

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 پلیمرها برای بهبود خواص مهندسی خاکها و کاهش فرسایش خاک استفاده می‌شود. در این تحقیق قابلیت و توانایی 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 نمونه‌ها 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 نمونه‌ها دارد. این تاثیر بسته به بافت خاک از ۱۵٪ برای نمونه‌های رسی سنگین تا حدود ۴۰۰ درصد برای نمونه‌های ماسه‌ای متفاوت است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که نمونه‌ها با عمرهای مختلف تفاوت معنی داری از نظر مقاومت فشاری دارند. بطوریکه مقاومت فشاری نمونه‌های ۳ و ۶ ماهه به ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۸ درصد نسبت به نمونه‌های ۷ روزه کاهش داشته است. همچنین نتایج آزمایش دوام نشان داد که افزودن پلیمر باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در پایداری نمونه‌های ماسه‌ای در اثر استغراق در آب می‌گردد ولی تاثیری در این ویژگی نمونه‌های رسی ندارد. در حالیکه نمونه‌های 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 خاک‌های مورد بررسی تعیین شد.

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

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 decreased upto 15 and 28 percent 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

خاک امر ساده‌ای نبوده و بایستی عوامل متعددی چون تعیین میزان غلظت مناسب، اثرات زیست محیطی آن، میزان دوام در برابر عوامل محیطی نظیر؛ تغییرات دما، ذوب و یخبندان، اشعه ماوراء بنفش خورشید، مواد شیمیایی 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 فرسایش سطحی می باشد. بررسی شاخص فرسایش پذیری خاک با استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی، نشان می دهد که علاوه بر چگونگی پوشش سطحی خاک، عواملی نظیر شوری، نسبت جذبی سدیم، میانگین قطر ذرات و گچ از مهمترین و مؤثرین عوامل در شاخص فرسایش پذیری خاک هستند (عظیم زاده و همکاران، ۱۳۸۱). استفاده از پلیمرهای شیمیایی به منظور کنترل فرسایش خاکها نیز از دیگر راههای کنترل گرد و غبار است. با توجه به ویژگیهای مختلف پلیمرها، این مواد با اهداف و اشکال مختلف جهت افزایش ظرفیت نگهداری خاک و نیز کنترل فرسایش بادی و آبی مورد استفاده قرار می گیرند. 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 مناسب بوده ولی نفوذپذیری خاک تیمار شده با این پلیمر تفاوت معنی داری ننموده است. هان و همکاران (Han et al., ۲۰۰۷) در تحقیقی بر روی اثر چند امولسیون پلیمری بر کنترل فرسایش ماسه بادی، میزان فرسایش در برابر باد با سرعت ۲۵/۳ متر بر ثانیه

خاک یکی از ارزان ترین و سهل الوصول ترین ماده ساختمانی طبیعی است که هم بستر اغلب سازه های عمرانی را تشکیل می دهد و هم به عنوان یک نوع مصالح ساختمانی در اجرای بخشی از سازه قابل استفاده است. ولی به دلیل ضعف ویژگی های مهندسی خاک، استفاده از آن در پروژه های عمرانی همواره با محدودیت ها و تردیدهایی همراه بوده است. همچنین خاک سطحی همیشه در معرض فرسایش آبی و بادی بوده و در اثر این پدیده ضمن از دست رفتن خاک، عوارض متعددی نظیر ایجاد گرد و غبار، تخریب سطح زمین و به دنبال آنها مسائل زیست محیطی به وجود می آید. تثبیت خاک تکنیکی است که به منظور تقویت و بهبود خواص مهندسی خاک ها مورد استفاده قرار می گیرد. بسته به روش عمل و نوع ماده مورد استفاده، روشهای مختلف فیزیکی، بیولوژیکی، مکانیکی و فیزیکوشیمیایی برای تثبیت خاک ها وجود دارد. تغییر در مشخصات خاک با حرارت و یا الکتریسته از مصادیق تثبیت فیزیکی است. اصلاح دانه بندی، تراکم و تسلیح با الیاف طبیعی و یا مصنوعی از جمله روشهای تثبیت مکانیکی می باشند. ماهیت و مکانیزیم روش های فیزیکوشیمیایی افزودن یک ماده طبیعی و یا مصنوعی نظیر؛ آهک، سیمان، مالچ های نفتی، مواد پلیمری به خاک است. در سال های اخیر استفاده از افزودنی های طبیعی و مصنوعی نظیر پلیمرها جهت افزایش پایداری و قطر خاکدانه ها، کنترل فرسایش بادی و آبی مورد توجه قرار گرفته است. انتخاب یک پلیمر به عنوان تثبیت کننده

