محيط شناسي، سال سي و ششم، شمارة ۵۴ تابستان ۸۹، صفحة ۳۵-۴۲

بررسي تغييرات نفوذپذيري لاينر رسی در تماس با شيرابه پسماند شهري (مطالعة موردي: محل دفن زباله کهريزک)

چكيده

استفاده از لاينرهاي خاكي به‌دليل توانايي دسترسي به مصالح مناسب در محل‌هاي دفن پسماند در بخش زيادي از ايران (بخصوص در منطقة كهريزک) و همچنين هزينة كمتر آنها نسبت به ساير لاينرها، در حال حاضر مي‌تواند گزينة قابل قبولي باشد. مطالعات مختلف نشان مي‌دهد كه يكي از عوامل مهم در انتخاب لاينرهاي خاكي، شرايط محلي و سازگاري لاينر با شيرابة توليد شده در محل مورد نظر است. رفتار هيدروليكي لاينرهاي خاكي كه مي‌توان آن را در نفوذپذيري لاينر خلاصه كرد در اندركنش با شيرابة پسماند شهري به ويژگي‌هاي شيرابه و خاک مورد استفاده در لاينر وابسته است. اين مسئله بويژه در مورد خاكهاي داراي شوري بالا از اهميت ويژه‌اي برخوردار است. بر همين اساس تغييرات نفوذپذيري لاينر خاكي متراكم‌شده با استفاده از خاک مورد نظر براي احداث لاينر در توسعة محل دفن كهريزک در تماس با شيرابه در مقياس آزمايشگاهي مورد بررسي قرار گرفته است. بدين منظور آزمايش نفوذپذيري بر مبناي روش هد افتان بر روي نمونه‌هاي خاكي كه به‌صورت درجا متراكم شده اند و با استفاده از شيرابه واقعي نمونه‌برداري شده از محل فعلي دفن زباله كهريزک انجام شد. نتايج نشان مي‌دهد كه باوجود آن‌كه نفوذپذيري لاينر با گذشت زمان افزايش مختصري (حدود ۳ برابر) نشان مي‌دهد، مقدار آن همواره چند ده بار كمتر از نفوذپذيري لازم براي لاينرها ($۱*۱۰^{-۷}$ سانتي‌متر بر ثانيه) است. بنابراين اين لاينر خاكي از لحاظ كنترل نشت شيرابه، كارايي لازم را داشته و مي‌توان از خاک رس مورد آزمايش براي احداث لاينر خاكي متراكم‌شده بر اساس استانداردهاي مربوط براي محل دفن كهريزک استفاده كرد.

كليد واژه

محل دفن پسماند، لاينر رسی، شيرابه، نفوذسنج، كهريزک

سرآغاز

عمده‌ترين مشكل محل دفن مواد زايد جامد شهري، شيرابه و گاز توليد شده در اثر تجزيه زباله‌هاي داراي تركيبات آلي است. در اين بين مهم‌ترين عامل آلودگي آب در محل دفن مواد زايد جامد، شيرابه است كه با ورود به آبهاي سطحي، يا زيرزميني خطرهاي بهداشتي و زيست‌محيطي براي موجودات زنده ايجاد مي‌كند. ويژگي‌هاي خاص تركيب پسماند شهري در ايران از جمله درصد بالاي مواد فسادپذير و رطوبت و همچنين شرايط خاص اقليمي، نظير بارندگي كم و تبخير زياد سبب شده است كه شيرابه حاصل داراي بار آلودگي بالايي در مقايسه با كشورهاي صنعتي باشد. از آن‌جا كه اين شيرابه با نفوذ در آبهاي زيرزميني مي‌تواند خسارات جبران‌ناپذيري را به وجود آورد مي‌بايد سيستمي براي كنترل نشت شيرابه به داخل آبهاي زيرزميني پيش‌بيني شود كه مانع از نفوذ شود. از اين‌رو آستري به عنوان لاينر در كف محل دفن كارگذاري مي‌شود كه در واقع اين لاية مرزي است كه محيط پاک و آسيب‌پذير بيرون محل دفن را از محيط آلوده و آسيب‌رسان داخل آن جدا مي‌كند. از طرف ديگر از آنجا كه گزينه‌هاي مختلف لاينر بر هزينه‌هاي محل دفن بهداشتي بسيار مؤثر است، بنابراين انتخاب

نويسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۷۳۸٦٤۰۷

E-mail: mjalili@ut.ac.ir

صحیح و مبتني بر دانش و قضاوت مهندسي لاينر، جهت كنترل نفوذ شيرابه در بهينه كردن اختصاص هزينه‌ها بسيار مؤثر است. در حال حاضر استفاده از لاينرهاي خاكي به دليل وجود مصالح مناسب در محل‌هاي دفن پسماند در ايران (بخصوص كهريزک) و همچنين هزينه كمتر نسبت به ساير لاينرها، مي‌تواند گزينة قابل قبولي باشد. با توجه به مطالعات مختلف انجام شده، اكثر محققان معتقدند كه يكي از عوامل مهم در انتخاب لاينرهاي خاكي، شرايط محلي و سازگاري لاينر با شيرابة توليد شده در محل مورد نظر است. از اين‌رو هدف كلي از اين تحقيق بررسي ميزان كنترل نشت شيرابه از محل دفن پسماند كهريزک توسط لاينرهاي خاكي (با استفاده از خاک محل) است. همچنين بررسي اثر شيرابه بر خصوصيات لاينرهاي خاكي كه از جمله مهم‌ترين آنها، نفوذپذيري خاک است از ديگر اهداف اين تحقيق است.

