Arshive of SID

پژوهش های آبخیزداری شماره ۱۱۰، بهار ۱۳۹۵
(پژوهش و سازندگی)

بررسی امکان استفاده از پلی ونیل استات برای تثبیت خاک‌ها

• **نادر عباسی**
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (نویسنده مسئول)
• **محمد موحدان**
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
• **مجید کرامتی**
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین

تاریخ دریافت: مرداد ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۲
Email: nader_iaeri@yahoo.com

چکیده

امروزه از پلیمر ها برای بهبود خواص مهندسی خاکها و کاهش فرسایش خاک استفاده می شود. در این تحقیق قابلیت و توانائی نوعی پلیمر به نام پلی ونیل استات برای تثبیت خاک و کنترل فرسایش مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با در نظر گرفتن پنج مقدار غلظت مختلف از ماده پلیمری و سه نوع بافت خاک ، سه سن مختلف نگهداری و سه تکرار برای هر آزمایش، تعداد ۱۳۵ نمونه آزمایشی تهیه و در قالب یک طرح آماری مورد آزمایشهای مقاومت قرار گرفتند. همچنین به منظور ارزیابی دوام و پایداری نمونه ها در اثر تماس با آب، آزمایش دوام در برابر استغراق بر روی تیمارهای مورد بررسی انجام گرفت. تحلیل آماری انجام شده توسط نرم افزار SPSS نشان داد عوامل نوع خاک، میزان تثبیت کننده و زمان، تاثیر معنی داری روی مقاومت فشاری نمونه ها دارد. این تاثیر بسته به بافت خاک از ۱۵٪ برای نمونه های رسی سنگین تا حدود ۴۰۰ درصد برای نمونه های ماسه ای متفاوت است. نتایج مقایسه میانگین ها نیز نشان داد که نمونه ها با عمر های مختلف تفاوت معنی داری از نظر مقاومت فشاری دارند. بطوریکه مقاومت فشاری نمونه های ۳ و ۶ ماهه به ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۸ درصد نسبت به نمونه های ۷ روزه کاهش داشته است. همچنین نتایج آزمایش دوام نشان داد که افزودن پلیمر باعث افزایش قابل ملاحظه ای در پایداری نمونه های ماسه ای در اثر استغراق در آب می گردد ولی تاثیری در این ویژگی نمونه های رسی ندارد. در حالیکه نمونه های سیلتی وضعیت بینابینی دارند. در مجموع بر اساس معیارهای مقاومت فشاری و دوام، تیمار ۲۵ گرم ماده پلیمری در یک متر مربع از سطح خاک به عنوان تیمار مطلوب جهت تثبیت خاک های مورد بررسی تعیین شد.

کلمات کلیدی: پلیمر،پلی ونیل استات، تثبیت خاک، مقاومت فشاری، دوام.

www.SID.ir

Arshive of SID

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 110 pp: 107-117

Application of synthetic Polymer for Stabilization of Soils

By: N. Abasi, Associate Professor, Research Institute of Agricultural Engineering (Corresponding Author). M. Movahedan, Research Institute of Agricultural Engineering. M. Keramati, Qazvin Agricultural and Natural Resources education and research Center.

Application of chemical polymers is one the effective methods for stabilization of soils. In this research, the effects of Polyvinyl Acetate Polymer on stabilization of soils and erosion control has been investigated. To do this, three different soils types were treated with five levels of Polyvinyl-Acetate emulsion and cured for three ages. Thus, considering three replication for each samples totally 135 specimens were prepared and tested for determination of their compressive strength. Statistical analysis of the results showed that the adding of polymer increases the compressive strength of the samples significantly, where the rate of increase depends on soil texture and varies from 15 % in clayey samples to 400 % in sandy soils. Furthermore, the compressive strength of the samples significantly affected by the age of the samples and deacreased upto 15 and 28 percet after 3 and 6 months respectively. Also based on durability tests, addition of polymer to the samples makes the sandy samples durable but has no effect on the durability of clay samples. Finally, application 25 g of polymer per square meter of soil was determined as the optimal treatment to stabilize the studied soil.

Keywords: Polymer, Polyvenil Asetate, soil stabilization ,Compressive strength, durability.

مقدمه

خـــاک یکـــی از ارزان ترین و ســـهل الوصول ترین ماده ســـاختمانی طبیعی اســـت که هم بستر اغلب ســـازه های عمرانی را تشکیل می دهد و هم به عنوان یک نوع مصالح ســـاختمانی در اجرای بخشـــی از ســـازه قابل استفاده اســـت. ولی به دلیل ضعف ویژگی های مهندسی خاک، اســـتفاده از آن در پروژه هـــای عمرانی همواره با محدودیت ها و تردیدهایی همراه بوده اســـت. همچنین خاک ســـطحی همیشه در معرض فرســـایش آبی و بادی بوده و در اثر این پدیده ضمن از دست رفتن خاک ، عوارض متعددی نظیر ایجاد گرد و غبار، تخریب ســـطح زمین و به دنبال آنها مســـائل زیست محیطی به وجود می آید. تثبیت خاک تکنیکی اســـت که به منظور تقویت و بهبود خواص مهندســـی خاک ها مورد اســـتفاده قرار می گیرد. بســـته بـــه روش عمل و نوع ماده مورد استفاده ، روشهای مختلف فیزیکی، بیولوژیکی، مکانیکی و فیزیکوشیمیائی برای تثبیت خاک ها وجود دارد. تغییر در مشخصات خـــاک با حرارت و یا الکتریســـته از مصادیق تثبیت فیزیکی اســـت. اصلاح دانه بندی، تراکم و تســـلیح با الیـــاف طبیعی و یا مصنوعی از جمله روشـــهای تثبیت مکانیکی می باشند. ماهیت و مکانیزیم روش های فیزیکو شـــیمیائی افزودن یک ماده طبیعی و یا مصنوعی نظیر؛ آهک، ســـیمان، مالچهای نفتی، مواد پلیمری به خاک است. در سال های اخیر اســـتفاده از افزودنی های طبیعی و مصنوعی نظیر پلیمرها جهت افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها، کنترل فرسایش بادی و آبی مورد توجه قرار گرفته است. انتخاب یک پلیمر به عنوان تثبیت کننده خاک امر ساده‌ای نبوده و بایستی عوامل متعددی چون تعیین میزان غلظت مناســـب، اثرات زیست محیطی آن، میزان دوام در برابر عوامل محیطی نظیر؛ تغییـــرات دما، ذوب و یخبندان، اشـــعه ماوراء بنفش خورشید، مواد شـــیمیایی محلول در آب لحاظ گردد. نتایج مطالعات انجام گرفته در زمینه فرسایش بادی نشان می دهد پایداری خاکدانه ها یکی از عوامل اصلی کنترل کننده فرســـایش ســـطحی می باشد. بررسی شاخص فرســـایش‌پذیری خاک با استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی، نشـــان می‌دهد که علاوه بر چگونگی پوشش سطحی خاک، عواملی نظیر شـــوری، نسبت جذبی سدیم، میانگین قطر ذرات و گچ از مهمترین و مؤثرین عوامل درشـــاخص فرسایش‌پذیری خاک هستند (عظیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۱). استفاده از پلیمرهای شیمیایی به منظور کنترل فرســـایش خاک‌ها نیز از دیگر راههای کنترل گرد و غبار اســـت. با توجه به ویژگیهای مختلف پلیمرها، این مواد با اهداف و اشـــکال مختلف جهت افزایش ظرفیت نگهداری خاک و نیز کنترل فرسایش بادی و آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحقیقات صدیقی و مور (Siddiqi and Moore, ۱۹۸۱) نشان داد که ترکیب پلیمری بوتادین-استیرن برای کنترل فرسایش بادی و آبی در خاک ماسه‌ای بسیار مناســـب بوده ولی نفوذپذیری خاک تیمار شـــده با این پلیمر تفاوت معنی‌داری ننموده است. هان و همکاران (Han etal., ۲۰۰۷) در تحقیقی بر روی اثر چند امولســـیون پلیمری بر کنترل فرســـایش ماســـه بادی، میزان فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۵/۳ متر بر ثانیه