درصد تغییر قابل ملاحظه ای در میزان نفوذپذیری رخ نمی دهد. کاواک و همکاران (Kavak et al., 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 باعث 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 خاکهایی 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 شیمیایی خاکها شامل؛ دانه‌بندی به طریق هیدرومتر و الک، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی و آنالیز شیمیایی (تعیین آنیونها و کاتیونها مهم، تعیین pH و EC) تعیین گردیدند. جداول ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات فیزیکی و شیمیایی 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 شیمیایی ساخت داخل بر پایه پلی وینیل استات با فرمول $[-C_4H_6O_2]_n$ 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،

را 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 ۵/۰ تا ۸/۰ 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. بررسی‌های انجام گرفته در زمینه کاربرد پلیمر استات به میزان ۵۰-۳۰ گرم بر مترمربع 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). پلی‌اکریل‌آمید 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 et al., ۲۰۰۸) نشان داد که کاربرد ماده پلیمری پلی‌اکریل‌آمید 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 هر یک به‌طور جداگانه مقادیری پلی‌اکریل‌آمید محلول اضافه نمودند. سپس نمونه‌ها تحت باران شبیه‌سازی شده با باران‌ساز با شدت ۳۹ میلیمتر در ساعت و ۷۹ میلیمتر در ساعت قرار گرفتند. 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 نمونه خاک با بافت رسی و شوری و قلیابیت متفاوت از منطقه 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 پلی‌اکریل‌آمید آنیونی در فرآیند نفوذ آب در خاک نشان دادند، از میان غلظتهای مورد بررسی یعنی مقادیر ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم 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 می‌گردد ولی با مقادیر افزون بر ۳

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., 2011). 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.

لطامت زیست محیطی کم می باشد. امولسیون های پلی وینیل استات به دو شکل همپلیمر و کوپلیمر عرضه می گردد. همپلیمر 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 سم شناسی دارای سازگاری بسیار خوبی با محیط زیست می باشد (Hagenmaier and Grohman, 1999). تاکنون هیچگونه اثرات جانبی مضر روی اکوسیستم شامل گیاهان،

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاکهای مورد بررسی

نمونه	مشخصات تراکمی (آزمایش پراکتور استاندارد)			حدود آتربرگ			رس	سیلت	شن	رطوبت بهینه	وزن واحد حجم ماکزیمم (gr/cm ³)
	سیلت	رس	بافت (%)	حد روانی	حد خمیری	طبقه بندی (یونیفاید)					
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 خمیرایی کم

جدول شماره ۲- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های مورد بررسی

مشخصات نمونه	EC dS/m	pH	آنیون ها (meq/lit)			جمع آنیون ها	کاتیون ها (meq/lit)				
			CO ₃ ⁻³	HCO ₃	Cl ⁻		SO ₂ ⁻⁴	Mg ⁺² +Ca ⁺²	Na ⁺	کاتیون ها جمع	
خاک سنگین	۰/۹۴	۸/۱۰	-	۵/۸	۴/۰	۲/۸۹	۱۲/۶۹	۱۰/۰	۲/۳۷	-	۱۲/۳۷
خاک سبک	۱/۳۳	۸/۹۰	-	۸/۴	۴/۰	۳/۵۱	۱۵/۹۱	۱۲/۰	۳/۶۳	-	۱۵/۶۳
ماسه بادی	۱/۱۱	۶/۹۱	-	۲/۴	۶/۰	۲/۷۶	۱۱/۱۶	۸/۰	۴/۳۶	-	۱۲/۳۶

✚

تعیین می گردد. 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

تیمارهای مورد بررسی و تهیه نمونه های آزمایشی نمونه های آزمایشی با افزودن ماده پلیمری به میزان معین به خاک تهیه می گردد. مبنای تهیه نمونه ها، 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،

فشاری مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشها به صورت طرح بلوکهای خرد شده در زمان با فاکتور اصلی نوع خاک در سه سطح (ماسه بادی، خاک با بافت متوسط و خاک با بافت سنگین) و فاکتور فرعی نوع تثبیت کننده در پنج سطح (D1، D2، D4، D5 و D6) با سه تکرار در نظر گرفته شد. از نرم افزار SPSS برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج استفاده گردید و مقایسه میانگین ها در سطح آماری ۱ درصد به وسیله آزمون دانکن انجام پذیرفت.

