



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

نفوذپذیری هیدرولیکی رس دریایی تثبیت شده با سیمان به همراه متاکائولین و ارتباط آن با توزیع اندازه حفرات

چکیده:

متاکائولین (MK) که بطور گسترده برای مخلوط‌های بتن با دوام (HPC) مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای بهبود رفتار نفوذپذیری رس‌های نرم تثبیت شده با سیمان اضافه می‌شود که هنگام تحلیل نفوذپذیری و تحکیم زمین‌هایی که با روش اختلاط عمیق اصلاح شده‌اند و تراوش‌های آب‌های زیرزمینی و حرکت آلاینده‌ها در پرده‌های آب‌بند که بوسیله روش تزریق اصلاح شده‌اند، نقش کلیدی را ایفا می‌کند.

به‌منظور تأثیر MK بر روی نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های تثبیت شده با سیمان، دیوار انعطاف‌پذیر نفوذسنج ایجاد شد و آزمایش‌های نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های تثبیت شده با سیمان پورزیمتری جیوه (MIP) انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که افزودن آن می‌تواند هنگامی که مقدار MK به ۳ تا ۵ درصد که متناسب با تخلخل کمتر کل و قطر حفرات می‌باشد، برسد، نفوذپذیری هیدرولیکی را ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کاهش می‌دهد. خاک‌های تثبیت شده با سیمان تنها مختص خاک‌های خاص مهندسی ژئوتکنیک نیست. بلکه متعلق به مصالح مسلح شده با سیمان نیز می‌باشد که بطور مفصل‌تر هنگامی که نفوذپذیری هیدرولیکی این مصالح مختلط (رس، خاک‌های تثبیت شده با سیمان، چسب‌های سیمانی و بتن‌ها) در میان باشد، بحث می‌شود. نتایج نسبت مناسبی بین نفوذپذیری هیدرولیکی، نسبت تخلخل و متوسط قطر حفرات را برای مصالح نظیر رس تا بتن را نشان می‌دهد. و نفوذپذیری هیدرولیکی بصورت کیفی با افزایش نسبت تخلخل و متوسط قطر حفرات برای رس‌ها، خاک‌های سیمانی شده و چسب‌ها و بتن‌ها افزایش می‌یابد. پس از چندین تلاش متغییر ترکیبی ND^{250} برای نرمالیزه کردن مشخصات ماکرو و میکرو تخلخل انتخاب شد. و رابطه نسبتاً منحصربه‌فردی برای نشان دادن نفوذپذیری هیدرولیکی این مصالح پیشنهاد شد.

کلسینه شدن کاتولینیت در دمای ۵۵۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس یک ترکیب سیلیکا آمورف تولید می‌کند، که یک پازولان آلومینوسیلیکات بسیار واکنش‌پذیر است (2010 Janotka et al) و معمولاً به عنوان افزودنی معدنی سیمانی و بتن استفاده می‌شود (Caldarone, Qian and Li, 2001; Vejmelková et al., 2010), Wild and Khaitib (1996), Curcio et al (1994), et al (1998) و Poon et al (2001). به این نتیجه رسیدند که MK به وضوح می‌تواند مقاومت اولیه و مقاومت یک دوره از پیش تعیین شده را هم برای ملات و هم برای بتن افزایش دهد. Boddy et al (2001) و Gruber et al (2001) به این نتیجه رسیدند که نفوذپذیری یون Cl^- بتن به همراه MK بشدت کاهش می‌یابد که به معنی دوام بهتر بتن زیر محیط آبی می‌باشد. Cassagnabère et al (2011) مقاومت و دوام ملات‌ها با سیمان خالص و با مخلوط‌های سه گانه (سیمان + سرباره + متاکاتولین) به منظور جذب آب و نفوذپذیری اکسیژن بررسی کردند و تأثیر MK و دوستار محیط زیست بودن آن را تأیید کردند.

علاوه بر این‌ها مطالعات گذشته کارایی و تأثیرپذیری MK در بتن و ملات‌ها را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که MK همان‌گونه که Kolovos et al (2013) و Zhang et al (2014) کاربرد آن را در پروژه‌های دوغاب ریزی و اختلاط عمیق گزارش داده‌اند، در رس‌های تثبیت شده با سیمان نیز استفاده می‌شود. روش بهسازی عمیق یک نوع روش بهسازی دیگری است که برای اصلاح رس‌های نرم استفاده می‌شود و در چین، ژاپن و اروپا بطور گسترده استفاده می‌شود. که در آن رس نرم و سیمان (بصورت پودر و دوغاب) داخل دستگاه در محل مخلوط می‌شوند. در طراحی روش اختلاط عمیق، مقاومت و نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های سیمانی باید در نظر گرفته شود. تأثیر MK بر مقاومت خاک‌های سیمانی گزارش شده است (Zhang et al (2014)) اما تأثیر MK بر نفوذپذیری هیدرولیکی بطور کامل مشخص نیست و نیاز به مطالعه بیشتر دارد. تحقیقات گذشته درباره نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌ها و رس‌های تثبیت شده با سیمان خالص ممکن است بر این مطالعه ما کمک کند. Terashi و Tanaka (1983) به این نتیجه رسیدند که با کاهش مقدار سیمان کاهش می‌یابد در حالیکه Chew et

al (2004) پیشنهاد داد که نفوذپذیری هیدرولیکی باید همراه با نسبت تخلخل باشد. آزمایشات Broderic and Daniel (1990) و Locat et al (1996) و Bergado و Lorenzo (2006) نتایج Chew et al (2004) را تأیید کردند. قابل ذکر است جدا از رابطه نفوذپذیری هیدرولیکی و نسبت تخلخل که برای یک نوعی از خاک‌های سیمانی وجود دارد، روابط آماری هنگامی که تمامی داده‌ها جمع‌آوری می‌شود نتایج پراکنده‌ای به ما می‌دهد.

بعلاوه یک رابطه واحدی بین نفوذپذیری هیدرولیکی و نسبت تخلخل و حتی گسیختگی خاک وجود ندارد، همان‌گونه که Tavenas et al (1983) درباره این نوع رس‌ها بحث کرد. برای بدست آوردن رابطه برای رس‌ها، بر طبق نظریه Poiseuille توزیع اندازه حفرات میکرو برای جریان آرام در یک محیط متخلخل در نظر گرفته شد (Childs and Collis-George, 1950) و چندین مدل برای این منظور ایجاد شد (مدل‌های مویرگی، مدل هیدرولیکی شعاع، مدل احتمالاتی، خلاصه شده توسط Lapierre و همکاران (1990)). از آنجاکه توزیع اندازه حفرات که از آزمایش نفوذ پروزیمتری جیوه (MIP) بدست آمده نشان دهنده مشخصات اندازه حفره‌های ورودی و حجم کل حفرات می‌باشد، برای تحلیل‌های بیشتر باید پارامترهای مشخص کننده توابع باید انتخاب شوند که Tanaka et al (1979), Juang and Holtz (1986) و Garcia-Bengochea et al (1986) و Tanaka et al (2003) کارهای ارزنده‌ایی در این ارتباط انجام دادند. که در میان آنها (Tanaka et al (2003) یک رابطه ساده متغییر ترکیبی (nD_{50}^2 که n تخلخل خاک D_{50} متوسط قطر حفرات ورودی هنگامی که ۵۰ درصد جمع کل حفرات از آزمایش MIP بدست آید، می‌باشد) پیشنهاد داد و تلاش کرد تا رابطه واحدی برای نفوذپذیری هیدرولیکی رس‌ها ارائه دهد. هنگامی که خاک‌های سیمانی با و یا بدون MK می‌توانند بصورت خاک‌های خاص و مواد مسلح شده سیمانی دسته‌بندی شوند، کاربردی که عبارات تجربی نفوذپذیری هیدرولیکی رس‌ها و خاک‌های تثبیت شده با سیمان و بتن‌ها نیاز به بررسی بیشتر دارد.

