



دانشگاه گوارز و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و یکم، شماره اول، ۱۳۹۳  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## تأثیر برخی پلیمرهای محلول در آب بر ضریب آب‌گذری اشباع و مقاومت فروری خاک

معصومه سرمست<sup>۱</sup>، \*محمدهادی فرپور<sup>۲</sup> و مهدی سرچشمه‌پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشجویار گروه خاکشناسی،

دانشگاه شهید باهنر کرمان، <sup>۲</sup>استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۳۰

### چکیده

یکی از روش‌های نوین کنترل فرسایش بادی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک‌های شنی، افزایش پایداری ذرات شن و قدرت نگهداری آب در آن‌ها با استفاده از مواد پلیمری مصنوعی است. در این پژوهش تأثیر سه نوع پلیمر محلول در آب شامل، Karacoat NA58، Acrylic resin EXP174 و پلی‌وینیل‌استات در غلظت‌های ۱ و ۶ درصد وزن خاک خشک بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع و مقاومت فروری دو نوع خاک با بافت شنی و شن‌لومی مورد بررسی قرار گرفت. پلیمرها به روش تزریق از سطح به نمونه‌های خاک اضافه شدند. بررسی نتایج نشان داد که هدایت هیدرولیکی در خاک شن‌لومی نسبت به خاک شنی بیش‌تر کاهش یافت (معنی‌دار در سطح ۱ درصد)، به‌طوری‌که این صفت در نمونه‌های تیمار شده نسبت به شاهد ۶۴ درصد کاهش پیدا کرد. پلیمر پلی‌وینیل‌استات با میانگین  $15/4 \text{ cm/h}$  نسبت به پلیمرهای گروه اکریلیک (Karacoat NA58 با میانگین  $2 \text{ cm/h}$  و Acrylic resin EXP174 با میانگین  $25/3 \text{ cm/h}$ ) هدایت هیدرولیکی نمونه‌های تیمار شده را بیش‌تر کاهش داد (معنی‌دار در سطح ۱ درصد). افزایش میزان مقاومت فروری در خاک شن‌لومی در سطح ۵ درصد بیش از خاک شنی و تأثیر پلیمرها در میزان مقاومت فروری خاک یکسان بود. غلظت ۶ درصد پلیمر بر کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروری تأثیر معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) داشت. بیش‌ترین میزان نفوذ پلیمر و ضخامت سله مربوط به خاک شنی تیمار شده با پلیمر Karacoat NA58 در غلظت ۶ درصد و برابر با ۷۰ میلی‌متر بود. با توجه به نتایج پژوهش، استفاده از پلیمرها در تثبیت شن و بهبود رشد گیاهان در مناطق بیابانی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پلیمرهای اکریلیک، پلی‌وینیل‌استات، مقاومت مکانیکی، هدایت هیدرولیکی

\* مسئول مکاتبه: [farpoor@uk.ac.ir](mailto:farpoor@uk.ac.ir)

## مقدمه

ساختمان خاک از خصوصیات فیزیکی مهم خاک است که علاوه بر شرایط فیزیکی، شرایط بیولوژیکی و حاصل‌خیزی خاک را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (حاج‌عباسی، ۱۹۹۹). کاربرد پلیمرها در خاک یک تکنیک جدید برای بهبود ساختمان آن است. پلیمرها را می‌توان براساس مصارف کشاورزی به دو دسته پلیمرهای محلول در آب و پلیمرهای غیرمحلول در آب یا هیدروژل تقسیم‌بندی کرد. پلیمرهای محلول در آب شامل جوربسپارها و هم‌بسپارهایی مانند پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌وینیل الکل، پلی‌اکریلات‌ها، پلی‌اکریل آمیدها و پلی‌وینیل استات-آلت-مالئیک انیدرید هستند که دارای ساختار زنجیره‌ای خطی بوده و برای خاک‌دانه‌سازی، پایدارسازی خاک‌ها، مبارزه با فرسایش و اصلاح نفوذپذیری خاک به‌کار می‌روند (جهاری، ۱۹۹۷).

هان و همکاران (۲۰۰۷) پایداری ۴ نوع پلیمر تثبیت‌کننده مایع شامل امولسیون پلی‌وینیل الکل، امولسیون پلی‌وینیل استات، مخلوطی از شیشه مایع<sup>۱</sup> و کلسیم کلراید و مخلوطی از شیشه مایع و اوره را در ارتباط با فرسایش بادی‌شن‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با اسپری این مواد روی تپه‌های شنی، پوسته‌ای به ضخامت ۰/۲-۰/۵ سانتی‌متر ایجاد کردند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که همه تثبیت‌کننده‌ها از قدرت نفوذ و مقاومت مکانیکی مناسبی برخوردار بودند. موحدان و همکاران (۲۰۱۱) با اضافه نمودن پلیمر پلی‌وینیل استات در سه نوع خاک با بافت متفاوت متوجه شدند که، در سرعت باد ۲۶ متر بر ثانیه اختلاف معنی‌داری بین میزان فرسایش بادی نمونه‌های تیمار شده با ماده پلیمری و نمونه‌های تیمار شده با آب وجود دارد. آن‌ها هم‌چنین بیان نمودند که افزودن ماده پلیمری پلی‌وینیل استات به میزان ۲۵ گرم در مترمربع نسبت به نمونه‌های تیمار شده با آب، میزان فرسایش بادی را در نمونه‌های ماسه بادی ۱۰۰ درصد و در خاک با بافت متوسط و سنگین، حداقل ۹۰ درصد کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تیمار خاک شنی با پلیمر پلی‌وینیل استات موجب نفوذ پلیمر تا عمق بیش از ۵ سانتی‌متر در خاک شد. لیو و همکاران (۲۰۱۱) اثر کاربرد پلیمر آلی PVIN را که از پلیمریزاسیون مونومرهای وینیل استات ایجاد می‌شود در تثبیت‌شن‌های روان مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مشاهده نمودند که پلیمر PVIN مقاومت ساختمانی خاک را افزایش می‌دهد و با ایجاد پوسته‌ای محافظ در لایه سطحی خاک، توانایی حفظ آب و مقابله با فرسایش آن را بهبود می‌بخشد.

