ۱۰ درصد با یافته‌های بروغنی و میرنیا (۱۳۹۳) مغایرت دارد. این پژوهشگران در شیب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری بین میزان رسوب ناشی از اعمال تیمار سوپر جاذب نانوزئولیت مشاهده نکردند.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین‌های غلظت رسوب در شیب‌های ۵٪ و ۱۰٪ (آزمون تی زوجی)

شیب (%)	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	t	sig
۵	۰/۹۷	۰/۴۸	۳۵	-۲/۰۱	۰/۰۵
۱۰	۱/۸۸	۰/۹۴			

نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های اصلاح خاک و کاهش میزان فرسایش، استفاده از سوپر جاذب‌ها است. پلیمرهای سوپر جاذب (سوپر آبدوست)، از گروه رزین‌ها هستند که به تازگی کاربرد وسیعی پیدا کرده‌اند. سوپر جاذب‌ها در بهسازی خاک نیز می‌توانند برای اصلاح بسیاری از مشکلات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شوند. در این مطالعه به بررسی تأثیر سوپر جاذب‌ها روی کاهش میزان رسوب در سطوح مختلف مصرف و همچنین دو شیب ۵ و ۱۰ درصد در مقیاس پلات‌های آزمایشگاهی پرداخته شد.

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که اضافه کردن سوپر جاذب‌ها به خاک باعث کاهش میزان هدررفت خاک و در نتیجه استفاده از آن‌ها برای کاهش میزان رسوب توصیه می‌شود؛ هرچند که در حالت اشباع خاک، افزایش میزان سوپر جاذب‌ها تا سطح مصرف ۱۰ درصد حجمی خاک تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان رسوب داشته و استفاده بیشتر از این مواد افزایش مجدد مقدار غلظت رسوب را به همراه داشته است. نتایج این مطالعه نشان داد که از بین سه نوع سوپر جاذب مورد استفاده، به‌طور میانگین بیشترین کاهش میزان رسوب (اثربخشی) در حالت اشباع به ترتیب مربوط به سوپر جاذب‌های A200 (۴۳/۵ درصد)، پرلیت (۳۱/۵ درصد) و در نهایت زئولیت

(۱۶/۵ درصد) بوده است. بنابراین اگرچه هر سه نوع سوپر جاذب به‌طور نسبی باعث کاهش میزان رسوب نسبت به شاهد بوده‌اند، کارایی سوپر جاذب A200 در کاهش رسوب در حالت اشباع بیشتر بوده است؛ در نتیجه با هدف حفاظت خاک از بین این سه سوپر جاذب، A200 توصیه می‌شود.

در این پژوهش، حاضر هدف مقایسه اثربخشی سوپر جاذب‌ها و سطوح مختلف مصرفی با یکدیگر در وضعیت آزمایشگاهی و با خاک دست‌خورده بوده است؛ بنابراین تطابق این نتایج با وضعیت طبیعی نیاز به یک پژوهش جداگانه در شرایط دامنه‌های طبیعی داشته که می‌تواند به عنوان یک موضوع پژوهشی پیشنهاد شود.

منابع

۱. افراسیاب پ. چاری م. م. و هاشمزاده‌وندی ح. ۱۳۹۲. بررسی اثر پلی‌اکریل‌آمید بر رواناب، فرسایش خاک و نفوذ آب در اراضی شیب‌دار با استفاده از شبیه‌ساز باران. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۲): ۲۸۱-۲۹۰.
۲. بروغنی م. میرنیا س. وهابی ج. و احمدی ج. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر نانوزئولیت در کاهش فرسایش خاک با استفاده از باران‌ساز FEL3. پژوهش‌نامه مدیریت

14. James A. Ray T. C. and El-Swaify A. S. 2006. Screening of polymers on selected Hawaii soils for erosion reduction and particle setting. *Hydrological Processes*. 20: 109-125.
15. Pimentel D. and Kounang N. 1998. Ecology of soil Erosion in Ecosystem Ecosystems of Disturbed Ground. 1: 416-426.
16. 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*. 10: 513-520.
17. Sutherland R. A. 1998. Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. *Land Degradation and Development*. 9: 465-486.
18. Tripathi R. P. and Singh H. P. 2001. Soil erosion and conservation. New Delhi: New Age Wiley and Sons. 316 p.
19. Xiubin H. E. and Zhandin H. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, Conservation and recycling*. 34(1): 45-52.
20. Yi L. and Mingan Sh. 2011. Effect of Polyacrylamide Applications on Soil Hydraulic Characteristics and Sediment Yield of Sloping Land. *Procedia Environmental Sciences*. 11: 763-773.
- حوزه آبخیز. (۹)۵: ۹۵-۱۰۶.
۳. پورمیدانی ع. خلیل پور ا. توکلی نکو ح. و معرفت م. ح. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر کاربرد پلیمر BT53 بر فرسایش خاک. *مجله مهندسی و مدیریت آبخیز*. (۲)۲: ۹۵-۱۰۱.
۴. روستا م. سلطانی م. بشارت ن. سلطانی و. صالحی م. و رنجبر غ. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر سطوح مختلف پلیمرهای سوپرجاذب و شوری آب آبیاری بر نگهداری رطوبت خاک. *پژوهش آب ایران*. (۱۲)۷: ۲۴۱-۲۴۴.
۵. شکفته ح. رفاهی ح. و گرجی اناری م. ۱۳۸۴. بررسی اثر ماده شیمیایی پلی اکریل آمید بر فرسایش و رواناب خاکها. *علوم کشاورزی ایران*. (۱)۳۶: ۱۷۷-۱۸۶.
۶. صادقی س. ح. ر. حزباوی ز. یونسی ح. و بهزادفر م. ۱۳۹۲. روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب بر اثر کاربرد پلی اکریل آمید. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*. (۴)۲: ۵۳-۶۶.
۷. نادری ف. و واشقانی فراهانی ا. ۱۳۸۵. حفظ رطوبت خاک با استفاده از پلیمرهای جاذب آب (هیدروژل). *علوم خاک و آب*. (۱)۲۰: ۶۴-۷۲.
8. Ai-Ping W. Fa-Hu L. and Sheng-Min Y. 2011. Effect of Polyacrylamide Application on Runoff, Erosion, and Soil Nutrient Loss under Simulated Rainfall. *Pedosphere*. 21(5): 628-638.
9. Brown A. G. and Quine T. A. 1999. Fluvial processes and environmental change. John Wiley and Sons Publications. 413 p.
10. Dabhi R. Bhatt N. and Pandit B. 2013. Super Absorbent polymers- an innovative water saving technique for optimizing crop yield. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 10(2): 5333-5340.
11. Finck A. 1992. *Dunger and dungung*. Verlag chemie International Limited Publication. India. 210 p.
12. He X. and Huang Z. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Conservation and Recycling*. 34: 45-52
13. Jafari M. Tavili and Ali M. 2012. Application of Superabsorbent on soil moisture retention and establishment of *Atriplex canescens* in arid area. *Journal of Renewable Natural Resources Research*. 2: 11-18.

