نگهداشت پرکلرواتیلن در خاک با بافت رسی

منصور چترنور [۱]، مهدی همایی [۲]، محمد محمودیان شوشتری [۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۲- استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس ،
۳- استاد گروه عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده
یکی از روش¬های رایج دفع آلودگی پساب¬های صنعتی و هیدروکربنی، رهاسازی آن‌ها در خاک است. در این پژوهش رفتار نگهداشت پرکلرواتیلن در خاکی با بافت رسی تعیین و با رفتار نگهداشت آب مقایسه گردید. برای برآورد منحنی نگهداشت این سیالات از مدل‌های ون‌گنوختن، بروکس- کوری و کوسوگی استفاده شد. نتایج نشان داد که پرکلرواتیلن نسبت به آب نگهداشت کمتری در خاک دارد. پارامتر نقطه ورود هوا به خاک ( ) در هر سه مدل ون‌گنوختن، بروکس- کوری و کوسوگی برای آب مقدار کمتری نسبت به پرکلرواتیلن است که سبب می شود که نقطه عطف منحنی نگهداشت آلاینده در قسمت پایین تری نسبت به آب قرار بگیرد. پارامترهای توزیع تخلخل شامل ، n و در پرکلرواتیلن نسبت به آب مقدار کمتری دارد که سبب می‌شود منحنی نگهداشت پرکلرواتیلن شیب نسبی بیشتری نسبت آب داشته باشد. با توجه به نگهداشت کمتر و هدایت هیدرولیکی بیشتر پرکلرواتیلن نسبت به آب، این آلاینده حرکت سریع تری را در خاک دارد.

واژه های کلیدی: آلودگی هیدروکربنی، پرکلرواتیلن، منحنی نگهداشت

مقدمه
ترکیبات دسته *NAPLs*[۱۶۴] از مهم‌ترین آلاینده‌های آب‌های زیر زمینی به شمار می‌روند. ترکیبات کلردار مثل پرکلرواتیلن و تری کلرو اتیلن از الاینده های سمی و خطرناک این دسته هستند. انتقال و حرکت آلاینده¬های *NAPL* متأثر از حجم آلاینده رها شده در محیط، سطح نفوذ، مدت زمان رها شدن، ویژگی¬های مکانیکی و شیمیایی آلاینده، ویژگی های مکانیکی محیط متخلخل و وضعیت آب زیر زمینی در محل آلودگی است (Aminian et al., ۲۰۰۲). منحنی نگهداشت خاک (*Soil Retention curve*) بیانگر مقدار فاز مایع موجود در خاک به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک است. بروکز و کوری (Brooks and Corey, ۱۹۶۴) مدلی را برای بررسی جریان نفت در خاک بدست آورد که به دلیل سادگی شکل آن در فیزیک خاک هم استفاده می‌شود. مدل ونگنوختن (Van Genuchten, ۱۹۸۰) از رایج ترین مدل های منحنی مشخصه رطوبتی است که به طور گسترده مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است. در نهایت کوسوگی (۱۹۹۶) پیشنهادهایی برای اصلاح مدل های قبلی ارائه نمود و مدلی تحت عنوان مدل توزیع نرمال که دارای تابع خطای متمم است، ارائه داد.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{2} erfc\left(\frac{\ln\left(h/\alpha\right)}{\sqrt{2n}} \right) & h < 0 \\ 1 \end{cases} \qquad (۱)$$

در این رابطه erfc تابع خطای متمّم، عکس نقطه ورود هوا به خاک(L^{-1})، $_r$ و $_s$ به ترتیب رطوبت‌باقیمانده و رطوبت اشباع است (L^3L^{-3}) و n انحراف استاندارد توزیع فشار کاپیلاری در منافذ تغییر یافته (پارامتری بدون بعد) است.
نوری و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی اثر نفت سفید بر روی ویژگی‌های هیدرولیکی منحنی نگهداشت و هدایت هیدرولیکی پرداختند. از طریق سه مدل ون‌گنوختن، بروکز - کوری و کمپل رفتار این آلاینده را در محیط متخلخل پیش‌بینی کردند و در پایان نتیجه گرفتند که این سیال به دلیل کشش سطحی کمتر و زاویه تماس بیشتر، رفتار نگهداشت کمتری نسبت به آب در محیط متخلخل دارد. مدل بروکز- کوری و کمپل نسبت به مدل ون‌گنوختن کارایی کمتری برای پیش‌بینی رفتار دو سیال داشت و سه مدل کمپل، بروکز- کوری و ون‌گنوختن، برای نفت سفید نسبت به آب کارایی بیشتری از خود نشان دادند. راکن و همکاران روشی را برای تعیین منحنی نگهداشت *DNAPL* موجود در ماسه‌سنگ‌ها مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که فرایند حرکت *DNAPL* ها در محیط متخلخل تا حد زیادی به توزیع فضایی منافذ محیط بستگی دارد. منحنی فشار مویینگی اندازه گیری شده از مدل بروکس و کوری. تبعیت نمود. اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه سازی شده توسط مدل *IP*، نشان داد که این مدل اثرات ناشی از نوسان و ناهمواری محیط متخلخل را در نظر نمی‌گیرد. هدف از این پژوهش تعیین منحنی نگهداشت سیال پرکلرواتیلن و مقایسه آن با سیال آب در خاک با بافت رسی است.

