

بررسی رابطه ی بین ضریب نفوذ پذیری (k) و دانه بندی و ارائه ی فرمول تجربی در خط دو پروژۀ ی قطار شهری شیراز

غلامرضا لشکری پور^۱، فرهاد یزدان پناه^۲، خالد انصاری^{*۲}

۱- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Khaledansari.geo87@yahoo.com

چکیده

نفوذپذیری میزان توانایی توده ی متخلخل برای انتقال سیالات است، که یکی از مهم ترین پارامترها در مهندسی ژئوتکنیک بوده، و در بعضی از عملیات های ژئوتکنیکی حیاتی است. نفوذپذیری در مشکلات نشست، زهکشی، آبیگری و آب زدایی، سرعت و میزان نشست و میزان افزایش مقاومت با کاهش فشار حفره ای اهمیت زیادی دارد. از این رو هیدروژئولوژیست ها و مهندسان ژئوتکنیک همیشه در جست و جوی تکنیک های قابل اطمینانی برای تعیین هدایت هیدرولیکی بوده اند. سه روش کلی برای تعیین هدایت هیدرولیکی وجود دارد، آزمون های صحرائی، آزمون های آزمایشگاهی، و روابط تجربی. روش های صحرائی و آزمایشگاهی، پرهزینه و زمان بر بوده و انجام آن ها با مشکلاتی همراه می باشد. به همین دلیل روش های تخمین هدایت هیدرولیکی از فرمول های تجربی براساس خصوصیات فیزیکی خاک و سنگ توسعه یافت. از آنجایی که این معادلات بر پایه ی مطالعات تجربی بدست آمده اند نتایج آن ها لزوماً از یک مکان به مکان دیگر قابل انتقال نیست. بر این اساس تعیین معادلات نفوذپذیری مخصوص یک منطقه امری ضروری می باشد. در این مقاله با توجه به مطالعات انجام شده در خط دو پروژۀ ی قطار شهری شیراز رابطه ی بین هدایت هیدرولیکی و دانه بندی خاک ها (D30 و D60) در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته و دو رابطه ارائه گردید.

کلمات کلیدی: هدایت هیدرولیکی، دانه بندی، رابطه ی تجربی، قطار شهری شیراز

۱-مقدمه

نفوذپذیری میزان توانایی توده متخلخل برای انتقال سیالات است، که یکی از ویژگی های شاخص در تعریف توانایی حرکت آب در توده ی سنگ و خاک می باشد. واحد اندازه گیری آن داری است، که از نام دانشمند فرانسوی که آن را کشف کرد، گرفته شده است (Thomas, 2010). مقادیر نفوذپذیری خاک می تواند در ۱۲ رده از بزرگی قرار بگیرد، و شدیداً به تغییرات ترکیب و ساختمان خاک حساس است (Bengochea, 1978). تاکنون مشخص شده که هدایت هیدرولیکی به توزیع اندازه ی دانه های توده ی متخلخل وابسته است (Freeze and Cherry, 1979). این ارتباط برای تخمین مقادیر نفوذپذیری در جاه هایی که داده های نفوذپذیری مستقیم (بدست آمده از آزمایش)، پراکنده یا تنگ هستند بسیار مفید است؛ مثل مراحل ابتدایی

اکتشاف سفره ی آب زیر زمینی. در آب شناسی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، برای مدل سازی جریان آب در خاک، در هر دو زون اشباع و غیر اشباع و انتقال آب های آلوده در خاک، بسیار مهم است. همچنین یک پارامتر مهم برای طراحی زهکش، در ساختمان سدهای خاکی و خاکریزها می باشد (Odong, 2007). بعلاوه در برخی از مشکلات ژئوتکنیکی مثل، نشست آب، محاسبه ی نشست و تحلیل پایداری نیز اهمیت زیادی دارد (Boadu, 2000). بالا تر از همه هیدروژئولوژیست ها همیشه در جست و جوی تکنیک های قابل اطمینانی برای تعیین هدایت هیدرولیکی در آبخوان ها به منظور، توسعه، مدیریت و نگهداری بهتر آب های زیر زمینی هستند (Odong, 2007). تکنیک های متفاوتی برای تعیین مقدار آن پیشنهاد شده است که شامل: روش های صحرائی (آزمایش پمپاژ چاه، آزمایش اوگر و آزمایش ردیاب)، روش های آزمایشگاهی و محاسبات از روی فرمول های تجربی است (Todd and Mays, 2005). تخمین صحیحی از هدایت هیدرولیکی در صحرا با استفاده از روش های صحرائی به دلیل عدم اطلاعات دقیق از هندسه آبخوان و مرز های آبی با محدودیت هایی همراه است (Uma and et al. 1989). هزینه ی عملیات صحرائی و تجهیز ساختمان چاه می تواند یک عامل بازدارنده ی دیگر برای روش های صحرائی باشد. همچنین تفسیر داده های آن مشکل بوده زیرا درگیر شرایط مرزی پیچیده ای هستند (Bengochea, 1978). از سوی دیگر در آزمون های آزمایشگاهی در حال حاضر تهیه ی نمونه ی دست نخورده دشوار است، و اغلب آزمایش ها زمان بر هستند. به همین دلیل به تدریج روش های تخمین هدایت هیدرولیکی از روی فرمول های تجربی بر اساس خصوصیات توزیع اندازه ی ذرات توسعه یافته، و برای غلبه بر این مشکلات استفاده گردید. این روش ها به طور قابل ملاحظه ای کم هزینه تر هستند، و به هندسه و مرز های آبی آبخوان هم وابسته نیستند. مهم تر از آن، اطلاعات مربوط به خصوصیات ساختمان خاک ها و سنگ ها خیلی راحت تر بدست می آید. اگر چه در مکانیک سیالات قطر حفرات نسبت به قطر دانه ها موثرتر است، اما تعیین توزیع اندازه ی حفرات خیلی دشوار است. پس خصوصیات هیدرولیکی بر اساس توزیع اندازه ی ذرات که به آسانی قابل محاسبه است، اندازه گیری می شود (Cirpka, 2003). در نتیجه آب های زیرزمینی در دهه ی اخیر به صورت حرفه ای مورد آزمایش قرار گرفتند تا هدایت هیدرولیکی را بر اساس اندازه ی ذرات گزارش دهند (Pinder and Celia, 2006).

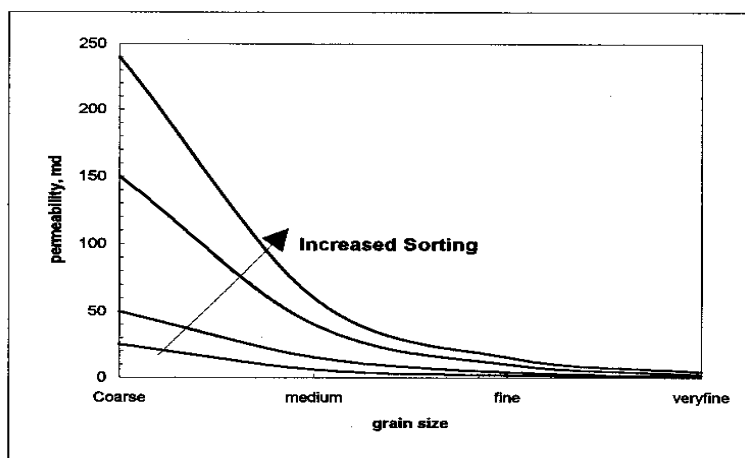
تحقیقات بیشماری در این رابطه انجام شده و چندین فرمول بر اساس کارهای آزمایشگاهی حاصل گردیده است. قابل استفاده بودن این روابط بستگی به نوع خاک هایی دارد که هدایت هیدرولیکی در آن تخمین زده شده است. بعلاوه تعداد کمی از این فرمول ها برای تخمین نتایج معتبر هستند، زیرا شامل همه ی تغییرات ممکن در توده ی متخلخل نیستند (Odong 2007). از آنجایی که این معادلات بر پایه ی مطالعات تجربی بدست آمده اند نتایج آن ها لزوماً از یک مکان به مکان دیگر قابل انتقال نیست. بر این اساس تعیین معادلات نفوذپذیری مخصوص یک منطقه امری ضروری می باشد (Daniel, 1995).

۲- فاکتور های موثر در نفوذپذیری:

فاکتورهای زیادی بر مقدار و جهت نفوذپذیری موثراند، از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد: خصوصیات بافتی که شامل، اندازه ی خلل و فرج یا اندازه ی دانه ها، توزیع اندازه ی ذرات، شکل ذرات و تراکم ذرات می باشد. همچنین، فشار گاز، میزان توزیع و نوع رس ها، مقدار و نوع تخلخل ثانویه، فشار روباره، واکنش سیالات و تاثیر جریان های پرسرعت از مهم ترین پارامتر های موثر در نفوذپذیری می باشند. در ادامه به تفسیر برخی از فاکتور های بالا پرداخته می شود (Thomas, 2010).

۱-۲- خصوصیات بافتی

در مورد نقش خصوصیات بافتی در نفوذپذیری، شواهد آزمایشگاهی نشان می دهد که $k \propto cd^2$ در اینجا c مربوط به خصوصیات سنگ و d قطر ذرات می باشد. ابعاد نفوذپذیری L^2 است که مستقیماً به سطح مقطع خلل و فرج وابسته است. بنابراین اگر اندازه ی ذرات افزایش یابد، اندازه ی منافذ مرتبط با هم افزایش می یابد، و به تبع آن تراوایی نیز افزایش می یابد. شکل (۱) یک ترکیب ساختگی از ماسه است، که تاثیر اندازه ی ذرات و جورشدگی را بر روی نفوذپذیری نشان می دهد. قابل ذکر است که افزایش گوشه دار بودن ذرات، یا ذراتی با شکل مسطح به طور مشخصی ناهمسانی ایجاد می کند (Thomas, 2010).



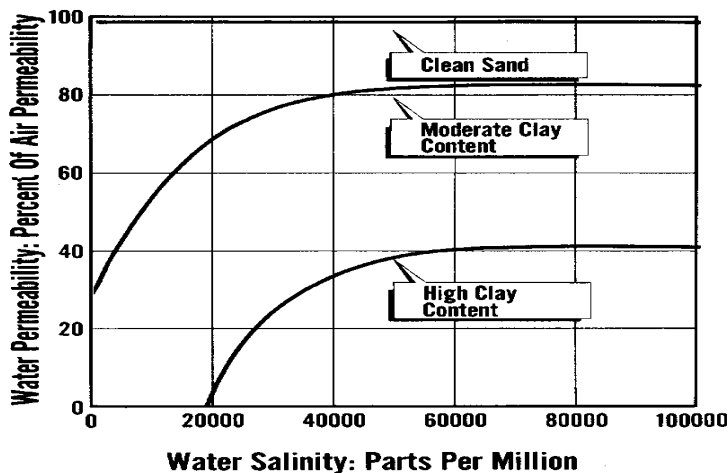
شکل ۱- تاثیر اندازه ی دانه ها و جورشدگی بر روی نفوذپذیری (Thomas 2010).

۲-۲- واکنش سیالات

هدایت هیدرولیکی هر خاک به مقدار زیادی تابع درجه ی اشباع شدگی آن خاک است (Steiakakis and et al. 2012). بسیاری از سنگ مخزن های متخلخل که حاوی مصالح رسی هستند، در تماس با آب شیرین متورم می شوند. به طور طبیعی آب های فسیل شور سبب چنین تورمی نمی شوند، اما عملیات حفاری یا روش های آزمایشگاهی ممکن است آب شیرین را وارد زمینه سنگ کنند. اگر رس های حساس آبدار وجود داشته باشند، در نتیجه ی تورم می توانند نفوذپذیری سنگ یا خاک را به مقدار قابل توجهی کاهش دهند.

عوامل مهم در واکنش آب-رس شامل موارد ذیل می باشد:

نوع رس، میزان رس، توزیع رس، ترکیب آب، شیوه ای که سیال با خاک ارتباط دارد، حضور هیدروکربن باقی مانده و ph آب. شکل (۲) نشان می دهد که افزایش مقدار رس باعث کاهش نفوذپذیری خواهد شد. همچنین آب شیرین موجب تورم رس می شود، و به همین دلیل کاهش قابل توجهی در نفوذپذیری نمونه اتفاق می افتد (Thomas, 2010).



شکل ۲- تغییرات نفوذپذیری آب با شوری و محتوای رس (Thomas 2010).

۳-۲- تاثیر فشار روباره

با افزایش فشار همه جانبه، نفوذپذیری مطلق خاک کاهش می یابد، که این در پاسخ کاهش فضای خالی توده، و به تبع آن کاهش توانایی توده ی متخلخل در انتقال سیالات می باشد. بنابراین مقاومت خاک در میزان کاهش نفوذپذیری نقش مهمی دارد (Thomas, 2010). پارامترهای موثر بر نفوذپذیری در جدول (۱) نشان داده شده است.

درصد رس در گمانه های حفاری شده بسیار بالا بوده و میانگین آن ۸۰ درصد می باشد، ماسه با میانگین ۱۳ درصد نسبتاً کم بوده، و در نهایت میزان شن به جز در سه نمونه صفر می باشد. با توجه به طبقه بندی متحد خاک همه ی نمونه ها به جز در یک مورد در گروه CL قرار می گیرند.

جدول ۱ - مهمترین پارامترهای موثر بر نفوذپذیری

| CORE | D(60) | D(30) | K(cm/s) | PH | Clay/Silt (%) | Sand(%) | Gravel(%) | Gs | USCS | LL | PL | PI |
|-------|-------|--------|---------|------|-------------------|---------|-----------|------|------|----|----|----|
| BH 9 | 0.036 | 0.0045 | 5.4E-05 | 8.17 | 32 | 18 | 0 | 2.67 | CL | 36 | 19 | 17 |
| BH 9 | 0.021 | 0.0038 | 8.8E-06 | 8.18 | 86 | 14 | 0 | 2.69 | CL | 36 | 22 | 14 |
| BH 10 | 0.055 | 0.016 | 5.2E-05 | 8.27 | 65 | 10 | 25 | 2.68 | CL | 30 | 19 | 11 |
| BH 10 | 5.1 | 0.031 | 0.00066 | 8.22 | 39 | 20 | 41 | 2.71 | GC | 34 | 20 | 14 |
| BH 11 | 0.022 | 0.0038 | 5.4E-06 | 8.28 | 89 | 11 | 0 | 2.68 | CL | 33 | 19 | 14 |
| BH 11 | 0.022 | 0.0025 | 5.2E-06 | 8.19 | 85 | 15 | 0 | 2.68 | CL | 37 | 21 | 16 |
| BH 12 | 0.033 | 0.007 | 0.00008 | 7.89 | 90 | 10 | 0 | 2.7 | CL | 36 | 24 | 12 |
| BH 12 | 0.028 | 0.0064 | 3.7E-05 | 8.19 | 92 | 8 | 0 | 2.69 | CL | 31 | 20 | 11 |
| BH 13 | 0.027 | 0.0037 | 5.9E-05 | 7.93 | 88 | 12 | 0 | 2.69 | CL | 37 | 21 | 16 |
| BH 13 | 0.026 | 0.005 | 2.6E-06 | 8.11 | 90 | 10 | 0 | 2.66 | CL | 33 | 22 | 11 |
| BH 14 | 0.028 | 0.0052 | 0.00031 | 7.93 | 84 | 16 | 0 | 2.67 | CL | 37 | 23 | 14 |
| BH 14 | 0.034 | 0.0078 | 2.3E-06 | 8.33 | 86 | 14 | 0 | 2.68 | CL | 36 | 20 | 16 |
| BH 15 | 0.028 | 0.0043 | 8.6E-06 | 8.33 | 84 | 15 | 1 | 2.69 | CL | 31 | 19 | 12 |
| BH 15 | 0.021 | 0.0046 | 8.1E-07 | 8.18 | 89 | 11 | 0 | 2.66 | CL | 37 | 20 | 17 |
| BH 16 | 0.024 | 0.0046 | 4.5E-06 | 8.19 | 89 | 11 | 0 | 2.69 | CL | 31 | 20 | 11 |
| BH 16 | 0.024 | 0.0054 | 4E-06 | 8.25 | 89 | 11 | 0 | 2.7 | CL | 32 | 23 | 9 |
| BH 17 | 0.023 | 0.0051 | 2E-07 | 8.03 | 85 | 15 | 0 | 2.7 | CL | 33 | 18 | 15 |
| BH 17 | 0.025 | 0.004 | 8.3E-06 | 8.21 | 88 | 12 | 0 | 2.69 | CL | 34 | 20 | 14 |
| BH 18 | 0.03 | 0.0048 | 2.7E-07 | 8.36 | 82 ^{۳۵۸} | 18 | 0 | 2.66 | CL | 35 | 22 | 13 |
| BH 18 | 0.034 | 0.005 | 4.1E-06 | 8.05 | 82 | 18 | 0 | 2.72 | CL | 37 | 23 | 14 |

۳- برخی فرمول های تجربی معتبر

هدایت هیدرولیکی (K) می تواند با بررسی اندازه ی ذرات رسوبات تخمین زده شود. Soro و Vukovic با خلاصه کردن چندین روش تجربی از مطالعات قبلی یک فرمول کلی ارائه دادند (Vukovic and Soro 1992):

$$K = \frac{g}{v} \cdot c \cdot f(n) \cdot d_{10}^2 \quad (1)$$

که در اینجا: K = هدایت هیدرولیکی g = شتاب جاذبه ی زمین v = ویسکوزیته ی سینماتیکی c = ضریب جورشدگی $f(n)$ = تابع تخلخل d_{10} = قطر موثر دانه ها

$$n = 0.255(1 + 0.83^u) \quad (2)$$

در اینجا u ضریب یکنواختی ذرات است و به صورت زیر بدست می آید:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3)$$

هازن:

$$K = \frac{g}{v} \cdot 6 \cdot 10^{-4} [1 + 10(n - 0.26)] d_{10}^2 \quad (4)$$

فرمول هازن در اصل برای تعیین هدایت هیدرولیکی ماسه هایی با دانه بندی یکنواخت طراحی شده اما برای رنج ماسه ی ریز تا گراول نیز مفید می باشد، در صورتی که رسوبات با ضریب یکنواختی کمتر از ۵ و قطر موثر (D_{10}) بین ۰.۱ و ۳ میلی متر باشند (Odong 2007). اگرچه هازن فرمولش را برای طراحی فیلترهای ماسه ای مورد استفاده در تصفیه ی آب ارائه داد (Terzaghi and Peck 1964) اما این فرمول معمولاً برای تخمین نفوذپذیری خاک های برجا استفاده می شود.

کوزنی - کارمان:

$$K = \frac{g}{v} \cdot 8.3 \cdot 10^{-3} \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] d_{10}^2 \quad (5)$$

فرمول کوزنی-کارمان از مقبولیت زیادی برخوردار است و از آن برای محاسبه ی نفوذپذیری به عنوان تابعی از مشخصات خاک های متوسط دانه استفاده می شود. این معادله ابتدا توسط کوزنی پیشنهاد گردید، و بعد از آن کارمان آن را اصلاح کرد تا به رابطه کوزنی-کارمان تبدیل شد (Carman (1937, 1956) and Kozeny (1927)). این معادله برای هیچ کدام از خاک های با قطر موثر بالای ۳ میلی متر یا خاک های رسی مناسب نمی باشد (Carrier 2003).

بویرو:

$$K = \frac{g}{v} \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log \frac{500}{K} \cdot d_{10}^2 \quad (6)$$

این فرمول تخلخل را در نظر نمی گیرد و بنابراین تابع تخلخل برابر با یک می شود. فرمول بریر اغلب برای مواد با توزیع غیر یکنواخت و جورشدگی ضعیف دانه ها با ضریب یکنواختی بین ۱ تا ۲۰ و قطر موثر بین ۰.۰۶ تا ۰.۶ میلی متر مناسب است.

اسلیتچر:

$$K = \frac{g}{v} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot n^{3.287} \cdot d_{10}^2 \quad (7)$$

بیشترین کاربرد این فرمول برای ذرات با اندازه ی بین ۰.۰۱ تا ۵ میلی متر می باشد.

ترزاقی:

$$K = \frac{1}{v} C_t \left(\frac{n - 0.12}{1 - n} \right)^2 d_{10}^2 \quad (8)$$

اگر ضریب جورشدگی (C_t) بین 6.1×10^{-3} و 10.7×10^{-3} قرار بگیرد از این فرمول استفاده می کنیم. در این فرمول از مقدار میانگین C_t استفاده می شود. بیشترین کاربرد فرمول ترزاقی برای ماسه های درشت دانه می باشد (Cheng and Chen 2007).

USBR

$$K = \frac{1}{v} 4.8 \cdot 10^{-4} \cdot d_{20}^{0.3} \cdot d_{10}^2 \quad (9)$$

فرمول کمیته ی اصلاح (USBR) با استفاده از D_{20} هدایت هیدرولیکی را محاسبه می کند. و به تخلخل بستگی ندارد، بنابراین تابع تخلخل واحد می باشد. این فرمول بیشتر برای ماسه های متوسط دانه با ضریب یکنواختی کمتر از ۵ مناسب است (Cheng and Chen 2007).

ایمانی و سن:

$$K = 1300 [I_0 + 0.025(d_{50} - d_{10})]^2 \quad (10)$$

در این فرمول k هدایت هیدرولیکی (بر اساس متر بر روز)، I_0 محل تقاطع خطی که از d_{50} و d_{10} می گذرد با محور اندازه ی ذرات (بر اساس میلی متر)، d_{10} قطر موثر (بر اساس میلی متر)، d_{50} قطری که ۵۰ درصد وزنی ذرات که از آن کوچک تر باشند (بر اساس میلی متر) (Odong 2007).

تقریباً همه ی معادلاتی که بر پایه ی پارامتر های حجم و اندازه ی دانه ها برای تخمین نفوذپذیری پیشنهاد شده است به خاک های درشت دانه محدود می شوند، و برای خاک های ریزدانه نتایج قابل قبولی ارائه نمی دهند. در علم ساختمان خاک پی بردن به پیش بینی رفتار مهندسی خاک های ریزدانه امری ضروری می باشد.

مشکل اساسی این معادلات این است که نفوذپذیری شدیداً به تغییرات ساختمان خاک حساس است، خاصیتی که پارامتر های حجمی را به درستی بازتاب نمی کند (Bengochea 1978). این پژوهش یک فرمول اساسی را به وسیله ی آزمایشات صحرائی در ارتباط بین نفوذپذیری و توزیع اندازه ی ذرات در خاک های ریزدانه و درشت دانه ارائه می دهد.

۴- ارائه ی رابطه ی تجربی در منطقه ی مورد مطالعه

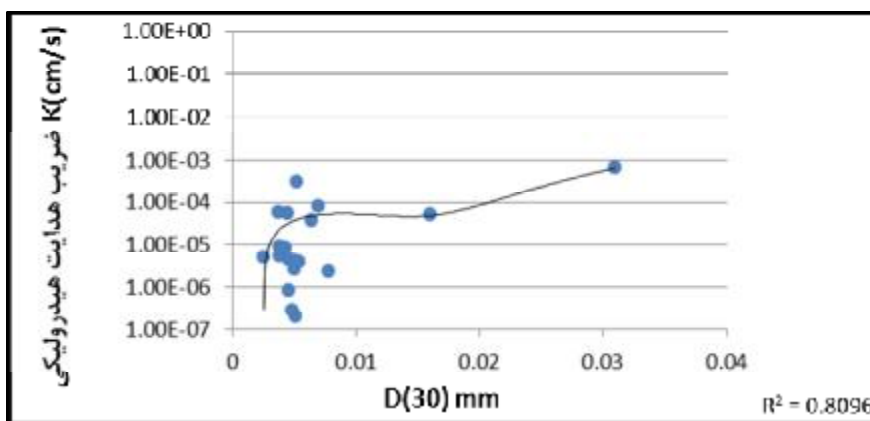
مسیر اصلی خط دو قطار شهری شیراز در حد فاصل فلکه ی گاز تا میان رود تعریف شده است، همچنین بخش دیگری از این مسیر به عنوان مسیر توسعه در حد فاصل فلکه ی گاز تا میدان گلستان خواهد بود. در مسیر خط دو قطار شهری شیراز ۱۳ ایستگاه پیش بینی شده است. مطالعه ی انجام شده بر روی ۱۰ حلقه گمانه به شماره های BH9 تا BH18 که هر کدام در دو عمق ۱۱-۱۳ و ۱۳-۱۵ متری مورد آزمایش قرار گرفته انجام شده است. گمانه ها به صورت قائم به روش دورانی با سرته ی کربارل با مغزه گیری پیوسته در موقعیت های تعیین شده حفر شده است.

تمامی آزمون های آزمایشگاهی و صحرائی بر اساس استاندارد ASTM انجام شده است. با توجه به وجود خاک های ریزدانه و درشت دانه در نمونه های مورد آزمایش در منطقه، رابطه ی ارائه شده برای هر دو نوع خاک قابل استفاده می باشد. در این پژوهش رابطه ی بین ضریب هدایت هیدرولیکی و $D60$ و همچنین $D30$ مورد بررسی قرار گرفته، و ضریب همبستگی نسبتاً بالایی (۰.۸) از فرمول حاصل شده است.

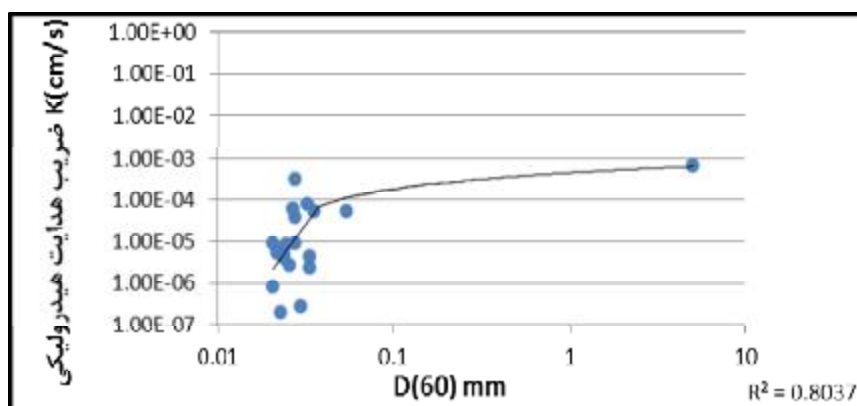
در یک تجزیه و تحلیل رگرسیونی ما ارتباطی را بررسی می کنیم، که تابع رگرسیون نامیده می شود. بین یک متغیر Y که متغیر وابسته نامیده می شود، و چند X_i دیگر، که متغیرهای مستقل نامیده می شوند. متغیر وابسته در این مقاله ضریب نفوذپذیری و متغیر مستقل $D(60)$ و $D(30)$ می باشند. همچنین تابع رگرسیون شامل یک مجموعه از پارامترهای ناشناخته b_i است، که ضرایب متغیر مستقل هستند. مدل رگرسیونی ارائه شده در این مطالعه یک مدل غیر خطی از نوع چند جمله ای و لگاریتمی می باشد (شکل ۳ و ۴).

$$K = 89.307 \cdot D(30)^3 - 3.1155 \cdot D(30)^2 + 0.0342 \cdot D(30) - 7E-05 \quad (11)$$

$$K = 0.0001 \cdot \ln(D(60)) + 0.0005 \quad (12)$$



شکل ۳- رابطه‌ی بین ضریب هدایت هیدرولیکی و $D(30)$



شکل ۴- رابطه‌ی بین ضریب هدایت هیدرولیکی و $D(60)$

۵- نتیجه گیری

نفوذپذیری یکی از مهم ترین پارامترها در زمین شناسی مهندسی و آب شناسی است، که از طریق آزمون های آزمایشگاهی، صحرایی، و روابط تجربی قابل محاسبه است. اقتصادی ترین، ساده ترین، و سریع ترین راه برای محاسبه ی ضریب نفوذپذیری روابط تجربی هستند. نظر به اینکه نفوذپذیری به خصوصیات فیزیکی خاک و سنگ وابسته است، لذا همه ی روابط بر این

اساس مدل سازی شده اند. با توجه به حساسیت ضریب نفوذپذیری به تغییرات ترکیب و ساختمان خاک نتایج آن لزوماً از یک مکان به مکان دیگر قابل انتقال نیست، بر این اساس تعیین روابط نفوذپذیری برای یک منطقه امری ضروری می باشد. با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در خط دو پروژه ی قطار شهری شیراز و به منظور جلوگیری از بروز مشکلات متعدد مربوط به حضور آب، نیازمند تعیین دقیق ضریب نفوذپذیری در نقاط بیشتر و در فواصل کمتر می باشد، که ممکن است از نظر اقتصادی با محدودیت هایی همراه باشد. در نتیجه ارائه ی یک رابطه ی تجربی برای تعیین ضریب نفوذپذیری می تواند کمک شایانی به حل بخشی از مشکلات این پروژه کرده باشد. لذا با توجه به ارتباط معناداری که بین دانه بندی و ضریب هدایت هیدرولیکی مشاهده شد، با بررسی ها و تجزیه و تحلیل های آماری در این راستا دو رابطه بین ضریب نفوذپذیری و $D(60)$ و $D(30)$ ارائه گردید، که می تواند در این منطقه مورد استفاده قرار بگیرد.

تشکر و قدر دانی

در پایان سپاس فراوان از شرکت قطار شهری شیراز جهت همکاری لازم برای تهیه ی داده ها و گزارش ژئوتکنیکی.

منابع

- Bengochea, G. (1978). "The Relation Between Permeability and Pore Size Distribution of Compacted Clayey Silts" : Interim Report. Publication FHWA/IN/JHRP-78/04. Joint Highway Research Project.
- Boadu, F. K. (2000). "Hydraulic Conductivity of Soils from Grain-Size Distribution", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Carman, P. C. (1937). "Fluid Flow through Granular Beds". Trans. Inst. Chem. Eng., 15, 150.
- Carman, P. C. (1956). "Flow of Gases through Porous Media". Butterworths Scientific Publications, London.
- Carrier, W. D. (2003). "Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1054.
- Cheng, C. and Chen, X. (2007). "Evaluation of Methods for Determination of Hydraulic Properties in an Aquifer-Aquitard System Hydrologically Connected to River". Hydrogeology Journal. 15: 669-678.
- Cirpka, O. A. (2003). "Environmental Fluid Mechanics I": Flow in Natural Hydrosystems.
- Daniel, M. (1995). "Permeability, porosity, and grain-size distribution of selected Pliocene and Quaternary sediments in the Albuquerque Basin" Detmer, 361 Bonita Drive, Ojai, CA 93023, 1995.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979). "Groundwater", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kozeny, J. (1927). "Über Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. Sitzungsber Akad. Wiss. Wien Math. Naturwiss. Kl., Abt. 2a, 136, 271-306 (In German).
- Odong, J. (2007). "Evaluation of Empirical Formulae for Determination of Hydraulic Conductivity based on Grain-Size Analysis". , Journal of American Science, 3(3).
- Pinder, G. F. and Celia, M. A. (2006). "Subsurface Hydrology". John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- Steiakakis, E. and Gamvroudis, C. and Alevizos, G. (2012). "Kozeny-Carman Equation and Hydraulic Conductivity of Compacted Clayey Soils", Geomaterials, Vol. 2 No.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1964). "Soil mechanics in engineering practice", Wiley, New York. , 566 pp, 521p.
- Thomas, W. (2010). "Fluid Flow in Porous Media", Chapter 3 – Permeability, 3.1_3.11.
- Todd, D. K. and Mays, L. W. (2005). "Groundwater Hydrology". (Third Edition): John Wiley and Sons, New York, 636 p.
- Uma, K. O. and Egboka, B. C. E. and Onuoha, K. M. (1989). "New Statistical Grain-Size Method for Evaluating the Hydraulic Conductivity of Sandy Aquifers". Journal of Hydrology, Amsterdam, 108, 367-386. 16.
- Vukovic, M. and Soro, A. (1992). "Determination of Hydraulic Conductivity of Porous Media from Grain-Size Composition". Water Resources Publications, Littleton, Colorado