برای درک نفوذپذیری خاک‌های سیمانی و تأثیر MK بر نفوذپذیری هیدرولیکی، در ابتدا سیمان پرتلند معمولی (OPC) و MK آماده شده و با نسبت‌های جرمی مختلف با هم مخلوط شدند و سپس این مخلوط با رس دریایی

Lianyungang (نوعی رس دریایی که معمولاً در شرق چین رسوب می کنند (Deng et al., 2014) برای دستیابی به رس تثبیت شده با سیمان مخلوط شد. بعد از عمل آوری با توجه به استاندارد در ASTM D1632 (2007)، آزمایشات MIP و نفوذپذیری برای بررسی تأثیر MK و ریز حفرات بر نفوذپذیری هیدرولیکی انجام گرفت. سپس داده‌های نفوذپذیری هیدرولیکی و توزیع اندازه حفرات رس‌ها، خاک‌های تثبیت شده سیمانی، چسب‌ها و بتن‌های سیمانی جمع آوری و بحث شد و این عبارات تجربی بطور آماری ارزیابی شد، که می‌تواند برای پیش‌بینی و دانستن مکانیزم رفتار نفوذپذیری این نوع مصالح استفاده شود.

۲ مصالح و روش‌های آزمایش

۱.۲ مصالح

رس Lianyungang یک نوع رسوب دریایی کوارتزی است، که بطور گسترده در مناطق ساحلی شرق استان جیانگ سو در شرق چین توزیع شده‌اند. مقدار آب، حساسیت و فشردگی این مصالح بسیار زیاد است، درحالی‌که مقاومت و نفوذپذیری آنها کم است (Deng et al., 2014). خواص اولیه نمونه‌های خاک انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است. قابل ذکر است حد روانی و حد خمیری و مقدار آب طبیعی رس‌های دریایی به ترتیب ۵۸٫۸، ۲۷٫۲ و ۶۱٫۵ درصدی می‌باشد، و خاک از نوع حد روانی بالا با توجه به نمودارهای پلاستیسیته (ASTM D2487-11) طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۱).

Table 1
Physical properties of soft clay.

Water content (%)	Wet density (kN/m ³)	Specific density G _s	void ratio e	Particle size distribution (%)			Liquid limits W _L (%)	Plastic limits W _p (%)
				sand	silt	clay		
61.5	16.8	2.70	1.68	2.6	43.9	53.5	58.8	27.2

جدول 1

تحلیل‌های نیمه کمی کانی با انکسار اشعه X انجام گرفت و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. کانی‌های موجود شامل کوارتز (23.2٪)، پلاژیوکلاز (15.6٪)، فلدسپات (4.1٪)، کلسیت (12.1 درصد) و رس (45.0٪) اندازه ذرات کمتر از 2µm بودند. ذرات رس‌ها شامل کائولینیت، ایلیت، کلوریت و کانی رس لایه‌ای مخلوط ایلیت/اسمکت به ترتیب با درصدهای ۱۳، ۲۹، ۱۴ و ۴۴ درصد بودند.

Table 2
Mineral composition of Lianyungang marine clay.

Total mineral (%)					Clay mineral (%)			
Quartz	Feldspar	Plagioclase	Calcite	Clay content	Illite	Kaolinite	Chlorite	Illite/smectite
23.2	4.1	15.6	12.1	45.0	29	13	14	44

جدول 2

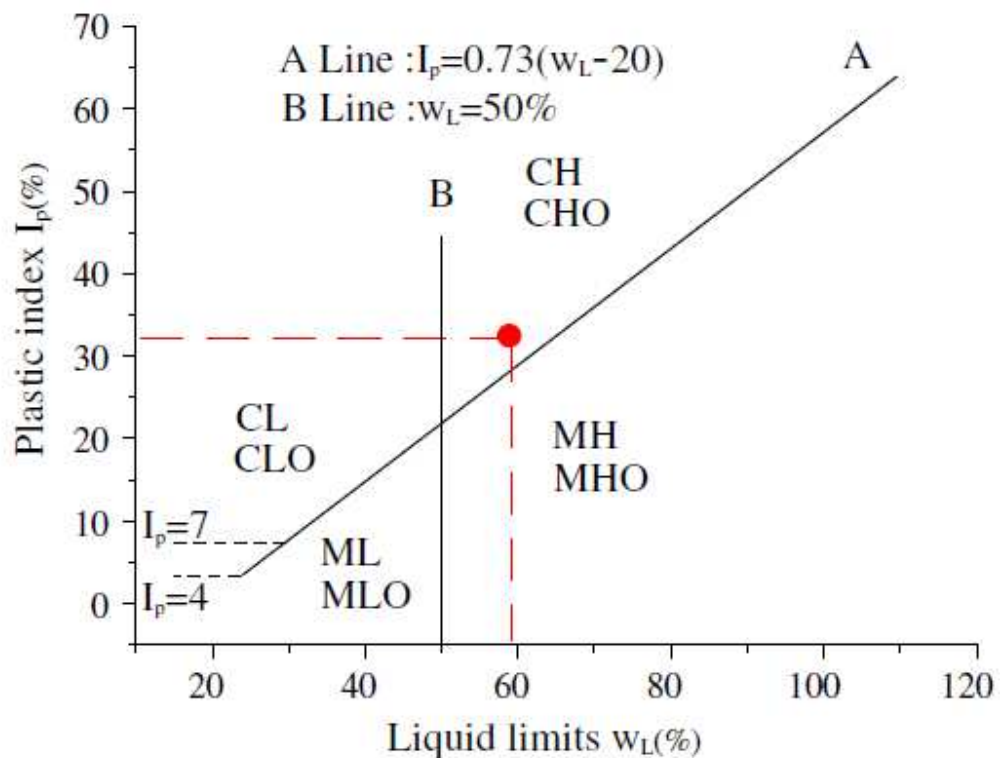


Fig. 1. Plasticity chart (ASTM:D2487-11).

شکل 1

جدول ۳ نشان دهنده اکسیدهای سیمان پرتلند معمولی (OPC 42.5 R/N) و متاکائولین (Metamax from BASF German) می‌باشند. قابل ذکر است که سیمان پرتلند معمولی استفاده شده در این مطالعه طبق راهنمای استاندارد سیمان اروپا (EN 197-1) می‌باشد، که ملزم می‌دارد تا نسبت CaO به SiO_2 باید بیشتر از ۲ باشد و مقدار MgO نباید بیشتر از ۲ درصد باشد. مقدار کل SiO_2 و Al_2O_3 در MK تقریباً برابر ۹۲ درصد می‌باشد و متوسط اندازه ذرات کمتر از $4 \mu m$ و سطح مخصوص حدوداً $10 M^2/g$ می‌باشد.