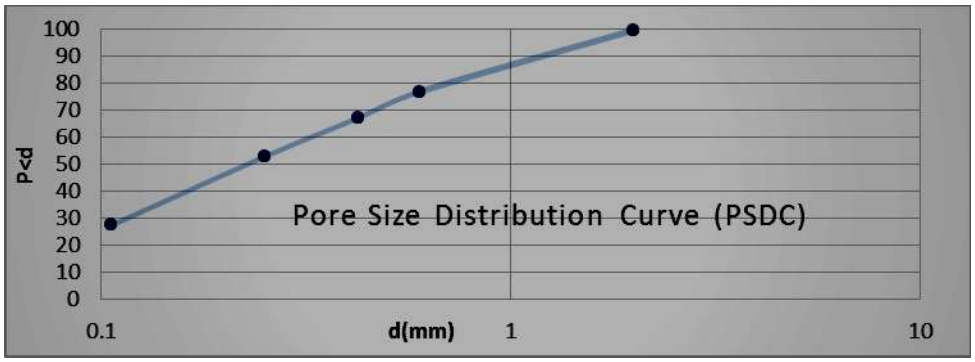
[۱۶۴] Nonaqueous Phase Liquids

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و منحنی توزیع اندازه ذرات محیط متخلخل مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی¬های فیزیکی خاک با بافت رسی

بافت	تخلخل حجمی (%)	ρ_b (g.cm^{-3})	ρ_p (g.cm^{-3})	dg (mm)	σ_g
Clay	۵۳/۰	۰۱۷/۱	۱۶/۲	۰۰۵۱/۰	۸۷/۸



شکل ۱. منحنی توزیع اندازه ذرات خاک Clay

در این پژوهش از سیالات پرکلرواتیلن و آب استفاده شد. پرکلرواتیلن با نام اختصاری (PCE)، از گروه ترکیبات آلیفاتیک کلردار با فرمول شیمیایی آن (C2CL4) و دارای جرم مولکولی و چگالی به ترتیب ۸/۱۶۵ g/ml و ۶/۱ g/ml است. این ترکیب به صورت مایعی فرار، به شدت پایدار و اغلب غیر قابل اشتعال می‌باشد. میزان حلالیت پرکلرواتیلن به میزان ۱۱۵۰ mg/l در ۲۰ $^{\circ}C$ است. پرکلرواتیلن به عنوان حلال انواع چربی ها و تمیز کننده خشک[۱۶۵]، به طور گسترده در خشک شویی‌ها و همچنین در صنایع فلزی و نساجی کاربرد دارد. خصوصیات فیزیکی سیالات در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی سیالات مورد استفاده در آزمایش

نام سیال	گرانروی (cp[۱])	کشش سطحی (dyne/cm)	وزن مخصوص (g.cm^{-3})
پرکلرواتیلن	۸۳۹/۰	۸۶/۳۲	۶۲۳/۱
آب	۱	۲/۷۲	۱

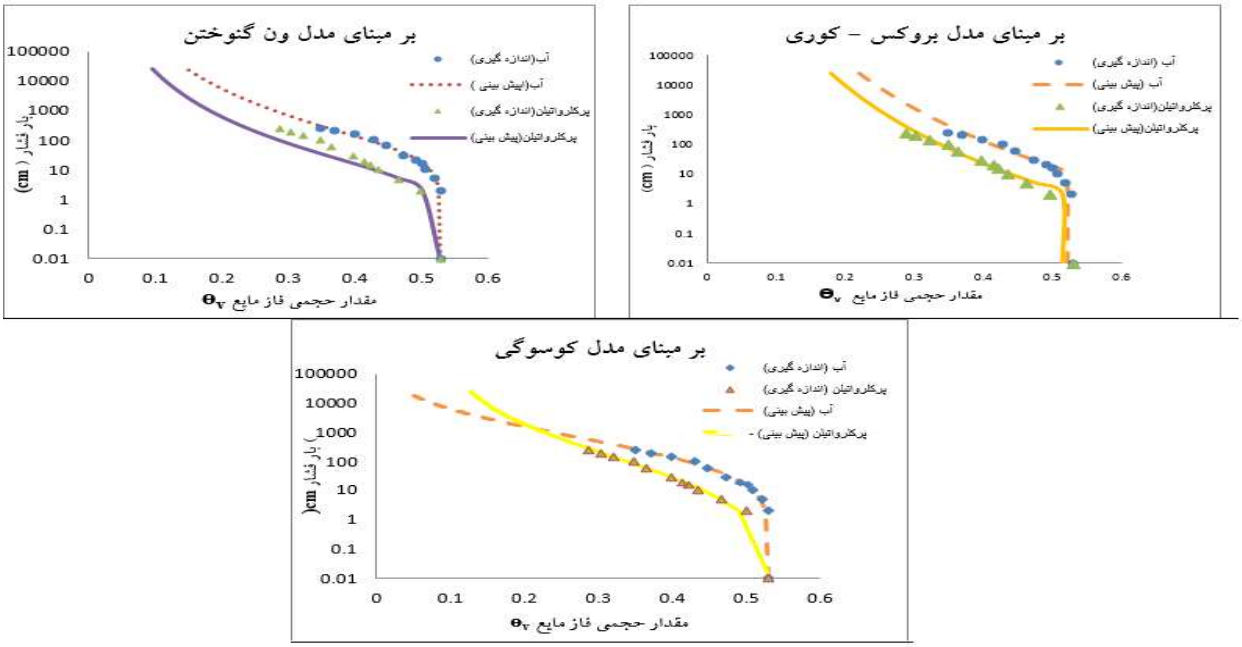
۱. سانتی پواز، ۲. سانتی استوکس،

نمونه خاک پس از اشباع ۲۴ ساعته در قیف دستگاه بوخنر ستون آویزان قرار داده شد. به‌منظور جلوگیری از تصعید سیال (بویژه پرکلرواتیلن) درب قیف بوخنر با صفحات سلفونی پوشانده شد. با وارد کردن مکش‌های ۱۰ ، ۲۰ ، ۳۰ ، ۶۰ ، ۱۰۰ ، ۱۵۰ ، ۲۰۰ و ۲۵۰ به نمونه خاک منحنی نگهداشت برای سیالات تری‌کلرواتیلن و آب تعیین شد. سپس منحنی نگهداشت آب و پرکلرواتیلن توابع هیدرولیکی بروکز و کوری (۱۹۶۴) ون‌گنوختن (۱۹۸۰) و کوسوگی (۱۹۹۶) پیش‌بینی شد.

۱۶۵. Dry cleaning

نتیجه گیری و بحث

شکل ۲ نشاندهنده منحنی نگهداشت اندازه‌گیری شده و برآورد شده، بر مبنای مدل‌های ون‌گنوختن، بروکز-کوری و کوسوگی، برای سیالات پرکلرواتیلن، آب در خاک با بافت رسی: است؛ با توجه به اشکال موجود مشاهده می‌شود که در یک مقدار معین از فاز مایع حجمی، مقدار مکش کمتری برای زهکشی پرکلرواتیلن نسبت به آب لازم است دلیل آن را در ویژگی‌های فیزیکی سیالات از قبیل کشش سطحی سیال ( )، زاویه‌ی تماس ( )، وزن مخصوص ( ) و گرانروی سیالات که بر روی نگهداشت سیالات در خاک اثر دارند می‌باشد. در حالت کلی برآیند این ویژگی‌های سیالات بر روی منحنی نگهداشت خاک اثرگذار خواهد بود. طبق معادله‌ی لاپلاس: $h = \frac{2\sigma \cos\alpha}{\rho g r}$ در یک مقدار مشخص مایع، هر چه کشش سطحی سیال ( ) کاهش و وزن مخصوص سیال ( ) و زاویه‌ی تماس ( ) افزایش یابد، توانایی نگهداشت خاک برای سیال کاهش می‌یابد که با توجه به شکل ۲رفتار نگهداشت آب و پرکلرواتیلن به خوبی توجیه می شود.



در سیستم¬های دو فازی برای سیالات آب و پرکلرواتیلن Clay شکل ۲. منحنی¬های نگهداشت خاک

جدول ۴-۲ پارامترهای منحنی نگهداشت محیط‌های متخلخل مربوط به سیستم‌های دو فازی را نشان می‌دهد. پارامترهای مربوط به توزیع تخلخل (n در مدل ون گنوختن و در مدل بروکس- کوری و در مدل کوسوگی) تغییرات کمی نسبت به هم دارند بنابرین شیب منحنی نگهداشت این سیالات به هم نزدیک بوده و تغییرات معناداری را نشان نمی‌دهد. با این وجود این پارامتر توزیع تخلخل از ترتیب (پرکلرواتیلن > آب) تبعیت می‌کند. پارامترهای نماینده پتانسیل ورود هوا در دو مدل ون‌گنوختن و بروکز- کوری برای پرکلرواتیلن بیشتر از آب است ولی در مدل کوسوگی بین دو سیال پرکلرواتیلن آب تفاوت معناداری وجود ندارد. و در هر مدل از ترتیب (آب ˂ پرکلرواتیلن) پیروی می‌کند بنابرین پتانسیل ورود هوا برای ماده پرکلرواتیلن از دو سیال دیگر بیشتر است و از ترتیب (آب ˂ پرکلرواتیلن) تبعیت می‌کند.

جدول ۳. پارامترهای مدل‌های منحنی نگهداشت در خاک با بافت رسی

سیال	مدل										
	LN			BC				VG			
	θ_s	σ	α^2	θ_s	λ	α^2	ℓ	θ_s	α^1	m	n
پرکلرواتیلن	۰/۵۳	۳/۴۳	۰/۰۰۶	۰۰۷ ۰/۱۱۴		۰/۴۰۴	۰/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۲۲	۰/۱۶	۱/۲
آب	۰/۵۳	۲/۴۲۷	۰/۰۰۱۳	۰۳/ ۰/۱۰		۰/۰۸	۰/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۰/۱۶	۱/۱۹

۱. در مدل ون‌گنوختن، ۲. در مدل بروکز-کوری، ۳. در مدل کوسوگی، .

منابع

نوری، م. همایی، م. بایبوردی. م. ۱۳۹۱. بررسی پارامتریک ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلاینده نفت سفید. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال دوم. شماره اول

Amin, M.M., Faraji, M., Momenbeik, F. and Hasanzadeh, A. ۲۰۱۱. Biodegradation of Perchloroethylene (PCE) in the Synthetic Industrial Wastewater Using Anaerobic Migrating Blanket Reactor (AMBR). *Health System Research*, ۷.

Brooks RH and Corey AT, ۱۹۶۴. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Papers, Colorado State University.

van Genuchten MTh, ۱۹۸۰. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J, ۴۴(۵): ۸۹۲-۸۹۸.

Kaseros, V.B., Sleep, B.E. and Bagley, D.M. ۲۰۰۰. Column studies of biodegradation of mixtures of tetrachloroethene and carbon tetrachloride. *Water Research*, ۳۴(۱۷): ۴۱۶۱-۴۱۶۸

Kosugi, K. ۱۹۹۶. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, ۳۲: ۲۶۹۷-۲۷۰۳.

Weerakone, W., Wong, R. and Mehrotra, A. ۲۰۱۲. Measurement of Capillary Pressure Curve of DNAPL in a Water-Saturated Sandstone Fracture. *Journal ofGeotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ۱۳۸(۵): ۶۱۴-۶۲۴

Abstract

One of the common industrial and hydrocarbon contaminants disposal methods is the release of such materials into the soil. In this study, the retention behaviors of Perchloroethylene in clay textured soil was determined and compared to that of water. By using the van Genuchten, Brooks-Corey and Kosugi models, the retention curves of fluids were predicted. The results indicated that Perchloroethylene has lesser retention in soil compared to water. In all three models (Genuchten, Brooks-Corey and Kosugi) the air entry value parameters for water was less than that of Perchloroethylene, that causes the turning point of the Perchloroethylene retention curve, placed in the lower part compared to water. The pore distribution parameters (i.e. n, and) in Perchloroethylene was lower than water, that cause of relative retention curve slope perchloroethylene further than water. Perchloroethylene moves faster in soil media due to its lower retention and more hydraulic conductivity compared to water.