پيشينة تحقيق

كارايي لاينر رسي در جلوگيري از برون‌رفت شيرابه به توانايي حفظ نفوذپذيري بسيار پايين لاينر در تماس با اين مادة نفوذكننده بستگي دارد. مهم‌ترين عاملي كه باعث نگراني در مورد شيرابه مي‌شود، وجود مواد شيميايي درون آن است كه ممكن است تاثيري نامناسب بر ساختار رس و به تبع آن نفوذپذيري رس بگذارد.

Mitchell در سال ۱۹۷۶ با استفاده از تئوري چمپن گوي به اين نتيجه رسيد كه از رفتار رس‌ها به غلظت الكتروليت در لايه دوگانه پخشيده وابسته است و ضريب دي‌الكتريک شيرابه با آب تفاوت دارد، بنابراين سازگاري شيرابه و لاينر حتماً بايد مورد بررسي قرار گيرد (Mitchell, 1976). بررسي‌هاي ديگر نشان مي‌دهد كه مهم‌ترين مشكل لاينرهاي رسي- بنتونايتي، عدم سازگاري آن با شيرابه مواد زايد جامد شهري است. با توجه به تركيب شيرابه اين تمايل وجود دارد كه يون Ca^{+2} درون شيرابه با يون Na^{+} در بنتونايت مبادله شود و در ساختار مونت‌موريلونايت، باعث جمع‌شدگي و انقباض شود كه منتج به ايجاد شكاف و ترک مي‌گردد (Madson & Mitchell, 1989). اين در حالي است كه آزمايش‌ها بيشتر نشان مي‌دهد كه ناسازگاري بين شيرابه محل دفن مواد زايد جامد شهري و لاينر رسي متراكم‌شده، وقتي‌كه ميزان مواد رسي متورم در كمترين مقداراست، مشكلي جدي به‌شمار نمي‌رود (Bagchi, 2004). در حقيقت به دليل مسدود شدن شكاف‌ها و ترک‌ها، اغلب نفوذپذيري لاينر به علت جمع‌شدن مواد جامد و رشد باكتري‌ها در سطح بالايي، كاهش مي‌يابد (Ebina, et al., 2004). با اين وجود در تحقيقي ديگر ثابت شده است كه نفوذپذيري رس متراكم شده پس از عبور شيرابه، در حدود ۱۰۰ برابر افزايش پيدا مي‌كند (Lewis, et al., 2008). به طور كلي بررسي‌هاي محققان نشان مي‌دهد كه مشخصه‌هاي زيادي در نفوذپذيري لاينرهاي خاكي مؤثر است. آزمايش‌هاي زيادي نيز براي شناسايي تأثير اين مشخصه‌ها بر مقدار نفوذپذيري و تغييرات آن صورت گرفته است. با وجود اين جمع‌بندي كلي از اين نتايج نشان مي‌دهد كه به استثناي برخي موارد، اكثر محققان در راستاي تأثير عوامل مختلف بر نفوذپذيري، داراي اختلاف نظر هستند. اين مسئله بدان علت است كه اولاً مشخصات و ظرفيت خاک بشدت تابع شرايط منطقه‌اي و موردي است و ثانياً نفوذپذيري لاينرهاي خاكي (بويژه لاينرهاي رسي) فرايندي بسيار پيچيده است كه بسياري از ابعاد آن شناخته شده نيست، زيرا رس به دليل خصوصيات منحصربفرد از معادلات پيچيده‌اي پيروي مي‌كند. ضمن اين‌كه به دليل متفاوت بودن تركيب شيرابه در هر محل دفن، نمي‌توان در مورد سازگاري شيرابه و لاينر نيز حكمي قطعي صادر كرد. پس با توجه به موارد بالا لازم است كه براي انتخاب، طراحي و ساخت لاينر خاكي در هر مورد خاص، مطالعات به‌صورت آزمايشگاهي و ميداني انجام شود تا تأثير مشخصه‌هاي مختلف در آن شرايط خاص مشخص شد.

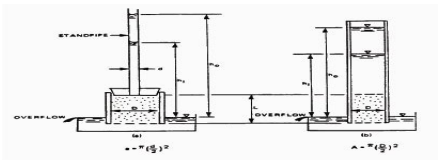
مواد و روش‌ها

از آنجاكه در حال حاضر يگانه محل دفن پسماند در شهر تهران، محل دفن كهريزک است، در نتيجه در اين تحقيق محل دفن كهريزک به عنوان مطالعه موردي انتخاب شده است. محل دفن كهريزک كه در جنوب شهر تهران واقع شده است از حدود ۴۰ سال پيش به‌عنوان جايگاه و سرنوشت نهايي پسماندهاي تهران شروع به‌كار كرده است. به‌طور كلي روش مورد استفاده براي دفن پسماند در اين منطقه تلنبار است. سالانه در حدود دو ميليون تن زباله به محل دفن منتقل مي‌شود. مقدار روزانه پسماند ورودي ۵۵۰۰ تن است كه اين مقدار در بعضي از روزها به ۷۰۰۰ تن نيز مي‌رسد. رطوبت پسماند ورودي بين ۶۵ تا ۷۰ درصد است و ميزان مواد فسادپذير ۶۷/۸ درصد از تركيب پسماند ورودي به محل دفن كهريزك را تشكيل مي‌دهد كه اين دو عامل از ديدگاه توليد شيرابه بسيار حايز اهميت هستند. ارتفاع زياد زباله (در بعضي مناطق به ۵۰ متر هم مي‌رسد) و عدم وجود سيستم جمع‌آوري شيرابه سبب مي‌شود كه شيرابه ناشي از متراكم شدن زباله‌ها به‌صورت طبيعي مسير خود را پيدا كند و با توجه به شيب منطقه تقريباً در قسمت