---

1- Water Glass

آل- خانباشی و ابدالا (۲۰۰۶) اثر سه پلیمر امولسیون محلول در آب استایرن اکریلیک، وینیل اکریلیک ۸۲۰ و وینیل اکریلیک ۶۴۳۰ را بر اصلاح ساختمان خاک‌های شنی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها پی بردند که هدایت هیدرولیکی برای هر سه امولسیون با افزایش میزان پلیمر تا بیش از ۳ درصد وزنی، کاهش می‌یابد. افزایش مقادیر اضافی پلیمر هیچ تأثیر معنی‌داری بر کاهش هدایت هیدرولیکی نداشت و در ۵ درصد وزنی، هر سه امولسیون اثر یکسانی را از خود نشان دادند. آزمایش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که پلیمرها از طریق توسعه اتصالات داخلی و پیوستگی بین ذرات شن مجاور و پوشش ذرات شن با لایه نازکی از پلیمر باعث کاهش در نفوذپذیری و بهبود خصوصیات مکانیکی خاک شدند. سمائی و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه سه خاک شن لومی، ماری و سدیمی دریافتند که اضافه نمودن پلیمرهای اکریلیک محلول در آب به خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها و میانگین وزنی قطر آن‌ها را افزایش می‌دهد. بر طبق نتایج گلچین و همکاران (۲۰۰۶)، از پلیمرهای اکریلیک محلول در آب با غلظت مناسب می‌توان به‌منظور کاهش میزان رس قابل انتشار یک خاک سدیمی با بافت رسی و یک خاک لوم رسی سیلتی استفاده نمود.

همان‌گونه که بررسی منابع نشان می‌دهد، می‌توان از انواع پلیمرها به‌منظور اصلاح ساختمان، وضعیت فیزیکی خاک و کنترل فرسایش بادی استفاده نمود. با توجه به این‌که بخش وسیعی از کشور به‌علت کمبود رطوبت، خشک بودن خاک، نبود ذرات رس و نبود چسبندگی بین ذرات به‌وسیله فرسایش بادی تهدید می‌گردد (موحدان و همکاران، ۲۰۱۱)، مواد پلیمری با ایجاد شبکه در سطح و پل در بین ذرات خاک سبب چسبیده شدن آن‌ها به یکدیگر و افزایش مقاومت آن‌ها در برابر نیروی فرساینده باد می‌گردند (آل- خانباشی و ابدالا، ۲۰۰۶). به‌علاوه، این مواد با افزایش هم‌آوری ذرات خاک موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های شنی می‌شود که در کاهش تلفات آب از طریق آب‌شویی (تابان و موحدی‌نائینی، ۲۰۰۶) و بهبود رشد گیاهان در مناطق خشک بسیار مهم می‌باشند (هاترمن و همکاران، ۱۹۹۹).

مطالعات زیادی در مورد تأثیر پلیمرهای محلول در آب بر خصوصیات فیزیکی خاک انجام شده است، اما اطلاعات زیادی در خصوص تأثیر توزیع اندازه ذرات شن بر میزان جذب پلیمر و در نتیجه خصوصیات فیزیکی خاک وجود ندارد. بنابراین این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه پایه در مقیاس آزمایشگاه برای دستیابی به اهداف زیر صورت پذیرفت: ۱- بررسی امکان استفاده از پلیمرهای اکریلیک و پلی‌وینیل استات در دو غلظت متفاوت به‌منظور کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش

مقاومت فروروی خاک، ۲- تعیین مؤثرترین پلیمر در جهت کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروروی خاک و ۳- بررسی تأثیر توزیع اندازه ذرات شن در نمونه‌های تیمار شده با پلیمر بر میزان هدایت هیدرولیکی و مقاومت فروروی خاک.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش تأثیر نوع خاک، نوع و غلظت پلیمر بر هدایت هیدرولیکی اشباع و مقاومت فروروی به‌عنوان معیاری از هماوری ذرات مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل دو نوع خاک با بافت شنی و شن لومی، سه نوع پلیمر محلول در آب Karacoat NA58، Acrylic resin EXP174 و پلی‌وینیل استات و دو غلظت ۱ و ۶ درصد پلیمر (نسبت به وزن خاک خشک) بود.

**انتخاب خاک و پلیمرها:** از آن‌جا که بررسی تأثیر توزیع اندازه ذرات شن در نمونه‌های تیمار شده با پلیمر بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله اهداف این پژوهش بود، بنابراین دو نمونه خاک که دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای در توزیع اندازه ذرات شن بودند از تپه‌های شنی استان کرمان برداشت شد. لازم به توضیح است که این تپه‌ها به‌صورت طبیعی بدون ذرات درشت بودند. بافت خاک به روش پیپت (جی و بادر، ۱۹۸۶) (جدول ۱) و توزیع اندازه ذرات شن توسط سری الک (کلوت و دیرکسن، ۱۹۸۶) تعیین گردید (جدول ۲). دو نمونه خاک مورد مطالعه از نظر بافت در کلاس‌های شنی و شن لومی قرار گرفتند. این خاک‌ها از نظر رفتار فیزیکی با یکدیگر مشابه و از گروه خاک‌های غیرهم‌چسب و بدون پایداری و حفظ رطوبت در محیط می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

پلیمرهای مورد استفاده از گروه پلیمرهای محلول در آب و از نوع پلیمرهای اکریلیک و پلی‌وینیل استات بودند که از پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران تهیه شدند و برای اولین بار در خاک مورد استفاده قرار گرفتند. این ترکیبات به شکل مایع و دارای رنگ شیری هستند که به راحتی در آب رقیق می‌شوند (جدول ۴). پلیمرها در دو غلظت متفاوت نسبت به وزن خاک خشک مورد استفاده قرار گرفتند. غلظت پلیمر براساس آزمایش‌های پیش‌تیمار تعیین گردید. به‌منظور انجام آزمایش‌های پیش‌تیمار پلیمرهای نام‌برده در ۱۱ سطح (۰/۳، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ درصد نسبت به وزن

خاک خشک) به دو نمونه خاک انتخاب شده افزوده شدند. سپس، مقاومت فروری نمونه‌های تیمار شده اندازه‌گیری و با جدول تأثیر مقاومت فرورسنج بر رشد ریشه‌ها (نیشابوری و ریحانی‌تبار، ۲۰۱۱) مقایسه شد. در ادامه برای مشاهده میزان چسبندگی ایجاد شده در خاک، جداره ستون‌های خاک توسط چاقو بریده شد و تأثیر غلظت‌های متفاوت برای هر پلیمر به صورت عینی بررسی گردید. چگونگی اعمال تیمارها، انکوباسیون و اندازه‌گیری مقاومت فروری در آزمایش‌های پیش‌تیمار مشابه با آزمایش اصلی انجام شد. در نهایت غلظت‌های ۱ (کم‌ترین) و ۶ (بیش‌ترین) درصد با توجه به میزان چسبندگی ایجاد شده در خاک و نبود محدودیت رشد برای ریشه گیاهان انتخاب شدند. غلظت‌های کم‌تر از ۱ درصد چسبندگی قابل‌ملاحظه‌ای در خاک ایجاد نکرده و غلظت‌های بیش‌تر از ۶ درصد به علت ایجاد چسبندگی بیش از حد در خاک برای رشد ریشه گیاهان مناسب نبوده و خود به‌عنوان یک عامل محدودکننده در خاک محسوب می‌شدند.

جدول ۱- درصد ذرات در دو نمونه خاک مورد مطالعه.

نوع خاک	درصد ذرات	شن	سیلت	رس
بافت شنی	۸۷	۶	۷	
بافت شن لومی	۸۴	۵	۱۱	

جدول ۲- نتایج توزیع اندازه ذرات شن (درصد) در دو نمونه خاک مورد مطالعه.

نوع خاک	اندازه ذرات شن (میلی‌متر)	شن خیلی‌درشت	شن درشت	شن متوسط	شن ریز	شن خیلی‌ریز
بافت شنی	۱-۲	۲۵/۵	۴۰/۸	۲۲/۳	۱۰/۱	۰/۱-۰/۰۵
بافت شن لومی	۳	۳	۴۶	۲۶/۹	۲۲/۹	۱/۲

جدول ۳- برخی نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک.

نوع خاک	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/h)	مقاومت فروری در رطوبت ۷ درصد (MPa)
بافت شنی	۸/۳	۰/۷	۴۱/۶	۰/۲
بافت شن لومی	۷/۴	۰/۹	۳۳/۴	۰/۴

جدول ۴- برخی ویژگی‌های پلیمرهای مورد استفاده.

نام پلیمر	درصد ماده جامد	نوع پلیمر	وضعیت یونی	اسیدیته	نوع پلیمر
Karacoat NA58	۴۵	دارای اتصال عرضی	غیریونی	۲-۳	اکریلیک
Acrylic resin EXP174	۵۰	دارای اتصال عرضی	آنیونی	۶-۸	اکریلیک
پلی‌وینیل استات	۴۰	فاقد اتصال عرضی	آنیونی	۳-۵	پلی‌وینیل استات

تهیه ستون‌های خاک، اعمال تیمارها و انکوباسیون: به منظور بررسی مقاومت فروروی از قوطی‌های فلزی شامل ستونی از خاک به ارتفاع ۷ و قطر ۹ سانتی‌متر استفاده شد و نظر به این‌که چگالی خاصی مورد نظر نبود، بنابراین میزان ۹۰۰ گرم خاک با توجه به ابعاد ظرف درون هر ستون تا ارتفاع مشخص به‌طور یکنواخت ریخته شد. برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع از ستون‌های پلاستیکی به ارتفاع ۶/۵ و قطر ۷/۷ سانتی‌متر شامل ۵۰۰ گرم خاک استفاده شد. برای اعمال تیمارهای پلیمر، ابتدا هر یک از پلیمرها در نسبت‌های ۱ و ۶ درصد وزن خاک خشک توسط آب مقطر رقیق و توسط قطره‌چکان به‌صورت یکنواخت به سطح خاک‌های نمونه‌برداری شده که از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده بودند، اضافه گردید. برای نمونه شاهد نیز از آب مقطر خالص بدون پلیمر استفاده شد. در این آزمایش به‌منظور ایجاد محیطی همگن برای مقایسه دو توزیع اندازه‌ای ذرات شن و نیز کنترل بهتر سایر شرایط نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند.

بعد از اعمال تیمارها، ستون‌های خاک در گلخانه در شرایط دمایی ثابت (۳۴-۱۸ درجه سانتی‌گراد) نگهداری تا پس از تبخیر آب، مواد پلیمری یک شبکه گسترده در بین ذرات خاک ایجاد کنند. در طول مدت انکوباسیون ستون‌های تیمار شده روزانه تا رسیدن به رطوبت ۷ درصد توزین شدند.

**اندازه‌گیری‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها:** بعد از یکنواخت شدن رطوبت نمونه‌ها، میزان مقاومت فروروی خاک توسط دستگاه فروسنج دیجیتال مدل 06.15.SA در رطوبت ۷ درصد اندازه‌گیری شد (نیشابوری و ریحانی‌تبار، ۲۰۱۱). مقاومت خاک در این مرحله با وارد کردن مخروط ۱ سانتی‌متری (قطر مخروط) به خاک اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که در آزمایش‌های مقاومت فروروی قطر نمونه معمولاً ۲۰ برابر قطر مخروط انتخاب می‌گردد (بنگوگ و همکاران، ۲۰۰۱)، اما در این پژوهش به‌علت برخی محدودیت‌ها از نسبت ۹ برابر برای تمامی نمونه‌ها استفاده شد که ممکن است منجر به بروز خطای اندکی در نتایج گردد.