Table 3
Oxides composition of ordinary Portland cement and metakaolin.

Oxide content (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Loss on ignition
OPC	19	6.5	65	3.2	2.5	0.8	0.5	0.4	2.1
MK	52	40	1.0	2.5		0.8	0.5		

جدول 3

۲.۲ آماده‌سازی نمونه

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، رس دریایی انتخاب شده در ابتدا باید در دمای ۳۰ درجه سلسیوس خشک شود و سپس آب تا زمانی اضافه می‌شود که مقدار آب به ۷۰ درصد (حدوداً $W_{1,2}$) برای شبیه‌سازی بدترین حالت ممکن برسد. بعد از یک روز عمل‌آوری OPC (مقدار نسبت سیمان به خاک مرطوب ۱۲ و ۱۵ درصد) و MK (مقدار MK به خاک مرطوب ۰، ۱، ۳، ۵ درصد) با خاک‌های آماده شده مخلوط می‌شوند. سپس چسب MK-رس سیمان مخلوط شده به داخل یک قالب پلاستیکی با پوشش قابل جدا شدن در دو طرف تزریق می‌شود، که mm ۱۰۰ طول و mm ۵۰ قطر دارد. بعد از ۲۴ ساعت اول عمل‌آوری، نمونه‌های خاک سیمانی از قالب جدا می‌شوند، در کیسه‌های پلی‌اتیلن پیچیده می‌شود و در یک اتاق استاندارد با ۹۵ درصد رطوبت و دمای 20 ± 2 درجه سلسیوس ذخیره می‌شوند. بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری نمونه‌ها به داخل دستگاه نفوذسنج برای تعیین نفوذپذیری هیدرولیکی

برده می‌شوند و سپس برای تعیین توزیع اندازه حفرات آزمایش نفوذپذیری جیوه انجام می‌شود. خواص خاک‌های تثبیت شده بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری در جدول ۴ ارائه شده است که شامل مقدار آب، چگالی، نسبت اختلاط و تخلخل می‌شود. قابل‌ذکر است که وزن مخصوص خاک تثبیت شده سیمانی، که پارامتر اصلی استفاده شده برای محاسبه نسبت تخلخل و تخلخل می‌باشد، هم اندازه خاک اصلی در نظر گرفته می‌شود. که در اینجا ۲,۷ در نظر گرفته می‌شود زیرا مطالعات گذشته نشان می‌دهد که سیمان اضافه شده بر وزن مخصوص تأثیری ندارد (Pakbaz and Alipour, 2012).

Table 4
Properties of stabilized soils after 28 days curing.

Sample	Water content w (%)	Density (kN/m ³)	Void ratio ^a e _w (-)	Porosity ^b n (-)	Hydraulic conductivity (cm/s)	V _m (mL/g)	Void ratio ^c e _M (-)	e _M /e _w	D ₅₀ (nm)
C12MK0	57.9	16.6	1.57	0.611	9.97E-09	0.473	1.277	0.81	69.8
C12MK1	56.5	16.8	1.51	0.602	5.85E-09	0.455	1.229	0.81	65.9
C12MK3	51.3	16.9	1.42	0.587	1.09E-09	0.428	1.156	0.81	62.9
C12MK5	50.1	16.8	1.41	0.585	1.05E-09	0.425	1.148	0.81	56.5
C15MK0	53.6	16.5	1.51	0.602	5.83E-10	0.442	1.193	0.79	77.1
C15MK1	53.3	16.6	1.49	0.598	3.53E-11	0.437	1.180	0.79	47.2
C15MK3	48.2	16.8	1.38	0.580	1.39E-11	0.404	1.091	0.79	38.3
C15MK5	47.5	16.8	1.37	0.578	1.08E-11	0.402	1.085	0.79	40.1

^a e_w determined by water content with the expression $e_w = \frac{G_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1$ where G_s is the specific gravity of soils, selected as 2.70 in this case, w is the water content, ρ_w and ρ are the densities of water and soils.

^b The relationship between the void ratio and porosity is $n = e/(1 + e)$.

^c e_M defined as the ratio of mercury intrusion volume V_m to soil solid volume V_s and determined with the expression $e_M = V_m G_s$.

جدول ۴

۳.۲ آزمایش نفوذپذیری هیدرولیکی

همان‌گونه که نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های سیمانی نسبتاً کم معمولاً کمتر از 10^{-8} cm/s می‌باشد و ثابت و متغیرهای متداول هد نفوذسنج را نمی‌توان بطور مستقیم در نظر گرفت. در این مطالعه سل محوری به عنوان نفوذسنج همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده با توجه به استاندارد ASTM standard (D5084-10) طراحی می‌شود. در طول آزمایش فشار محفظه σ_3 به ۵۰۰ Kpa و فشار تراوش σ_1 ، ۴۰۰ Kpa تنظیم شد. قابل‌ذکر است که تقریباً هیچ تغییر حجمی هنگامی که فشار محفظه به ۵۰۰ Kpa رسید رخ نداد زیرا مقاومت نمونه‌ها تقریباً بیش از ۱ Mpa بود و تنش پیش تسلیمی تضمینی بیش از ۳ تا ۵ MPa بود. پس از اینکه

نمونه‌ها در جای خود قرار داده شد، نفوذپذیری آغاز شد و آب خارج شده هر ۲ ساعت جمع‌آوری و وزن شد. لازم به ذکر است که ارتفاع این نمونه‌ها برای کاهش مسیر تراوش بدلیل کاهش نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های تثبیت شده با ۱۵ درصد سیمان به ۸ cm کاهش یافته است. به عبارت دیگر گرادیان هیدرولیکی نمونه‌ها با ۱۲ درصد سیمان برابر ۵۰۰ است، درحالی‌که با ۱۵ درصد سیمان برابر ۱۳۳۳ می‌باشد. همچنین علاوه بر گرادیان هیدرولیکی بالای خاک‌های تثبیت شده با ۱۵ درصد سیمان، آزمایش نفوذپذیری خوب کار می‌کند و جریان خطی مشاهده شده است.