www.SID.ir

Arshive of SID

را بین بین ۰/۴-۰ کیلوگرم بر ساعت در مترمربع به دست آوردند. بررسی‌های انجام شده توسط تلی شوا و شولگا (Telysheva & Shulga, ۱۹۹۵) نشان داد که استفاده از پلیمرهای محلول در آب از نوع چسباننده سیلیکونی با مقادیر ۰/۵ تا ۰/۸ درصد سیلیکن و نرخ کاربرد ۳۷۵ گرم بر مترمربع بر روی ماسه، باعث اتصال ذرات ماسه شده و یک لایه به ضخامت ۱۴-۴ میلیمتر با مقاومت به نفوذ حدود ۲/۹۰-۰/۴۹ مگا پاسکال ایجاد نمود. بر اساس همین بررسی‌ها ماده پلیمری اضافه شده تبخیر از سطح خاک و میزان فرسایش بادی را کاهش داده و بر جوانه زنی و رشد بذرها هم اثرات نامطلوبی ندارد. بررسی های انجام گرفته در زمینه کاربرد پلیمر استات به میزان ۵۰-۳۰ گرم برمترمربع بر روی خاکستر حاصل از فعالیتهای صنعتی مشخص شد که پلیمر مذکور با نرخ ۲۰-۱۵ گرم بر مترمربع، تشکیل یک لایه محافظ می‌دهد که در برابر بادی با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه مقاوم و به مدت ۸-۶ ماه پایداری خود را حفظ می‌نماید (Hadjiev & Hadjiev ,۲۰۰۳). پلی‌آکریل‌آمید پلیمری است که کاربرد وسیعی به ویژه در کنترل فرسایش حاصل از رواناب دارد. اینتری و سوکا (Entry & Sojka,۲۰۰۳) نشان دادند که کاربرد PAM فرسایش خاک و تلفات مواد غذایی ناشی از رواناب را همزمان کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات هی و همکاران(He etal., ۲۰۰۸) نشان داد که کاربرد ماده پلیمری پلی آکریل آمید بر سطح خاک، ظرفیت مقاومت در برابر فرسایش بادی خاک را افزایش می‌دهد و در این رابطه مقدار ۴ گرم بر مترمربع پلیمر اضافه شده، مؤثرتر از مقدار ۲ گرم بر مترمربع عمل نموده است. شکفته و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی سه نمونه خاک با بافتهای ماسه‌لومی، لوم و لوم رسی را انتخاب نموده و به سطح هریک به‌طور جداگانه مقادیری پلی‌اکریل‌آمید محلول اضافه نمودند. سپس نمونه‌ها تحت باران شبیه‌سازی‌شده با باران‌ساز با شدت ۳۹ میلیمتردرساعت و ۷۹ میلیمتر در ساعت قرارگرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که سطوح دارای پلی‌اکریل‌آمید نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری در کاهش مقدار رواناب و رسوب داشته اند. شهبازی و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهشی دیگر چهار نمونه‌خاک با بافت رسی و شوری و قلیاییت متفاوت از منطقهٔ هشتگرد را انتخاب و مقادیر معادل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار محلول پلی‌اکریل‌آمید (PAM)، به آنها اضافه نمودند. سپس نمونه‌ها در شیب ۲۰ درصد به مدت پنج دقیقه تحت بارش‌هایی با شدت ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر در ساعت قرار داده شدند. نتایج نشان داد که کلیه سطوح پلی‌اکریل‌آمید نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری در کاهش رواناب و خاک از دست رفته داشته است. قربانی واقعی و همکاران(۱۳۸۷) با بررسی تاثیر غلظت های مختلف پلیمر پلی آکریل آمید آنیونی در فرآیند نفوذ آب در خاک نشان دادند، از میان غلظتهای مورد بررسی یعنی مقادیر؛ ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم، غلظت ۱۰ میلی گرم بر کیلو گرم تاثیر بهینه ای در افزایش سرعت نفوذ اولیه و نهائی آب در خاک دارد. الخانباشی و عبدالله (Al-Khanbashi and Abdalla, ۲۰۰۶) با بررسی تاثیر سه نوع پلیمر بر رفتار مکانیکی و نفوذپذیری یک خاک ماسه ای نشان دادند افزایش هر سه نوع پلیمر تا ۳ درصد وزنی خاک موجب کاهش نفوذپذیری خاک می گردد ولی با مقادیر افزون بر ۳ درصد تغییر قابل ملاحظه ای در میزان نفوذپذیری رخ نمی دهد. کاواک و همکاران (Kavak etal., ۲۰۱۰) اثر یک ماده پلیمری برای افزایش ظرفیت باربری قشر اساس و زیر اساس جاده را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور با انجام آزمایش سی بی آر (CBR) نشان دادند در اثر افزودن پلیمر به میزان ۱ درصد وزنی خاک با عث کاهش میزان تغییر شکل و نشست خاک از ۳/۸ تا ۱/۷ میلیمتر می شود. امروزه به دلایلی نظیر کاهش زمان و هزینه‌های اجرایی و سهولت کاربرد پلیمرها در زمینه‌های مختلف نظیر تثبیت خاک و کنترل فرسایش آن، کنترل گرد و غبار به هنگام انجام عملیات حمل و نقل هوایی و زمینی، کمک به افزایش بازده ماشین‌آلات و تجهیزات و افزایش طول عمر آنها؛ استفاده از این مواد به طور روزافزونی در حال افزایش است. این تحقیق، به تاثیر نوعی پلیمر پلی وینیل استات (ساخت داخل) بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی و تثبیت سه نوع خاک می پردازد.