شمالي محل دفن كهريزک، درياچة بزرگي از شيرابه تشكيل شود (شكل شمارة ۱). اگرچه سطح آب زيرزميني به‌طور ميانگين در اين منطقه ۸۰ متر گزارش شده است ولي اين مقدار نوسان داشته و حتي به ۲۰ متر هم مي‌رسد. اطلاعات فوق همگي از گزارش‌هاي سازمان بازيافت و تبديل مواد شهر تهران در سال ۱۳۸۸ جمع‌آوري شده است.

شكل شمارة (۱): درياچه شيرابه واقع در قسمت شمالي محل دفن كهريزک

روش مورد استفاده در آزمايش نفوذپذيري، تاثير بسياري بر تعيين اين مشخصه دارد. گزارش‌ها حاكي از آن است كه روش‌هاي مختلف اندازه‌گيري نفوذپذيري براي نمونه‌اي مشخص از خاک، در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر تفاوت نشان مي‌دهد (Roque, & Didier, 2005; Met et al., 2005; Shafiee, 2008). در اين تحقيق ابتدا مشخصات فيزيكي خاك نظير درصد رطوبت، تودة ويژه، حدود اتربرگ، دانه‌بندي و رطوبت بهينه مطابق با روش استاندارد ASTM مورد آزمايش واقع شده‌اند. همچنين مشخصه‌هاي مورد نياز براي تعيين شوري خاك، نظير درصد اشباع، pH، كربنات، بي‌كربنات، سولفات، نيترات و كلراید مطابق با دستورالعمل WREP-125 (پيشنهاد شده از آزمايشگاه دانشگاه كاليفرنيا) اندازه‌گيري شده‌اند. روشي كه براي تعيين نفوذپذيري لاينر رسي در آزمايشگاه مورد استفاده قرار گرفته مبتني بر روش هد افتان است كه EPA براي تعيين نفوذپذيري خاكهاي ريزدانه پيشنهاد مي‌كند. نفوذپذيري در روش هد افتان بر اساس فرمول دارسي به‌دست مي‌آيد. در اين آزمايش در فاصله زماني t، هد مايع نفوذكننده از ارتفاع h_o به h_1 كاهش مي‌يابد. (شكل شمارة ۲)، دو حالت اين دستگاه را به‌صورت شماتيک نشان مي‌دهد.



شكل شمارة (۲): تصوير شماتيک از دستگاه نفوذسنج هد افتان (دستگاه پيشنهادي **EPA**)

در حالت (a) براي تعيين نفوذپذيري از رابطه زير استفاده مي‌شود : (۱)

$$K = \frac{2.3aL}{At}\log\frac{h_1}{h_2}$$

در اين رابطه، a سطح مقطع لوله (m^2)، A سطح مقطع نمونه خاک (m^2)، L ضخامت نمونه (m)، t زماني‌كه طول مي‌كشد تا هد از h_o به h_1 برسد (sec) و K نفوذپذيري نمونه (m/sec) است. براي حالت (b) نسبت a به A برابر با يک خواهد بود. اين روش مي‌تواند به‌طور كلي براي اندازه‌گيري هدايت هيدروليكي خاكهاي ريزدانه مورد استفاده قرار گيرد، اما براي تعيين نفوذپذيري لاينرهاي رسي داراي مشكلاتي است كه بايد اصلاح شود. در اين روش خاک ابتدا با اعمال يک گراديان هيدروليكي متوسط تا زياد اشباع مي‌شود كه اين مسئله باعث خطا در نتايج مي‌شود. علاوه بر آن استفاده از ديواره انعطاف‌پذير در دستگاه نفوذسنج از ديگر ايرادهاي اين روش است كه باعث مي‌شود مقدار نفوذپذيري به‌دست آمده با مقدار واقعی آن متفاوت باشد. ضمن اين‌كه در اين روش بايد خاک ابتدا در قالب استاندارد كوبيده شود و سپس درون دستگاه قرار گيرد. اين مسئله سبب مي‌شود كه نمونه و بدنه دستگاه بخوبي با هم منطبق نشوند و در نتيجه امكان ايجاد پديدة مسيريابي توسط مايع نفوذكننده، از بين نمونه و ديوارة زياد است. پس لازم است براي رسيدن به دقت بيشتر در اندازه‌گيري، نفوذپذيري اين روش اصلاح شود كه بدين منظور دستگاه نفوذسنج جديدي طراحي شده است (شكل شمارة ۳).