های فیزیکی و مکانیکی خاک، تیمارهای مختلفی به شرح جدول شماره ۳ به ازای هریک از نمونه خاکها در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب با در نظر گرفتن ۳ نوع خاک (ماسه بادی، بافت متوسط و بافت سنگین)، پنج سطح پلیمری (D1، D2، D4، D5 و D6)، ۱۵ تیمار آزمایشی در نظر گرفته شد که با در نظر گرفتن ۳ مدت نگهداری برای هریک از تیمارها (۷، ۳ و ۶ ماهه) و ۳ تکرار برای هر نمونه آزمایشی، در مجموع ۱۳۵ نمونه آزمایشی برای اندازه گیری مقاومت

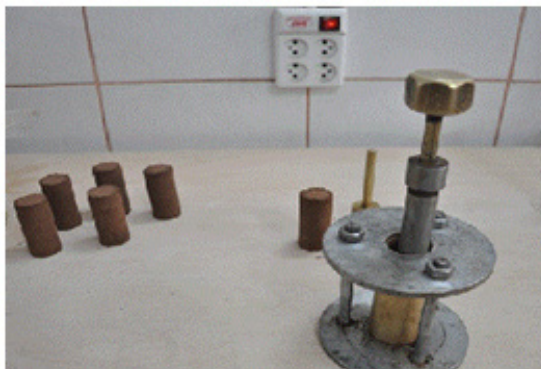
جدول شماره ۳ - مشخصات تیمارهای آزمایشی

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

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. شکل شماره ۱ نحوه ساخت نمونه و انجام آزمایش را نشان می دهد. در طول انجام آزمایش تغییرات مقدار نیرو نسبت به تغییر طول نمونه یادداشت گردید. حداکثر مقدار قرائت نیرو در لحظه شکست نمونه با اعمال ضریب رینگ دستگاه تک محوری نشان دهنده ماکزیمم نیرویی است که باعث شکست نمونه شده است. با تقسیم این نیرو بر سطح مقطع نمونه در لحظه شکست مقاومت فشاری آن بدست می آید.

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 قطر حدود ۳/۵ و طول ۷ سانتیمتر با انرژی تراکمی معادل تراکم استاندارد پراکتور یعنی ۵۹۵ کیلو ژول بر مترمکعب ساخته شده و سپس در محیط آزمایشگاه تا خشک شدن کامل نگهداری شدند. پس از خشک شدن، نمونه های مورد آزمایش



ب) قالب تراکم هاروارد



الف) چگونگی افزودن پلیمر به سطح خاک



د) نمونه تحت آزمایش مقاومت فشاری



ج) نمونه های آزمایشی جهت انجام مقاومت فشاری

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

نسبت وزن ذرات ریخته شده به وزن اولیه نمونه که بصورت رابطه زیر بیان می گردد:

$$x_{100} = \frac{\text{جرم نمونه در پایان آخرین سیکل} - \text{جرم اولیه نمونه}}{\text{جرم اولیه نمونه}} \times 100 - \text{افت جرمی}$$

این شاخص به صورت درصد بیان می شود. در هر آزمایش 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 (D1، D2، D4، D5 و D6) 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.

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 و چگونگی 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. در این 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



شکل شماره ۲- مراحل مختلف انجام آزمایش پایداری

نفوذپذیری بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها بویژه نمونه رسی ذرات پلیمر بطور یکنواخت تمام ذرات خاک را احاطه نموده و تشکیل زنجیره‌ای بهم پیوسته و یکپارچه می‌دهند و باعث افزایش مقاومت فشاری آن می‌گردد. در حالی که در خاکهای ریزدانه رسی به دلیل وجود کلوخه‌های ریز یا خاکدانه‌ها، ذرات پلیمر نمی‌تواند تمام ذرات را بصورت منفرد احاطه نماید، لذا مقاومت مخلوط حاصل، متاثر از مقاومت خاکدانه‌ها می‌شود. دلیل دوم در تاثیر زیاد پلیمر در نمونه‌های درشت دانه نسبت به ریزدانه را می‌توان در ماهیت شیمیایی ذرات ریزدانه بویژه رس‌ها جستجو نمود. بعبارت دیگر مقاومت خاک رسی تثبیت شده تحت تاثیر فعالیت خمیریایی و توانایی انقباض و تورم آن می‌باشد. درحالیکه نمونه‌های درشت دانه نظیر ماسه کاملاً از نظر شیمیایی خنثی بوده و هیچ نیروی داخلی در اثر تغییرات شرایط رطوبتی به زنجیره تشکیل شده وارد نمی‌شود. 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.

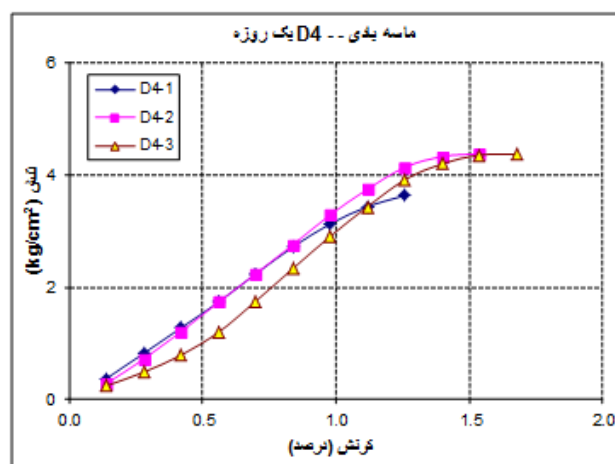
همچنین به منظور بررسی معنی داری تفاوت‌های بین تیمارها و همچنین مقایسه میانگین‌ها، تحلیل آماری در قالب یک طرح بلوکهای خرد شده در زمان با فاکتور اصلی نوع خاک و فاکتور فرعی نوع تثبیت کننده با سه تکرار توسط نرم افزار آماری SPSS صورت گرفت. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۵ و نتیجه مقایسه میانگین‌ها که به 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 می‌گردد که بین بلوک‌ها یا به عبارتی دیگر تکرارهای آزمایش اختلاف معنی داری وجود نداشته و آزمایش‌ها از دقت کافی برخوردار بوده‌اند. ولی عوامل نوع خاک، نوع تثبیت کننده و زمان تاثیر معنی داری روی مقاومت فشاری نمونه‌ها داشته‌اند. همچنین بررسی اثر متقابل 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 میانگین‌ها نشان می‌دهد که مقاومت فشاری نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش یافته و نمونه‌ها با عمرهای مختلف تفاوت معنی داری از نظر مقاومت فشاری دارند. بطوریکه نمونه‌های ۷ روزه دارای بیشترین مقدار مقاومت فشاری (۱۹/۴۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بوده و مقاومت فشاری نمونه‌های 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 نمونه‌های ماسه بادی، خاک سبک و خاک سنگین به ترتیب ۱۹/۸۷، ۶/۸۷ و ۲۳/۵۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده است.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری

پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری ابتدا منحنی تنش- کرنش مربوط به هر یک نمونه‌های آزمایشی ترسیم و سپس با استفاده از منحنی‌های مذکور مقاومت هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید. نمودار ارائه شده در شکل ۳ نمونه‌ای از این منحنی‌ها را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف برای هر یک از خاکها و به ازای تیمارهای مورد بررسی و در سنن 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 شده‌اند. 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 خاک‌ها و تیمارهای مختلف متفاوت است. بطوریکه در مورد خاک ماسه بادی تیمار D2 دارای کمترین افت مقاومت فشاری بود. تیمار منتخب یعنی D5 نیز با ۱۶ درصد افت در سن ۶ ماه از وضعیت مطلوبی برخوردار بود. در خصوص سایر نمونه‌ها تیمار D5 دارای کمترین درصد کاهش مقاومت فشاری در سنن ۳ و ۶ ماهه بوده و بعبارتی از ماندگاری و عمر بیشتری برخوردار است.



شکل ۳- نمونه‌ای از منحنی‌های تنش \square کرنش

با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار ۳ و جدول ۴ به روشنی می‌توان دریافت افزایش پلیمر به خاک باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌گردد. لیکن نرخ این تاثیر بسته به بافت خاک متفاوت است. بطوری که این تاثیر از ۱۵٪ (برای نمونه‌های سنگین) تا حدود ۴۰٪ درصد برای نمونه‌های ماسه‌ای متفاوت است. این امر می‌تواند ناشی از دو مسئله باشد، اول اینکه در نمونه ماسه بادی به دلیل

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

ns: غیر معنی دار

** : اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

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

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

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

روش ذکر شده در بخش قبلی انجام گردید که خلاصه پایش کمی و کیفی نمونه‌های آزمایشی در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به جدول ۷ ملاحظه می‌گردد نمونه‌های آزمایشی ساخته شده بدون استفاده از ماده پلیمری (D1) در هر سه نوع خاک بلافاصله پس از ورود در آب وارفته و متلاشی گردیدند. ولی سایر نمونه‌ها بسته به نوع خاک و تیمار پلیمری از یک تا چند سیکل مراحل این آزمایش را گذراندند. نکته مهم و قابل ذکر در اینجا اینست که با توجه به مجموعه نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که از نظر دوام نمونه‌های ماسه‌ای بهتر از نمونه‌های سیلتی و نمونه‌های سیلتی نیز بهتر از نمونه‌های رسی بوده‌اند. بطوریکه نمونه‌های ماسه‌ای بیش از ۵ سیکل را با حفظ معیار افت وزن تحمل نموده ولی نمونه‌های رسی حتی یک سیکل 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 D5 با میزان افت حدود ۳ درصد بهتر از تیمارهای D6 و D2 (با میزان افت حدود ۶ درصد) و آنها نیز به مراتب بهتر از D4 (با میزان افت حدود ۱۵ درصد) بوده است. شکل ۴ وضعیت نمونه‌های آزمایشی مربوط به ماسه بادی و خاک سبک که چند سیکل را متحمل نموده‌اند نشان می‌دهد. لذا با توجه به موارد عنوان شده می‌توان عنوان نمود که تیمار D5 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.

همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶ مشخص می‌شود که کمترین میزان مقاومت فشاری مربوط به تیمار شاهد (نمونه‌های تهیه شده با آب) است و میانگین مقاومت فشاری تمام تیمارهای پلیمری بالاتر از مقاومت فشاری نمونه‌های 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 D1 و D4 به ترتیب با مقاومت فشاری ۱۳/۳۷ و ۱۴/۳۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در گروه مشابه a و تیمارهای D6 و D2 به ترتیب با مقاومت فشاری ۱۷/۹۵ و ۱۸/۷۱ گرم بر سانتی متر مربع در گروه مشابه b قرار داشته و تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. بیشترین مقاومت فشاری مربوط به تیمار گروه c یعنی D5 و D2 به ترتیب با ۱۹/۴۱ و ۱۸/۷۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده و تیمارهای این گروه از این حیث نسبت به سایر تیمارها ارجحیت دارند. از طرفی دیگر در یک گروه قرار گرفتن تیمارهای D5 و D2 بدین معنی است که دو برابر نمودن میزان پلیمر افزوده شده به خاک از طریق افزایش حجم امولسیون (تیمار D2 نسبت به تیمار D5) تاثیر معنی داری بر میزان مقاومت فشاری نداشته است. بنابراین با توجه به میزان پلیمر و حجم امولسیون مورد استفاده، تیمار D5 به خاطر کمترین میزان ماده پلیمری یعنی ۲۵ گرم بر متر مربع و کمترین حجم امولسیون پلیمری یعنی ۱ لیتر بر مترمربع به عنوان گزینه برتر انتخاب گردید.

آزمایش تعیین دوام

چگونگی ارزیابی و پایش نمونه‌های آزمایشی خاکهای مختلف مطابق

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 کاملاً متلاشی شد.	-	لحظه ورود به آب شروع به ریختن نموده و پس از ۱۵ دقیقه کاملاً متلاشی شد.	-	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۶ دقیقه کاملاً نمونه متلاشی شد.	-
D2	چهارم	۶/۸	در حدود ۲۰ درصد از نمونه باز شده و ترک خورده است و به مرحله بعد رفت.	۱۰/۸۲	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۱۰ دقیقه کاملاً نمونه متلاشی شد.	-
D4	چهارم	۱۵/۶	نمونه پس از ۵ دقیقه کاملاً متلاشی شد.	-	از لحظه اول نمونه شروع به ریختن کرد و پس از ۱۵ دقیقه کاملاً نمونه متلاشی شد.	-
D5	پنجم	۲/۶۴	نمونه پس از ۲۰ دقیقه کاملاً فرو ریخت.	-	بعد از ۱۰ دقیقه کاملاً متلاشی شد.	-



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

از پارامترهایی است که کارایی امولسیون مورد استفاده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یعنی حجم امولسیون پلیمری اضافه شده به خاک جهت افزودن میزان پلیمر مورد 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 آزمایش‌های پایداری در برابر استغراق در آب و مقاومت فشاری می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تیمار D5 (کاربرد ۲۵ گرم ماده پلیمری داخلی بر واحد سطح خاک با حجم محلول یک لیتر) از نظر معیارهای دوام و مقاومت نسبت به سایر تیمارها از ارجحیت برخوردار بوده و به عنوان تیمار مطلوب انتخاب گردید.

منابع مورد استفاده

۱. شکفته، ح؛ رفاهی، ح؛ گرجی، م. بررسی اثر ماده شیمیایی پلی‌اکریل‌امید بر فرسایش و رواناب خاکها. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۶، شماره ۱، سال ۱۳۸۴. ص ۱۸۶-۱۷۷.
۲. شهبازی، ع؛ سرمیدیان، ف. رفاهی، ح؛ گرجی، م. ۱۳۸۴. تأثیر پلی‌اکریل‌امید بر فرسایش و رواناب خاک‌های شور سدیمی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شماره ۵، ص ۱۱۱۲-۱۱۰۳.
۳. عظیم‌زاده، 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 پیشگویی آن در دشت یزد-اردکان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۹. شماره اول. ص ۱۵۱-۱۳۹.
۴. قربانی واقعی، ح.، ح. بهرامی، م.، عفریان، ح. شهاب و ف. طلعی. ۱۳۸۷.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس مجموعه نتایج بدست آمده از انجام آزمایش‌های نکات زیر قابل استناد و ارائه می‌باشد:

۱. میزان تاثیر پلیمرهای مورد بررسی بر روی خواص خاکها بسته به بافت آنها متفاوت می‌باشد، بطوریکه در نمونه‌های درشت دانه نظیر خاکهای ماسه‌ای تاثیر پلیمر نسبت به خاکهای ریزدانه بیشتر است. همچنین در خاکهای ریزدانه با افزایش درصد رس موجود در خاک این تاثیر کمتر می‌شود.
۲. نتایج حاصل از آزمایش‌های مقاومت فشاری نشان دادند افزایش پلیمر به خاک باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌گردد. بطوریکه این تاثیر بسته به بافت خاک از ۱۵٪ برای نمونه‌های سنگین تا حدود ۴۰٪ درصد برای نمونه‌های ماسه‌ای متفاوت است.
۳. مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها در هر سه نمونه خاک و به ازای تیمارهای مختلف نسبت به زمان روند کاهشی دارد. بطوریکه مقاومت فشاری نمونه‌های ۳ و ۶ ماهه به ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۸ درصد نسبت به نمونه‌های ۷ روزه کاهش داشته است.
۴. افزودن مواد پلیمری به خاک باعث افزایش قابل ملاحظه دوام نمونه‌های ماسه‌ای می‌گردد ولی تاثیری در پایداری نمونه‌های رسی ندارد. نمونه‌های سیلتی نیز از این حیث وضعیت بینابینی دارد.
۵. با توجه به نتایج آزمایش استغراق در آب می‌توان نتیجه گرفت که دوام و پایداری نمونه‌های تثبیت شده با پلیمر مورد بررسی پس از ۶ ماه به میزان حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.
۶. بنابر نتایج فوق میزان غلظت امولسیون پلیمری یعنی رقیق‌سازی پلیمر یا میزان رطوبتی که در نهایت به خاک اضافه می‌شود نیز یکی

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. Polyvinyl 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.

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

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 polyacrylamide 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.