مواد و روش‌ها

نمونه خاکهای مورد استفاده

در ارزیابی تاثیر مواد پلیمری در تثبیت خاک ها، یکی از سئوالات اساسی تعیین چگونگی تاثیر پلیمر بر روی بافت های مختلف خاک است. لذا در انتخاب نمونه خاک‌ها سعی گردید از بافت های مختلف خاک به ویژه خاکهائی که پتانسیل زیادی در فرسایش آبی دارند، استفاده گردد. بر این اساس سه نوع خاک شامل ماسه بادی، خاک با بافت سیلتی و نمونه خاک با بافت سنگین رسی مد نظر قرار گرفت. بدین منظور دو نمونه با بافت سبک و سنگین از منطقه کمال آباد کرج و یک نمونه خاک ماسه بادی از منطقه آران و بیدگل کاشان انتخاب شدند. نمونه خاکها قبل از اضافه کردن ماده پلیمری به خاک و تهیه تیمارهای آزمایشی مورد نظر، ویژگیهای فیزیکی و شیمیائی خاکها شامل؛ دانه‌بندی به طریق هیدرومتری و الک، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی وآنالیز شیمیایی (تعیین آنیونها و کاتیونهای مهم، تعیین pH و EC) تعیین گردیدند. جداول ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات فیزیکی و شیمائی نمونه های مورد بررسی را نشان می دهند.

معرفی ماده پلیمری مورد استفاده

ماده مورد بررسی در این تحقیق جهت تثبیت خاک، یک کو-پلیمر شیمیائی ساخت داخل بر پایه پلی وینیل استات با فرمول n-[C۴H۶O۲]- و وزن مولکولی ۸۶/۰۹ گرم بر مول است. این ماده بصورت امولسیون در آب بوده و با استفاده از آب در غلظتهای مختلف قابل تهیه است. این محلول دارای رنگ سفید ، وزن مخصوص ۱/۱ و به راحتی با افزودن آب قابل تبدیل به غلظتهای دلخواه می باشد. این پلیمر دارای مزیت‌هایی مانند: چسبندگی به طیف گسترده‌ای از سطوح، وزن مولکولی زیاد (۸۶/۰۹ گرم بر مول) ، سرعت قوام بالا، بهینه‌سازی راحت جهت مقاومت در برابر آب و حلال ها، ترکیب‌سازی راحت، پایداری در برابر میکروارگانیسم‌ها، مقاوم در برابر اکسیداسیون و پرتوهای فرابنفش، سمیت پایین،

www.SID.ir

Arshive of SID

لطمات زیست محیطی کم می‌باشد. امولسیون‌های پلی‌وینیل استات به دو شکل هموپلیمر و کوپلیمر عرضه می‌گردد. هموپلیمر بعد از خشک شدن، سفت و شکننده است و کاربردهای خاصی در صنعت دارد. این پلیمر در درازمدت به طور بیولوژیکی کاملاً تجزیه شده و فرمولاسیون آن از نظر سم‌شناسی دارای سازگارپذیری بسیار خوبی با محیط زیست می‌باشد(Hagenmaier and Grohman, ۱۹۹۹). تاکنون هیچگونه اثرات جانبی مضر روی اکوسیستم شامل گیاهان، باکتریهای موجود در خاک و قارچها تاکنون به واسطه کاربرد این پلیمر مشاهده نشده است. اساساً پلی وینیل استات، یک پلیمر غیر سمی بوده و حتی قابل استفاده به عنوان پوشش خوراکی برای میوه ها و تره بار از جمله گوجه فرنگی است (Mazatán et al., ۲۰۱۱). در این پژوهش به منظور انجام مقایسه بین پلیمر تولید داخل ذکر شده با موارد مشابه خارجی، یک ماده خارجی با نام تجاری soiltac نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

نمونه	بافت (٪)			مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد)		حدود آتربرگ		طبقه بندی (یونیفاید)
	رس	سیلت	شن	رطوبت بهینه	وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm۳)	حد روانی	حد خمیری	
شنی	۰	۰/۴	۹۹/۶	۱۲/۵	۱/۷۳	NP1	NP	2 SP
لوم سیلتی	۱۵	۷۵	۱۰	۱۹/۵	۱/۵۸	۳۸	۲۸	3ML
لوم رسی سیلتی	۳۰	۶۵	۵	۲۱	۱/۶۰	۴۲	۲۸	4CL

۱: غیر خمیری، ۲ : ماسه بد دانه بندی شده (دانه بندی یکنواخت)، ۳: سیلت با خمیرایی کم ۴ : رس با خیمرایی کم

جدول شماره ۲- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی

مشخصات نمونه	pH	EC dS/m	آنیون‌ها (meq/lit)				جمع آنیون‌ها	کاتیون‌ها (meq/lit)			جمع
			CO_2^{-3}	HCO_3	Cl^-	SO_2^{-4}		$Mg^{+2}+Ca^{2+}$	Na^+	کاتیون‌ها	
خاک سنگین	۸/۱۰	۰/۹۴	-	۵/۸	۴/۰	۲/۸۹	۱۲/۶۹	۱۰/۰	۲/۳۷	-	۱۲/۳۷
خاک سبک	۸/۹۰	۱/۳۳	-	۸/۴	۴/۰	۳/۵۱	۱۵/۹۱	۱۲/۰	۳/۶۳	-	۱۵/۶۳
ماسه بادی	۶/۹۱	۱/۱۱	-	۲/۴	۶/۰	۲/۷۶	۱۱/۱۶	۸/۰	۴/۳۶	-	۱۲/۳۶