شكل شمارة (۳) : تصوير كلی از دستگاه طراحي شده در حين آزمايش

اين دستگاه با حفظ كليات روش پيشنهادي EPA، ايرادهاي اين روش را نيز اصلاح كرده است. اشباع نكردن خاک قبل از آزمايش براي شبيه‌سازی هرچه بيشتر شرايط در محل دفن، استفاده از نفوذسنج با ديوارة صلب و استفاده از شيرابه به عنوان مايع نفوذكننده از مهم‌ترين اصلاحاتي است كه نسبت به روش استاندارد اعمال شده است. از ديگر مزاياي اين دستگاه، امكان انجام آزمايش

بر روي سه نمونه به طور همزمان است، ضمن آن‌که براي شبيه‌سازي شرايط محل دفن با توجه به محاسبات انجام شده براي هر نمونه روزانه ۱/۸۵ ليتر شيرابه تازه در هر ظرف قرار گرفته است. شيرابه تازه‌اي که از محل دفن کهريزک به آزمايشگاه آورده مي‌شود بايد در دماي چهار درجه سانتيگراد نگهداري شود تا شرايط اوليه آن حفظ شود. همچنين جهت بررسي کارايي لاينر در شرايط بحراني هد ۳۰ سانتيمتري شيرابه بر روي هر نمونه اعمال شده است.

بعد از نصب و تنظيم دستگاه، شيرابه‌اي که از محل دفن آورده شده مورد آزمايش قرار گرفته است. pH، COD، BOD، TDS، EC، نيترات، فسفات، سولفات، کلرايد، کربنات و بي‌کربنات مشخصه‌هايي هستند که در هر اندازه‌گيري محاسبه شده‌اند. ضمن اين‌که هر روز pH و دماي شيرابه و همچنين دماي اتاق اندازه‌گيري شده است. فاصله زماني براي انجام هر آزمايش ۲۴ ساعت انتخاب شده است و سپس با استفاده از رابطهٔ ۱ ميزان نفوذپذيري خاک مشخص شده است. در اين قسمت ذکر دو نکته ضروري است: اول اين‌که محل نمونه‌گيري از شيرابه در نوع آن بسيار مؤثر است، چراکه شيرابه بايد به‌صورت تازه تهيه شود. اين شرايط زماني به‌وجود مي‌آيد که محل برداشت شيرابه دقيقاً در مکاني باشد که زباله در حال تخليه است (شکل شمارهٔ ۴). هرچند انجام اين کار بسيار سخت است ولي در غير اين صورت شيرابه هر روز مسير زيادي را طي مي‌کند و ضمن اينکه در مسير مقادير زيادي از املاح را مي‌شويد، در نهايت با شيرابه‌هاي قديمي مخلوط شده و خاصيت اوليه خود را از دست مي‌دهد. نکتهٔ دوم اين‌که از آنجا که پذيرش زباله در محل دفن هر روز صورت مي‌گيرد، اين آزمايش بايد به‌صورت هر روزه انجام گيرد (حتي روزهاي تعطيل) تا شرايط محل دفن کاملاً شبيه‌سازي شود.

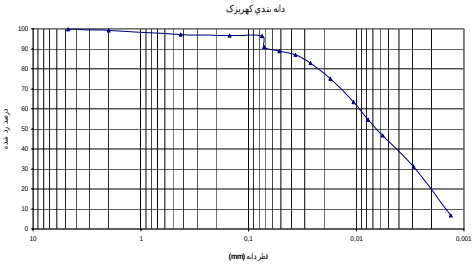
شکل شمارهٔ (۴): مکان نمونه‌گيري از شيرابه توليدي در محل دفن کهريزک

اين آزمايش تا زماني که نفوذپذيري به مقدار ثابتي برسد، ادامه پيدا کرده است. زيرا يکي از ملاک‌هاي پايان آزمايش‌هاي نفوذپذيري لاينر، ثابت شدن مقدار نفوذپذيري است (green, and et al., 1981; Brown, & Anderson, 1983; Perice & Witter, 1986; Bowders, 1988; Frenandez, & Quigley, 1991).

نتايج

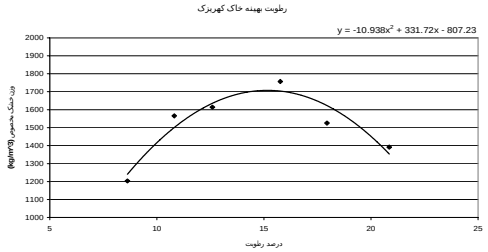
مشخصات فيزيکي خاک

مطابق آزمايش‌هاي انجام شده، درصد رطوبت خاک در محل و در زمان نمونه‌گيري ۱۱/۰۶ درصد و چگالي ذرات جامد خاک، ۲/۷۵ است. همچنين با توجه به آزمايش‌های تعيين حدود اتربرگ خاک، حد روانی و حد خميری خاک به ترتيب ۲۵ و ۱۸ درصد است. شکل شمارهٔ (۵) منحني دانه‌بندي خاک محل دفن کهريزک را نشان مي‌دهد. همان‌طور که در شکل ديده می‌شود خاک موجود در محل داراي درصد بالايي ريزدانه است (بيش از ۹۰ درصد) و خاک در سيستم طبقه‌بندی متحد در طبقه CL-ML قرار گرفته است. در نتيجه اين خاک پتانسيل ساخت لاينر رسي متراکم شده را دارد.



شکل شمارهٔ(۵): منحني دانه‌بندي خاک محل دفن کهريزک

آزمايش پروکتور استاندارد براي تعيين رطوبت بهينهٔ خاک نيز انجام شده است. براي تعيين درصد رطوبت بهينه بايد نمودار وزن مخصوص خشک خاک در مقابل درصد رطوبت رسم شود و رطوبتي که در آن وزن مخصوص خشک خاک به بيشترين مقدار خود مي‌رسد، محاسبه شود. در شکل شمارهٔ (۶) منحني تراکم ديده مي‌شود.



شکل شمارهٔ (۶): منحني تغييرات وزن مخصوص خشک نسبت به درصد رطوبت خاک

درصد رطوبت بهينه در ماكسيمم وزن مخصوص خشك حاصل مي‌شود، پس اگر از معادلة اين نمودار مشتق گرفته و مساوي صفر قرار دهيم، درصد رطوبت بهينه حاصل مي‌شود:

$$\gamma_d = -10.938w^2 + 331.72w - 807.23 \Rightarrow$$
$$\gamma'_d = -21.876w + 331.72 \xrightarrow{\gamma'_d = 0} w_{opt} = 15.16\%$$

بنابراين رطوبت بهينة خاك كهريزك ۱۵/۱۶ درصد است.

مشخصه‌هاي شوري خاك

همان‌طور كه در قسمت قبل ذكر شد مشخصه‌هاي شوري خاك با استفاده از دستورالعمل WREP-125 دانشگاه كاليفرنيا محاسبه شده است. در اين روش ابتدا خاك اشباع شده و درجة اشباع خاك محاسبه مي‌شود، سپس از خاك اشباع شده استفاده مي‌شود تا ساير مشخصه‌ها محاسبه شود. جدول شمارة (۱) مقادير محاسبه شدة پارامترهاي شوري خاك را نشان مي‌دهد. در اين جدول بي‌كربنات، كربنات، كلرايد، سولفات، نيترات و فسفات بر حسب ميلي‌مول بر ليتر گزارش شده است.

جدول شمارة (۱): مقادير مشخصه‌هاي شوري خاك

درصد اشباع	بي‌كربنات	كربنات	كلرايد	**EC (ms/cm)**
۶۱/۰۳	۰	۹	۹۷/۲۱	۱۰/۰۱
نيترات	فسفات	pH	سولفات	TDS (g/lit)
۲/۷۴	۴/۳۵	۷/۴۳۷	۵۲/۰۵	۵/۲

واحد كربنات، بي‌كربنات، كلرايد، سولفات، نيترات و فسفات بر حسب ميلي‌مول بر ليتر است.

همان‌گونه كه در جدول شمارة (۱) مشخص است اين خاك داراي هدايت الكتريكي (EC) در حدود ۱۰۰۰۰ ميكروزيمنس بر سانتيمتر است. از آن‌جاكه در تقسيم‌بندي خاك‌ها جهت تعيين شوري، خاكهايي كه EC آنها بين ۴۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ ميكروزيمنس بر سانتيمتر است، به‌عنوان خاكهاي نيمه‌شور شناخته مي‌شوند، بنابراين اين خاك جزء خاكهاي نيمه‌شور است و حتماً بايد مورد آزمايش واقع شود تا تأثير اين شوري بر نفوذپذيري و حفظ ساختار لاينر مشخص شود. همچنين وجود سولفات و كلرايد بالاي خاك بايد مورد توجه قرار گيرد. بعد از انجام آزمايش‌هاي مربوط به خاك، براي انجام آزمايش‌هاي نفوذپذيري، خاك به سه قسمت تقسيم شده و هر قسمت با ميزان رطوبت مشخصي كوبيده شده است. نمونه‌ها با رطوبت wopt +۳ درصد كوبيده شدند.

مشخصات شيرابة محل دفن كهريزك

در قسمت روش‌ها اشاره شد كه براي هر نمونه بايد روزانه ۱/۸۵ ليتر شيرابة تازه داخل ظرف مخصوص شيرابه قرار گيرد. با توجه به اين‌كه همزمان نفوذپذيري، سه نمونه لاينر اندازه‌گيري مي‌شد، نياز بود تا هر روزه تقريباً شش ليتر شيرابة تازه مصرف شود. آزمايش نفوذپذيري در حدود دو ماه به‌طول انجاميد و شيرابه نيز بعد از مدتي شرايط اولية خود را از دست مي‌دهد، بنابراين در اين مدت سه بار نمونه‌گيري از محل دفن كهريزك انجام شده است. مشخصات شيرابه در هر بار نمونه‌گيري در جدول شمارة (۲) نشان داده شده است.

جدول شمارة (۲): مشخصات شيرابة توليد شده در محل دفن كهريزك

پارامتر	نمونه اول	نمونه دوم	نمونه سوم
COD (mg/lit)	۶۷۷۰۰	۷۰۳۵۰	۵۵۵۰۰
BOD_5 (mg/lit)	۳۰۳۶۲	۳۳۸۴۵	۲۴۸۵۵
نيترات (mg/lit)	۲۲۰	۱۶۰	۸۰
فسفات (mg/lit)	۱۷۷	۲۷۵	۲۷۵
سولفات (mg/lit)	۱۷۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰۰
كلرايد (mg/lit)	۴۶۰۰	۵۳۲۰	۸۰۰۰
بي‌كربنات (mg $caco_3$/lit)	۲۰۶۰۰	۱۵۷۰۰	۱۷۶۰۰
pH	۶/۰۷۴	۷/۱۷۵	۵/۰۱۱
EC (ms/cm)	۲۶/۷	۳۱/۸	۳۳/۳
TDS (g/lit)	۱۳/۳۴	۱۵/۸۲	۱۷/۰۴

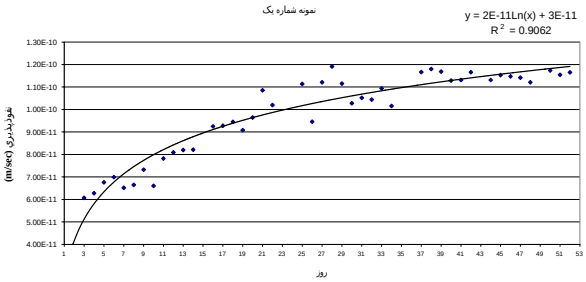
نمونه‌ها قبل از آزمايش از كاغذ صافي شماره ۴۰ عبور داده شده‌اند.
كلرايد و بي‌كربنات به‌دست آمده حاصل ميانگين دو بار تيتراسيون هستند.

وجود COD بالاتر از ۵۰۰۰۰ ميلي‌گرم بر ليتر در اين شيرابه و مقايسه آن با شيرابه توليد شده در كشورهاي صنعتي كه به سختي COD آن به ۱۰۰۰۰ ميلي‌گرم بر ليتر مي‌رسد، اين نكته را يادآور مي‌شود كه اقدامات اساسي براي كنترل و مهار اين مايع خطرناك بايد صورت گيرد. زيرا اين ميزان شيرابه با چنين بار آلودگي مي‌تواند عامل خطرسازي براي محيط‌زيست و بخصوص آبهاي زيرزميني باشد. ضمن اين‌كه بار آلی بالای این شیرابه، می‌تواند بر نفوذپذیری لاینر خاکی تاثیرگذار باشد.

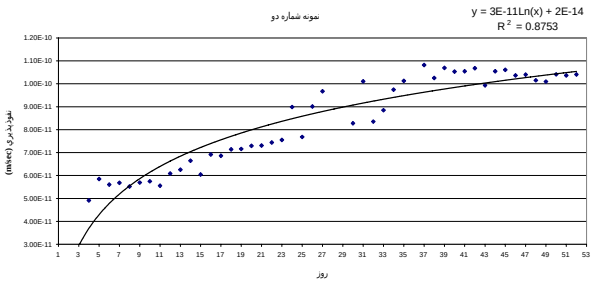
نفوذپذيري لاينر رسی

نفوذپذيري نمونه‌ها در بازه‌هاي زماني ۲۴ ساعته اندازه‌گيري شده است. زباله هر روز به محل دفن برده مي‌شود و امكان هيچ وقفه‌اي در عمليات دفن وجود ندارد،پس براي شبيه‌سازي هرچه بيشتر محل دفن، آزمايش ها به‌صورت پيوسته و هرروزه (حتي در روزهاي تعطيل) انجام شده است. ضمن اين‌كه هر روز دماي اتاق، دماي نمونه و pH نمونه اندازه گرفته شده است.

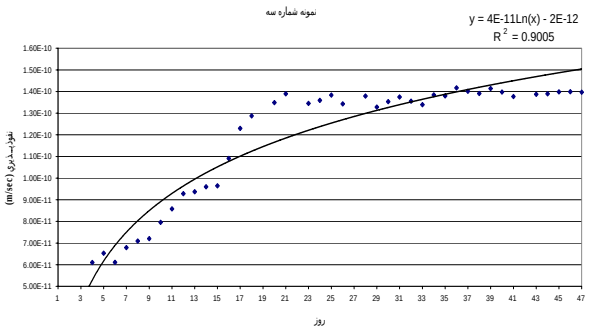
دستگاه اندازه‌گيري نفوذپذيري طوري طراحي شده است كه در زمان اشباع شدن نمونه، مايع نفوذكننده از انتهاي زيرقالب به كمک يک لوله به خارج منتقل مي‌شود. در اين آزمايش مشاهده شد كه نمونة اول بعد از ۳۷ روز، نمونه دوم بعد از ۳۶ روز و نمونة سوم بعد از ۳۴ روز اشباع شده‌اند. مسلماً بعد از اين‌كه نمونه اشباع مي‌شود به دليل آنكه تمام فضاهاي خالي آن از آب پر شده است، پس مي‌توان گفت كه معادل شيرابه‌اي كه از يک طرف وارد مي‌شود، از طرف ديگر خارج شده و نفوذپذيري به مقدار ثابتي مي‌رسد. بنابراين به دليل اين كه يكي از معيارهاي اتمام آزمايش نفوذپذيري، ثابت شدن مقدار آن است، مي‌توان آزمايش را در اين مقطع متوقف كرد. اشكال شمارة ۷ تا ۹ روند تغييرات نفوذپذيري نسبت به زمان را براي هر سه نمونه نشان مي‌دهد.



شكل شمارة (۷): تغييرات نفوذپذيري نمونه شمارة يک نسبت به زمان



شكل شمارة (۸): تغييرات نفوذپذيري نمونه شمارة دو نسبت به زمان



شكل شمارة (۹): تغييرات نفوذپذيري نمونه شماره سه نسبت به زمان

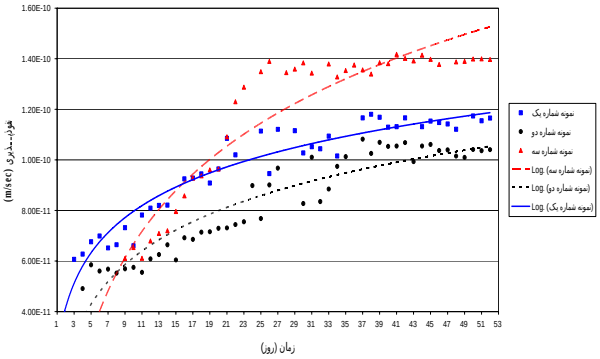
همان‌طور كه در شكل‌ها مشاهده مي‌شود نفوذپذيري هر سه نمونه نسبت به زمان افزايش داشته است. دليل افزايش اين‌گونه تفسير مي‌شود كه آب، يا هر مايع ديگري براي عبور از محيطي متخلخل همواره مسيرهايي را انتخاب مي‌كند كه نياز به صرف انرژي كمتري داشته باشد. بنابراين در عبور از فضاهاي خالي خاک، مجراهايي انتخاب مي‌شوند كه با آب پر شده‌اند و حفرهايي كه توسط هوا اشغال شده‌اند، جريان مايع را هدايت نمي‌كنند و مي‌توان آنها را مانند ذرات جامد خاک در نظر گرفت. با گذشت زمان كه خاک به سمت اشباع شدن پيش مي‌رود، هواي محبوس شده در نمونه خارج گشته و شيرابه جاي آن را مي‌گيرد و فضاهاي بيشتري براي حركت مايع به‌وجود خواهد آمد كه به دنبال آن نفوذپذيري افزايش مي‌يابد. اين افزايش تا زماني كه خاک اشباع مي‌شود ادامه دارد و پس از آن به حالت ثابتي مي‌رسد.

در جدول شمارة (۳) مدت زمان لازم براي اشباع شدن، رابطه بين نفوذپذيري و زمان و همچنين ضريب همبستگي اين روابط، براي هر سه نمونه نشان داده شده است.

جدول شماره (۳): روابط حاكم بر نفوذپذيري نمونه‌ها نسبت به زمان

شماره نمونه	مدت زمان اشباع (روز)	رابطه حاكم	ضريب همبستگي (R^2)
۱	۳۷	$K = 2\times10^{-11} Ln(t) + 3\times10^{-11}$	۰/۹۱۸۶
۲	۳۶	$K = 2\times10^{-11} Ln(t) + 8\times10^{-12}$	۰/۸۶۲۱
۳	۳۴	$K = 4\times10^{-11} Ln(t) - 2\times10^{-12}$	۰/۹۰۰۵
در هر سه رابطه فوق، K بر حسب متر بر ثانيه و t بر حسب روز است.			

همان‌طور که در جدول دیده می‌شود معادلهٔ حاکم بر روند تغییرات نفوذپذیري هر سه نمونه نسبت به زمان، معادله‌اي لگاریتمي است. ضرایب همبستگي براي هر سه نمونه، تقریباً نزدیک به یک است که تأییدکننده این رفتار است. شکل شمارهٔ (۱۰) که در آن تغییرات نفوذپذیري هر سه نمونه نشان داده شده است، محدودهٔ میزان نفوذپذیري خاک را از ابتدا تا زمان ثابت شدن نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰) :محدودهٔ تغییرات نفوذپذیري لاینر رسي متراکم‌شده کهریزک نسبت به زمان

از آنجا که نفوذپذیري در این محدوده بین $۱*۱۰^{-۱۰}$ تا $۱/۴*۱۰^{-۱۰}$ متر بر ثانیه تغییر می‌کند، می‌توان نفوذپذیري خاک را در بیشترین حالت $۱/۴*۱۰^{-۱۰}$ متر بر ثانیه درنظر گرفت که این مقدار از حد استاندارد براي نفوذپذیري لاینرها ($۱*۱۰^{-۹}$ متر بر ثانیه) کمتر است. بنابراین آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این لاینر از لحاظ کنترل نشت شیرابه و سازگاري با آن می‌تواند کارایي قابل قبولي داشته باشد. این در حالي است که آزمایش‌ها با شیرابه تازه صورت گرفته و این شیرابه داراي خواص اسیدي است. پیش‌بیني می‌شود که با گذشت زمان و وارد شدن شیرابه به فاز متان‌زایي و رسیدن pH به حالت خنثي، این امکان به وجود آید که میکروارگانیسم‌ها رشد کرده و بر روي سطح خاک رسي تشکیل بیوفیلم دهند. این پدیده باعث مسدود شدن بیشتر خلل و فرج و در نتیجه کاهش نفوذپذیري می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیري

نظر به این‌که شیرابهٔ تولید شده در محل دفن کهریزک داراي بار آلودگي بسیار بالایي است که می‌تواند آسیب‌هاي جدي به محیط‌زیست و به‌خصوص آبهاي زیرزميني وارد سازد، استفاده از لاینر در این محل از اهمیت و ضرورت فوق‌العاده‌اي برخوردار است. با توجه به سابقه طولاني رس در زمینه مقاومت شیمیایي مناسب نسبت به ترکیبات مختلف (از جمله شیرابه)، پایین بودن آسیب‌پذیري لاینر رسي، توانایي اجراي ساده و از همه مهم‌تر در دسترس بودن مصالح در محل و ارزان‌تر بودن آن نسبت به سایر لاینرها، لاینر رسي متراکم شده در مقایسه با سایر انواع لاینر می‌تواند به عنوان گزینه‌اي قابل قبول در محل دفن کهریزک مطرح باشد. ضمن این‌که هزینه طراحي، ساخت، اجرا و نگهداري این لاینر در مقایسه با لاینرهاي دیگر کمتر است.

آزمایش‌هاي فیزیکي (دانه‌بندي، تودهٔ ویژه، تراکم) و شیمیایي خاک منطقه کهریزک نشان می‌دهد که این خاک براي ساخت لاینر مشکلي ندارد و در صورتي که با رطوبت ۳+ W_{opt} درصد کوبیده شود، پتانسیل رسیدن به نفوذپذیري قابل قبول را دارد. ضمن این‌که مشخصات فیزیکي خاک به‌گونه‌اي است که می‌توان از این خاک به عنوان لاینر استفاده کرد.

از جمله این ویژگي‌ها شکل منحني دانه‌بندي خاک است که تا حدودي شبیه S معکوس است و موجب می‌شود که تراکم خاک بخوبي صورت گیرد. توصیه می‌شود که براي تعیین مشخصه نفوذپذیري که مهم‌ترین ویژگي یک لاینر رسي متراکم شده است، روش هد افتان که در آیین‌نامه ASTM و EPA ذکر شده است به عنوان مبنا مورد استفاده قرار گیرد. البته این روش داراي معایبي است که باید اصلاح شود. بدین منظور در این مطالعه دستگاه جدیدي طراحي شده که مبتني بر روش هد افتان استاندارد است و ایرادهاي آن نیز اصلاح شده است. اشباع نکردن خاک قبل از آزمایش، استفاده از نفوذسنج با دیوارهٔ صلب و استفاده از شیرابه به‌عنوان مایع نفوذکننده از جمله مهم‌ترین مواردي است که در روش جدید توصیه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که هرچند نفوذپذیري لاینر رسي متراکم شده در طول زمان افزایش می‌یابد ولي از آنجا که محدوده نفوذپذیري کمتر از $۱*۱۰^{-۷}$ سانتي‌متر بر ثانیه است، بنابراین این خاک می‌تواند براي ساخت لاینر به‌کار رود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که لاینر رسي متراکم شده با ضخامت ۹۰ سانتیمتر (حداقل ضخامت پیشنهاد شده از طرف EPA) که از خاک منطقه کهریزک تشکیل شده است می‌تواند از لحاظ کنترل نشت شیرابه براي این محل مناسب باشد.

تشکر و قدر داني

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشي دانشگاه تهران که این پژوهش با استفاده از اعتبارات آن شورا انجام شده است تشکر و قدرداني می‌شود.

منابع مورد استفاده

Anderson,D.C., K.W.,Brown. 1981. Organic Leachate Effects on the Permeability of Clay Liners. Proceedings of Solid Waste Symposium, U.S. EPA, pp: 119-130.

Bagchi, A. 2004. Design of Landfills and Integrated Waste Management. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, ISBN 0-471-25499-1, 239-422.

Bowders,J.J. 1988. Discussion of "Termination Criteria for Clay Permeability Testing. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 114(8), pp: 947-949.

Brown, K.W., D.C.,Anderson. 1983. Effects of Organic Solvents on the Permeability of Clay Soils. EPA-600/2-83-016, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

Ebina,T., et al. 2004. Correlation of Hydraulic Conductivity of Clay-Sand Compacted Specimens with Clay Properties. Applied Clay Science, 26, 3-12.

Fernandez,F., R.M.,Quigley. 1991. Controlling the Destructive Effects of Clay-Organic Liquid Interactions by Application of Effective Stresses. Canadian Geotechnical Journal, 28, pp: 388-398.

Green,W.J., G.F.,Lee & R.A.,Jones. 1981. Clay-Soils Permeability and Hazardous waste Storage. Journal of the Water Pollution and Control Federation, 53(8), 1374-1354.

Lewis,T.W., et al. 2008. Parametric sensitivity analysis of coupled mechanical consolidation. Computers and Geotechnics (Article in Press), Available Online on journal homepage: www.elsevier.com/locate/compgeo.

Madsen,F.T., J.K.,Mitchell. 1989. Chemical Effects on Clay Fabric and Hydraulic Conductivity. In Lecture Notes in Earth Sciences, Volume 20: The Landfill, Reactor and Final Storage, ed. P. Baccini, Springer-Verlag, Berlin, pp: 201-251.

Met,L., H.,Akgun, A.G.,Turkmenoglu. 2005. Environmental geological and geotechnical investigations related to the potential use of Ankara clay as a compacted landfill liner material, Turkey. Environmental Geology, 47, pp: 225–236.

Mitchell,J.K. 1976. Fundamentals of Soil Behavior. Wiley, New York.

Perice,J.J., K.A.,Witter. 1986. Termination Criteria for Clay Permeability Testing. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(9), pp: 841-854.

Roque,A.J., G.,Didier. 2005. Calculating Hydraulic Conductivity of Fine-Grained Soils to Leachates Using Linear Expressions. Journal of Engineering Geology, 85, pp: 147-157.

Shafiee,A. 2008. Permeability of Compacted Granule-Clay Mixtures", Engineering Geology, 97, pp: 199-208.