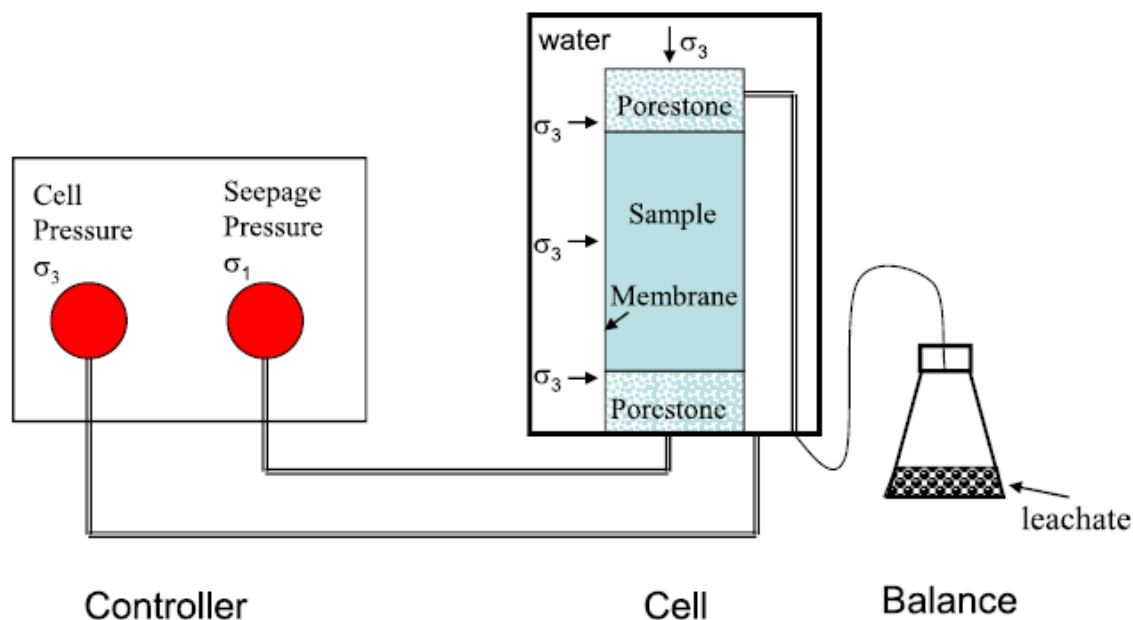


Fig. 2. Sketch of permeameter.

شکل 2

با قانون دارسی نشان داده شده در معادله ۱ نفوذپذیری هیدرولیکی می‌تواند محاسبه شود:

$$K=q/(Ai)$$

که در آن q حجم خروجی آب به زمان (m^3/s) ، A مساحت نمونه (m^2) و i گرادیان هیدرولیکی می‌باشد.

نفوذپذیری هیدرولیکی اندازه‌گیری شده به جدول ۴ اضافه شده است.

۴.۲ نفوذپذیری پوروزیمتری جیوه (MIP)

MIP یک روش برای تعیین توزیع اندازه حفرات مصالح متخلخل بر اساس یک رابطه واحد بین فشار نفوذ و قطر معادل حفرات پیشنهاد شده توسط Washburn (1921) می‌باشد:

$$D = -(4 \gamma \cos(\theta)) / p$$

که D قطر حفره، γ کشش سطحی جیوه، θ زاویه تماس و p فشار اعمالی می‌باشد. در این مطالعه زاویه تماس 140° درجه سلسیوس و کشش سطحی جیوه 0.480 N/m پیشنهاد شده است. زیرا محدوده فشار نفوذ با توجه به PoreMaster-60 (by Quantachrome Corporation USA) بین 3.7 تا 241.1 MPa می‌باشد و اندازه‌های حفرات اندازه‌گیری شده نیز بین 0.1005 تا $340 \mu\text{m}$ می‌باشد. در این مطالعه ۸ نمونه (با ۱۲ و ۱۵ درصد سیمان با MK های ۰، ۱، ۳ و ۵ درصد بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری) مورد آزمایش قرار گرفت و میانگین پارامترهای منحنی‌های اندازه توزیع حفرات در جدول ۴ آورده شده است.

قابل ذکر است نمونه‌ها برای حداقل کردن انقباض خاک‌های سیمانی قبل از آزمایشات MIP با خلأ خشک شده‌اند. تکه‌های کوچک نمونه‌ها در ابتدا در اندازه و شکل مناسب بریده شد و سپس در نیتروژن مایع برای انجماد آنی (-196° درجه سلسیوس) غوطه‌ور شد. سپس نمونه یخ زده فوراً به محفظه خلأ به خشک‌کن یخ‌زدگی برای تصعید برده می‌شود، که به مدت ۲۴ ساعت ادامه دارد (Penumadu and Dean, 2000).

۳ نتایج

۱.۳ نفوذپذیری هیدرولیکی

شکل ۳ و ۴ وابستگی زمانی خارج شدن جرم تحت گرادیان هیدرولیکی کنونی خاک‌های سیمانی را نشان می‌دهد که در آن $c12mk3$ نشان دهنده نمونه با ۱۲ درصد سیمان و ۳ درصد MK است. قابل ذکر است زمان تراوش نمونه‌های با ۱۲ درصد سیمان ۵۰ ساعت طول می‌کشد در حالیکه با ۱۵ درصد سیمان ۱۲۰ ساعت طول می‌کشد. همچنین گرادیان هیدرولیکی برای ۱۵ درصد سیمان حدوداً ۲.۶ برابر با ۱۲ درصد سیمان می‌باشد، که به معنای

نفوذپذیری کم خاک‌ها با مقدار سیمان زیاد می‌باشد. نفوذپذیری هیدرولیکی را می‌توان با معادله ۱ محاسبه کرد و q (خروج جرم به زمان) که با شیب منحنی بدست می‌آید.

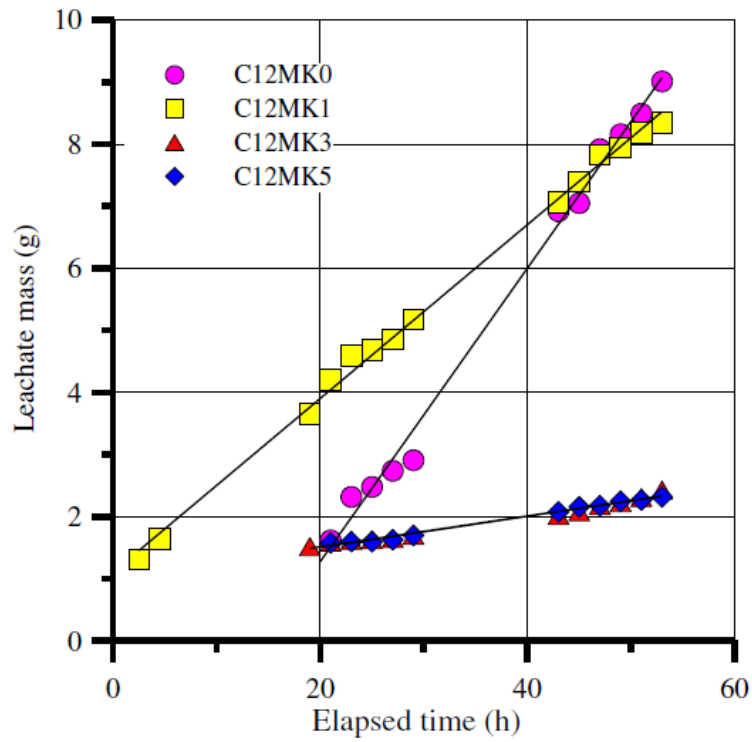


Fig. 3. Leachate mass of stabilized soils with 12% cement content

شکل 3

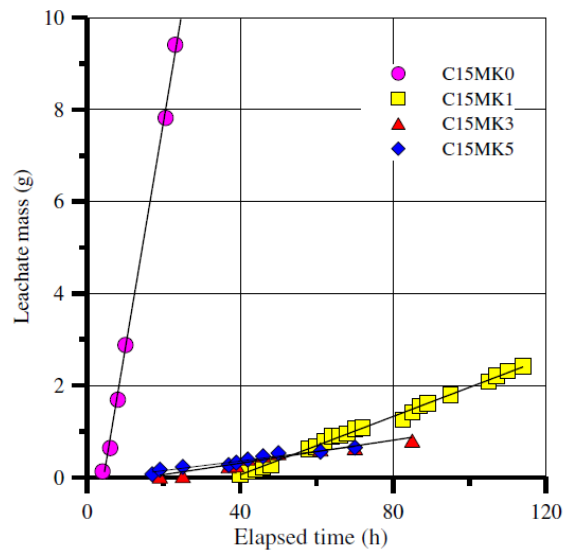


Fig. 4. Leachate mass of stabilized soils with 15% cement content

شکل 4

شکل ۵ تأثیر MK را بر نفوذپذیری هیدرولیکی را برای نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های سیمانی را نشان می‌دهد که افزودن MK به مقدار زیاد نفوذپذیری هیدرولیکی را کاهش می‌دهد. که برای ۱۲ درصد سیمان از 10^{-8} cm/s به 10^{-9} cm/s کاهش می‌یابد و برای مقدار ۱۵ درصد سیمان از 10^{-9} cm/s به 10^{-11} cm/s هنگامی که مقدار MK به ۵ درصد می‌رسد، کاهش می‌یابد. قابل ذکر است که هنگامی که مقدار MK بیش از ۳ درصد است سرعت کاهش نفوذپذیری هیدرولیکی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، مقدار بهینه MK از نظر تأثیر بر کاهش در این مطالعه ممکن است ۳ درصد باشد. همچنین باید ذکر شود که افزایش مقدار سیمان نیز نفوذپذیری هیدرولیکی را کاهش می‌دهد که با نتایج رس بانکوک سیمانی که توسط Lorenzo and Bergado (2006) انجام شده سازگار می‌باشد.

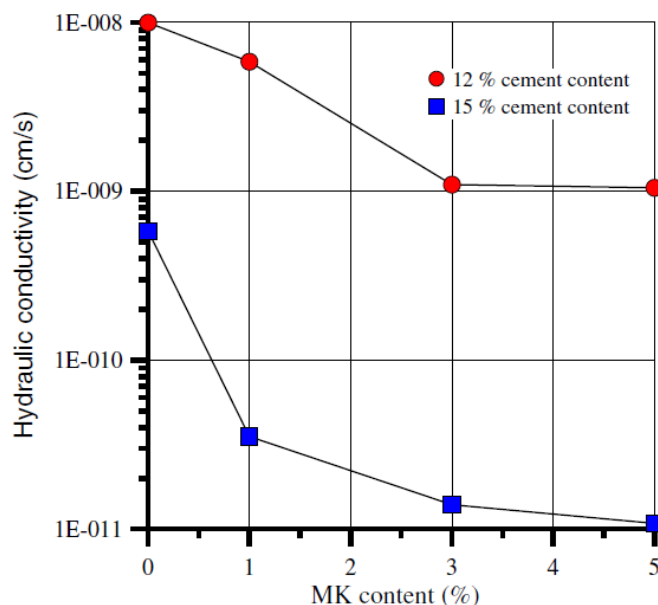


Fig. 5. MK effect on the hydraulic conductivity of stabilized soils.

شکل 5

۲.۳ توزیع اندازه حفرات

از آنجاییکه افزودن MK بطور مؤثر رفتار نفوذپذیری خاک‌های سیمانی را کاهش می‌دهد، توزیع اندازه حفرات میکرو آنها توسط نفوذپذیری پوروزیتی جیوه مورد بررسی قرار گرفته شده است. شکل ۶ و ۷ منحنی‌های حجم نفوذپذیری تجمعی جیوه بر گرم خاک (V_m) و حجم نفوذ تفاضلی بر قطر حفرات ورودی خاک‌های تثبیت شده با مقدار ۱۲ درصد و ۱۵ درصد سیمان را بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که حجم تجمعی نفوذ برای خاک‌های با ۱۲ درصد سیمان بین 0.473 ml/g تا 0.425 ml/g می‌باشد و برای خاک‌های با ۱۵ درصد سیمان بین 0.442 ml/g تا 0.402 ml/g می‌باشد. جالب است که حجم تجمعی با مقدار سیمان و MK کاهش می‌یابد و نقطه ماکزیمم منحنی حجم نفوذ تفاضلی ($dV_m/d\log D$) به سمت قطر حفره کمتر حرکت می‌کند. این بدین معنی است که مقدار MK نه تنها با حجم تجمعی کاهش می‌یابد بلکه توزیع اندازه حفرات را نیز تغییر می‌دهد. بعلاوه نسبت، نسبت تخلخل تعیین شده بوسیله حجم نفوذ تجمعی (Θ_m) و بوسیله مقدار آب (Θ_w) که در محدوده 0.79 تا 0.81 می‌باشد، بدین معنی که حجم حفرات تعیین شده بوسیله مقدار آب حدوداً

۱,۲ برابر بیشتر از بدست آمده بوسیله حجم جیوه می‌باشد، که با نتایج رس stiff Boom که توسط Nguyen et al (2013) بدست آمد، سازگار است که در آن این را در نظر گرفته بود که تکنیک MIP تنها می‌تواند محدوده‌ی محدودی از اندازه حفرات ۰/۰۰۵ تا ۳۴۰ μm با قطر ورودی آشکار جیوه D (که برابر با فشار بین ۳/۴ تا ۲۴۰ MPa می‌باشد) را پوشش می‌دهد. همچنین ذکر شد که نقطه ماکزیمم منحصربه‌فرد منحنی لگاریتمی نفوذ تفاضلی خاک‌های تثبیت شده سیمانی (شکل ۶ و ۷) متناسب با مشاهدات متداول برای چسب‌های سیمانی و بتنی می‌باشد ((Roy et al., 1993; Cook and Hover, 1999).

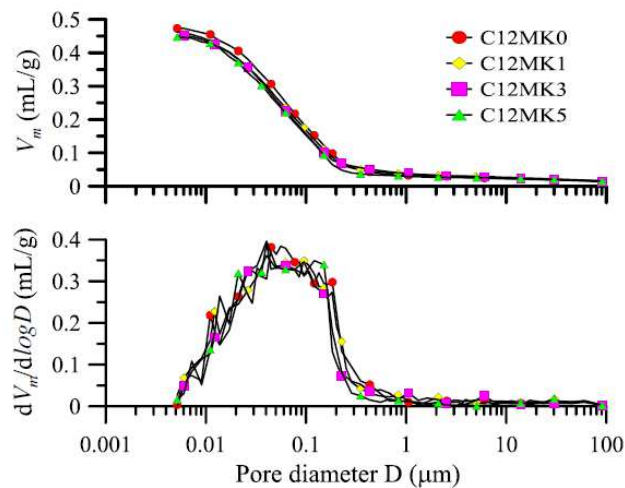


Fig. 6. MIP results of stabilized soils with 12% cement content.

شکل 6

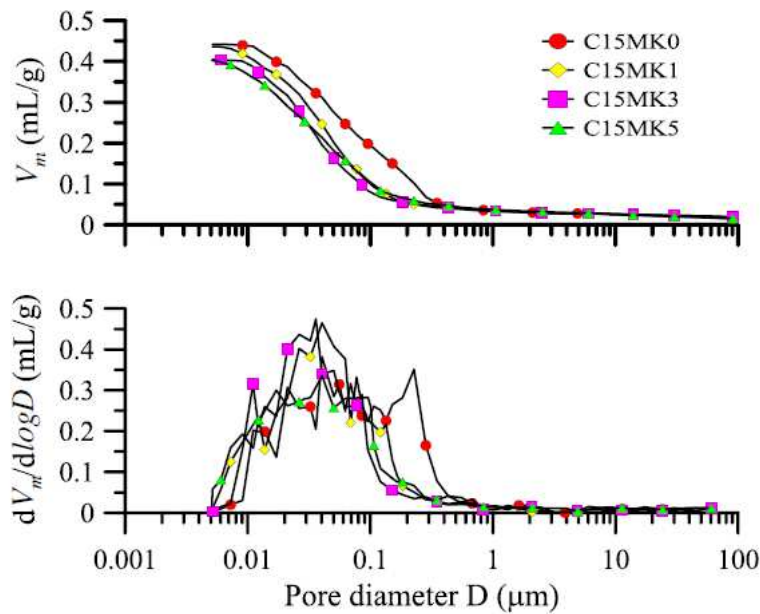


Fig. 7. MIP results of stabilized soils with 15% cement content.

شکل 7

۳.۳ تأثیر حفرات ریز بر نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های سیمانی با MK

نفوذپذیری هیدرولیکی و توزیع اندازه حفرات رابطه ذاتی را هنگامی که بررسی دقیق بر خواص جدول ۴ انجام شود، بدست می‌دهد. با توجه به مطالعات موجود، نسبت تخلخل e ، D_{50} و nD_{50}^2 به عنوان نماینده مشخصات حفره‌های میکرو انتخاب شدند و نتایج در شکل ۸ مورد بحث قرار گرفته شده است. واضح است که نفوذپذیری هیدرولیکی K می‌تواند بصورت زیر بیان شود (R ضریب همبستگی):

$$K=10^{22.85*(e-1.868)} \text{ (cm/s)} \quad R^2=0.483$$

$$K=10^{95.64*(D_{50}^{-0.165})} \text{ (cm/s)} \quad R^2=0.727$$

$$K=10^{1438*(nD_{50}^2-0.00864)} \text{ (cm/s)} \quad R^2=0.663$$

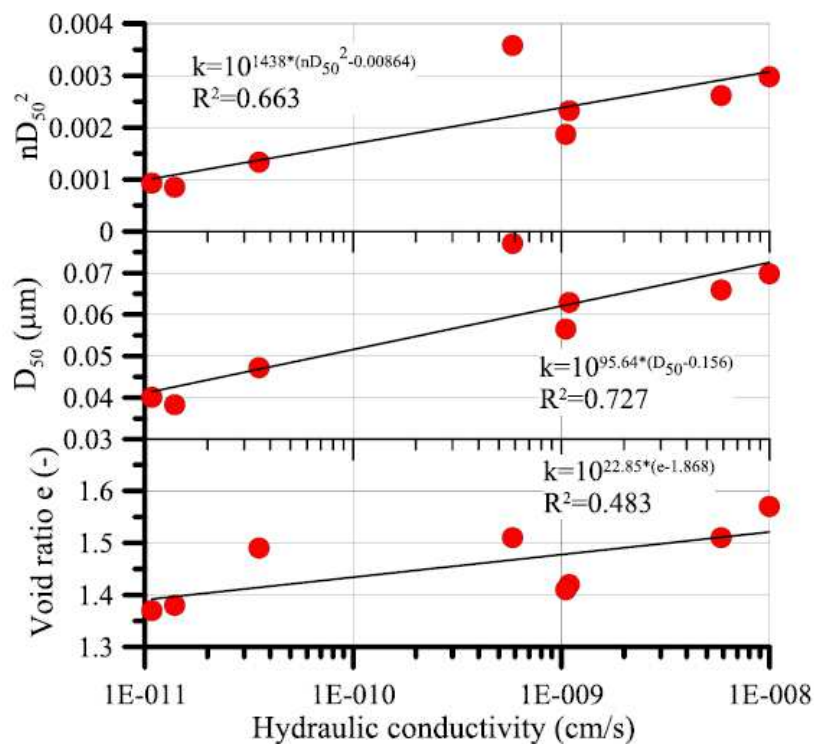


Fig. 8. Micro pore effect on hydraulic conductivity of cemented soils with MK.

شکل 8

می‌توان بدست آورد که نفوذپذیری هیدرولیکی متناسب با نسبت تخلخل (یا تخلخل به عنوان نماینده حجم کل حفرات بر گرم خاک) و متوسط قطر ورودی حفرات میکرو (D_{50} به عنوان نماینده توزیع اندازه حفرات) می‌باشد. قابل‌ذکر است متغییر ترکیبی nD_{50}^2 توسط Tanaka et al (2003) پیشنهاد شده نسبت خوبی با نفوذپذیری هیدرولیکی از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این‌ها، معادله بالا تأیید می‌کند که نفوذپذیری هیدرولیکی یک بازتاب ماکرو ریزساختار می‌باشد.

۴ بحث و بررسی

نتایج خاک‌های تثبیت شده سیمانی با MK نشان دهنده یک رابطه خوب بین نفوذپذیری هیدرولیکی و متغییر های ساختار حفرات (نسبت تخلخل e ، یا تخلخل n ، قطر متوسط حفرات D_{50} و متغییر ترکیبی nD_{50}^2) می‌باشد. و ساختار حفرات بطور عمده رفتار نفوذپذیری این مصالح را کنترل می‌کنند. ضروری است تا سازگاری این روابط

را برای مصالح بیشتر تشریح کنیم زیرا خاک‌های تثبیت شده در این مطالعه تنها مختص این نوع خاک خاص نیست بلکه همچنین متعلق به مصالح مسلح شده سیمانی می‌باشد. برای دستیابی به این اهداف حدود ۱۳۰ داده از رس‌ها، سنگ‌ها و بتن‌ها، چسب‌های تثبیت شده سیمانی و خاکی با نسبت تخلخل، توزیع اندازه ذرات و نفوذپذیری از مقالات مختلف جمع شدند (بتن: Ahmad et al., 2005؛ خاک‌های سیمانی: Chew et al., 2004، بتن و سنگ: Gao and Hu, 2013، خمیر سیمان: Ma et al., 2013; Ye et al., 2006، بتن: Roy et al., 1993 و رس نرم: Tanaka et al., 2003) و رابطه بین k و e ، بین k و D_{50} و بین k و nD_{50}^2 بصورت آماری تحلیل شدند.

۱.۴ رابطه بین k و e

رابطه بین نفوذپذیری هیدرولیکی K و نسبت تخلخل e از داده‌های بالا در شکل ۹ نشان داده شده است. واضح است که ارتباط خطی مناسبی بین $\log k$ و e برای هر یک از مصالح وجود دارد، که معمولاً برای نشان دادن رفتار نفوذپذیری برای رس‌ها و خاک‌های تثبیت شده سیمانی انتخاب شده است. به عبارت دیگر رفتار نفوذپذیری چسب‌ها سیمانی و بتن‌ها نیز از همان قاعده حاکم بر رس‌ها و خاک‌های تثبیت شده سیمانی پیروی می‌کند. به عبارت دیگر، تنها یک رابطه منحصربه‌فرد برای نشان دادن نسبت‌ها برای تمامی مصالح با این شرایط وجود ندارد. بعلاوه شیب بین e و $\log k$ برای رس‌ها و خاک‌های سیمانی متداول (Tanaka et al., 2003; Chew et al., 2004) بسیار نزدیک است. همچنین خاک‌های سیمانی با MK همانند چسب‌های سیمانی و بتن‌ها می‌باشند که شامل ساختار حفره‌ای می‌باشد. خواص مهندسی خاک‌های سیمانی با MK ممکن است نزدیک به قبلی‌ها باشد.

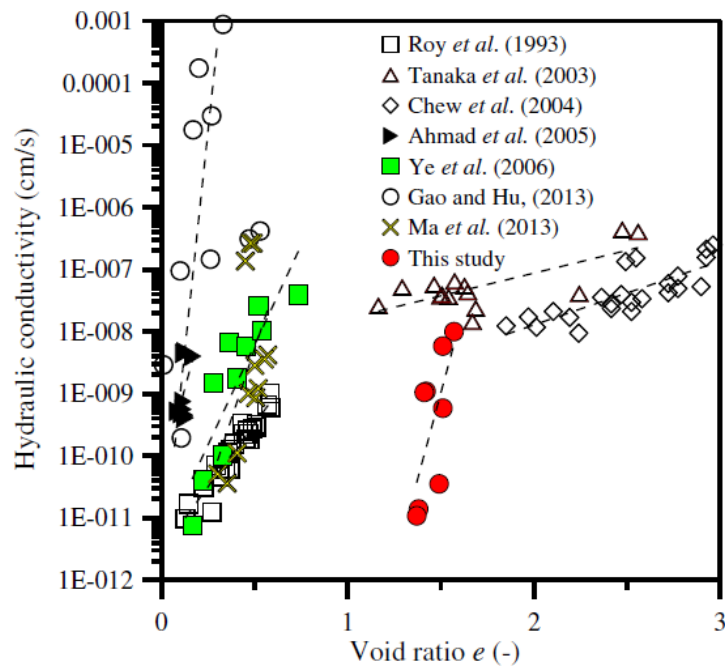


Fig. 9. Relationship between k and e .

شکل 9

۲.۴ رابطه بین k و متوسط حفرات D_50

از دید تئوری Poiseuille برای جریان آرام در محیط متخلخل (Childs and Collis-George, 1950)، رفتار نفوذپذیری متناسب با اندازه حفرات می‌باشد. متوسط قطر حفرات D_{50} متغیر بیان‌کننده توزیع اندازه حفرات می‌باشد. رابطه بین نفوذپذیری هیدرولیکی k و متوسط قطر حفرات D_{50} داده‌های بالا در شکل ۱۰ آورده شده است. نفوذپذیری هیدرولیکی کلی با قطر متوسط حفرات برای رس‌ها، خاک‌های سیمانی و چسب‌ها یا بتن‌ها برخلاف داده‌ها پراکنده است. قابل‌ذکر است بعضی تغییرات کوچک هنگامی که متوسط قطر حفرات به حدود $0.5 \mu\text{m}$ می‌رسد، اتفاق می‌افتد به این معنی که نفوذپذیری هیدرولیکی هنگامی که متوسط اندازه حفرات کوچکتر از $0.5 \mu\text{m}$ است نسبت به زمانی که بیش از $0.5 \mu\text{m}$ است بشدت تغییر می‌کند.

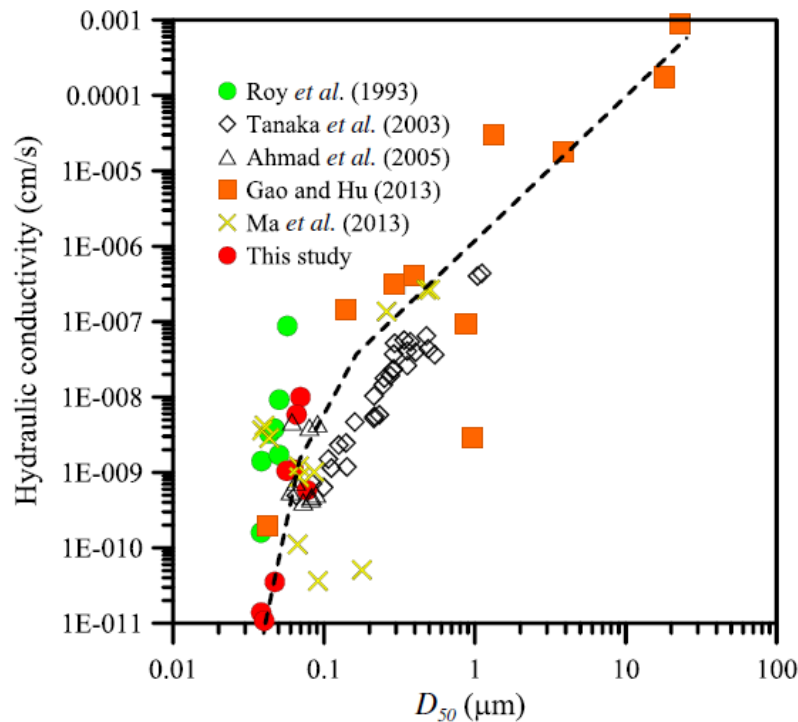


Fig. 10. Relationship between k and D_{50} .

شکل 10

۳.۴ رابطه بین k و nD_{50}^2

از آنجاییکه خاک‌های تثبیت شده سیمانی با MK در شکل ۸ رابطه خوبی بین k و nD_{50}^2 نشان می‌دهد، این رابطه برای داده‌های جمع‌آوری شده دوباره حساب شده و در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که متغیر ترکیبی nD_{50}^2 می‌تواند بطور نسبی نفوذپذیری هیدرولیکی مصالح مختلف نظیر رس‌ها و بتن‌ها را بصورت یک رابطه یکتا در آورد. رابطه واحدی که نفوذپذیری هیدرولیکی را نشان می‌دهد در معادله ۶ نشان داده شده است. قابل ذکر است که ضریب همبستگی R (۰/۸۲) یک مقدار منطقی را نشان می‌دهد:

$$R^2=0.760, k(\text{cm/s})=10^{-5.96}[nD_{50}^2]^{1.06}$$

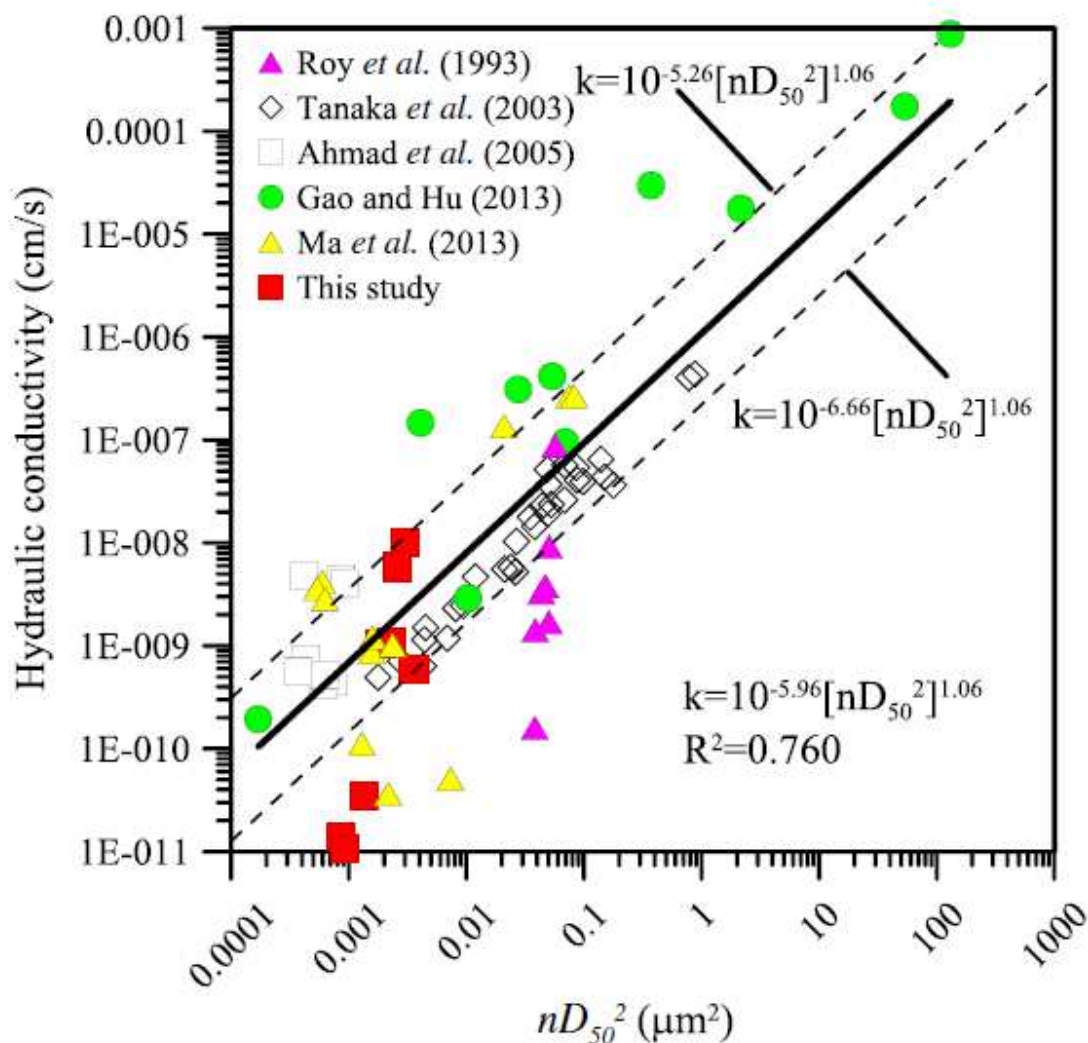


Fig. 11. Relationship between k and nD_{50}^2 .

شکل 11

بعلاوه اگر $\log k/[nD_{50}^2]^{1.06}$ به عنوان یک متغیر جدید در نظر گرفته شود، بعد از آنالیز مجدد مقدار میانگین -5.96 و انحراف استاندارد 0.7 بدست می‌آید. همچنین می‌توان استنباط کرد که $68/3$ درصد احتمال دارد که داده‌ها با توجه به تئوری توزیع نرمال آماری بین محدوده $k(\text{cm/s})=10^{-5.26}[nD_{50}^2]^{1.06}$ و $k(\text{cm/s})=10^{-6.66}[nD_{50}^2]^{1.06}$ که در شکل 11 نشان داده شده، باشد. همچنین باید ذکر شود که این آمار از داده‌های محدود بدست آمده (بطور مثال $1/0.6$ و $-5/96$) و ممکن است اگر داده‌های بیشتری در دسترس باشد مقداری تغییر کند

اما متغیر ترکیبی nd_{50}^2 امکان واحد کردن نفوذپذیری هیدرولیکی مصالح مختلف از رس تا بتن را پیشنهاد می‌کند.

۵ نتیجه‌گیری

متاکائولین (MK) ماده پودری جدید که بطور وسیع برای بهبود عملکرد بتن‌ها و چسب‌ها استفاده می‌شود، بطور مؤثری برای رس‌های نرم تثبیت شده سیمانی معرفی شده است. در این مطالعه رفتار نفوذپذیری (نفوذپذیری هیدرولیکی) خاک‌های سیمانی با و یا بدون MK در ابتدا با پارامترهای بهبود یافته آزمایشات مورد بحث قرار گرفت و ارتباط اساسی بین نفوذپذیری هیدرولیکی و توزیع اندازه حفرات مشاهده شد. با تحلیل‌های بیشتر برای بدست آوردن رابطه ذاتی بین نفوذپذیری هیدرولیکی و توزیع اندازه حفرات مصالح مسلح شده سیمانی (بتن‌ها، چسب‌های سیمانی و خاک‌های سیمانی) و رس‌ها (یا خاک‌ها) داده‌هایی که در بالا ذکر شد جمع‌آوری شد و رابطه بین K و نسبت تخلخل e ، متوسط قطر حفرات D_{50} و متغیرهای ترکیبی nd_{50}^2 مورد بحث قرار گرفت. نتایج اصلی در ادامه ذکر شده است.

1. افزودن MK بطور مؤثر نفوذپذیری هیدرولیکی را کاهش می‌دهد. نفوذپذیری هیدرولیکی خاک‌های تثبیت شده سیمانی با ۳ و ۵ درصد MK حدوداً ۱۰ برابر کمتر از بدون MK با ۱۲ درصد مقدار سیمان و ۱۰۰ برابر کمتر از بدون MK با مقدار ۱۵ درصد سیمان می‌باشد. از دیدگاه تأثیر کاهش نفوذپذیری هیدرولیکی مقدار بهینه MK ۳ درصد است.

2. رابطه نفوذپذیری هیدرولیکی و پارامترهای حفرات ریز خاک‌های تثبیت شده سیمانی با MK بدست آمده که به این معنی است که تأثیر MK بر کاهش نفوذپذیری هیدرولیکی به تخلخل کلی کم و قطر حفرات کم نسبت داده می‌شود.

3. تحلیل‌های آماری نفوذپذیری هیدرولیکی و نسبت تخلخل مصالح از رس تا بتن‌ها یک نسبت خوب برای هر نوع مصالح نشان می‌دهد. شیب بین e و $\log k$ برای رس‌ها و خاک‌های سیمانی متداول بسیار نزدیک است که خاک‌های سیمانی با MK بسیار شبیه به چسب‌های سیمانی و بتنی می‌باشد.

4. نفوذپذیری هیدرولیکی کلی با افزایش متوسط قطر حفرات برای رس‌ها، خاک‌های سیمانی . چسب‌ها و بتن‌ها افزایش می‌یابد. اگر هنگامی که متوسط اندازه حفرات کمتر از $5 \mu\text{m}$ است نسبت به اندازه حفرات بیشتر از $5 \mu\text{m}$ تغییرات آن بسیار بیشتر است.

5. رابطه واحد نشان دهنده نفوذپذیری هیدرولیکی مصالح مختلف رس‌ها و بتن‌ها می‌تواند بصورت $5.96 \cdot 10^{-5} [nD_{50}^2]^{1.06}$ بیان شود و $68/3$ درصد احتمال دارد داده با توجه به تئوری آماری نرمال بین خطوط $k(\text{cm/s})=10^{-6.66} [nD_{50}^2]^{1.06}$ و $k(\text{cm/s})=10^{-5.26} [nD_{50}^2]^{1.06}$ قرار می‌گیرد.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی