۸۷/۱۰/۲۱ ۸۸۱۷
۸۷-۱۰-۴۲

دانشکده فنی و مهندسی عمران
گروه مکانیک خاک و پی

پایان‌نامه:
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک خاک و پی

عنوان:

تحلیل تأثیر بلانکت رسی در کاهش زهاب در بستر با ضریب نفوذپذیری تابع تنش

استاد راهنما:
دکتر جمشید صدرکریمی

استاد مشاور:
دکتر میکائیل یوسف‌زاده

پژوهشگر:
مجتبی رحمان‌پور

۱۳۸۷ /۱۰/ ۲۱

اسفندماه ۱۳۸٤

شماره:

۱۰۸۷۳۸

یا هو

این پایان نامه را تقدیم می کنم به:

مادرم ،این تنان نامتناهی

خانواده ام

- بنیان مستدام-

و دوست، این حضور فیض

و خودم ؛ که هنوز هستم

و استاد ، که دمی خوش باشد.

من می‌دانم که پدرم هنوز در بهشت آب می خورد.

والسلام

نام خانوادگی دانشجو: رحمان‌پور **نام:** مجتبی

عنوان پایان‌نامه: تحلیل تأثیر بلانکت رسی در کاهش زهاب در بستر با ضریب نفوذپذیری تابع تنش

استاد راهنما: دکتر جمشید صدرکریمی

استاد مشاور: دکتر میکائیل یوسف‌زاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** مکانیک خاک و پی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فنی و مهندسی عمران **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** ۱۳۸٤/۱۲/۱ **تعداد صفحه:** ۱۱۷

کلید واژه‌ها: بلانکت، ضریب نفوذپذیری تابع تنش موثر، زهاب، معادله دیفرانسیل جریان یک بعدی، حل عددی معادله جریان

چکیده:

به طور کلی نفوذپذیری یک توده متخلخل به عوامل زیادی بستگی دارد. از جمله عوامل موثر در نفوذپذیری خاک میزان تنش موثر اعمال شده بر آن است. در نظر نگرفتن تاثیر تنش موثر بر ضریب نفوذپذیری گاه باعث به وجود آمدن خطای زیادی در محاسبات مربوط به زهاب و نشست می شود. برای از بین بردن این خطا لازم است تاثیر تنش بر ضریب نفوذپذیری در محاسبات اعمال گردد. در این مقاله ضریب نفوذپذیری به صورت تابعی از تنش موثر در نظر گرفته شده است وبا اعمال آن در معادله کلی جریان یک بعدی، تغییرات خواص هیدرولیکی و مکانیکی توده خاک مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور مقدار ضریب نفوذپذیری تابع تنش موثر در معادله دیفرانسیل جریان یک بعدی قرار داده شده سپس آن معادله به صورت عددی برای شرایط مرزی بار آبی بالا دست و پایین دست حل شده است. بعد از حل معادلات، از روی دیاگرام‌های به دست آمده خواص هیدرولیکی و مکانیکی پروفیل خاک در دو حالت نفوذپذیری ثابت و نفوذپذیری تابع تنش مقایسه شده، تغییرات خصوصیات فوق با تغییرات مقدار مقدار پارامتر b مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست

صفحه

فصل ۱

بررسی منابع ٤

۱-۱- مقدمه ای بر مفهوم کلی نفوذ پذیری و نشت ٤

۱-۲- عوامل موثر در هدایت هیدرولیکی خاک ۹

۱-۲-۱- تاثیر سیکل های متناوب تر و خشک شدن بر خصوصیت هیدرولیکی خاک‌های متراکم ۹

۱-۲-۲- بررسی تاثیر ترکیبات مختلف اجزای تشکیل دهنده خاک بر روی ضریب نفوذ پذیری آن ۱۲

۱-۲-۳- بررسی مقدار ضریب نفوذ پذیری تراشه های حاصل از سنگ های سخت به منظور بهبود فرمول های مربوط به ضریب نفوذ پذیری ۱٦

۱-۲-٤- معرفی C_k به عنوان پارامتری جدید در ارزیابی منحنی های مربوط به تغییرات مقدار ضریب نفوذ پذیری با تنش موثر ۲۵

۱-۲-۵- تاثیرات نفوذ پذیری تابع تنش در جریان آب زیر زمینی ۲۹

۱-۲-٦- مطالعه آزمایشگاهی جریان در محیط پس درزه دار ۳۷

فصل ۲

مواد و روشها ٤٦

۲-۱- مطالعه جریان پایدار عبوری از توده خاک ٤٦

۲-۲- جریان پایدار ٤۷

۲-۳- تغییرات نفوذپذیری جریان پایدار در محیط متخلخل ۴۷

۲-٤- مطالعه جریان یک بعدی ۴۹

۲-۵- حل مستقیم جریان یک بعدی پایدار ۵۳

۲-٦- روش تفاضلات محدود ۵۵

۲-۷- شرایط مرزی بار آبی ثابت ۵۷

۲-۸- حل جریان با شرایط مرزی مقدار دبی ثابت ۵۹

۲-۹- مطالعات کلی سه بعدی حاکم بر جریان ٦۱

۲-۱۰- کلیاتی راجع به نرم افزار MATLAB ٦٦

۲-۱۰-۱- فضای کاری MATLAB ٦۷

۲-۱۰-۲- ذخیره کردن و بازیابی اطلاعات ٦۷

۲-۱۰-۳- قالب های نمایش اعداد ٦۸

۲-۱۰-٤- جعبه ابزارهایMATLAB ٦۸

فصل ۳

نتایج و بحث ۷۲

۳-۱- کلیات ۷۲

۳-۲- حل تحلیلی معادله دیفرانسیل جریان ۷۳

۳-۳- حل عددی معادله دیفرانسیل جریان ۷۸

۳-۳-۱- مراحل حل عددی ۸۱

۳-۳-۲- تاثیر ضریب نفوذپذیری تابع تنش بر چگونگی توزیع فشار آب منفذی ۸۲

۳-۳-۳- تاثیر ضریب نفوذپذیری تابع تنش بر توزیع تنش موثر در عمق ۸٤

۳-۳-٤- تاثیر ضریب نفوذپذیری تابع تنش بر تغییرات ضریب نفوذپذیری نسبت به عمق ۸٦

۳-۳-۵- فاکتور عمق ۸۹

۳-۳-٦- تاثیر ضریب نفوذپذیری تابع تنش در تغییرات دبی ۹۱

۳-۳-۷- نتیجه گیری ۹۵

ضمیمه ۱- تغییرات خواص مکانیکی خاک در اثر نفوذپذیری تابع تنش ۹٦

ضمیمه۲- الگوریتم کلی برنامه‌ها ۱۰۲

ضمیمه۳- کد برنامه حل تحلیلی معادله جریان در حالت یک بعدی با نفوذپذیری تابع تنش با لحاظ شرایط مرزی ارتفاع آب در بالا دست و پایین دست وارضای شرایط هیدرولیکی تحت برنامه MATLAB - تابع نمایی ۱۰۳

ضمیمه٤- کد برنامه حل عددی معادله جریان در حالت یک بعدی با نفوذپذیری تابع تنش با لحاظ شرایط مرزی ارتفاع آب در بالا دست و پایین دست وارضای شرایط هیدرولیکی تحت برنامه MATLAB - تابع نمایی ۱۰٦

ضمیمه۵- کد برنامه حل عددی معادله جریان در حالت یک بعدی با نفوذپذیری تابع تنش با لحاظ شرایط مرزی ارتفاع آب در بالا دست و پایین دست وارضای شرایط هیدرولیکی تحت برنامه MATLAB- تابع توانی ۱۰۹

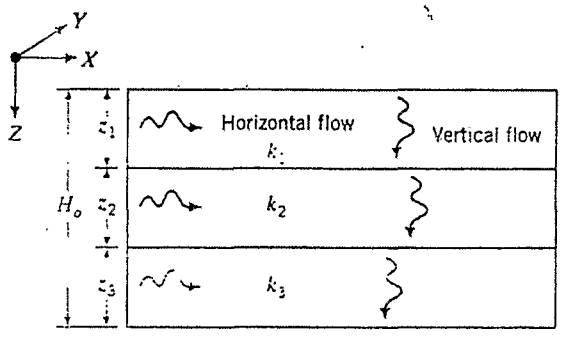
ضمیمه٦- کد برنامه حل عددی معادله جریان در حالت یک بعدی با نفوذپذیری تابع تنش با لحاظ شرایط مرزی ارتفاع آب در بالا دست و پایین دست وارضای شرایط هیدرولیکی و مکانیکی تحت برنامه MATLAB - تابع توانی ١١٢
منابع و ماخذ ١١٦

فصل ۱- بررسی منابع

۱-۱- مقدمه ای بر مفهوم کلی نفوذ پذیری و نشت

به طور کلی هر تودهٔ خاک از سه قسمت جامد، مایع و هوا تشکیل شده است. وجود فضاهای خالی در خاک این اجازه را می‌دهد که مایعی که عموماً آب است، از بین ذرات خاک عبور کند. خاصیتی که اجازهٔ عبور آب از بین دانه های خاک را می‌دهد، خاصیت نفوذپذیری نامیده می‌شود(شکل ۲-۱). برای به دست آوردن مقدار نشت در تودهٔ خاک، از قانونی به نام قانون دارسی استفاده می‌شود. قبل از بیان قانون دارسی چند مفهوم کلی ولی اساسی باید مورد توجه قرار گیرد. در ابتدا مفهوم بار آبی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. اگریک لوله را از آب پرکنیم، و آن را روی یک سطح فرضی، مثلاً یک میز قرار دهیم، ارتفاع آزاد آب در لوله را نسبت به سطح میز، هد فشار می‌نامیم و آن را با h_p نشان می-دهیم. حال اگر لولهٔ آب مفروض را تا یک ارتفاع فرضی z، بالاتر ببریم، نسبت به سطح میز اولیه. بار آبی لوله به اندازهٔ مقدازی مانند h_z افزایش خواهد یافت. اگر آب درون لوله، با سرعتی معادل v در حرکت باشد، انرژی جنبشی معادل $\frac{v^2}{2g}$ نیزبه مقادیر گفته شده علاوه خواهد شد. در این صورت، ارتفاع آبی کل را برای لولهٔ مفروض می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$H = h_z + h_p + \frac{v^2}{2g} \qquad [۱-۱]$$



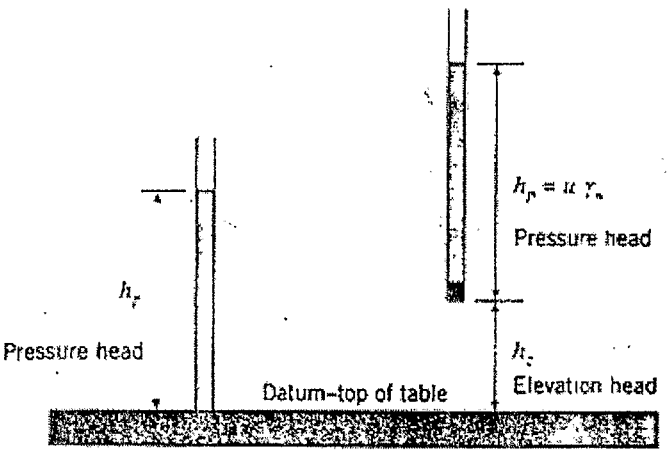
شکل۲-۱: عبور جریان از لایه خاک

FIGURE ۱.۱ Flow through stratified layers.

از آنجایی که سرعت جرکت آب در خاک معمولاً کوچکتر از $1\frac{cm}{s}$ است، از جملهٔ سوم عبارت بالا صرفنظر می‌کنیم و داریم(شکل ۲-۲):

$$H = h_z + h_p = h_z + \frac{u}{\gamma_\omega} \qquad [۱-۲]$$

که در آن $u = h_p \cdot \gamma_\omega$ ، معادل فشار آب حفره ای است. به علت وجود اصطکاک بین آب و دانه های خاک در حین عبور آب، مقداری از انرژی اولیه آن مستهلک می‌شود. اگر یک استوانه را در نظر بگیریم که داخل آن با خاک پر شده است و در دو طرف آن دو پیزومتر قرار دهیم که در پیزومتر A ارتفاع آب برابر $(h_p)_A$ باشد، بعد از عبور آب از پروفیل خاک ، درطرف دیگر، ارتفاع آب برابر با $(h_p)_B$ خواهد بود. مقدار ΔH در تصویر برابر با افت بار آبی است(شکل۳-۲).



شکل ۲-۲ نمایش شماتیک بار آبی در اثر ارتفاع و فشار آب

دارسی (Darcy) در ۱۸۵۶، عنوان کرد که متوسط سرعت عبوری از پروفیل خاک با گرادیان بار آبی کل متناسب است. این قانون را می‌توان به صورت زیربیان کرد:

$$V = K\frac{\Delta H}{\Delta x} \qquad [۱-۳]$$

که در فرمول بالا، V، متوسط سرعت عبوری آب از خاک، K ضریب تناسب یا ضریب نفوذ پذیری و ΔH، اختلاف بارآبی در مسیری به طول Δx است.

اگر $i = \frac{\Delta H}{\Delta x}$ را گرادیان هیدرولیکی بنامیم، قانون دارسی به صورت زیر درمی‌آید:

$$V = K.i \qquad [۱-٤]$$

فرمول بالا، حرکت جریان آب در خاک را برای کل مقطع عبوری آب در نظر گرفته است. ولی در واقع آب فقط از میان حفره های خالی تودهٔ خاک می‌تواند عبور کند. برای یافتن سرعت آب از میان درزه های خاک فرمول بالا را به صورت زیر، باز نویسی می‌کنیم:

$$V_s = \frac{K}{n} i \qquad [۱-٥]$$

که در آن Vs، سرعت عبور آب از میان درزه های خاک بوده، n میزان تخلخل را نشان می‌دهد. برای یافتن میزان دبی عبوری از یک مقطع، با استفاده از سرعت متوسط حرکت آب درتودهٔ خاک، داریم:

$$q = V.A = A.K.i \qquad [۱-٦]$$

که q، مقدار دبی عبوری از مقطع خاک، بسته به واحدهای v و A واحدی مانند m^3/s یا cm^3/s را اتخاذ خواهد کرد.

به صورت اجمالی، از جدول زیر، مقادیر ضریب نفوذ پذیری را برای چند نوع خاک می‌توان بدست آورد:

جدول ۱-۱ مقادیر ضریب نفوذ پذیری برای خاکهای معمولی

نوع خاک	ضریب نفوذپذیری برحسب mm/s
شن درشت	۱۰ تا $۱۰^{۳}$
شن ریز، ماسه درشت و متوسط	$۱۰^{-۲}$ تا ۱۰

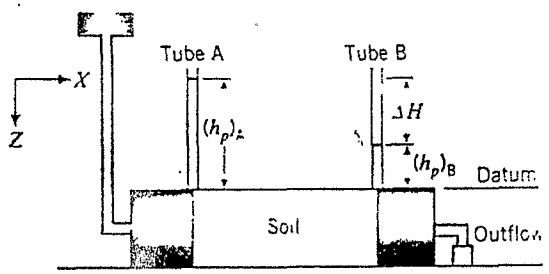
ماسه ریز، لای سست	10^{-4} تا 10^{-2}
لای متراکم، لای رس دار	10^{-5} تا 10^{-4}
رس لای دار، رس	10^{-8} تا 10^{-5}

در بعضی موارد، آب از داخل چند لایه موازی خاک حرکت می‌کند که هر کدام از این لایه‌ها، ضریب نفوذپذیری متفاوتی دارند . در این حالت، مقدار آب عبوری از پروفیل خاک برابر با مجموع مقادیر عبوری آب از تک تک لایه های خاک است. در این صورت می‌توان نوشت:

$$q_v = A.V = (1\times H_0)k_{(eq)}.i = (1\times Z_1)K_1.i + (1\times Z_2).K_2.i + ... + (1\times Z_n).K_n.i \qquad [۱-۷]$$

که در آن H. ضخامت کل لایه بوده، $K_{(eq)}$ برابر با ضریب نفوذ پذیری معادل برای کل لایه است Z_1 تا Z_n، ضخامت هر کدام از لایه‌ها و k_1 تا k_n ، ضریب نفوذ پذیری متناظر با هر لایه است. از فرمول شماره (۷) می‌توان مقدار ضریب نفوذپذیری معادل را برای کل لایه به دست آورد.

$$K_{(eq)} = \frac{1}{H_0}(Z_1.K_1 + Z_2.K_2 + ... + Zn.Kn) \qquad [۱-۸]$$



شکل ۳-۲ افت بار آبی در اثر عبور آب از خاک

در صورتی که آب به صورت عمود بر چند لایه خاک با ضرایب نفوذپذیری مختلف حرکت کند میزان افت باد آبی کل، برابر با مجموع افت‌ها درتک تک لایه ها خواهد بود، یعنی:

$$\Delta H = \Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_n \qquad [۱-۹]$$

که در آن ΔH، برابر با کل افت بار آبی بوده، Δh_1 تا Δh_n، متناظر با افت بار آبی در تک تک لایه های خاک است. بنا به قانون پیوستگی ، سرعت آب در هر کدام از لایه‌ها برابر است پس با توجه به قانون دادرسی، می‌توان نوشت:

$$K_{(eq)} \frac{\Delta H}{H_0} = K_1 . \frac{\Delta h_1}{z_1} = K_2 . \frac{\Delta h_2}{z_2} = ... = K_n . \frac{\Delta h_n}{z_n} \qquad [۱-۱۰]$$

که در آن $K_{(eq)}$ برابر با ضریب نفوذپذیری معادل لایه است.

از اینرو، مقدار ضریب نفوذپذیری معادل در این حالت به شکل زیر است:

$$K_{(eq)} = \frac{H_0}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} + ... + \frac{z_n}{k_n}} \qquad [۱-۱۱]$$

برای تعیین مقدار عددی ضریب نفوذپذیری خاک در آزمایشگاه، از روش عمدهٔ عبور آب از خاک با بارآبی ثابت و متغیر استفاده می‌شود که مشروح این آزمایش‌ها را می‌توان در کتابهای استانداردآزمایش مکانیک خاک بدست آورد.

از آنجائیکه مقدار ضریب نفوذ پذیری خاک، مقداری ثابت نبوده بسته به شرایط تغییر می‌کند، بررسی چگونگی تغییرات این ضریب در حالات گوناگون، ضروری به نظر می‌رسد. از جمله موارد موثر در ضریب نفوذپذیری خاکها می‌توان به تاثیرات‌تر و خشک شدن متوالی خاکها، تاثیر اجزای تشکیل دهندهٔ خاک، اندازهٔ دانه‌ها، درجهٔ اشباع، ویسکوزیتهٔ سیال عبوری و میزان تخلخل خاک و تاثیرات تنش موثر اشاره کرد که در ادامه بعضی از عوامل فوق بررسی می‌شود.

۱-۲- عوامل موثر در هدایت هیدرولیکی خاک

۱-۲-۱-تاثیر سیکل های متناوب تر و خشک شدن بر خصوصیت هیدرولیکی خاک‌های متراکم

یکی از عوامل موثر و مهم در اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک سیکل های تر و خشک شدن المان خاک می باشد. خاک متشکل از خلل و فرج کوچک و بزرگ و ذرات جامدات می باشد و جریان آب از بین این خلل و فرج می دهد . به منظور بیان رفتار هیدرولیکی خاکها در اثر سیکل تر و خشک شدن، جهانگیر عابدی (۱۳۸۱) آزمایش را بر روی چند نمونه خاک انجام داده است. جداول زیر خصوصیات مکانیکی و تراکمی خاک را نشان می دهند.