÷÷

تیمارهای مورد بررسی و تهیه نمونه های آزمایشی

نمونه‌های آزمایشی با افزودن ماده پلیمری به میزان معین به خاک تهیه می‌گردد. مبنای تهیه نمونه‌ها، مساحت نمونه مورد مطالعه است بدین ترتیب که با توجه به دوز مورد استفاده (۲۵ گرم در متر مربع با غلظت ۲۵ گرم در لیتر ماده پلیمری)و مشخص نمودن سطح نمونه مورد نظر، حجم امولسیون پلیمری لازم جهت افزودن به هر خاک، تعیین می‌گردد. افزودن امولسیون پلیمری (یا آب برای تیمار شاهد) بصورت محلول و با عمل پاشش در سطح (مطابق شکل ۱- الف) صورت می گیرد، در آزمایشگاه برای تهیه نمونه های آزمایشی با احتساب جرم ویژه ی ظاهری و غلظت ماده، حجم محلول مورد نیاز برای جرم مشخصی از خاک تعیین و اضافه گردید.

برای بررسی چگونگی و میزان تاثیر ماده پلیمری مورد نظر بر ویژگی

www.SID.ir

Arshive of SID

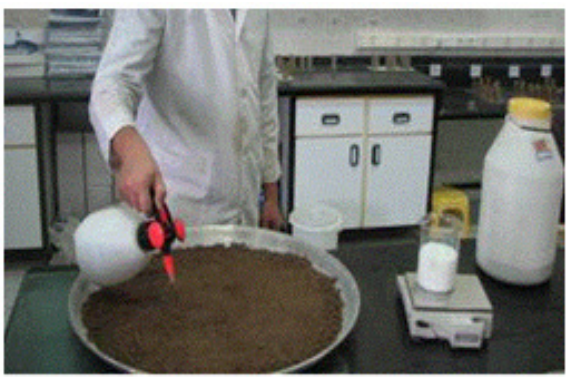
هـــای فیزیکی و مکانیکی خاک، تیمارهای مختلفی به شـــرح جدول شـــماره ۳ به ازای هریک از نمونه خاکها در نظر گرفته شـــدند. بدین ترتیب با در نظر گرفتن ۳ نوع خاک (ماسه بادی، بافت متوسط و بافت ســـنگین)، پنج سطح پلیمری(D۱، D۲، D۴، D۵ و D۶)، ۱۵ تیمار آزمایشـــی در نظر گرفته شد که با با در نظر گرفتن ۳ مدت نگهداری بـــرای هریک از تیمارها (۷روزه، ۳ و ۶ ماهه) و ۳ تکرار برای هر نمونه آزمایشی، در مجموع ۱۳۵ نمونه آزمایشی برای اندازه گیری مقاومت فشـــاری مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشـــها به صورت طرح بلوکهای خرد شـــده در زمان با فاکتور اصلی نوع خاک در ســـه ســـطح (ماسه بادی، خاک با بافت متوســـط و خاک با بافت سنگین) و فاکتور فرعی نوع تثبیت کننده در پنج ســـطح (D۱، D۲، D۴، D۵ و D۶) با سه تکرار در نظر گرفته شـــد. از نرم افـــزار SPSS برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج اســـتفاده گردید و مقایسه میانگین ها در سطح آماری ۱ درصد به وسیله آزمون دانکن انجام پذیرفت.

جدول شماره ۳ - مشخصات تیمارهای آزمایشی

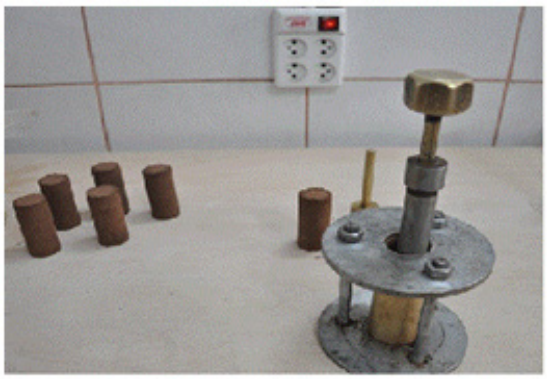
نام تیمار	نوع تیمار	غلظت امولسیون پلیمری مورد استفاده (g/lit)	سطح کاربرد پلیمر (g/m^2)	حجم افزوده شده به خاک طبیعی (lit/m^2)
D1	خاک طبیعی تیمار شده با آب	-	-	۲
D2	خاک تیمار شده با پلیمر داخلی	۲۵	۵۰	۲
D4	خاک تیمار شده با پلیمر خارجی	۴۰	۴۰	۱
D5	خاک تیمار شده با پلیمر داخلی	۲۵	۲۵	۱
D6	خاک تیمار شده با پلیمر داخلی	۵۰	۵۰	۱

آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت و مشخصات مکانیکی مصالح است که می تواند به عنوان یک معیار و شاخص اصلی در تعیین درجه واکنش خاک با ماده پلیمری و کیفیت تثبیت خاک مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از قالب تراکم هاروارد نمونه های آزمایشی به شکل استوانه ای به قطرحدود ۳/۵ و طول ۷ سانتیمتر با انرژی تراکمی معادل تراکم استاندارد پراکتور یعنی ۵۹۵ کیلو ژول بر مترمکعب ســـاخته شده و سپس در محیط آزمایشگاه تا خشک شدن کامل نگهداری شـــدند. پس از خشک شدن، نمونه‌های مورد آزمایش در زیر دستگاه تک محوری (دستگاه پرس) قرار گرفته و توسط محور دستگاه، بار بطور پیوسته و تدریجی بدون وارد کردن شوک به نمونه اعمال می گردد. شـــکل شماره ۱ نحوه ساخت نمونه و انجام آزمایش را نشـــان می‌دهد. در طول انجام آزمایش تغییرات مقدار نیرو نسبت به تغییر طول نمونه یادداشـــت گردید. حداکثر مقدار قرائت نیرو در لحظه شکست نمونه با اعمال ضریب رینگ دستگاه تک محوری نشان دهنده ماکزیمم نیرویی اســـت که باعث شکســـت نمونه شده است. با تقســـیم این نیرو بر ســـطح مقطع نمونه در لحظه شکســـت مقاومت فشاری آن بدست می‌آید.



