

بررسی آزمایشگاهی تثبیت کننده پلیمری پلی وینیل استات، بر فرسایش داخلی و مقاومت ماسه رس دار کائولینیتی

سید محمد علی زمردیان*^۱، امین مصدقی^۲

۱-دانشیار، دانشگاه شیراز

۲- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی

mzomorod@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۴/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۹/۱]

چکیده - فرسایش داخلی یکی از متداولترین عوامل شکست سدهای خاکی است و با توجه به حجم عظیم آب ذخیره شده در پشت سدها، هرگونه تخریب یا گسیختگی در سدها منجر به عوارض مخربی چه از نظر مالی و چه از نظر جانی می‌شود. در راستای کنترل فرسایش داخلی و اصلاح خاک‌های مستعد فرسایش، نکته حائز اهمیت استفاده از تثبیت کننده‌های مدرن و ایمن به جای تثبیت کننده‌های سنتی و مضر است. در این پژوهش از ماده پلیمری پلی وینیل استات برای اصلاح فرسایش پذیری ماسه رس دار کائولینیتی استفاده شده است. بدین منظور ماسه رس دار کائولینیتی به صورت مجزا و سپس ترکیب با درصدهای مختلف پلی وینیل استات، در هدهای مختلف مورد آزمایش فرسایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که فرسایش پذیری ماسه رس دار کائولینیتی بسیار سریع است که با افزودن پلی وینیل استات به آن، فرسایش به شکل قابل مشاهده‌ای کاهش یافته و از نظر کیفی فرسایش پذیری در گروه تقریباً و بسیار آهسته قرار می‌گیرد. ضمن آنکه افزودن پلی وینیل استات به ماسه رس دار کائولینیتی باعث افزایش ۶۰ درصدی مقاومت فشاری آن شد.

کلمات کلیدی: سدهای خاکی، فرسایش داخلی، خاک دانه‌ای، تثبیت کننده‌ها، پلی وینیل استات، زمان عمل آوری

۱. مقدمه

سازه خاکی می‌شود می‌تواند باعث فرسایش داخلی در سازه‌های خاکی و در نهایت منجر به تخریب آن‌ها شود. آمارها نشان می‌دهند که تا سال ۱۹۸۶، ۴۸ درصد از تخریب سدهای خاکی بزرگ بر اثر پدیده آبشستگی و فرسایش داخلی بوده است، همچنین فرسایش به عنوان دومین عامل اصل تخریب سدهای خاکی پس از سرریز^۳ آب از تاج سدها محسوب می‌شود [۲]. فرسایش، علاوه بر ایجاد خسارت در محل اصلی، دارای آثار نامطلوب در خارج از محل وقوع آن است. بررسی عوامل موثر بر فرسایش داخلی و بررسی سازوکار آن، به دلیل احتمال شکست و تخلیه ناگهانی سدها و ایجاد فجایع انسانی و مالی از اهمیت زیادی برخوردار است [۳، ۴].

فرسایش به معنای نابودی تدریجی رویه یک ماده و فرسودگی و از بین رفتگی مداوم خاک و انتقال یا حرکت آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر به وسیله‌ی آب و همچنین به عنوان فرآیندی است که به موجب آن ذرات ریزدانه به شکل محلی به درون یک لایه‌ی درشت دانه جابه‌جا می‌شود و حفره‌های شکل دهنده آن می‌تواند سبب گسیختگی و تخریب شود [۱].

رگاب (آبشستگی)^۱ و فرسایش داخلی^۲ مشکلات فراوانی را برای سازه‌های خاکی به خصوص سدهای خاکی و سنگریزه‌ای بوجود می‌آورند. حمل تدریجی ذرات خاک که در حالت توسعه یافته موجب ایجاد یک آبراهه در

ذرات خاک قرار می‌گیرند و با تشکیل پیوندهایی در بین آن‌ها و با جذب شدن روی سطح ذرات رس، موجب تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطوح رس‌ها می‌شوند و نیروهای دافعه بین ذرات باردار رس را کاهش می‌دهند [۱۱، ۱۲].

۳. خاک مصرفی

خاک استفاده شده در این پژوهش، ماسه رس دارکائولینیتی رد شده از الک شماره ۱۰ است که از منطقه مرند واقع در استان آذربایجان شرقی است. به منظور طبقه‌بندی خاک، آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود اتربرگ روی خاک استفاده شده به ترتیب بر اساس استاندارد ASTM D422 و ASTM D4318 انجام شد. خواص خاک مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. شکل (۱)، منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ماسه رس دار کائولینیتی استفاده شده

Soil Types	Plasticity Index	Plastic Limit	Liquid limit
SC	11	14	25

Table 1. Index properties of Kaolinite clay sand.

شکل ۱ منحنی دانه بندی ماسه رس دار کائولینیتی

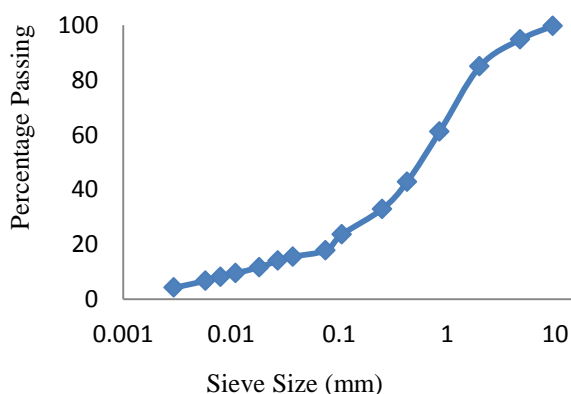


Fig. 1. Grain size distributions of Kaolinite clay sand.

علت استفاده از خاک کائولینیت، علاوه بر بررسی فرسایش پذیری آن، به دلیل خواص پایدار در مقایسه با دیگر کانی‌های رسی و قابلیت تکرارپذیری آزمایش‌ها در این خاک است. همچنین فرسایش پذیری کانی کائولینیتی

فرسایش داخلی سبب خرابی سدهای خاکی همراه با یک تخلیه غیرقابل کنترل و فاجعه بار مخزن می‌شود که از آن جمله می‌توان به سد تیتان در امریکا با ۱۱۰ متر ارتفاع که یکی از بزرگترین سدهای تخریب شده در جهان با یک میلیارد دلار خسارت است اشاره کرد [۵].

از جمله اقدامات موثر بر جلوگیری از فرسایش داخلی در سدهای خاکی، استفاده از تثبیت کننده‌ها برای اصلاح پتانسیل فرسایش خاک‌ها است. امروزه استفاده از افزودنی‌های شیمیایی یکی از روش‌های رایج افزایش مقاومت فرسایش خاک‌ها در سازه‌های خاکی است. در سال‌های گذشته افزودنی‌های شیمیایی از قبیل سیمان، آهک، خاکستر بادی، لیگنوسولفونات و سولفات آلومینیوم برای تثبیت خاک‌های فرسایش پذیر استفاده شده است [۶، ۷].

در راستای بررسی فرسایش داخلی و اصلاح خاک‌های مستعد فرسایش، نکته حائز اهمیت استفاده از تثبیت کننده های مدرن به جای استفاده از تثبیت کننده‌های سنتی است. قابل گفتن است که تثبیت کننده‌های مدرن برخلاف نوع سنتی آن‌ها، هیچ گونه تاثیر مخربی روی محیط زیست، سولفاته شدن خاک و همچنین بر ساختار درونی خاک و سازه‌های ساخته شده در مجاورت خاک نخواهند گذاشت. با توجه به دلایل فوق و اهمیت جلوگیری از فرسایش داخلی در سدهای خاکی، این ضرورت را ایجاد می‌کند که مطالعات گسترده‌تری روی تثبیت انواع خاک با تثبیت کننده‌های جدید و کنترل و مهار فرسایش داخلی با راهکارهای ایمن و بی ضرر، پژوهش می‌شود [۸، ۹، ۱۰].

۲. سازوکار تثبیت با پلی وینیل استات

پلی وینیل استات، با فرمول $(C_4H_6O_2)_n$ از اتیلن واکنش یافته با اکسیژن و اسید استیک روی یک کاتالیزور پالادیوم آماده شده است. دارای جرم واحد مولی (gr/mol) ۸۶/۰۹، فاقد حلال آلی، غیرقابل اشتعال و غیر سمی است. همچنین مولکول‌های پلیمر، مانند یک پل، بین

البته علت استفاده از این آزمایش سادگی، کم هزینه بودن و قابل اطمینان بودن نتایج آن در مقایسه با دیگر آزمایش‌ها است [۱۵].

شکل ۲- شماتیک دستگاه آزمایش فرسایش حفره (فل و همکاران ۲۰۰۳)

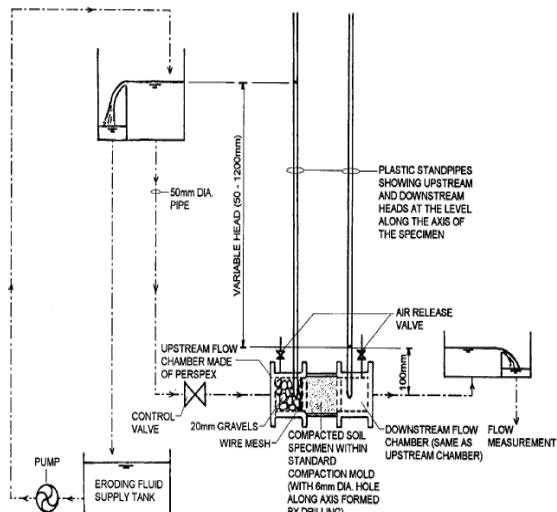


Fig. 2. Schematic diagram of Hole Erosion Test Assembly.

در شکل بالا اجزاء آزمایش HET نشان داده شده است. قسمت مخزن آب بالادست با هد متفاوت از ۵۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر است، قسمت محفظه‌های بالادست و پایین دست و قالب استاندارد تراکم برای قرارگیری نمونه، پیژومترهای نشان دهنده هد آب در محفظه‌های بالادست و پایین دست، مخزن پایین دست با هد ثابت ۱۰۰ میلی‌متر و قسمت ظروف اندازه‌گیری دبی در طول آزمایش است.

۴-۱- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های استفاده شده در آزمایش‌ها بر اساس وزن مخصوص ماکزیمم و درصد رطوبت بهینه آماده می‌شود. برای نمونه‌های تثبیت نشده، ابتدا خاک‌های مورد آزمایش بر اساس درصد رطوبت بهینه تعیین شده در آزمایش تراکم استاندارد، با درصد رطوبت مناسب ترکیب و به وسیله چکش استاندارد خاک مرطوب درون قالب تراکم استاندارد که همان قالب آزمایش فرسایش حفره است در ۳ لایه، مطابق استاندارد آزمایش تراکم ASTM D 698، متراکم کرد. همچنین برای نمونه‌های اصلاح شده با پلی

بیشتر از کانی مونت موریلونیت است، به گونه‌ای که فرسایش پذیری کانی کائولینیتی در حدود ۱۰۰ درصد بیشتر از کانی مونت موریلونیت است [۱۳].

در این پژوهش برای استفاده از نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف مواد ترکیبی پلی وینیل استات چندین آزمایش تراکم براساس استاندارد ASTM D 698 انجام که نتایج نمونه‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- تغییرات درصد رطوبت بهینه و ماکزیمم دانسیته خشک ماسه

رس دار کائولینیتی برای درصد‌های متفاوت پلی وینیل استات

3 %	2 %	1 %	0 %	% As an additive
10.4	10.9	11.7	12.7	Optimum water (%)
1.85	1.86	1.85	1.88	Maximum dry density (gr/cm ³)

Table2. Optimum water content and maximum dry density of Kaolinite clay sand at different percentages of Polyvinyl acetate.

گفتنی است چون مقدار مصرف پلی وینیل استات در ترکیب خاک‌ها برای آزمایش فرسایش ناچیز است بنابراین مقدار مصرف آن تاثیر اندکی روی نتیجه آزمایش تراکم گذاشته است.

۴. آزمایش فرسایش داخلی (HET)

آزمایش فرسایش حفره HET که نوعی از آزمایش مدل فرسایش در طول حفره است، برای مطالعه نرخ فرسایش و تنش برشی هیدرولیکی بحرانی برای شروع فرسایش و ارتباط این دو عامل با دیگر خواص خاک گسترش یافته است. آزمایش یاد شده به عنوان بخشی از برنامه جامع و وسیع پژوهشی روی رگاب و فرسایش داخلی سدها به وسیله فل و همکاران^۲ (۲۰۰۳) ابداع شد. در شکل (۲) تصویری از دستگاه HET نشان داده شده است [۱۴].

آب، نمونه خاک تحت آزمایش فرسایش قرار گرفته و آزمایش شروع می‌شود. در ابتدای آزمایش و در حین آزمایش هواگیری مخازن بالادست و پایین دست بسیار مهم بوده و پر کردن آرام مخازن در این امر مؤثر است.

۵. نتایج و تجزیه و تحلیل

پس از انجام آزمایش فرسایش داخلی روی نمونه‌ها و آنالیز داده‌ها، نمودارهای نرخ توده فرسایش یافته/ زمان، تنش برشی هیدرولیکی/ زمان و در نهایت نمودار تنش برشی هیدرولیکی/ نرخ توده فرسایش یافته بر اساس روابط ۱ و ۲ رسم می‌شود.

$$\tau_t = \rho_w g s_t \frac{\phi_t}{4} \quad (1)$$

که τ_t تنش برشی هیدرولیکی روی سطح سوراخ ایجاد شده در زمان t ؛ $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ ؛ ρ_w چگالی سیال فرسایش دهنده $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ ؛ g شتاب جاذبه $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ ؛ S_t گرادیان هیدرولیکی در طول نمونه خاک در زمان t ؛ ϕ_t قطر سوراخ شکل گرفته در زمان t (m).

نرخ فرسایش در واحد سطح منطقه سوراخ در زمان t مشخص شده با $\varepsilon_t (kg/s/m^2)$ به صورت زیر است [۱۶].

$$\varepsilon_t = \frac{\rho_d}{2} \frac{d\phi_t}{d_t} \quad (2)$$

که ρ_d دانسیته خشک خاک $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ ؛ ϕ_t قطر لوله در زمان t (m) است [۱۷].

بر اساس نمودارهای به دست آمده عددی به نام نرخ فرسایش (Ce) از شیب تقریباً خطی قسمت ثانویه نمودار تنش برشی هیدرولیکی/ نرخ توده فرسایش یافته که در واقع بهترین خط برازش داده شده است تعیین می‌شود (شکل ۴). چگونگی طبقه‌بندی فرسایش پذیری خاک‌ها بر اساس نظر ون و فل^۱ (2003) در جدول (۳) ارائه

وینیل استات ابتدا مقدار مشخص پلی وینیل استات را در مقدار مورد نیاز آب رطوبت تراکم، مخلوط کرده و سپس مخلوط آب و پلی وینیل استات به خاک افزوده می‌شود تا به میزان مطلوب رطوبت تراکم دست یابد. پس از آن نمونه‌ها را در سه لایه در قالب مخصوص آزمایش ریخته و هر لایه را به وسیله چکش استاندارد در ۲۵ ضربه متراکم کرده سپس از خاک جدا شده سر قالب که برای صاف کردن سطح نمونه برداشته شده، نمونه‌ای برای تعیین درصد رطوبت گرفته و وزن قالب و خاک برای تعیین γ_d نمونه، اندازه‌گیری و در نهایت قالب درون محفظه پلاستیکی در بسته قرار داده می‌شود (شکل ۳).

شکل ۳- آماده‌سازی نمونه و قراردادن در قالب مخصوص آزمایش فرسایش حفره



Fig 3. The sample preparations and placing it in the special frame of the Hole Erosion Test.