رطوبت خاک از عوامل مؤثر در مقاومت فروروی خاک می‌باشد. مواد پلیمری محلول در آب پس از رقیق شدن به خاک اضافه می‌شوند و در اثر تبخیر آب خود تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری را می‌دهند و به‌صورت پوشش یا پل در بین ذرات خاک قرار گرفته و با ایجاد حالت چسبندگی در بین ذرات موجب افزایش مقاومت خاک می‌گردند. از این‌رو، بهتر است اندازه‌گیری مقاومت فروروی هنگام استفاده از مواد پلیمری در رطوبت کم انجام شود چون در مقادیر زیاد رطوبت این مواد به‌صورت محلول در آب می‌باشند و با خاک به‌طور کامل واکنش نمی‌دهند.

هدایت هیدرولیکی اشباع توسط روش بار ثابت (بای‌بوردی، ۱۹۸۱) و ضخامت سله‌های به‌دست آمده از پلیمرها توسط کولیس اندازه‌گیری شد. در نهایت نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های آزمایشگاهی با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین تیمارها و گروه‌بندی آن‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

## نتایج و بحث

**هدایت هیدرولیکی اشباع:** جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع خاک، نوع پلیمر و غلظت را بر مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶، خاک شن لومی کم‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی را دارد که دلیل آن بالا بودن درصد ذرات ریز در این خاک است، که باعث افزایش جذب سطحی پلیمرها و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود. تأثیر پلیمر بر ساختمان خاک و هدایت هیدرولیکی آن به توزیع اندازه ذرات بستگی دارد (شاینبرگ و همکاران، ۱۹۹۰). جیانهانگ و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که بافت خاک از جمله ویژگی‌هایی است که جذب پلیمرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک‌های با درصد رس، سیلت و نمک‌های محلول بالا و ماده آلی کم میل ترکیبی بالایی برای جذب پلیمرها دارند (جیان و همکاران، ۲۰۰۳).

با بررسی تغییرات هدایت هیدرولیکی در خاک‌های تیمار شده مشاهده می‌شود، هر سه نوع پلیمر سبب کاهش هدایت هیدرولیکی شده و پلیمرهای پلی‌وینیل استات، NA58 و EXP174 هدایت هیدرولیکی را به ترتیب ۴۲/۳، ۲۴/۲ و ۸/۸ درصد نسبت به نمونه شاهد خاک شنی و ۷۹/۹، ۵۰/۵ و ۶۱/۹ درصد نسبت به نمونه شاهد خاک شن لومی کاهش دادند (جدول ۶). ترکیب پلیمر در جذب آن بر سطوح کم‌بار و بدون بار مؤثر است (آگاسی، ۱۹۹۵). از این‌رو، پلیمرهای NA58 و EXP174 که

از گروه اکریلیک‌ها می‌باشند به یک میزان جذب خاک شده و میانگین هدایت هیدرولیکی در آن‌ها بدون تفاوت معنی‌دار می‌باشد. پلیمر پلی‌وینیل استات به دلیل دارا بودن ترکیب متفاوت و جذب بیش‌تر، هدایت هیدرولیکی خاک را بیش‌تر کاهش داده است.

غلظت پلیمر نیز بر کاهش هدایت هیدرولیکی تأثیر معنی‌دار داشت، به طوری که با افزایش غلظت، هدایت هیدرولیکی کاهش یافت و غلظت ۶ درصد تأثیر بیش‌تری داشت (شکل ۱). مقادیر زیاد پلیمر علاوه بر ایجاد پوشش بر روی سطح خاک‌دانه‌ها، خلل و فرج بین خاک‌دانه‌های مجزا را نیز پوشش داده، باعث مسدود شدن مقداری از خلل و فرج خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی آن می‌گردد (شهبازی و همکاران، ۲۰۰۵). آل-خانباشی و ابدالا (۲۰۰۶) نشان دادند که افزایش در غلظت پلیمرهای امولسیون‌ی محلول در آب، سبب کاهش بیش‌تر هدایت هیدرولیکی می‌گردد. نمودار اثر متقابل نوع خاک با غلظت در شکل ۱ تأثیر معنی‌دار غلظت در کاهش میزان هدایت هیدرولیکی در هر دو نمونه خاک را تأیید می‌کند. در غلظت یکسان، خاک‌های با بافت ریز نسبت به بافت‌های درشت، تمایل بیش‌تری به جذب پلیمر دارند. این مسأله به وسیله سطوح ویژه خارجی آن‌ها قابل توجیه است (لو و همکاران، ۲۰۰۲). با بررسی شکل ۲ مشاهده می‌شود که در بین سه نوع پلیمر و دو غلظت نام برده، پلیمر پلی‌وینیل استات با غلظت ۶ درصد بیش‌ترین کاهش را در هدایت هیدرولیکی هر دو نمونه خاک ایجاد نموده است که ناشی از خصوصیات پلیمر می‌باشد. این پلیمر هدایت هیدرولیکی را در خاک شنی و شن‌لومی به ترتیب ۴۲/۳ و ۷۹/۹ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش داد (جدول ۶). بنابراین بیش‌ترین تأثیر این پلیمر در خاک شن لومی مشاهده می‌شود و پلیمرهای EXP174 و NA58 در رده‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

**مقاومت فروری:** نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تأثیر نوع خاک و غلظت پلیمر بر میزان مقاومت فروری، به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد و اثرات متقابل نوع خاک در نوع پلیمر و نوع خاک در غلظت به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد و اثر متقابل بین خاک، پلیمر و غلظت در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، افزایش میزان مقاومت در خاک شن لومی به طور معنی‌داری بیش از خاک شنی می‌باشد (جدول ۷). شاید بتوان دلیل این امر را جذب سطحی بیش‌تر پلیمرها در خاک شن لومی و تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ از خاک‌دانه‌های کوچک به وسیله اثر مولکول‌های پلیمر و در نتیجه افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها در حالت خشک دانست (زلانکویچ و راسکوویچ، ۱۹۹۸؛ سمایی و همکاران، ۲۰۰۶). پلیمرهای آنیونی تنها با



## معصومه سرمست و همکاران

ایجاد کمپلکس‌های خارجی در لبه کانی‌ها به آن‌ها متصل شده و جذب آن‌ها به سطوح خارجی ذرات محدود می‌شود (تنگ، ۱۹۷۰). از این‌رو، عواملی مانند اندازه، ضخامت و شکل ذرات خاک که بر دسترسی به سطوح خارجی اثرگذارند بر جذب پلیمر نیز مؤثر خواهند بود. بنابراین، جذب پلیمر توسط ذرات ریز بیش از ذرات درشت می‌باشد (مالیک و لکتسی، ۱۹۹۱).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع خاک، نوع پلیمر و غلظت بر هدایت هیدرولیکی، مقاومت فروری و ضخامت سله.

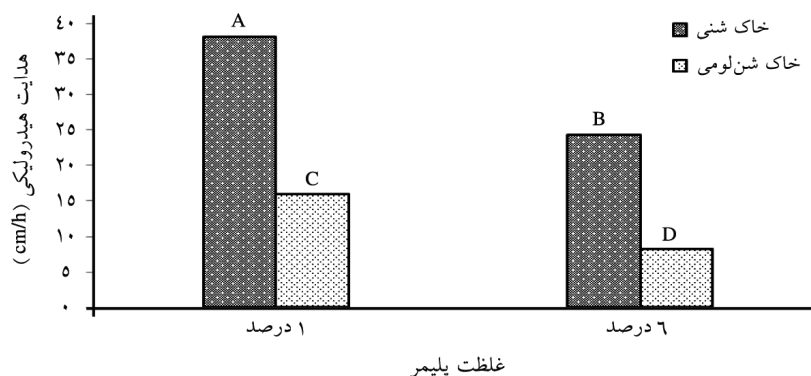
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		هدایت هیدرولیکی	مقاومت فروری
خاک	۱	۳۲۹۷/۶**	۰/۱۸*
پلیمر	۲	۳۵۰/۹**	۰/۰۶ <sup>ns</sup>
خاک × پلیمر	۲	۸۶*	۰/۲۰**
غلظت	۱	۱۰۳۵/۴**	۱/۰۵**
خاک × غلظت	۱	۸۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۶*
پلیمر × غلظت	۲	۵۸/۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
خاک × پلیمر × غلظت	۲	۲۱/۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۹**
خطا	۲۴	۲۵/۳	۰/۰۳

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار.

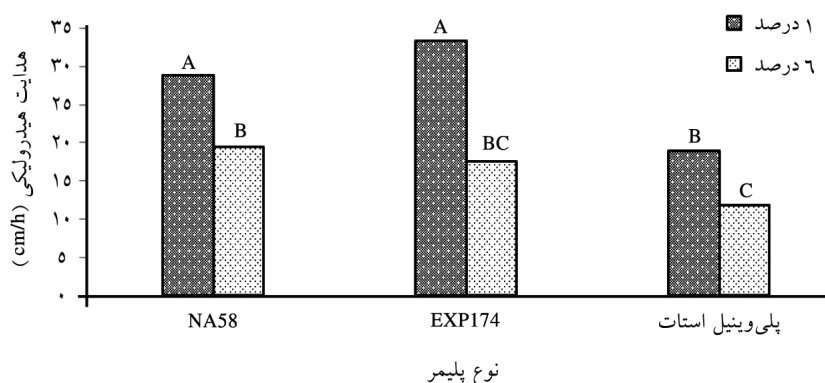
جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خاک در پلیمر بر هدایت هیدرولیکی (cm/h).

میانگین	نوع پلیمر			نوع خاک
	پلی‌وینیل استات	Acrylic resin EXP174	Karacoat NA58	
۳۱/۱ <sup>A</sup>	۲۴ <sup>c</sup>	۳۷/۹ <sup>a</sup>	۳۱/۵ <sup>b</sup>	بافت شنی
۱۲ <sup>B</sup>	۶۷ <sup>e</sup>	۱۲/۷ <sup>de</sup>	۱۶/۵ <sup>d</sup>	بافت شن لومی
	۱۵/۴ <sup>B</sup>	۲۵/۳ <sup>A</sup>	۲۴ <sup>A</sup>	میانگین

میانگین‌های هر یک از اثرات اصلی و متقابل که دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند بدون تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۱- نمودار تاثیر غلظت و نوع خاک بر میزان هدایت هیدرولیکی.



شکل ۲- نمودار تاثیر نوع پلیمر و غلظت بر میزان هدایت هیدرولیکی.

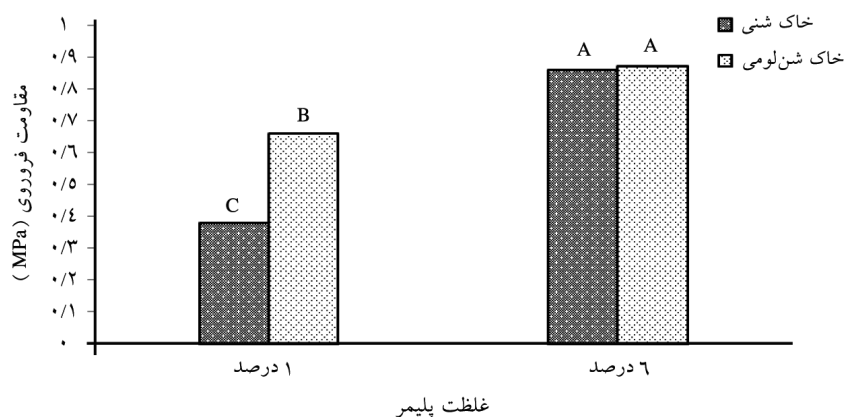
اثر نوع پلیمر بر مقاومت خاک ثابت و یکسان بوده و هر سه نوع پلیمر سبب افزایش مقاومت فروری خاک شدند (جدول ۷). مواد پلیمری پس از افزوده شدن به خاک، در منافذ خاک نفوذ کرده و در اثر قرار گرفتن در هوای آزاد و سپس تبخیر آب آن‌ها، تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری می‌دهند. در حقیقت ماده پلیمری با افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها در حالت خشک و اتصال خاک‌دانه‌های سطحی و ذرات منفرد به یکدیگر و بزرگ شدن آن‌ها، باعث افزایش مقاومت خاک می‌گردد (موحدان و همکاران، ۲۰۱۱). از سوی دیگر، حضور پوسته‌های فیزیکی پلیمرها در سطح خاک موجب افزایش نیروی پیوندی یا دگرچسبی بین ذرات می‌شود و پایداری خاک را افزایش می‌دهد (لیو و همکاران، ۲۰۱۱).

افزایش غلظت پلیمر باعث افزایش مقاومت فروروی در هر دو نمونه خاک شد (شکل ۳). آل-خانباشی و ابدالا (۲۰۰۶) گزارش کردند که مقاومت فشاری پلیمرهای امولسیون محلول در آب با افزایش غلظت پلیمر افزایش می‌یابد. با بررسی اثر متقابل بین خاک و غلظت در شکل ۳ مشاهده می‌شود که در غلظت کم تأثیر نوع خاک بیشتر است، اما در غلظت زیاد این اثر کاهش می‌یابد و هیچ تفاوت معنی‌داری بین دو نوع خاک انتخاب شده مشاهده نمی‌شود. در واقع افزایش مقاومت فروروی در غلظت ۶ درصد به حدی بوده که اثر نوع خاک را بر طرف کرده است. همچنین با توجه به مقایسه میانگین‌ها مشاهده می‌شود که در خاک شنی میانگین مقاومت در غلظت ۱ درصد به میزان ۵۵/۸ درصد نسبت به غلظت ۶ درصد کاهش یافته است ولی این مقدار در خاک شن لومی برابر ۲۴/۱ درصد بوده است. علت این تفاوت را می‌توان به پایین بودن سطح ویژه و قدرت تبادل کاتیونی در خاک شنی نسبت داد که باعث می‌شود در غلظت‌های پایین پلیمر، جذب سطحی این خاک کم‌تر از غلظت‌های بالا باشد. با وجود معنی‌دار نشدن اثر متقابل پلیمر در غلظت، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین دو سطح غلظت ۱ و ۶ درصد در هر سه نمونه پلیمر نشان داد (شکل ۴).

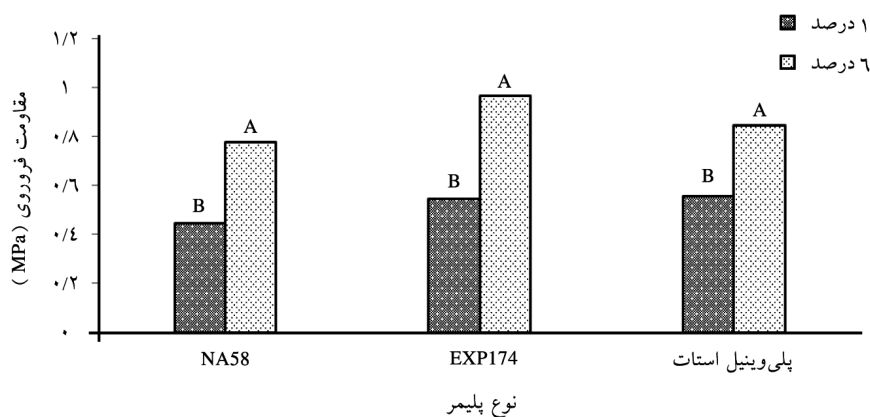
جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خاک در پلیمر بر مقاومت فروروی (MPa).

میانگین	نوع پلیمر			نوع خاک
	پلی‌وینیل استات	Acrylic resin EXP174	Karacoat NA58	
۰/۳ <sup>B</sup>	۰/۷ <sup>ab</sup>	۰/۵ <sup>bc</sup>	۰/۵ <sup>c</sup>	بافت شنی
۰/۷ <sup>A</sup>	۰/۳ <sup>bc</sup>	۰/۹ <sup>a</sup>	۰/۷ <sup>abc</sup>	بافت شن لومی
	۰/۷ <sup>A</sup>	۰/۷ <sup>A</sup>	۰/۳ <sup>A</sup>	میانگین

میانگین‌های هر یک از اثرات اصلی و متقابل که دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند بدون تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۳- نمودار تأثیر غلظت پلیمر و نوع خاک بر میزان مقاومت فروری.



شکل ۴- نمودار تأثیر نوع و غلظت پلیمر بر میزان مقاومت فروری.

**ضخامت سله:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فاکتورهای اصلی بر میزان ضخامت سله در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۸ مشاهده می‌شود در خاک شنی به علت پایین بودن سطح ویژه و بالا بودن نفوذپذیری، محلول‌های پلیمری تا عمق بیش‌تری درون خاک نفوذ کرده و ضخامت سله ایجاد شده در این خاک ۲۵ درصد بیش از خاک شن لومی می‌باشد. در بین پلیمرهای مورد استفاده، بیش‌ترین میزان نفوذ مربوط به پلیمرهای NA58 و پلی‌وینیل استات می‌باشد (جدول ۸). موحدان و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تیمار خاک شنی با پلیمر پلی‌وینیل استات

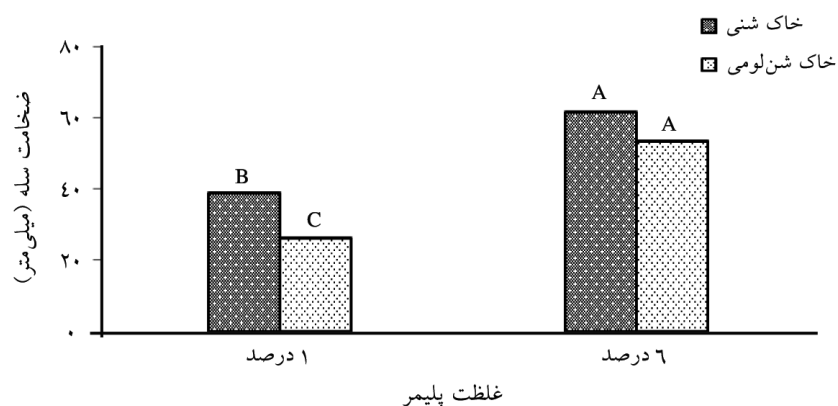
موجب نفوذ پلیمر تا عمق بیش از ۵ سانتی متر در خاک شده و پس از خشک شدن تشکیل دو ناحیه داده است. با توجه به جدول ۸ مشاهده می شود که تنها ضخامت سله ایجاد شده در پلیمر NA58 در دو نوع خاک مورد مطالعه از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار می باشد و سایر پلیمرها در هر دو نوع خاک رفتار مشابهی از خود نشان می دهند. میانگین ضخامت سله در پلیمر NA58 در خاک شنی برابر ۶۱ میلی متر می باشد که نسبت به خاک شن لومی ۵۶/۴۱ درصد افزایش را نشان می دهد.

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خاک در پلیمر بر ضخامت سله (میلی متر).

میانگین	نوع پلیمر			نوع خاک
	پلی وینیل استات	Acrylic resin EXP174	Karacoat NA58	
۵۰ <sup>A</sup>	۵۴ <sup>ab</sup>	۳۶/۱ <sup>c</sup>	۶۱ <sup>a</sup>	بافت شنی
۴۰ <sup>B</sup>	۴۲/۸ <sup>bc</sup>	۳۸/۳ <sup>c</sup>	۳۹ <sup>c</sup>	بافت شن لومی
	۴۸/۴ <sup>A</sup>	۳۷/۲ <sup>B</sup>	۵۰ <sup>A</sup>	میانگین

میانگین های هر یک از اثرات اصلی و متقابل که دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند بدون تفاوت معنی دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می باشند.

از دو غلظت به کار برده شده، غلظت ۱ درصد با میانگین ۳۳ میلی متر دارای کمترین و غلظت ۶ درصد با میانگین ۵۸ میلی متر دارای بیشترین میزان ضخامت سله می باشد. علاوه بر این، مقایسه میانگین اثر متقابل خاک و غلظت بر ضخامت سله های تشکیل شده به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که در هر دو نوع خاک، با افزایش غلظت از ۱ درصد به ۶ درصد میزان نفوذ مواد پلیمری به درون خاک و در نتیجه ضخامت سله های ایجاد شده افزایش یافته است. میانگین ضخامت سله در تیمارهای خاک شنی - ۶ درصد و خاک شن لومی - ۶ درصد به ترتیب ۰/۶ و ۱/۰۵ برابر افزایش را نسبت به تیمارهای خاک شنی - ۱ درصد و خاک شن لومی - ۱ درصد داشت (شکل ۵). لیو و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش ضخامت سله در اثر افزایش غلظت پلیمر PVIN را در خاک های شنی گزارش نمودند. مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل نوع خاک با نوع پلیمر و غلظت نشان داد که بیشترین میزان نفوذ پلیمر مربوط به خاک شنی تیمار شده با پلیمر NA58 در غلظت ۶ درصد بود (جدول ۹).



شکل ۵- نمودار تأثیر غلظت و نوع خاک بر ضخامت سله.

جدول ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع خاک، غلظت و نوع پلیمر بر ضخامت سله (میلی‌متر).

	بافت شنی		بافت شن لومی		
	۶ درصد	۱ درصد	۶ درصد	۱ درصد	
NA58	۷۰ <sup>a</sup>	۵۲ <sup>abc</sup>	۶۷/۶۷ <sup>a</sup>	۱۰/۳۳ <sup>d</sup>	
EXP174	۵۲/۶۷ <sup>abc</sup>	۱۹/۶۷ <sup>d</sup>	۵۷/۳۳ <sup>ab</sup>	۱۹/۳۳ <sup>d</sup>	
پلی‌وینیل استات	۶۲/۳۳ <sup>ab</sup>	۴۵/۶۷ <sup>bc</sup>	۳۶/۶۷ <sup>c</sup>	۴۹ <sup>bc</sup>	

میانگین‌های هر یک از اثرات متقابل که دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند بدون تفاوت معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر پلیمرهای محلول در آب بر هدایت هیدرولیکی اشباع، مقاومت فروری خاک و ضخامت سله مورد مطالعه قرار گرفت. نوع خاک، نوع و غلظت پلیمر از جمله فاکتورهایی بودند که میزان پارامترهای فیزیکی نام‌برده را تحت تأثیر قرار دادند. تأثیر پلیمر در خاک شن لومی در کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروری بیش از خاک شنی بود. هر سه نوع پلیمر سبب کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروری خاک شدند. پلیمر پلی‌وینیل استات نسبت به پلیمرهای گروه اکریلیک هدایت هیدرولیکی نمونه‌های تیمار شده را بیش‌تر کاهش داد، این در حالی است که تأثیر پلیمرها در میزان مقاومت فروری خاک یکسان بود. غلظت ۶ درصد پلیمر بر کاهش

هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروروی تأثیر معنی‌دار داشت. بیش‌ترین میزان نفوذ پلیمر مربوط به خاک شنی تیمار شده با پلیمر Karacoat NA58 در غلظت ۶ درصد بود. مواد پلیمری از طریق اتصال ذرات خاک مجاور و پوشش ذرات باعث کاهش در هدایت هیدرولیکی و افزایش مقاومت فروروی خاک شدند.

### منابع

1. Agassi, M. 1995. Soil erosion, conservation, and rehabilitation. Marcel Dekker. 424p.
2. Al-Khanbashi, A., and Abdalla, S.W. 2006. Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil. Geotechnical and Geological Engineering. 24: 1603-1625.
3. Baybordi, M. 1981. Drainage engineering and soil reclamation principles. Tehran University Press, 474p. (In Persian)
4. Bengough, A.G., Campbell, D.J., and Osullivan, M.F. 2001. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. P 377-404, In: Smith, K.A., and Mullins, C.A (eds.), Soil and Environmental Analysis. Marcel Dekker, Inc, New York, Basel.
5. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-409, In: Klute, A (eds.), Methods of soil analysis. American society of Agronomy, Madison, WI.
6. Golchin, A., Samaei, H., and Ahmadi, S. 2006. Dispersible clay reduction and surface water quality conservation using water soluble polymers. Congress of Soil, Environment and Sustainable Development, Karaj. (In Persian)
7. Hajbasi, M.A. 1999. Soil physics and plant root. Ghazal Press. First Edition. 362p. (Translated in Persian)
8. Han, Z., Wang, T., Dong, Z., Hu, Y., and Yao, Z. 2007. Chemical stabilization of mobile dune fields along a highway in the Taklimakan Desert of China. J. Arid Environ. 68: 260-270.
9. Huttermann, A., Zommodi, M., and Reise, K. 1999. Addition of hydrogels to soil prolonging the survival of Pinus halepensis seedling subjected to drought. Soil Till. Res. 50: 295-304.
10. Jhurry, P. 1997. Agricultural Polymers. Food and Agricultural Research Council, Reduit, Mauritius. Pp: 109-113.
11. Jian, Y., Lci, T., Shainberg, I., Mamedov, A.I., and Levy, G.J. 2003. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 630-636.
12. Jianhang, L., Laosheng, W., Letey, J., and Walter, J. 2002. Picloram and napropamide sorption as affected by polymer addition and salt concentration. J. Environ. Qual. 31: 1234-1239.

13. Klute, A., and Dirksen, C. 1986. Sieve analysis (mechanical method). P 722-724, In: Klute, A. (eds.), Methods of soil analysis. American society of Agronomy, Madison, WI.
14. Liu, J., Shi, B., Lu, Y., Jiang, H., Haung, H., Wang, G., and Kamai, T. 2011. Effectiveness of a new organic polymer sand-fixing agent on sand fixation. Environ. Earth Sci. Pp: 1-7.
15. Lu, J.H., Wu, L., and Lctcy, J. 2002. Effects of soil and water properties on anionic Polyacrylamide sorption. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 578-584.
16. Malik, M., and Lctcy, J. 1991. Adsorption of Polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 380-383.
17. Movahedan, M., Abbasi, N., and Keramati, M. 2011. Experimental Investigation of Polyvinyl Acetate Polymer Application for Wind Erosion Control of Soils. J. Water Soil. 25: 3. 606-616. (In Persian)
18. Neyshabouri, M.R., and Reyhanitabar, A. 2011. Interpreting soil test results (what do all the numbers mean?). Tabriz University Press. First Edition. 216p. (Translated in Persian)
19. Samaei, H., Golchin, A., and Mosadeghi, M. 2006. Control of wind erosion induced pollution by water soluble polymers. Congress of Soil, Environment and Sustainable development, Karaj. (In Persian)
20. Shahbazi, A., Sarmadian, F., Refahi, H., and Gorji, M. 2005. Effect of Polyacrylamide on erosion and runoff of saline-sodic soils. J. Agric. Sci. 36: 5. 1103-1112. (In Persian)
21. Shainberg, I., Warrington, D.N., and Rengasamy, P. 1990. Water quality and PAM interaction in reducing surface sealing. Soil Sci. 149: 301-307.
22. Taban, M., and Movahedi Naeini, S.A.R. 2006. Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation whit different evaporation potentials and soil textures. Commun. Soil Sci. Plan. 37: 2031-2055.
23. Theng, B.K.G. 1970. Interactions of clay minerals with organic polymers. Some practical applications. Clays and Clay Minerals. 18: 357-362.
24. Zlatković, S., and Rašković, L. 1998. The Effect of the Polyacrylamide, Polyvinylalcohol and Carboxymethyl Cellulose on the Aggregation of the Soil and on the Growth of the Plants. Working and Living Environmental Protection. 1: 3. 17-23.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(1), 2014*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Saturated hydraulic conductivity and soil penetration resistance affected by some water soluble polymers**

**M. Sarmast<sup>1</sup>, \*M.H. Farpoor<sup>2</sup> and M. Sarcheshmehpour<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 09/05/2012; Accepted: 02/18/2013

### **Abstract**

Increase of sand particle stability and water holding capacity induced by synthesized polymers has been used to improve soil physical properties and wind erosion control. The effect of three water soluble polymers including Karacoat NA58, Acrylic resin EXP174 and polyvinyl acetate, 2 concentration levels of polymers (1 and 6% dry weight) and 2 soil textures (sandy and loamy sand) on saturated hydraulic conductivity and the resistance to penetration of soils were studied. Polymer treatments were injected to soil samples. Results showed that decrease of hydraulic conductivity in loamy sand samples was higher ( $P<0.01$ ) than sandy soils and decreased 64% compared to the control. Mean hydraulic conductivity (15.4 cm/h) for polyvinyl acetate treatment was lower ( $P<0.01$ ) than other two acrylic polymers (Karacoat NA58 with the mean of 24 cm/h and Acrylic resin EXP174 with the mean of 25.3 cm/h). Increase of soil penetration resistance in loamy sand treatments was significantly higher than sandy soils ( $P<0.05$ ), but no significant effect was found for polymer treatments. Both hydraulic conductivity decrease and penetration resistance increase were significantly affected ( $P<0.01$ ) by 6% concentration level of all polymers used. The maximum polymer penetration (crust thickness) was investigated (70 mm) in sandy soil treated by Karacoat NA58 polymer with 6% concentration. According to the results application of polymer is recommended for sand stabilization and plant growth improvement in desert regions.

**Keywords:** Acrylic polymers, Hydraulic conductivity, Mechanical strength, Polyvinyl acetate

---

\* Corresponding Author; Email: farpoor@uk.ac.ir