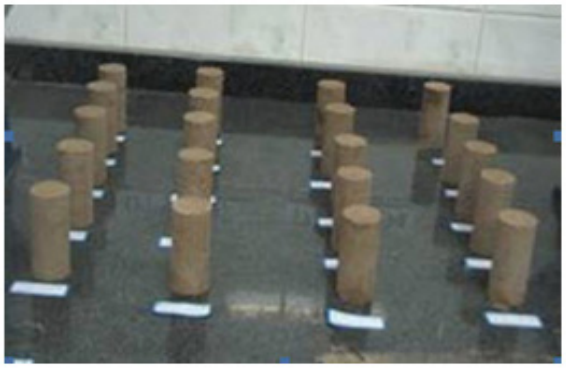
الف) چگونگی افزودن پلیمر به سطح خاک



ب) قالب تراکم هاروارد

www.SID.ir

Arshive of SID



ج) نمونه های آزمایشی جهت انجام مقاومت فشاری

د) نمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری

شکل شماره ۱- مراحل ساخت نمونه و انجام آزمایش مقاومت فشاری (تک محوری)

مقدار مقاومت فشاری به دست آمده به میزان زیادی بستگی به جرم ویژه رطوبت حین ساخت، مدت نگهداری نمونه ها، شرایط محیطی نگهداری، درصد پلیمر و نوع خاک دارد. در این پژوهش به منظور ارزیابی کیفی وچگونگی تاثیر عوامل مذکور در مقاومت فشاری و خواص مهندسی خاک- پلیمر، نمونه هایی با رطوبتی نزدیک به رطوبت بهینه و با انرژی تراکمی استاندارد ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند.

آزمایش تعیین دوام

معیار دوام (مقاومت در برابر عوامل جوی) از شاخص های مهم در ارزیابی عمر مفید مصالح است. در مناطق با تناوب دمایی و یا تغییرات رطوبتی زیاد است، بایستی مقاومت نمونه در برابر عوامل جوی براساس آزمایش های استاندارد دوام شامل ذوب و یخبندان) freezing & thawing)، خشک و تر شدن های مکرر (weting & drying) و استغراق در آب ارزیابی و کنترل شود. در این تحقیق برای ارزیابی دوام از معیار استغراق در آب استفاده شد. روش استاندارد آزمایش دوام برای مواد مختلف متفاوت است. دراین پژوهش از روش استاندارد ارائه شده برای مخلوط های خاک سیمان که تشابهی زیادی با تیمارهای مورد بررسی دارند، استفاده گردید. نمونه های آزمایشی مورد استفاده برای این آزمایش استوانه ای و با ابعاد قالب دستگاه تراکم هاروارد می باشند. نمونه ها بلافاصله پس از ساخت به مدت ۴ روز در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. پس از این مدت وزن و ابعاد نمونه ها یادداشت و نمونه ها به مدت ۵ ساعت در داخل آب و ۴۲ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. بدیهی است در هر سیکل در اثر خشک و تر شدن های مکرر نمونه خشک و پوسته پوسته شده و بخشی از آن می ریزد و نهایتاً وزن نمونه کم می شود. روش ارزیابی در این آزمایش بدین صورت است که وزن نمونه ها قبل و بعد از هر مرحله، اندازه گیری و میزان افت جرم اندازه گیری می شود. شاخص مورد استفاده در این آزمایشگاه افت جرم می باشد که طبق تعریف عبارتست از نسبت وزن ذرات ریخته شده به وزن اولیه نمونه که بصورت رابطه زیر بیان می گردد:

$$\text{افت جرمی} = \frac{\text{جرم نمونه در پایان آخرین سیکل} - \text{جرم اولیه نمونه}}{\text{جرم اولیه نمونه}} \times ۱۰۰$$

این شاخص به صورت درصد بیان می شود. در هر ازمایش برای نمونه ها نباید از یک حد معینی تجاوز نماید. این حد از نظر منابع مختلف تحقیقاتی متفاوت است. بعنوان مثال سازمان عمران اراضی آمریکا (USBR) مقادیر افت وزن مجاز را برای آزمایش خشک و مرطوب و ذوب و یخبندان مخلوط خاک سیمان را به ترتیب ۶ و ۸ درصد توصیه کرده است. در این پژوهش با توجه به پنج سطح پلیمری(D۱، D۲ ، D۴، D۵ و D۶) و سه نوع خاک و سه تکرار برای هر نمونه، جمعاً ۴۵ نمونه آزمایش ساخته و مورد آزمایش دوام قرار گرفتند. شکل ۲ مراحل انجام این آزمایش بر روی نمونه ها را نشان می دهد.

شکل شماره ۲- مراحل مختلف انجام آزمایش پایداری

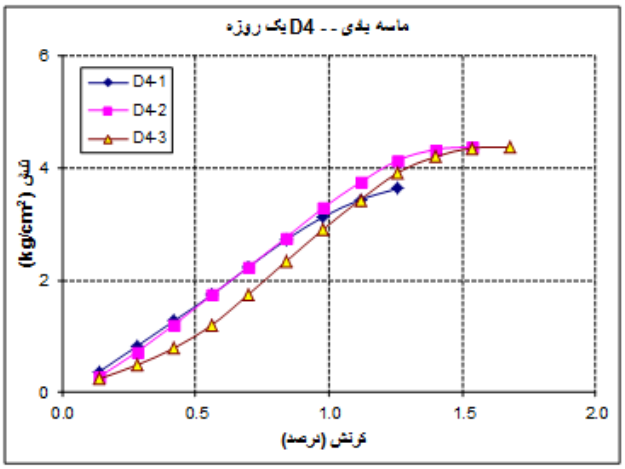
www.SID.ir

Arshive of SID

نتایج و بحث

نتایج آزمایش های مقاومت فشاری

پس از انجام آزمایش مقاومت فشـاری ابتدا منحنی تنش- کرنش مربوط به هر یک نمونه های آزمایشی ترسیم و سپس با استفاده از منحنی های مذکور مقاومت هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید. نمودار ارائه شده در شکل ۳ نمونه ای از این منحنی ها را نشان می دهد. همچنین مقادیر مقاومت فشاری نمونه های مختلف برای هر یک از خاکها و به ازای تیمارهای مورد بررسی و در سنین مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. در این پژوهش برای کمی کردن میزان کاهش مقاومت فشاری نسبت به زمان از معیار درصد افت مقاومت فشاری استفاده شده است. بدین منظور درصد افت مقاومت فشاری بصورت نسبت اختلاف مقاومت فشاری در یک سن معین با مقاومت فشاری در سن هفت روز، به مقاومت همان نمونه در سن هفت روزه تعریف گردید، مقادیر این معیار نیز برای نمونه خاکهای مورد بررسی و به ازای تیمارهای مختلف در جدول ۴ ارائه شده اند. همانطوریکه از جدول مذکور قابل ملاحظه است، مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها در هر سه نمونه خاک و به ازای تیمارهای مختلف نسبت به زمان روند کاهشی دارد. ولی میزان تغییرات در نمونه خاک ها و تیمارهای مختلف متفاوت است. بطوریکه در مورد خاک ماسه بادی تیمار D۲ دارای کمترین افت مقاومت فشاری بود. تیمار منتخب یعنی D۵ نیز با ۱۶ درصد افت در سن ۶ ماه از وضعیت مطلوبی برخوردار بود. در خصوص سایر نمونه ها تیمار D۵ دارای کمترین درصد کاهش مقاومت فشاری در سنین ۳ و ۶ ماه بوده و بعبارتی از ماندگاری و عمر بیشتری برخوردار است.



شکل ۳- نمونه ای از منحنی های تنش کرنش

با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار ۳ و جدول ۴ به روشنی می توان دریافت افزایش پلیمر به خاک باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه ها می گردد. لیکن نرخ این تاثیر بسته به بافت خاک متفاوت است. بطوری که این تاثیر از ۱۵٪ (برای نمونه های سنگین) تا حدود ۴۰۰ درصد برای نمونه های ماسه ای متفاوت است. این امر می تواند ناشی از دو مسئله باشد، اول اینکه در نمونه ماسه بادی به دلیل نفوذپذیری بیشتر نسبت به سایر نمونه ها بویژه نمونه رسی ذرات پلیمر بطور یکنواخت تمام ذرات خاک را احاطه نموده و تشکیل زنجیره ای بهم پیوسته و یکپارچه می دهند و باعث افزایش مقاومت فشاری آن می گردد. در حالی که در خاکهای ریزدانه رسی به دلیل وجود کلوخه‌های ریز یا خاکدانه ها، ذرات پلیمر نمی تواند تمام ذرات را بصورت منفرد احاطه نماید، لذا مقاومت مخلوط حاصل، متاثر از مقاومت خاکدانه ها می شود. دلیل دوم در تاثیر زیاد پلیمر در نمونه های درشت دانه نسبت به ریزدانه را می توان در ماهیت شیمیایی ذرات ریزدانه بویژه رس ها جستجو نمود. بعبارت دیگر مقاومت خاک رسی تثبیت شده تحت تاثیر فعالیت خمیرایی و توانایی انقباض و تورم آن می‌باشد. درحالیکه نمونه های درشت دانه نظیر ماسه کاملا از نظر شیمیایی خنثی بوده و هیچ نیروی داخلی در اثر تغییرات شرایط رطوبتی به زنجیره تشکیل شده وارد نمی شود. مکانیسم تثبیت و افزایش مقاومت با افزایش پلیمر به خاک بدین صورت است که این ماده بعد از پخش شدن بر روی خاک، در منافذ خاک نفوذ کرده و در اثر قرار گرفتن در معرض هوا و تبخیر آب ، تشکیل شاخه‌های گسترده پلیمری داده و با تقویت پیوند های کوهیژنی بین ذرات خاک موجب افزایش مقاومت آن در مقابل فرسایش‌های آبی و بادی می‌گردد.

همچنین به منظور بررسی معنی داری تفاوت های بین تیمارها و همچنین مقایسه میانگین ها، تحلیل آماری در قالب یک طرح بلوکهای خرد شده در زمان با فاکتور اصلی نوع خاک و فاکتور فرعی نوع تثبیت کننده با سه تکرار توسط نرم افزار آماری SPSS صورت گرفت. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۵ و نتیجه مقایسه میانگین ها که به وسیله آزمون دانکن در سطح آماری ۱ درصد انجام گردیده در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۵ ملاحظه می گردد که بین بلوک ها یا به عبارتی دیگر تکرارهای آزمایش اختلاف معنی داری وجود نداشته و آزمایش ها از دقت کافی برخوردار بوده اند. ولی عوامل نوع خاک، نوع تثبیت کننده و زمان تاثیری معنی داری روی مقاومت فشاری نمونه ها داشته اند. همچنین بررسی اثر مقابل بین متغیرها نیز نشان داد که از نظر مقاومت فشاری تنها بین میزان تثبیت کننده و زمان اثر متقابل وجود ندارد ولی بین مابقی عوامل یعنی نوع خاک و میزان ماده پلیمری اثر متقابل وجود دارد.

مطابق جدول ۶ نتایج مقایسه میانگین ها نشان می دهد که مقاومت فشاری نمونه ها با گذشت زمان کاهش یافته و نمونه ها با عمر های مختلف تفاوت معنی داری از نظر مقاومت فشاری دارند . بطوریکه نمونه های ۷ روزه دارای بیشترین مقدار مقاومت فشاری (۱۹/۴۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بوده و مقاومت فشاری نمونه های ۳ و ۶ ماهه به ترتیب به ۱۶/۶۱ و ۱۴/۱۹ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تقلیل یافته است. علاوه بر این بین مقاومت فشاری انواع خاکهای مورد مطالعه تفاوت معنی دار وجود داشته و متوسط مقاومت فشاری برای نمونه های ماسه بادی، خاک سبک و خاک سنگین به ترتیب ۶/۸۷، ۱۹/۸۷ و ۲۳/۵۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است.

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول ۵ - جدول تجزیه واریانس اثر نوع خاک، نوع تثبیت کننده و زمان بر میزان مقاومت فشاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات مقاومت فشاری
بلوک	۲	۲۴/ns۰۱۶
خاک	۲	۳۴۴۷/۷۴۷**
تثبیت کننده	۴	۱۹۹/۵۳۱**
زمان	۲	۳۱۴/۸۸۱**
خاک × تثبیت کننده	۸	۶۰/۴۱۸**
خاک × زمان	۴	۳۷/۱۱۹**
تثبیت کننده × زمان	۸	۱۱/ns۸۰۵
خاک × تثبیت کننده × زمان	۱۶	۱۳/۷۲۵**
خطای کل	۸۸	۶/۱۹۴
میانگین کل (kg/cm^2)	۱۴۴	۱۶/۷۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۵۱/۱۹

** : اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد ns : غیر معنی‌دار

جدول ۶- نتیجه مقایسه میانگین های مقاومت فشاری تیمارهای مختلف به روشن دانکن*

مقاومت فشاری (kg/cm^2)	زمان	مقاومت فشاری (kg/cm^2)	تیمار پلیمری	مقاومت فشاری (kg/cm^2)	خاک
a۱۹/۴۷	هفت روزه	۱۳/۳۷a	D۱	a۶/۸۷	ماسه بادی
b۱۶/۶۱	سه ماهه	۱۸/۷۱bc	D۲	b۱۹/۸۷	خاک سبک
c۱۴/۱۹	شش ماهه	۱۴/۳۵a	D۴	c۲۳/۵۳	خاک سنگین
		۱۹/۴۱c	D۵		
		۱۷/۹۵b	D۶		

*: حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی دار در مقدار مقاومت فشاری است.

www.SID.ir

Arshive of SID

همچنین با توجه به نتایج ارائه شـــده در جدول ۶ مشـــخص می شود که کمترین میزان مقاومت فشاری مربوط به تیمار شاهد (نمونه های تهیه شـــده با آب) است و میانگین مقاومت فشـــاری تمام تمیارهای پلیمری بالاتر از مقاومت فشاری نمونه های شاهد است. از طرف دیگر مقاومت فشاری برخی از مقادیر تثبیت کننده نیز تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. بدین معنی که مقاومت فشاری تیمارهای D۱ و D۴ به ترتیب با مقاومت فشـــاری ۱۳/۳۷ و ۱۴/۳۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در گروه مشـــابه a و تیمارهای D۶ و D۲ به ترتیب با مقاومت فشـــاری ۱۷/۹۵ و ۱۸/۷۱ گرم بر سانتی متر مربع در گروه مشابه b قرار داشـــته و تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. بیشترین مقاومت فشاری مربوط به تیمار گروه c یعنی D۵ و D۲ به ترتیب با ۱۹/۴۱ و ۱۸/۷۱کیلوگرم بر ســـانتی متر مربـــع بوده و تیمارهای این گروه از این حیث نســـبت به سایر تیمار ها ارجحیت دارند. از طرفی دیگر در یک گروه قـــرار گرفتن تیمارهای D۵ و D۲ بدین معنی اســـت که دـــو برابر نمودن میزان پلیمر افزوده شـــده به خاک از طریق افزایش حجم امولسیون (تیمار D۲ نسبت به تیمار D۵) تاثیر معنی داری بر میزان مقاومت فشـــاری نداشته است. بنابراین با توجه به میزان پلیمر وحجم امولسیون مورد اســـتفاده، تیمارD۵ به خاطرکمترین میزان ماده پلیمری یعنی ۲۵ گرم بر متر مربع و کمترین حجم امولســـیون پلیمری یعنی ۱ لیتر بر مترمربع به عنوان گزینه برتر انتخاب گردید.

آزمایش تعیین دوام

چگونگی ارزیابی و پایش نمونه های آزمایشی خاکهای مختلف مطابق روش ذکر شـــده در بخش قبلی انجام گردید که خلاصه پایش کمی و کیفی نمونه های ازمایشـــی در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به جدول ۷ ملاحظه می گردد نمونه های آزمایشـــی ساخته شده بدون اســـتفاده از ماده پلیمری (D۱) در هر سه نوع خاک بلافاصله پس از ورود در آب وارفته و متلاشـــی گردیدند. ولی سایر نمونه ها بسته به نوع خاک و تیمار پلیمری از یک تا چند سیکل مراحل این آزمایش را گذراندند. نکته مهم و قابل ذکر در اینجا اینستکه با توجه به مجموعه نتایـــج حاصل از این آزمایش می توان نتیجـــه گرفت که از نظر دوام نمونه های ماسه ای بهتر از نمونه های سیلتی و نمونه های سیلتی نیز بهتر از نمونه های رسی بوده اند. بطوریکه نمونه های ماسه ای بیش از ۵ سیکل را با حفظ معیار افت وزن تحمل نموده ولی نمونه های رسی حتی یک ســـیکل را نیز طی ننمودند. همچنین در مورد خاک ماسه بادی دارای بیشترین تاثیر پذیری از مواد پلیمری را نشان داده است. از نظر سطح پلیمری نیز، تیمار D۵ با میزان افت حدود ۳ درصد بهتر از تیمارهـــای D۶ و D۲) با میزان افت حدود ۶ درصد) و آنها نیز به مراتب بهتر از D۴) با میزان افت حدود ۱۵ درصد) بوده است. شکل ۴ وضعیت نمونه های آزمایشی مربوط به ماسه بادی و خاک سبک که چند ســـیکل را متحمل نموده اند نشان می دهد. لذا با توجه به موارد عنوان شده می توان عنوان نمود که تیمار D۵ از نظر پایداری در اثر استغراق در آب نیز از ارجحیت برخوردار است. به عبارت دیگر نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج آزمایش مقاومت فشاری مطابقت دارد.

جدول شماره ۷- ارزیابی کیفی و کمی دوام تیمارهای مختلف

شماره تیمار	خاک ماسه بادی		(خاک سبک (نمونه سیلتی		(خاک سنگین (نمونه رسی	
	آخرین سیکل تحمل شده	درصد افت وزنی	آخرین سیکل تحمل شده	درصد افت وزنی	آخرین سیکل تحمل شده	درصد افت وزنی
D1	نمونه پس از ۳۰ ثانیه کاملا متلاشی شد.	-	لحظه ورود به آب شروع به ریختن نموده و پس از ۱۵ دقیقه کاملا متلاشی شد.	-	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۶ دقیقه کاملا نمونه متلاشی شد.	-
D2	چهارم	۶/۸	درحدود ۲۰ درصد از نمونه باز شده وترک خورده است و به مرحله بعد رفت.	۱۰/۸۲	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۱۰ دقیقه کاملا نمونه متلاشی شد.	-
D4	چهارم	۱۵/۶	نمونه پس از ۵ دقیقه کاملا متلاشی شد.	-	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۱۵ دقیقه کاملا نمونه متلاشی شد.	-
D5	پنجم	۲/۶۴	نمونه پس از ۲۰ دقیقه کاملاً فرو ریخت.	-	بعد از ۱۰ دقیقه کاملاً متلاشی شد.	-

www.SID.ir

Arshive of SID

شکل شماره ۴ - وضعیت نمونه‌های آزمایشی بعد از طی سیکلهای مختلف استغراق

نتیجه گیری و پیشنهادات

بر اســاس مجموعه نتایج بدســت آمده از انجام آزمایشهای نکات زیر قابل استناد و ارائه می باشد :

۱. میزان تاثیر پلیمر های مورد بررسی بر روی خواص خاکها بسته به بافت آنها متفاوت می باشد، بطوریکه در نمونه های درشت دانه نظیر خاکهای ماسه ای تاثیر پلیمر نسبت به خاکهای ریزدانه بیشتر است. همچنیــن در خاکهای ریزدانه با افزایش درصد رس موجود در خاک این تاثیر کمتر می شود.

۲. نتایج حاصل از آزمایش های مقاومت فشاری نشان دادند افزایش پلیمــر به خاک باعث افزایش مقاومت فشــاری نمونــه ها می گردد. بطوریکه این تاثیر بســته بــه بافت خاک از ۱۵ بــرای نمونه های سنگین تا حدود ۴۰۰ درصد برای نمونه های ماسه ای متفاوت است.

۳. مقدار مقاومت فشــاری نمونه‌ها در هر ســه نمونه خاک و به ازای تیمارهای مختلف نسبت به زمان روند کاهشی دارد. بطوریکه مقاومت فشــاری نمونه های ۳ و ۶ ماهه بــه ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۸ درصد نسبت به نمونه های ۷ روزه کاهش داشته است.

۴. افزودــن مواد پلیمری به خاک باعث افزایــش قابل ملاحظه دوام نمونه های ماســه ای می گردد ولی تاثیری دــر پایداری نمونه های رسی ندارد. نمونه های سیلتی نیز از این حیث وضعیت بینابینی دارد.

۵. با توجه به نتایج آزمایش استغراق در آب می توان نتیجه گرفت که دوام و پایداری نمونه های تثبیت شده با پلیمر مورد بررسی پس از ۶ ماه به میزان حدود ۵۰ درصد کاهش می یابد.

۶. بنابر نتایج فوق میزان غلظت امولسیون پلیمری یعنی رقیق سازی پلیمر یا میزان رطوبتی که در نهایت به خاک اضافه می‌شود نیز یکی از پارامترهایی است که کارآیی امولسیون مورد استفاده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یعنی حجم امولسیون پلیمری اضافه شده به خاک جهت افزودن میزان پلیمر مــورد نظر (۲۵ یا ۵۰ یا ۷۵ گرم ماده پلیمری) نیز مهم است. این مسئله از جنبه‌های اقتصادی و اجرایی حائز اهمیت است.

۷. در مجموع با توجه به نتایج حاصل از آزمایشــهای پایداری در برابر اســتغراق در آب و مقاومت فشــاری می توان نتیجه گیری نمود که تیمار D۵ (کاربرد ۲۵ گرم ماده پلیمری داخلی بر واحد سطح خاک با حجم محلول یک لیتر) از نظر معیارهای دوام و مقاومت نســبت به ســایر تیمارها از ارجحیت برخوردار بودــه و به عنوان تیمار مطلوب انتخاب گردید.

منابع مورد استفاده

۱. شکفته، ح.؛ رفاهی، ح.؛ گرجی، م. بررسی اثر ماده شیمیایی پلی‌اکریل‌آمید بر فرسایش و رواناب خاکها. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد۳۶، شماره۱، سال۱۳۸۴. ص۱۸۶-۱۷۷.

۲. شهبازی،ع.؛ سرمدیان،ف. ؛رفاهی،ح.،گرجی،م. ۱۳۸۴. تأثیر پلی اکریل آمید برفرسایش و رواناب‌خاک‌های‌شور سدیمی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد۳۶، شماره۵، ص۱۱۱۲-۱۱۰۳.

۳. عظیم‌زادــه، ح.م.، اختصاصی، م.ر.، حاتمی، م.، اخوان، م. ۱۳۸۱. مطالعه تاثیر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در شاخص فرسایش پذیری بادی خاک و ارائه مدل جهت پیشــگویی آن در دشــت یزد-اردکان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۹ . شماره اول. ص ۱۵۱-۱۳۹.

۴. قربانی واقعی، ح.، ح. بهرامی،م. عفاریان، ح. شهاب و ف. طلیعی. ۱۳۸۷.

www.SID.ir

Arshive of SID

کاربرد پلی آکریل آمید آنیونی در افزایش سـرعت نفوذ آب به خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۳۹. شماره ۱، ص ۸۴-۷۷

5. Al-Khanbashi, A. and S.W. Abdalla. 2006. Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil. Geotechnical and Geological Engineering , 1625-1603 ,(6)24, DOI: 10.1007/s3-4895-005-10706

6. Entry, J.A., Sojka, R.E., 2003. The efficacy of polyacrylamaide to reduce nutrient movement from an irrigated field. Trans. ASAE 83–75 ,46.

7. Hadjiev, A., Hadjiev, P. 2003. On some methods for surface erosion control on tailings ponds and waste fly-ash piles. 50 years Uni. of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Annual, vol. 46, part 22, Mining and Mineral Processing, Sofia.187-185

8. Hagenmaier, R. D.; Grohman, K. 1999. Polyvinyl acetate as a high-gloss edible coating. Journal of Food Science 728-723 :64.

9. Han, Z., Wang, T., Dong, Z., Hu, Y., Yao, Z. 2007. Chemical stabilization of mobile dune fields along a highway in the Taklimakan Desert of China. Journal of Arid Environments. 270–68:2.260.

10. He, J.J., Cai, O.G., Tang, Z.J. 2008. Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. Environ. Monit. Assess. 193–145:185.

11. Kavak, A., G. Bilgen, U., Mutman. 2010. In-situ modification of a road material using a special polymer. Scientific Research and Essays Vol. 17)5), pp. 2555-2547

12. Mazatan, C., Yakeline, G., Aguilar, V., Alonso, L., Saldivar,L., Hugo, R., Rodríguez, P., René, D. 2011. Polyvinl Acetate as an Edible Coating for Fruits. Effect on Selected Physiological and quality Characteristic of Tomato. Revista Chapingo, Serie Horticultura, 22-15 :(1)17.

13. Siddiqi, R.A. and Moore, J.C. 1981. Polymer stabilization of sandy soils for erosion control, Transportation Research Record. 34-827:30.

14. Telysheva, G., Shulga , G. 1995. Silicon-containing polycomplexes for protection against wind erosion of sandy soil. Journal of agricultural engineering research.

www.SID.ir