جدول۲-۱:خصوصیات مکانیکی و تراکم خاک

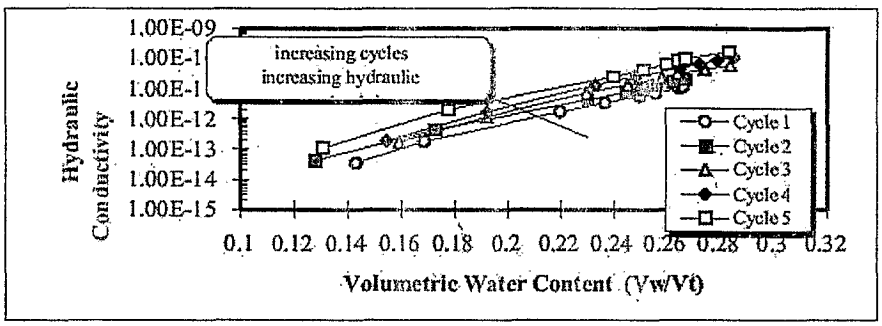
نوع خاک	PL	LL	PI	درصد رس	وزن مخصوص (g/cm^3)	USCS
رسی	۲۱	۳۸	۱۷	٪۳۰	۲/۷۸	CL
ماسه ای	غیر پلاستیک			۰	۲/۶۵	SW-SP

نوع خاک	درصد رطوبت بهینه (OMC)		حداکثر وزن واحد خشک(MDD) (g/cm^3)	
	آزمایش استاندارد	آزمایش استاندارد اصلاح شده	آزمایش استاندارد	آزمایش استاندارد اصلاح شده
رسی	۱۷	۱۴	۱/۸۵	۲
ماسه ای	۹	۷/۵	۲/۰۳	۲/۱۶

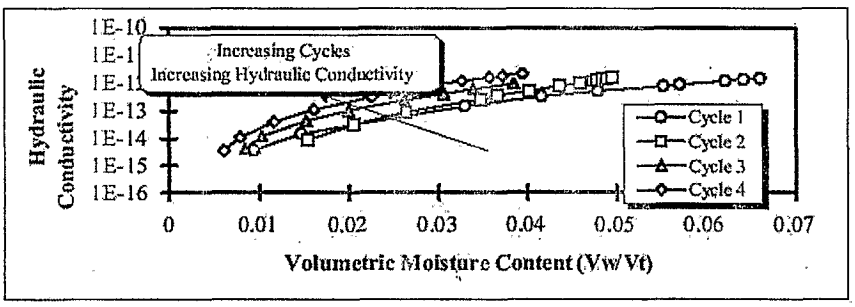
نتایج آزمایشات هدایت هیدرولیکی خاک ماسه ای در درصدهای مختلف تراکم ۹۰٪ و ۹۵٪ قبل و بعد از اعمال دوره خشکی در شکلهای زیر مشاهده می شود. برای تراکم ۹۰٪ در دوره خشکی و هر یک به مدت ۳۰ روز و برای تراکم ۹۵٪ یک دوره خشکی به مدت ۳۰ روز اعمال شده است. همانطور که از شکل مشهود است، مرطوب و خشک شدن خاک، هدایت هیدرولیکی خاک را به مقدار ۳۰ الی ٦۰ برابر مقدار افزایش می دهد. بیشترین افزایش مربوط به خاک با درصد تراکم ۹۰٪ می باشد که دوره خشکی بیشتری را سپری کرده است. هر چند درزهای به وجود آمده در حین

خشک شدن، در فرآیند مرطوب شدن، مجدداً بسته می شوند، اما وضعیت آنها مثل حالت قبل از ایجاد ترک نیست در نتیجه هدایت هیدرولیکی خاک را تحت تاثیر قرار می دهند.

شکل‌های زیر تاثیر سیکلهای متناوب تر و خشک شدن را بر روی خاکهای ماسه ای و رسی اشباع و غیر اشباع نشان می دهد.



شکل ٤-٢ تاثیر اعمال پنج دوره خشکی بر روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک رس با نسبت تراکم ۹۵ درصد استاندارد

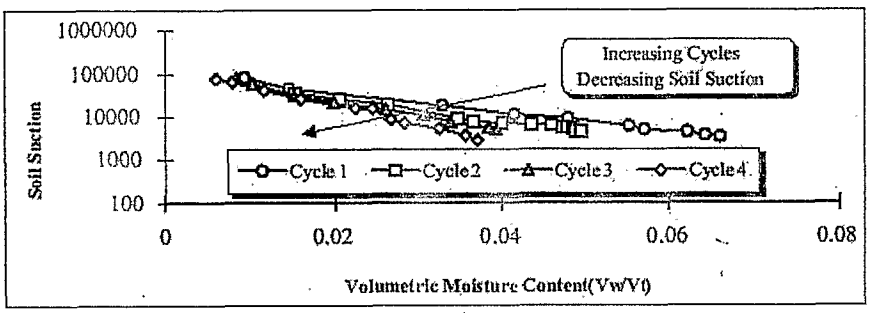


شکل ٥-٢ تاثیر اعمال چهار دوره خشکی بر روی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک ماسه ای با نسبت تراکم ۹۰ درصد استاندارد

مشاهده می شود برای مقدار ثابتی از حجم آب برای نمونه مورد آزمایش، با افزایش دوره های تر و خشک شدن، مقدار هدایت هیدرولیکی افزایش می یابد. فرآیند تر و خشک شدن روی منحنی مشخصه خاک نیز تاثیر می گذارد. به طور کلی منحنی مشخصه، رابطه بین مقدار مکش خاک غیر اشباع را با حجم آب موجود در آن نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می شود با افزایش مقدار تعداد سیکلهای تر و خشک شدن متوالی، مقدار مکش خاک به ازای درصد واحدی از رطوبت خاک کاهش می یابد.

در اقلیم های خشک و نیمه خشک جهان، معمولا یک دوره مرطوب شدن خاک با یک دوره طولانی مدت خشک شدن خاک همراه است. نتایج حاصل از تحقیقات نشان می دهد، با افزایش دوره های



شکل ٦-٢ تاثیر اعمال چهار دوره خشکی بر روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک ماسه ای با نسبت تراکم ۹۰ درصد استاندارد

مرطوب و خشک شدن، منحنی مشخصه رطوبتی خاک و به تبع آن هدایت هیدرولیکی خاک اشباع و غیر اشباع تغییر می کند، به طوری که میزان افزایش هدایت هیدرولیکی خاک اشباع بسته به دوره خشکی بین ۳۰ الی ٦۰ برابر مقدار اولیه می باشد. علت این افزایش را می توان به آرایش مجدد ذرات خاک ناشی از انقباض خاک نسبت داد که متعاقباً روی آرایش هندسی خلل و فرج خاک نیز تاثیر می گذارد.

۲- بررسی تاثیر ترکیبات مختلف اجزای تشکیل دهنده خاک بر روی ضریب نفوذ پذیری آن

شیمی خاک و فعل و انفعالات ژئو شیمیایی در تراکم و نفوذ پذیری خاک تاثیر مهمی دارد. از این منظر ظرفیت جابجایی یونی PH و مقدار مواد آمورف موجود در خاک و اثر آنها در کیفیت خاک به لحاظ تراکم پذیری و جذب مواد شیمیایی تاثیر گذار است. تحقیقات نشان داده مواد افزودنی نظیر ژل سیلیکا که خاصیت پوزولانی دارد تا میزان دو برابر نفوذ پذیری خاک را کاهش می دهد و قدرت جذب فلزات سمی را افزایش می دهد.

در تحقیقی که توسط احمد خدادادی و مرتضی احمدی – ۱۳۸۱ انجام شده، کائولینیت به عنوان خاک مبنا با سطح مخصوص۱۲،PH و جابجایی یونی پایین، در نظر گرفته شده، درصدهای وزنی مختلفی از سنگ آهک و سیلیکاژل به آن اضافه شده است CEC.ظرفیت معرف جابجایی یونی هرکدام از مواد افزودنی است. جدول زیر، خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش را نشان می دهد.

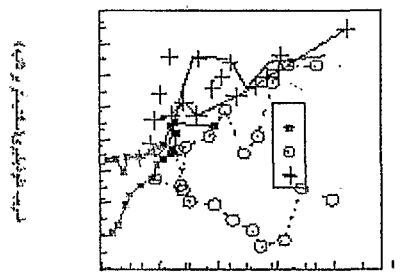
جدول ۳-۱: خواص فیزیکی و شیمیایی مواد افزودنی

خواص	کائولینیت	سیلیکا ژل	کا ئولینیت+ سیلیکا ژل ۱۰٪	کائولینیت+کربنات ۱۰%	کائولینیت+سیلیکا ژل+کربنات
pH	۵/۰±۵/۴	۲/۰±۳/۶	۰/ ۴± ۵/۱۵	۳/۰±۷/۰۷	۷/۰۱ ±۰/۴
CEC (meq/100 g)	۸ ±۰/۴	۸۲±۵	۶۷±۵	۱۷±۲	۵۵± ۳
سطح مخصوص (m^2/g)	۱۲± ۰/۲۰	۲۷۶±۱۰	۱۱۸±۷	۶۶±۴	۹۷±۷

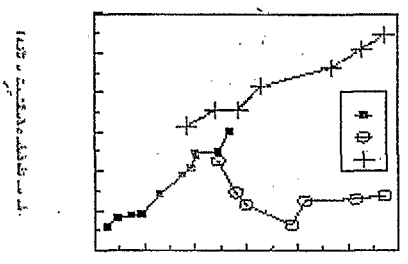
همانطور که جدول فوق نشان می دهد، مواد کربناتی به مقدار زیادی PH حاصل از خاک را افزایش داده، تحمل خاک را در برابر مواد اسیدی افزایش می دهند در نتیجه مقاومت خاک در برابر فرسایش، افزایش می یابد. از طرف دیگر، افزودن مواد پوزولانی یا آمورف مانند سیلیکاژل، موجب

افزایش جابجایی یونی و سطح مخصوص خاک شده، میزان رطوبت خاک و جذب مواد سمی و تحکیم آن افزایش خواهد یافت.

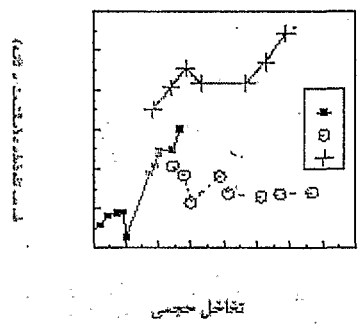
میزان نفوذ پذیری خاک یکی از عوامل تعیین کننده در انتخاب و استفاده از آن برای استفاده در هسته سدها، عایق سازی کانالها و مخازن آب و لاگونهای ته نشینی و دفن مواد زائد شهری، بهداشتی و زائدات خطرناک اتمی است. هر چه میزان نفوذ پذیری خاک کمتر باشد، امکان عبور آب و مواد شیمیایی از آن کمتر بوده، مواد شیمیایی زمان ماند بیشتری جهت فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی خواهند یافت. منحنی های زیر نشان دهنده آن است که مواد افزودنی نظیر سیلیکاژل یا کربنات کلسیم، قادر هستند به میزان زیادی نفوذ پذیری خاک را کاهش دهند. این امر به دلیل فعل و انفعالات شیمیایی بین اجزای تشکیل دهنده خاک با آب است. میزان نفوذ پذیری خاک ترکیبی، دو برابر کمتر از خاک اولیه است که این خود نشان دهنده کاهش فواصل بین دانه ای خاک حاصل و تراکم بهتر آنها است.



الف: کائولینیت



ب: کائولونیت+ کربنات



ج: کائولونیت+ کربنات+سیلیکا ژل

شکل ۷-۲

در تحقیق دیگری که توسط عبدی و شمالی (۱۳۸۱) صورت گرفته است، ترکیبات مختلفی از خاکهای درشت دانه و ریز دانه با رس با خصوصیت خمیری نظیر، بنتونیت و کائولینیت و نیز آهک، مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل زیر، توزیع دانه بندی و حدود اتربرگ و طبقه بندی مصالح مورد استفاده را نشان می دهد.

جدول ٤-١ توزیع دانه بندی، حدود اتربرگ و طبقه بندی مصالح مورد استفاده (شمالی ۱۳۸۰)

نوع مصالح	دانه‌بندی			حد روانی (٪)	حد خمیری (٪)	نشانه خمیری(٪)	طبقه‌بندی سیستم یونیفاید
	درصد شن	درصد ماسه	درصد سیلت و رس				
ماسه	۳	۹۰	۷	ــ	NP	NP	SW-SM
رس	ــ	۳	۹۷	۳۴	۱۷	۱۷	CL
بنتونیت	ــ	ــ	۱۰۰	۲۱۸	۳۸	۱۸۰	CH

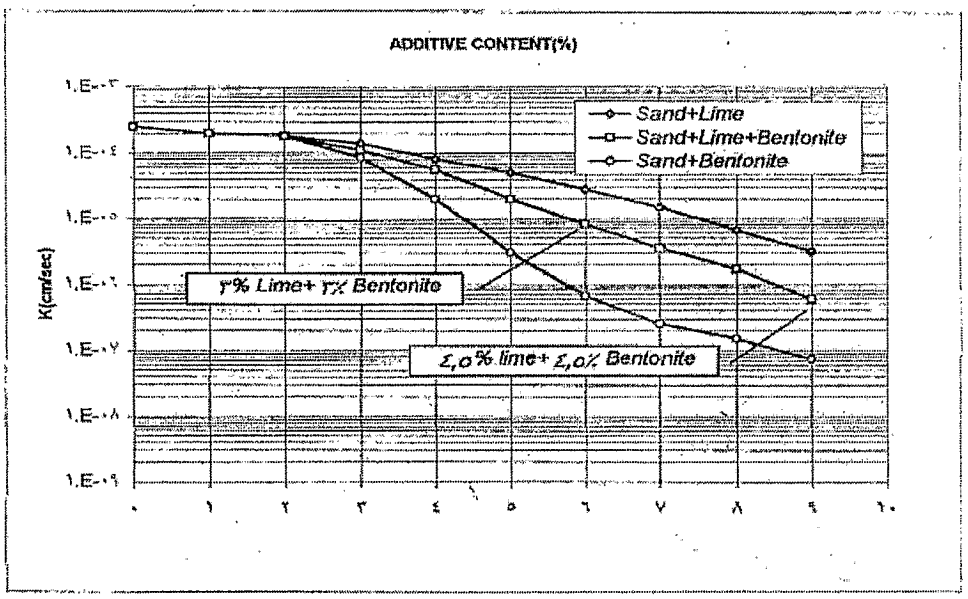
نمونه های مورد آزمایش ابتدا در قالب پروکتور استاندارد متراکم شده، سپس آزمایش نفوذ پذیری به روش بار متغیر روی آنها انجام گرفته است. جداول درصد اختلاط های مطالعه شده نمونه های تحت آزمایش را نشان می دهد.

جدول ٥-١ اختلاط های مطالعه شده

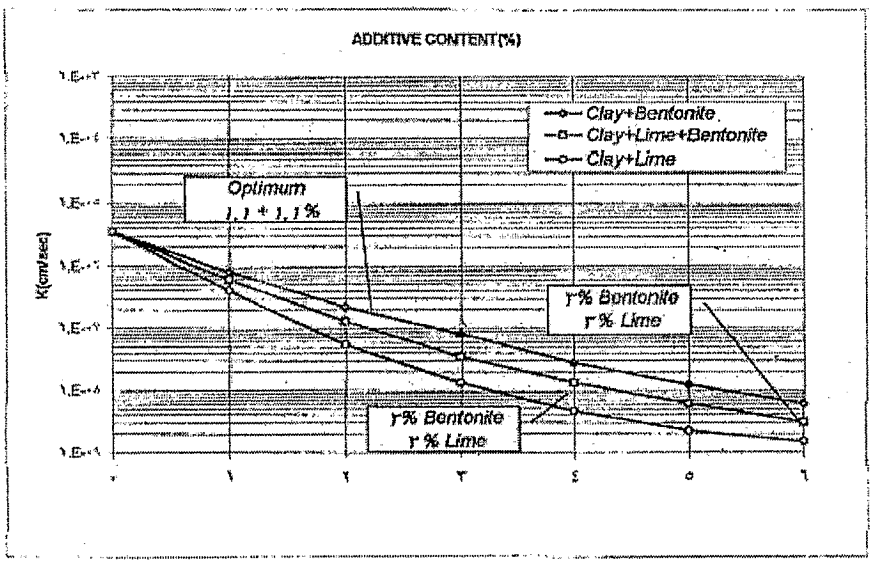
اختلاط‌های مطالعه شده. آهک: L بنتونیت : B														
افزودنی	بنتونیت (درصد)						آهک (درصد)					بنتونیت و آهک مخلوط (درصد)		
مصالح	۰	۲	۳	۴	۶	۹	۲	۳	۴	۶	۹	۳B + ۳L	۲B + ۲L	۴/۵B + ۴/۵L
ماسه			×		×	×		×		×	×	×		×
رس	×	×		×	×		×		×	×		×	×	

نتایج آزمایش نفوذ پذیری در مورد نمونه ماسه ای همراه با افزودنی های بنتونیت و آهک نشان می‌دهد بنتونیت به علت پر کردن خلل و فرج ذرات ماسه و تورم زیاد آن و در نتیجه جذب آب باعث مسدود شدن کانالهای جریان گردیده، در کاهش نفوذ پذیری ماسه موثر بوده است. آهک به علت عدم برقراری واکنشهای شیمیایی مناسب با ذرات سیلیسی ماسه و عدم تورم کافی در کاهش نفوذ پذیری ماسه موثر واقع نشده است.

بر خلاف نمونه ماسه ای، آهک به علت عدم انجام واکنشهای شیمیایی با ذرات رس، موثرتر از بنتونیت در کاهش نفوذ پذیری این نوع خاک عمل نموده است. اختلاط توام بنتونیت و آهک هر چند در کاهش نفوذ پذیری موثر عمل نموده اما در درصدهای مشخص کارایی لازم را نسبت به آهک مجزا نشان نداده است.



شکل ۸-۲ تغییرات نفوذ پذیری نمونه ماسه ای همراه با بنتونیت و آهک، به صورت مجزا و توام



شکل ۹-۲ تغیرات نفوذ پذیری نمونه رسی همراه با بنتونیت و آهک، به صورت مجزا و توام

۳-بررسی مقدار ضریب نفوذ پذیری تراشه های حاصل از سنگ های سخت به منظور بهبود فرمول های مربوط به ضریب نفوذ پذیری:

با اصلاح فرمول Kozney-Carman از طریق وارد کردن پارامترهای مربوط به شکل دانه ها و دانه بندی خاک می توان تغییرات عوامل موثر در نفوذ پذیریخاک را مستقیما در فرمول مزبور وارد کرده، تاثیرات آن را مشاهده نمود. Chapius et al (۱۹۹٦) برای چند نمونه خاک که از خرد شدن سنگها در فرآیند استخراج معدن بدست آمده بودند، مورد آزمایش قرار دادند. مشخصات این خاکها به قرار زیر است:

جدول ٦-۱: مشخصات نمونه های مورد آزمایش

Sites	w_{opt} (%)	γ_d (kN/m^3)	e_{opt}
SI	13.8	18.4	0.50
BE	15.2	17.8	0.54
SEf	13.3	18.7	0.49
SEc	13.0	18.6	0.51

جدول ۷-۱: درصد کانیهای هر نمونه

Sites:	SI	BE	SEf	SEc
Quartz	25	45	40	30
Plagioclase	30	27	20	20
Chlorite	25	5	15	10
Calcite	10	8	—	5
Dolomite	—	15	15	25
Mica	5	—	10	10
Tourmaline	5	—	—	—
D_r	2.79	2.78	2.84	2.87

این نمونه ها تحت آزمایش تحکیم تک محوری قرار گرفتند و در هر مرحله میزان ضریب نفوذپذیری آنها اندازه گیری شد. نتایج حاصل از این آزمایش در گرافهای زیر مشاهده می شود: