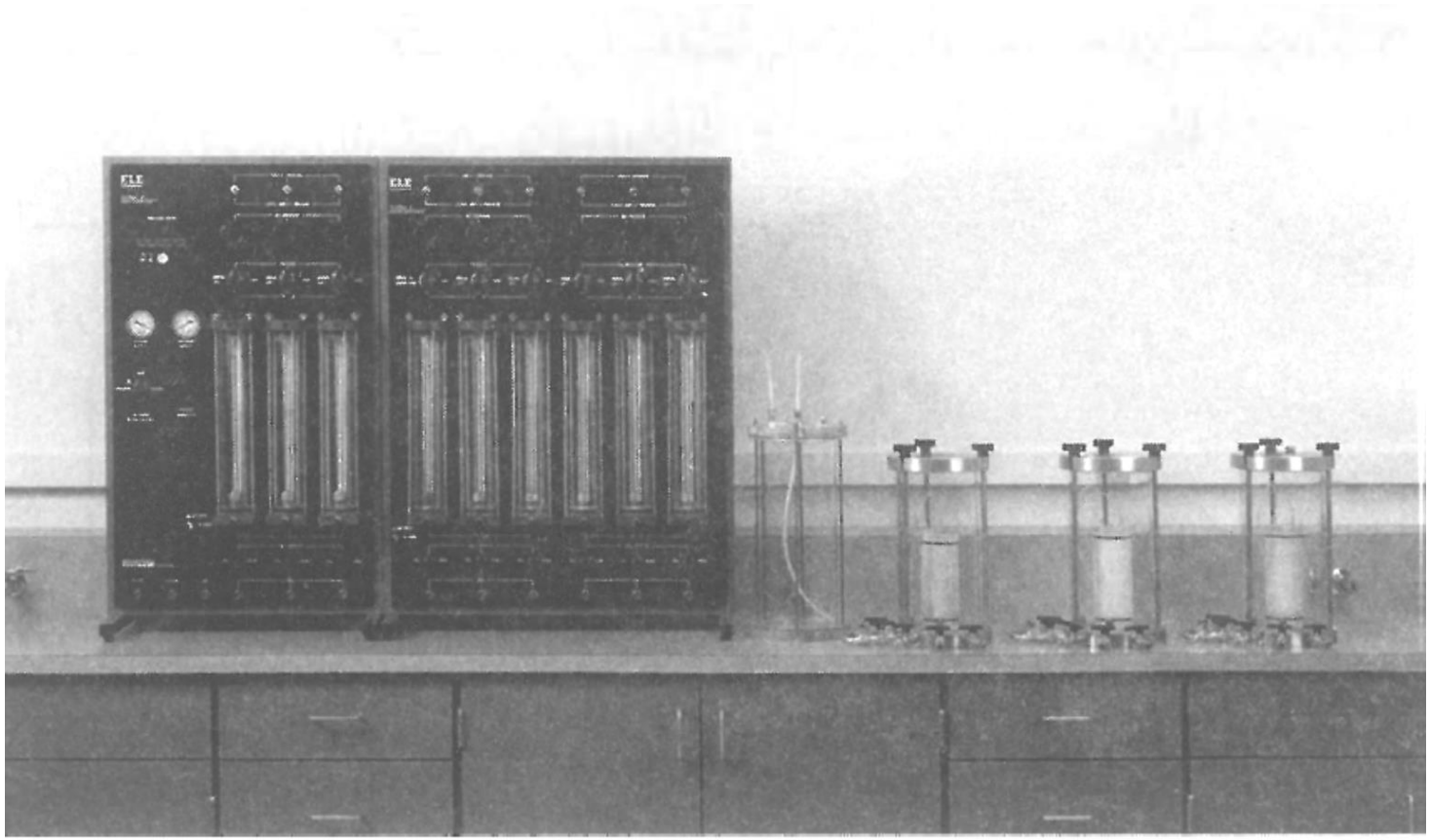
دانشگاه سمنان

آزمایش نفوذپذیری

(Coefficient of Permeability)

AASHTO 215-81

ASTM D 2434-87



هدف از این آزمایش، تعیین ضریب نفوذپذیری خاک است.

در آزمایشگاه، آزمایش نفوذپذیری به دو روش با «بار ثابت» و با «بار افتان» انجام می‌شود. در روش اول، حرکت آب با جریان آرام و بار ثابت در خاک‌های دانه‌ای صورت می‌گیرد. با این روش نفوذپذیری مصالح دانه‌ای و درشت‌دانه به‌دست می‌آید. برای محدود کردن اثر تحکیم بر نمونه، هنگام آزمایش خاک‌هایی که بیش از ده درصد دانه‌های ردشده از الک نمره ۲۰۰ نداشته باشند، به‌هم‌خوردگی نمونهٔ خاک جایز است [۹]. اما برای خاک‌های ریزدانه از روش دوم (بار افتان) استفاده می‌شود. علت استفاده از این روش، نفوذپذیری بسیار کم خاک‌های ریزدانه و درنتیجه طولانی شدن مدت‌زمان آزمایش است که هم باعث تبخیر آب می‌شود و هم این‌که قرائت دقیق مقدار آب عبورکرده از خاک ریزدانه در روش بار ثابت ممکن نیست. در این روش، حرکت آب بسیار آرام و با تغییر بار آبی در طول آزمایش صورت می‌گیرد.

در این آزمایش‌ها ایجاد شرایط واقعی زیر لازم است تا آب به‌آرامی تحت بار ثابت در خاک حرکت کند:

۱. جریان آب در خاک بدون تغییر حجم نمونه در طول مدت آزمایش تداوم داشته باشد.
۲. جریان آب در خاک صددرصد اشباع و بدون خارج شدن حباب‌های هوا باشد
۳. نسبتی مستقیم بین سرعت جریان و شیب هیدرولیکی، تا حد رسیدن به سرعت متغیر (ناپایدار) وجود داشته باشد.

آزمایش با بار ثابت

(Constant-Head Method)

تئوری آزمایش

حدود یک صد سال پیش، دارسی با آزمایش نشان داد مقدار جریان آبی (q) که از سطح مقطع خاک (A) می‌گذرد، متناسب با شیب آبی (هیدرولیکی) است.

$$\frac{q}{A} \sim i \longrightarrow q = KiA$$

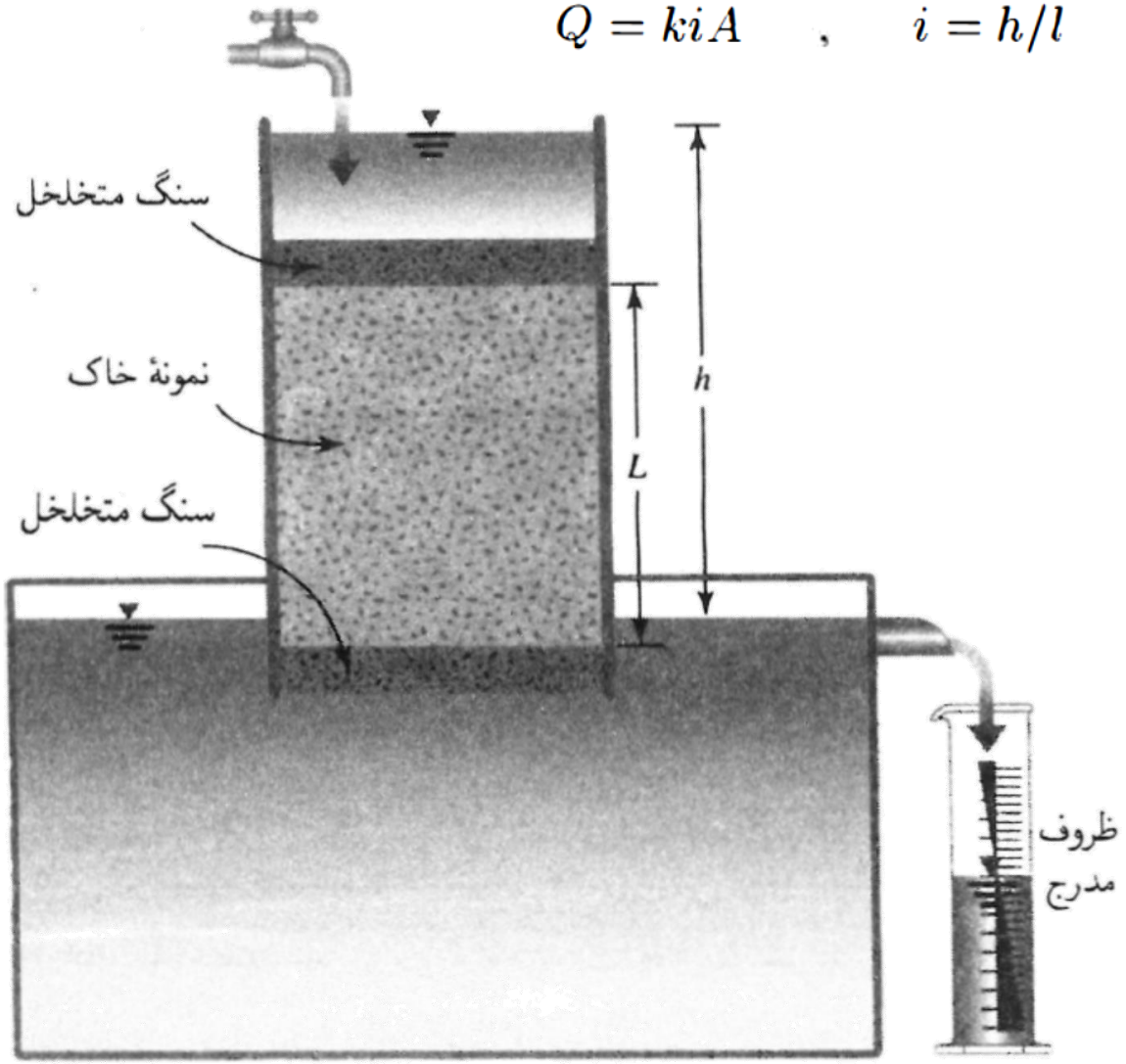
ضریب تناسب K «ضریب نفوذپذیری دارسی» یا «ضریب نفوذپذیری» نامیده می‌شود که دارای دیمانسیون سرعت است. بنابراین نفوذپذیری از خواص خاک است.

روش معمول برای آزمایش نفوذپذیری در ماسه و سیلت بدین صورت است که ابتدا به‌وسیلهٔ آزمون‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های دست‌خورده ارتباط بین نسبت تخلخل با نفوذپذیری را مشخص می‌کنند.

بعد از به‌دست آوردن نسبت تخلخل خاک در محل، می‌توان با استفاده از منحنی نسبت تخلخل-نفوذپذیری (که در آزمایشگاه معلوم شده است) مقدار نفوذپذیری خاک در محل را برآورد کرد. به‌علت دشواری تهیهٔ نمونه‌های دست‌نخورده از خاک‌های با چسبندگی کم، این رویه بهترین روش ممکن است. باید توجه داشت که بعضی از خاک‌ها دارای تغییر زیاد نفوذپذیری در طول لایه‌های عمودی هستند (نفوذپذیری افقی، K_H، معمولاً ۵ تا ۵۰ برابر نفوذپذیری قائم، K_v، است) و بنابراین ممکن است نتیجهٔ به‌دست‌آمده از نمونه‌های دست‌خورده، کمتر از اندازه و مفهوم واقعی باشد. نفوذپذیری نمونهٔ دست‌نخوردهٔ رس می‌تواند مستقیماً در نسبت‌های تخلخل متفاوت در آزمایش تحکیم انجام شود.

در این آزمایش با استفاده از نمونهٔ دست‌نخورده‌ای به طول l، با ایجاد شیب هیدرولیکی (i)، همچنین داشتن سطح نمونه و اندازه‌گیری دِبیِ خروجی آب از نمونه (Q) مطابق فرمول تجربی دارسی ضریب نفوذپذیری k به‌دست می‌آید:

$$Q = kiA \quad , \quad i = h/l$$



تهیهٔ نمونه برای انجام آزمایش

نمونه‌ای از خاک دانه‌ای که در هوا خشک شده است و کمتر از ۱۰٪ مصالح ردشده از الک نمره ۲۰۰ دارد، به روش زیر برای آزمایش نفوذپذیری آماده می‌کنیم. قبل از آزمایش نفوذپذیری باید نمونهٔ خشک خاک دقیقاً دانه‌بندی شود، درصد دانه‌های بزرگ‌تر از ۹٫۵mm یا مانده روی الک ۹٫۵mm نسبت‌به کل نمونه تعیین شود و دانه‌ها دور ریخته شوند. از مصالح ردشده از الک فوق به روش استاندارد چهارقسمتی، نمونه‌ای که حجم آن تقریباً دو برابر استوانهٔ نفوذپذیری باشد انتخاب می‌کنیم.

تذکر: اگر هدف به‌دست آوردن حدود تقریبی ضریب نفوذپذیری برای خاک‌هایی با دانه‌بندی ناهمگن و متفاوت باشد، باید نمونه‌هایی با دانه‌بندی ریز، متوسط و درشت از همان خاک تهیه شود.

وسایل آزمایش

۱. دستگاه تعیین نفوذپذیری با بار ثابت.
۲. استوانهٔ مدرج.
۳. زمان‌سنج.
۴. دماسنج با دقت $0/1^{\circ}C$.
۵. لولهٔ لاستیکی.

روش انجام آزمایش

۱. طول و قطر نمونه را به‌دست می‌آوریم و نمونهٔ دست‌نخورده یا متراکم‌شده را (که هدف تعیین نفوذپذیری پس از تراکم آن است) داخل استوانه می‌گذاریم. بهتر است آزمایش روی خود لولهٔ نمونه‌گیر یا قالب تراکم انجام گیرد.

۲. بالا و پایین نمونه را با کاغذ صافی و سپس سنگ متخلخل می‌پوشانیم و در قسمت پایین زیر سنگ متخلخل و روی درپوش یک فنر می‌گذاریم و درپوش‌ها را به سر و ته قالب یا لوله پیچ می‌کنیم.

۳. شیر آب (مربوط به مخزن آب با سطح ثابت) را آهسته باز می‌کنیم. مدتی صبر می‌کنیم تا آب در نمونه جریان یابد و به حالت پایدار درآید (سطح آب در پیزومترها باید ثابت بماند و تغییرات زیادی نداشته باشد. همچنین باید سعی کنیم در بالا و پایین نمونه، حباب هوایی وجود نداشته باشد.)

۴. با شروع زمان معینی (با زمان‌سنج) تا زمان‌های انتهایی t که در طول آن آب در نمونه جریان می‌یابد، مقادیر اختلاف بار آبی بین دو پیزومتر ($h = h_۲ - h_۱$)، مقدار دِبی (Q) و درجه حرارت آب را اندازه می‌گیریم.

۵. آزمایش را بار دیگر با افزایش بار آبی $h = ۰/۵\text{cm}$ تکرار می‌کنیم تا دقیقاً حدود تغییرات جریان آرام یا پایدار آب با سرعتی که نسبت مستقیم با شیب هیدرولیکی دارد، مشخص گردد (وقتی که نسبت خطی بین V و i ($V = Ki$) به‌تدریج از بین رفت، نشانهٔ آغاز جریان ناپایدار یا متلاطم است). آزمایش ممکن است با اختلاف بار آبی، یک سانتی‌متر ادامه پیدا کند تا محدودهٔ جریان متلاطم مشخص شود.

توضیح: برای تأمین و برقراری جریان پایدار (خطی) آب در خاک، شیب هیدرولیکی ($\frac{h}{L}$) باید خیلی کم باشد. در این مورد مقادیر زیر پیشنهاد می‌شود:

براساس ASTM، برای خاک شُل یا متراکم‌نشده: $\frac{h}{L} = ۰٫۲ - ۰٫۳$، برای خاک متراکم: $\frac{h}{L} = ۰٫۳ - ۰٫۵$، مقادیر کمتر از $\frac{h}{L}$ برای خاک‌های دانه‌درشت و مقادیر بیشتر از محدودهٔ فوق برای خاک‌های ریزدانه توصیه می‌شود .

۶. برای تکمیل آزمایش نفوذپذیری نمونه را زهکشی و تحقیق می‌کنیم که آیا خاک داخل استوانه طبیعتاً همگن و ایزوتروپ است یا خیر. تشکیل لایه‌های متناوب روشن و تاریک در طول نمونه گواه بر تفکیک دانه‌های درشت و ریز است که باعث ناهمگنی خاک می‌شود.

محاسبات

ضریب نفوذپذیری با بار ثابت (k) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید [۹]:

$$k = \frac{QL}{Aht}$$

k: ضریب نفوذپذیری برحسب cm/s یا m/s،

Q: حجم آب که در خاک جریان یافته برحسب lit یا cm^3،

L: فاصلهٔ دو منفذ خروجی روی استوانه از مرکز منافذ،

A: سطح مقطع نمونه ($A = \frac{\pi D^2}{4}$ و D، قطر نمونه)،

t: زمان انقضای کل دبی،

h: اختلاف سطح آب در دو پیزومتر (اختلاف بار آبی) است.

هنگامی که دما افزایش یابد، لزجت آب کاهش و ضریب نفوذپذیری و دبی افزایش می‌یابد [۱]، لذا ضریب نفوذپذیری که در درجه حرارت آزمایشگاه به‌دست می‌آید باید در ضریب تصحیح حرارتی ضرب شود تا ضریب نفوذپذیری در دمای ۲۰°C (۶۸°F) به‌دست آید. ضریب تصحیح حرارتی عبارت است از نسبت لزجت آب در درجه حرارت آزمایش به لزجت آب در ۲۰°C [۹].

$$k_{۲۰°C} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{۲۰°C}}$$

$k_{۲۰°C}$: ضریب نفوذپذیری در دمای ۲۰°C،

k_T: ضریب نفوذپذیری در دمای T°C،

$\mu_{۲۰°C}$: لزجت آب در دمای ۲۰°C،

μ_T: لزجت آب در دمای T°C است.

مثال [۱]

ضریب نفوذپذیری (بار ثابت، بار افتان)

پروژه: k برای دستورالعمل　　شماره:

محل پروژه: آزمایشگاه مکانیک خاک

توصیف خاک: قهوه‌ای، دانه‌های متوسط ماسه به‌همراه شن‌های گرد

آزمایش‌کننده:　　تاریخ آزمایش:

ابعاد نمونه: قطر ۷۲٫۶۲cm　　مساحت ۴۵٫۶cm^۲　　عمق ۲۰٫۳cm

وزن خاک + ظرف اولیه: ۲۹۸۴٫۲gr　　حجم: ۹۲۵٫۷cm^۳

وزن خاک + ظرف نهایی: ۱۴۲۷٫۳gr　　ρ : ۱٫۶۸۲　　وزن نمونه: ۱۵۵۶٫۹gr

بار ثابت: $h = ۸۷\text{cm}$

داده‌های آزمایش				داده‌های به‌کاررفتهٔ آزمایش			
شمارهٔ آزمایش	t(s)	Q(cm^۳)	T(°C)	شمارهٔ آزمایش	t(s)	Q(cm^۳)	T(°C)
۱	۱۸۰	۷۷۵	۲۳	۱	۱۸۰	۷۷۵	
۲	۱۸۰	۷۷۲	۲۲	۲	۱۸۰	۷۷۲	
۳	۱۸۰	۷۶۱	۲۲	۳	۱۸۰	۷۶۱	
۴				۴			
				میانگین	۱۸۰	۷۶۹	۲۲

$$k_T = \frac{QL}{Aht} = \frac{(۷۶۹)(۲۰٫۳)}{(۴۵٫۶)(۸۷)(۱۸۰)} \longrightarrow k_T = ۰٫۰۲۲\text{cm/s}$$

$$\mu_T/\mu_{۲۰} = \frac{۰٫۰۰۹۵۸}{۰٫۰۱۰۰۵} = ۰٫۹۵۵۲$$

$$\longrightarrow k_{۲۰} = k_T \mu_T/\mu_{۲۰} = (۰٫۹۵۳۲)(۰٫۰۲۲) = ۰٫۰۲\text{cm/s}$$