بر اساس مدت زمان عمل‌آوری نمونه که از ۱ تا ۲۸ روز است نمونه‌ها را از محفظه پلاستیکی خارج کرده و بلافاصله در قسمت مخصوص برای حفر سوراخ ۶ میلی‌متری قرار داده می‌شود. در این قسمت با استفاده از سر مته مخصوص، سوراخ مورد نظر با دقت در نمونه ایجاد می‌شود. پس از این مرحله بلافاصله قالب در محل مورد نظر در دستگاه HET قرار داده می‌شود و در نهایت با باز شدن شیر ورود و خروج

شکل ۵- نمونه ای از نمودار نرخ توده فرسایش یافته در برابر تنش برشی هیدرولیکی

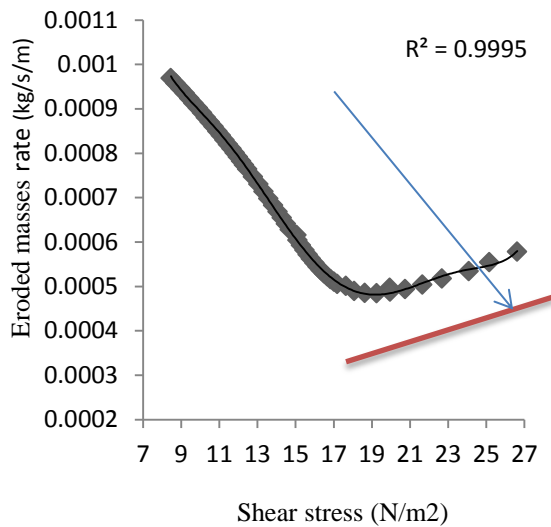


Fig. 5. A Sample of the curve, Eroded mass rate Hydraulic Shear Stress.

در راستای بررسی تاثیر پلی وینیل استات روی ماسه رس دار کائولینیتی، از درصدهای مختلف پلی وینیل استات استفاده شده است که تاثیر مدت زمانهای عمل آوری متفاوت نمونهها و گرا دیانهای هیدرولیکی مختلف پرداخته می شود.

پلی وینیل استات در درصدهای ۱، ۲ و ۳ درصد با ماسه رس دار کائولینیتی ترکیب شده و نمونههای تثبیت شده و نشده در زمانهای یک، هفت، چهارده و بیست و هشت روزه در گرا دیان هیدرولیکی ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی متر آزمایش شد.

در شکل های (۶، ۷، ۸ و ۹) تاثیر پلی وینیل استات بر اصلاح پتانسیل فرسایش خاک ماسه رس دار کائولینیتی در هددهای ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی متر نمونه ۲۸ روزه ارزیابی شد. پلی وینیل استات نمونه ها را تثبیت کرده و با ایجاد یک لایه پلیمری بین ذرات خاک، باعث ایجاد پیوندی پایدار می شود که از جدا شدن و جابه جایی ذرات جلوگیری می کند و باعث کاهش فرسایش خاک می شود.

این دلیل آن است که خاکهای رس دارای فلزهایی مانند سیلیس، آلومین، منگنز و ... است که با الکترونهای پلی وینیل استات واکنش داده و شبکه رویی را کوردیناسیون کرده و باعث همپایگی پیوند می شود. به دلیل جرم مولی بالای پلی

شده است. در این جدول عدد I شاخص نرخ فرسایش بوده که طبق فرمول زیر محاسبه می شود.

$$I = -\log(C_e) \quad (3)$$

مقدار I بین ۰ تا ۶ متغیر است. مقدار کوچک I، دلالت بر فرسایش پذیری سریع تر خاک دارد [۱۷، ۱۸].

جدول ۳- عبارات کیفی برای شاخص نرخ فرسایش، ون و فل (۲۰۰۴)

Group number	Erosion rate index (I)	Description
1	< 2	Extremely rapid
2	20-3	Very rapid
3	30-4	Moderately rapid
4	40-5	Moderately slow
5	50-6	Very slow
6	> 6	Extremely slow

Table3. Qualitative description of rates of progression of internal erosion or piping for soils with specific erosion rate indices (Wan and Fell 2004)

در نهایت با استفاده از فرمولهای ارائه شده، نمودار نرخ توده فرسایش یافته بر حسب زمان (شکل ۴) و نمودار نرخ توده فرسایش یافته در برابر تنش برشی هیدرولیکی (شکل ۵) ترسیم می شود. با توجه به روابط، شاخص نرخ فرسایش (I) از شیب تقریباً خطی قسمت ثانویه نمودار محاسبه می شود.

شکل ۴- نمونه ای از نمودار نرخ توده فرسایش یافته در واحد سطح در واحد زمان

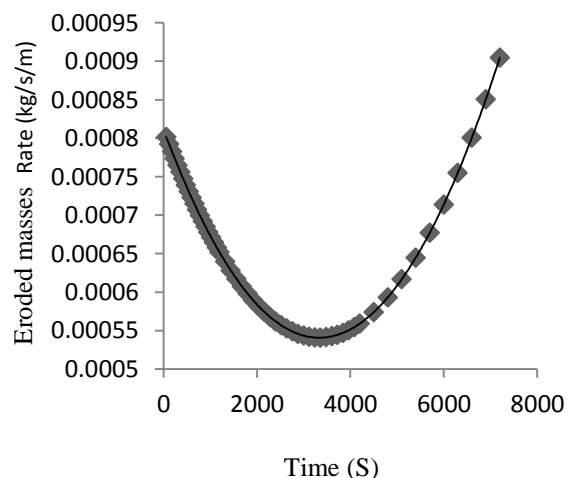
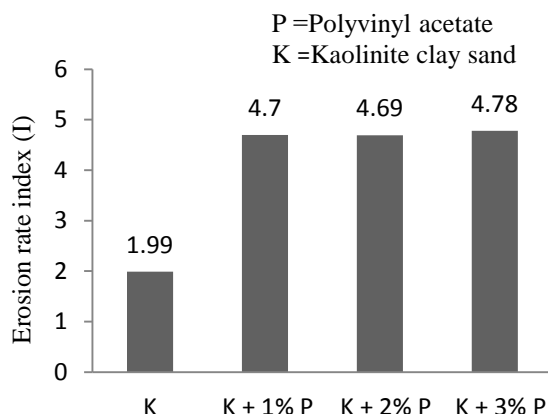


Fig 4. The Sample curve; the rate of eroded mass in area unit with time unit.

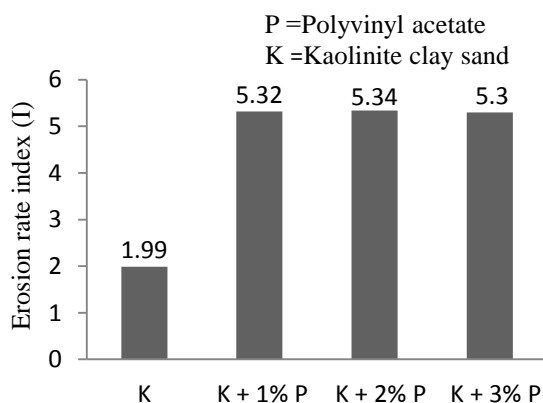
شکل ۸- نمودار مقایسه‌ای شاخص نرخ فرسایش ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در گرادیان هیدرولیکی ۲۰۰ میلی متر



The Percentage of the Mixture of Polyvinyl acetate with Kaolinite clay sand

Fig 8. The Comparative curve of the Erosion rate index of stabilized Kaolinite clay sand with Polyvinyl acetate in 200 mm hydraulic gradient.

شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای شاخص نرخ فرسایش ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در گرادیان هیدرولیکی ۴۰۰ میلی متر



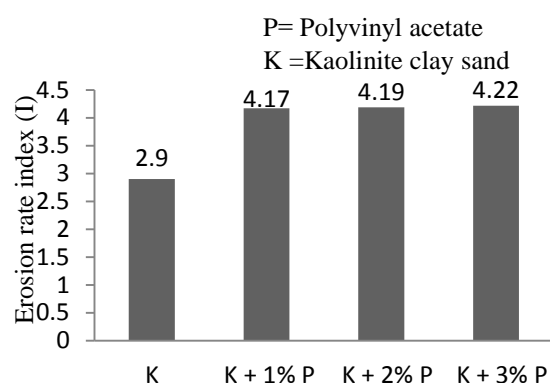
The Percentage of the Mixture of Polyvinyl acetate with Kaolinite clay sand

Fig 9. The Comparative curve of the Erosion rate index of stabilized Kaolinite clay sand with Polyvinyl acetate in 400 mm Hydraulic Gradient.

همچنین مقدار استفاده از پلی وینیل استات در آزمایش‌ها ناچیز است و با وجود مقدار کم، تاثیر چشمگیری در اصلاح پتانسیل فرسایش مصالح داشته است به طوری که با افزودن ۱٪ پلی وینیل استات، فرسایش پذیری ماسه رس دار کائولینیتی از گروه بشدت سریع به گروه نسبتاً آهسته و بسیار آهسته در حالت توصیف کیفی، تقلیل یافته است.

وینیل استات نسبت به آب شسته نشده و به پایداری خاک کمک می‌کند. با افزایش مقدار پلی وینیل استات، از ۱ درصد تا ۳ درصد تغییرات زیادی برای افزایش شاخص نرخ فرسایش و تثبیت خاک، مشاهده نمی‌شود که این در اثر ایجاد یک زنجیره پلیمری بین ذرات و ایجاد پیوندی پایدار، حتی با افزودن ۱٪ پلیمر در ذرات خاک است، که باعث جلوگیری از فرسایش آن می‌شود.

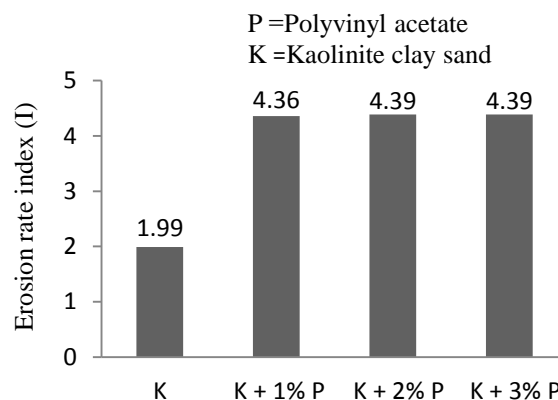
شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای شاخص نرخ فرسایش ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در گرادیان هیدرولیکی ۵۰ میلی متر



The Percentage of the Mixture of Polyvinyl acetate with Kaolinite clay sand

Fig 6. The Comparative curve of the Erosion rate index of stabilized Kaolinite clay sand with Polyvinyl acetate in 50 mm Hydraulic Gradient.

شکل ۷- نمودار مقایسه‌ای شاخص نرخ فرسایش ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در گرادیان هیدرولیکی ۱۰۰ میلی متر



The Percentage of the Mixture of Polyvinyl acetate with Kaolinite clay sand

Fig 7. The Comparative curve of the Erosion rate index of stabilized Kaolinite clay sand with Polyvinyl acetate in 100 mm Hydraulic Gradient.

جلوگیری می‌کند و باعث جدا نشدن و جابه جایی ذرات خاک می‌شود.

به گونه‌ای که در هد ۴۰۰ میلی‌متر تنها با اضافه کردن ۱٪ ماده پلیمری تثبیت کننده به خاک، فرسایش پذیری کیفی از گروه به شدت سریع به گروه بسیار آهسته کاهش یافته است.

شکل ۱۱- نمودار شاخص نرخ فرسایشی ماسه رس‌دار کائولینیتی + ۱٪ پلی‌وینیل استات در گرادیان هیدرولیکی ۱۰۰ میلی‌متر

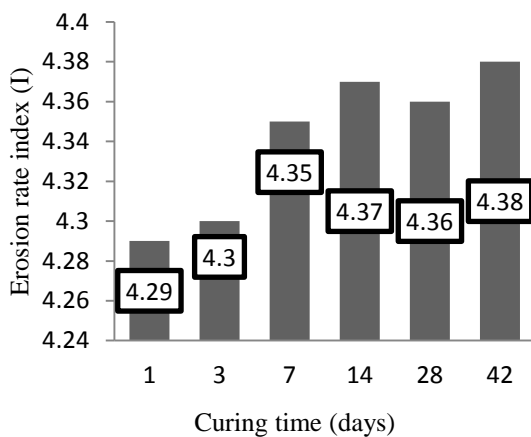


Fig. 11. The Comparative curve of the Erosion Rate Index of stabilized Kaolinite clay sand with 1% Polyvinyl acetate in 100 mm Hydraulic Gradient.

همچنین شکل (۱۱) بیانگر این مطلب است که نمونه‌های تثبیت شده، حتی با گذشت ۱ روز از نظر فرسایشی از گروه به شدت سریع در گروه تقریباً آهسته قرار می‌گیرند و با گذشت مدت زمان عمل‌آوری نمونه‌ها به مرور شاخص نرخ فرسایشی آنها به میزان اندکی افزایش می‌یابد که به نظر می‌رسد این افزایش بعد از چهارده روز روند ثابتی پیدا می‌کند که بیانگر این مطلب است که در روزهای اول بیشتر یون‌های مثبت فلز رس با الکترون‌های پلی‌وینیل استات واکنش داد و کوردیناسیون شده و به پایدار شدن خاک کمک می‌کند و چون پیوند پایدار شده، مشاهده می‌شود با گذشت زمان تغییرات خاصی صورت نمی‌گیرد.

آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری بر اساس استاندارد ASTM D2166 برای تعیین مقاومت تک‌محوری خاک ماسه رس‌دار کائولینیتی تثبیت شده با ۱، ۲ و ۳ درصد پلی‌وینیل استات در زمان‌های عمل‌آوری ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ بررسی شد.

برای بررسی تاثیر مدت زمان عمل‌آوری و تاثیر آن بر فرسایش پذیری و مقایسه زمان‌های مختلف، خاک ماسه رس‌دار کائولینیتی تثبیت شده با درصد‌های مختلف پلی‌وینیل استات را در زمان‌های ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه در گرادیان‌های هیدرولیکی ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر در درصد‌های مختلف پلی‌وینیل استات، آزمایش شد که در شکل (۱۰) اختلاط نمونه ۳٪ پلی‌وینیل استات با ماسه رس‌دار کائولینیتی در هد‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر، در زمان‌های ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه را به تصویر کشیده است. این در حالی است که در شکل (۱۱) نمونه ترکیب شده ۱٪ پلی‌وینیل استات با ماسه رس‌دار کائولینیتی در گرادیان هیدرولیکی ۱۰۰ میلی‌متر نمونه‌های ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روزه بررسی شد.

شکل ۱۰- نمودار مقایسه‌ای شاخص نرخ فرسایش ماسه رس‌دار کائولینیتی تثبیت شده با ۳٪ پلی‌وینیل استات

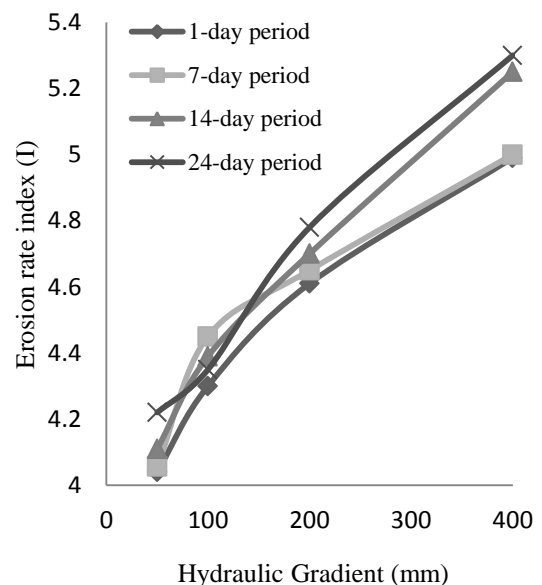


Fig 10. The Comparative Curve of the Erosion Rate Index of stabilized Kaolinite clay sand with 3% Polyvinyl acetate.

این درحالی بود که نمونه‌های ترکیب شده با پلی‌وینیل استات در گرادیان‌های هیدرولیکی بالا مقاومت بیشتری در مقابل فرسایش از خود نشان می‌دهند. دلیل این امر آن است که در گرادیان‌های بالا چون سرعت جریان فرسایش زیاد است، پلی‌وینیل استات با ایجاد یک زنجیره پلیمری بین ذرات خاک و ایجاد یک پیوند قوی از فرسایش به وسیله جریان آب

۶. نتیجه گیری

فرسایش پذیری ماسه رس دار کائولینیتی قابل توجه بوده و براساس طبقه بندی کیفی جزء گروه خاک های با فرسایش پذیری بسیار سریع است.

با اضافه کردن حتی ۱٪ پلی وینیل استات، به خاک فرسایش پذیری خاک تا حدود زیادی کاهش می یابد و از نظر کیفی در گروه فرسایش پذیری تقریبا و بسیار آهسته قرار می گیرد.

شاخص نرخ فرسایش ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در روز اول به شدت افزایش پیدا کرده و به مرور این روند ثابت می ماند.

ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت شده با پلی وینیل استات در گرادیان های هیدرولیکی بالا مقاومت فرسایش پذیری بیشتری از خود نشان می دهد.

با اضافه کردن ۳٪ پلی وینیل استات به ماسه رس دار کائولینیتی، در گرادیان هیدرولیکی ۴۰۰ میلی متر، ضریب فرسایش خاک از ۰/۰۱ به ۰/۰۰۰۰۱ کاهش می یابد.

تثبیت ماسه رس دار با پلی وینیل استات تا حدودی باعث افزایش مقاومت تک محوری نمونه ها شده است همچنین با گذشت زمان و افزایش تا ۲٪ پلی وینیل استات روند افزایش مقاومت تقریبا اندک است این در حالی است که افزودن بیشتر از ۲٪ پلی وینیل استات، باعث کاهش مقاومت شده و خاک به سمت کلوخه ای شدن می رود.

افزودن ۲ درصد پلی وینیل استات به ماسه رس دار کائولینیتی، در نمونه ۲۸ روزه، مقاومت تک محوری خاک را از ۱۲۰ KPa به ۲۰۷ KPa می رساند.

References

- [1] Van Zyl, D; and Harr, M. E; "Seepage erosion analysis of structures"; Proc., 10th Int. Conf. on soil Mech. and found. Engrg., Stockholm, Sweden, (1981), Vol.1, pp503-509.
- [2] Torres, R. L; "Geotechnical engineering Group of Bureau of Reclamation"; Denver, Colorado, Considerations for detection of internal erosion in embankment dams, ASCE, Biennial Geotechnical seminar conference 2008, (2008).
- [3] Sherard, J.L; Decker, R. S; and Ryker, N.L; "Piping in earth dams of dispersive clay"; Proc, Speciality Conf on Performance of Earth and Earth

۷. مراجع:

تغییرات مقاومت تک محوری نمونه های ماسه رس دار کائولینیتی تثبیت نشده و شده (شکل ۱۲) با درصد های متفاوت پلی وینیل استات را نشان می دهد.

شکل ۱۲- نمودار مقایسه ای مقاومت تک محوری نمونه های ماسه رس دار کائولینیتی با پلی وینیل استات در آزمایش مقاومت تک محوری.

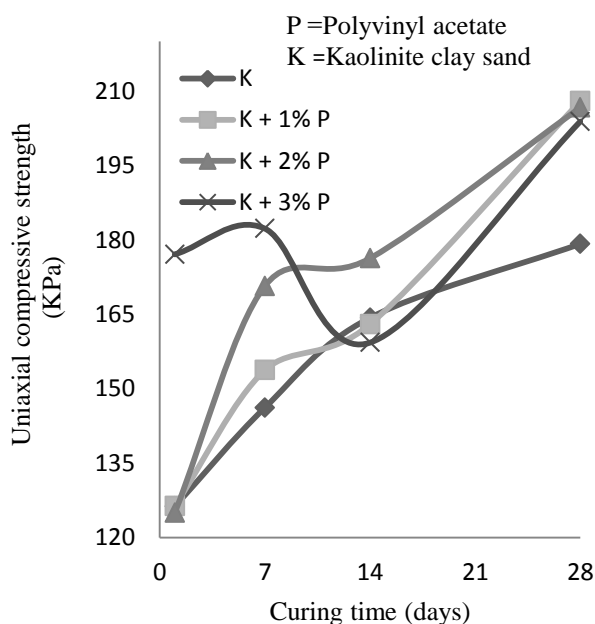


Fig. 12. The Comparative Curve Uniaxial Compressive Strength of Samples of Kaolinite clay sand With Polyvinyl acetate in Uniaxial Compressive Strength Testing.

همان گونه که از نتایج و نمودارها مشخص شده است، با افزودن ۱ و ۲ درصد پلی وینیل استات به ماسه رس دار کائولینیتی، مقاومت تک محوری نمونه ها مقداری افزایش پیدا می کند اما با افزودن ۳ درصد پلی وینیل استات مشاهده شد که در بازه های زمانی یک و هفت روزه مقاومت تک محوری خاک نسبت به نمونه های ۱ و ۲ درصد افزایش داشته و در زمان های ۱۴ و ۲۸ روزه مقداری افت مقاومت تک محوری نسبت به نمونه های ۱ و ۲ درصد مشاهده می شود. این نشان می دهد که با گذشت زمان تمامی یون های مثبت فلز رس با الکتردهای پلی وینیل استات واکنش داده و هر آنچه پلیمر افزوده شود به دلیل آنکه دیگر واکنشی بین خاک و پلیمر روی نمی دهد و خاک به شکل کلوخه ای در می آید به مرور باعث کاهش مقاومت می شود.

- [11] Vyas , S; Phougat, N; Ratnam , M; "Stabilization of Dispersive Soil by Blending Polymers"International Journal of Earth Sciences and Engineering"; ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, (2011), pp 52-54.
- [12] Bolouri-Bazaz, J; Saghafy, H. R; "Properties and behavior of dispersive clayey soil treated by PVA"; International Conference on Geotechnical Engineering, Beirut, (2003).
- [۱۳] خوشخو، م؛ زمردیان، م. ع؛ مخبری، م؛ "تاثیر کانی بتونیت (مونتموریلونت سدیمی) بر فرسایش داخلی در سدهای خاکی"؛ چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، (۱۳۹۰).
- [14] Fell, R; Wan, C; Cyganiewicz, J; Foster, M; "Time for development of internal erosion and piping in embankment dams, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering"; ASCE/April 2003, (2003), Vol129.No4.
- [15] Farrar, J.A; Torres, R; Erdogan I; "Bureau of Reclamation erosion Testing for evaluation of piping and internal erosion of dams"; ASCE,Geo-Denver2007, New Peaks in Geotechnics, (2007).
- [16] Wan C; Fell R; "Investigation of Rate of erosion of soils in embankment dams"; Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering, April1, (2004), Voll30. No4.
- [17] Wan, C; Fell, R; "Laboratory tests on rate of piping erosion of soils in embankment dams"; Geotechnical testing journal, April, (2004), Vol. 27,No.3.
- Supported Structures, (1972), Vol.1. Part 1, ASCE, New York, pp589-626.
- [4] Cole, B.A; Ratanasen, C; Maiklad, P; Liggins, T.B; and Chirapunthu, S; "Dispersive clay in irrigation dams in Thailand"; ASTM Special Technical, (1977), Publication, 623: pp 25-41.
- [۵] کوهیما، ح. ر؛ زمردیان، م؛ "مقایسه تاثیر تثبیت با بتونیت و لیگنوسولفونات، بر کاهش فرسایش پذیری مصالح در سدهای خاکی"؛ دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله - ژئوتکنیک، (۱۳۹۱).
- [6] Foster, M. A; Fell, R; and Spannagle, M; "The statistics of embankment dam failures and Accidents"; Can. Geotech. J., 37~51; (2000a), pp1000-1024.
- [۷] وکیلی، ا. ح؛ زمردیان، م. ع؛ وکیلی، ا؛ آرام، م؛ "ارزیابی پتانسیل واگرایی و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رس واگرایی تثبیت شده با آهک و پوزولان"؛ هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران دانشگاه شیراز، ایران، (۱۳۸۸).
- [۸] کوهیما، ح. ر؛ زمردیان، م؛ "بررسی تاثیر تثبیت کننده های شیمیایی نوین، بر فرسایش داخلی در سدهای خاکی"؛ دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله - ژئوتکنیک، (۱۳۹۱).
- [9] Balasubramaniam, A.S; Bergado, D.T; Buensuceso, B.R. & Yang, W.C; "Strength and deformation characteristics of lime-treated soft clays"; Geotechnical Engineering, 20(1), (1989), pp 49- 65.
- [10] Rollings, R.S; Burkes, M.P; "Sulfate Attack on Cement-Stabilized Sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering"; ASCE,125(5), (1999), pp 364-372.

Effect of polyvinyl Acetate Polymer Stabilizers on Internal Erosion and Strength of Kaolinity Clay Sand

S.M.A. Zomorodian¹, A. Mosadeghi²

1. Associate prof. water Eng. Dept, Shiraz university.

2. M.Sc Civil Eng.

mzomorod@shirazu.ac.ir

Abstract:

The two most common causes of embankment failure are embankment overtopping and internal erosion. Internal erosion of soil resulting from seepage flow is the main cause of serious hydraulic structures (dykes, dams) failure, in terms of the risk of flooding areas located downstream. The erosion characteristics are described by the Erosion Rate Index, which measures the increase in erosion rate with respect to an increase in the hydraulic shear stress; and the Initial Shear Stress, which represents the minimum hydraulic shear stress when erosion starts. The Erosion Rate Index ranges from 0 to 6, indicating that the changes in erosion rates in response to changes in hydraulic shear stress can differ by up to 106 times across different soils. Coarse-grained, noncohesive soils, in general, erode more rapidly and have lower Initial Shear Stresses than fine-grained soils. The challenge in predicting failure due to internal erosion is characterizing the material properties relevant to the rate of failure. Therefore, it is very important to improve the erosion resistance of soils using appropriate and cost effective techniques. In order to control internal erosion and treat erodible soil, the important point is to use modern stabilizers instead of traditional ones which are harmful. In this study, polyvinyl acetate polymer material has been used as a treatment for the erodibility of kaolinity clay sand. To conduct this research, kaolinity clay sand has been treated with different percentages of polyvinyl acetate polymer and it has been tested with hole erosion apparatus in different hydraulic gradients. The hole erosion test (HET) is one of several available procedures for characterizing the erodibility of cohesive soils that might be susceptible to internal erosion, in dams and levees. It was first developed in a constant-flow configuration (Lefebvre et al. 1984) and more recently in a constant-head configuration by Wan and Fell (2004). The HET utilizes an internal flow through a hole pre-drilled in the specimen, a flow condition similar to that occurring during piping erosion of embankment dams. In the constant-head configuration, the test head is typically doubled, starting from 50 mm, until progressive erosion of the pre-drilled hole is produced. Measurements of accelerating flow rate through an eroding pre-drilled hole in a test specimen yield estimates of the critical shear stress and erosion rate coefficient. The initial and final eroded hole diameters are used to compute initial and final friction factors, and intermediate hole diameters are then computed according to the flow rates measured during the course of the test. Result showed that the erosion rate of kaolinity clay sand is extremely rapid and polyvinyl acetate polymer stabilizer increased the resistance of kaolinity clay sand to erosion. It was also found out that with the addition of polyvinyl acetate polymer, the erosion type changes from extremely rapid to moderately slow. Adding polyvinyl acetate polymer caused the unconfined compression strength of kaolinity clay sand to increase by 60%.

Keywords: earth dam, internal erosion, kaolinity clay sand , stabilizer, polyvinyl acetate polymer.