بررسی پارامتریک منحنی مشخصه خاک در حضور نفت خام

میلاد نوری، مهدی همایی[1]، محمد بای‌بوردی[2]

1. دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو هیت علمی گروه خاک‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس
2. استاد بازنشسته دانشگاه تهران

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده) m.nori@modares.ac.ir(

چکیده

امروزه، آلودگی خاک به مشتقات نفتی به چالشی زیست محیطی تبدیل شده است. به منظور بررسی رفتار نفت خام در خاک، منحنی‌های مشخصه خاک برای نفت خام و آب مدل ون‌گنوختن رسم شد. از نظر پارامتریک مقدار n و α مدل ون گنوختن برای منحنی‌مشخصه نفت خام نسبت به آب کاهش یافت. نتایج پژوهش نشان داد به دلیل گرانروی دینامیکی زیاد نفت‌خام و مقاومت زیاد این سیال در برابر جریان، در یک مقدار معینی از فاز مایع، مکش بیشتری برای خارج کردن نفت خام از محیط متخلخل نسبت به آب لازم است.

واژه‌های کلیدی: گرانروی دینامیکی، منحنی مشخصه خاک، مدل ون گنوختن، نفت‌خام.

مقدمه

انتقال آلاینده‌ها از بخش غیراشباع خاک (vadose zone) به آب‌های زیرزمینی همواره سلامت منابع آب را تهدید می-کند. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، از سال 2003 بیش از 439 هزار مورد رها شدن مواد هیدروکربنی از مخازن زیرزمینی مواد نفتی را در سراسر دنیا گزارش کرده است (USEPA, 2004). به طورکلی آلاینده های منابع آب وخاک به دوگروه عمده‌ی محلول و نامحلول درآب تقسیم بندی می شوند. از میان آلاینده های محلول به نمکها و از میان آلاینده های نامحلول می توان به مواد نفتی (Nonaqueous Phase Liquids) اشاره کرد. این مواد، خود به دو گروه مایعات با چگالی کمتر از آب (Light Nonaqueous Phase Liquids) و مایعات با چگالی بیشتر از آب (Dense Nonaqueous Phase Liquids) تقسیم می‌شوند (Weiner, 2007). سرنوشت هیدروکربن ها در خاک، تابع خصوصیات و ویژگی های شیمیایی ترکیبات، و فاکتورهای مختلفی است که در ارتباط با محیط خاک می باشند (Kuhad and Gupta, 2009). هنگامی که NAPL وارد خاک می شود، تحت تاثیر نیروی ثقل و به طور عمودی شروع به حرکت می کند. در حین حرکت، مقدار قابل توجهی از آلاینده های هیدروکربنی توسط نیروی موئینگی و جذب توسط ذرات جامد خاک در بخش غیر اشباع خاک(Vadose zone) به جای می ماند (Weiner, 2007). منحنی مشخصه (Characteristic Curve) بیانگر مقدار فاز مایع موجود در خاک به صورت تابعی از مکش ماتریک خاک است.

گاردنر (Gardner, 1958) معادله‌ای ساده برای تخمین مقدار رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک مختلف ارائه داد. بروکس و کوری (Brooks and Corey, 1964) مدلی برای برآورد مقدار حجمی فاز مایع محیط متخلخل در مکش-های مختلف ارائه دادند. لازم به ذکر است که بروکس و کوری در پژوهش خود از یک LNAPL به نام سالترول (Soltrol) استفاده کردند.کمبپل (Campbell, 1974) معادله‌ای برای پیش‌بینی رابطه مکش و رطوبت خاک ارائه داد. سرانجام ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) بهترین مدل را برای برآورد منحنی مشخصه خاک ارائه داد. لنهارد و پارکر (Lenhard and Parker, 1987) مدل معلم-ون گنوختن (Mualem-Van Genuchten) را برای شرایط سه

فازی NAPL-هوا-آب با در نظر گرفتن اثر پدیده پسماند رطوبتی (Hystersis) اصلاح کردند. شارما و محمد (Sharma and Mohammed, 2003) به بررسی انتقال LNAPL در شرایط اشباع و غیراشباع در محیط متخلخل شنی پرداختند. لنهارد و همکاران (Lenhard *et al.*, 2004) به بررسی جریان در محیط‌های سه فازیNAPL -هوا-آب با در نظر گرفتن پسماند رطوبتی (Hystersis) پرداختند. کشاورزی و همکاران (Kechavarzi *et al.*, 2005) به بررسی جریان LNAPL در محیط‌های دو فازی و سه فازی پرداختند و نتیجه گرفتند در مدل‌های برآورد جریان مواد نفتی، محاسبه میزان NAPL باقیمانده (Residual NAPL) ضروری است. هدف از انجام این پژوهش بررسی توانایی نگهداشت خاک برای نفت‌خام و مقایسه آن با آب است.

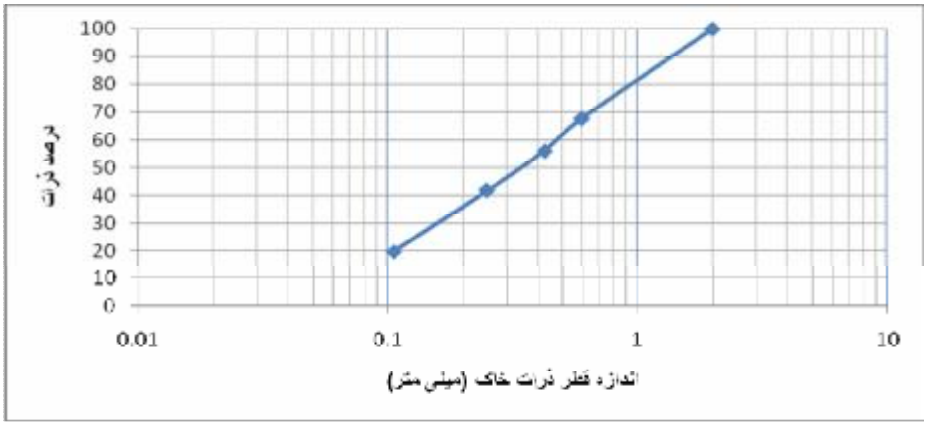
مواد و روش‌ها

برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش در جدول 1 ارائه شده است.

جدول1- ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت	تخلخل (%)	ρb ($g.cm^{-3}$)	ρp ($g.cm^{-3}$)	(mm) dg	σg
Sandy Loam	48/9	1/29	2/52	0/184	11/024

همچنین از طریق آزمایش ستون‌های الک، توزیع اندازه ذرات خاک نیز رسم شد. شکل 1 توزیع اندازه ذرات خاک را نشان می‌دهد.



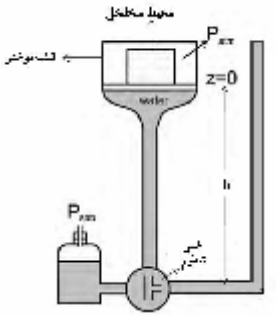
شکل1- منحنی توزیع اندازه ذرات خاک مورد مطالعه

آلاینده بکار رفته در این پژوهش، نفت خام (Petroleum) بود. نفت خام شامل آمیزه پیچیده‌ای از هیدروکربن‌هایی گوناگون است. اغلب این ترکیبات از زنجیره آلکان‌ها هستند، ولی ممکن است از دید ظاهر، ترکیب یا خلوص تفاوت‌های زیادی داشته باشند. همچنین نفت‌خام دارای موادی است که رفتار شبه پلاستیکی از خود بروز می‌دهند. ویژگی‌های فیزیکی این سیال در جدول 2 ارائه شده است.

جدول2- ویژگی‌های فیزیکی آلاینده (نفت خام) بکار رفته در پژوهش

کشش سطحی (dyne/cm)	لزوجت دینامیکی (poise)	وزن مخصوص ($g.cm^{-3}$)	نام سیال
37/9-23/3	0/058	0/87	نفت خام
72/2	0/01	1	آب

در این پژوهش برای رسم منحنی‌های نگهداشت آب و نفت خام برای خاک از دستگاه Hanging Column استفاده شد. نمای کلی این دستگاه در شکل 2 ارائه شده است.



شکل2- دستگاه Hanging Column

منحنی مشخصه آب و نفت خام توسط تابع هیدرولیکی ون گنوختن تا مکش 15 بار پیش‌بینی شد.

$$S_e = (1+ (\alpha h)^n)^{-m} \quad , \quad m = 1-(1/n) \qquad [1]$$

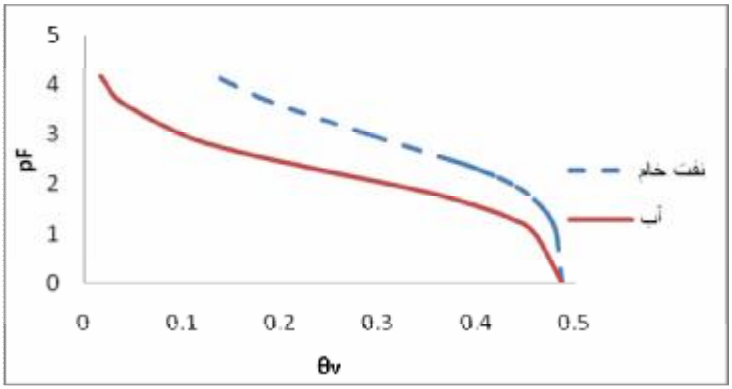
که در آن S_e مقدار رطوبت موثر، n و m شاخص توزیع خلل و فرج و α نیز با عکس نقطه مکش ورود هوا در ارتباط است. اشباع موثر(S_e) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_e = (\theta-\theta_r) / (\theta_s-\theta_r) \qquad [2]$$

که در آن θ مقدار حجمی رطوبت در مکش معین و θ_r و θ_s به ترتیب مقدار حجمی سیال باقیمانده و اشباع هستند.

نتایج و بحث

وضعیت منحنی‌های مشخصه خاک مورد آزمایش برای آب و نفت‌خام در شکل 3 ارائه شده است.



شکل 3- منحنی‌های مشخصه خاک برای آب و نفت‌خام

همانطور که مشاهده می‌شود در یک مقدار فاز مایع حجمی مقدار مکش بیشتری برای زهکش کردن نفت خام نسبت به آب لازم است. همچنین مقدار مکش ورود هوا در نفت خام بیشتر است. از نظر پارامتریک مقدار n که نماینده توزیع خلل و فرج یا شیب منحنی است، کاهش یافته است. این کاهش نشان دهنده افزایش مقدار شیب در منحنی مشخصه نفت خام است. همچنین مقدار m نیز کاهش یافت. نتایج پژوهش نشان داد میزان α برای نفت خام نسبت به آب کاهش یافت. با توجه به این‌که α با عکس نقطه ورود هوا در ارتباط است، این کاهش نمادی از افزایش مقدار مکش ورود هواست. این بدان معناست که مقدار نیروی بیشتری برای خارج کردن نفت خام نسبت به آب لازم است. در جدول 3 پارامترهای معادله ون گنوختن برای منحنی‌های نگهداشت آب و نفت خام ارائه شده است.

جدول3- پارامترهای هیدرولیکی مدل ون‌گنوختن برای نفت‌خام و آب

نوع سیال	α	m	n	θr	θs
نفت خام	0/0045	0/234	1/3	0/0011	0/488
آب	0/00927	0/408	1/68	0/0016	0/488

بر مبنای جدول 2، وزن مخصوص نفت خام نسبت به آب کمتر است. لیکن مقدار لزوجت دینامیکی این سیال تقریبا 6 برابر آب است. طبق تعریف لزوجت یا گرانروی بیانگر نیروی اصطکاک بین لایه‌های سیال در جریان می‌باشد و در حقیقت نیروی بازدارنده از حرکت است. بنابراین مقادیر زیاد این شاخص در سیالات بیانگر اصطکاک و مقاومت بیشتر در برابر جریان می‌باشد. در نتیجه در یک مقدار مشخصی از فاز مایع مقدار بیشتری نیروی مکش برای زهکش کردن (غلبه کردن بر نیروهای بازدارنده از حرکت) نفت خام نسبت به آب لازم است. بنابراین منحنی مشخصه نفت خام نسبت به آب بالاتر قرار می‌گیرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت حرکت نفت خام در محیط‌های متخلخل کندتر از آب انجام می‌شود. لیکن به دلیل نگهداشت بیشتر نفت خام توسط خاک پس از زهکش شدن نفت خام، مقدار زیادی از این آلاینده در خاک تحت عنوان NAPL باقیمانده به‌جای می‌ماند که این NAPL باقیمانده می‌تواند به یک منبع آلودگی بلند مدت برای محیط زیست و آب‌های زمینی زیر تبدیل شود.

منابع

Brooks RH and Corey AT, 1964. Hydraulic properties of porous media. Civil Engineering Dep., Colorado State Univ., Fort Collins. Hydrology paper no 3.

Campbell GS,1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117: 311-314.

Kechavarzi C, Soga K and Illangasekare TH, 2005. Two-dimensional laboratory simulation of LNAPL infiltration and redistribution in the vadose zone. J. Contam. Hydrol. 76:211–233.

Kuhad RC and Gupta R, 2009. Biological Remediation of Petroleum Contaminants, in A.Singh, P.C.Kuhad, O.P.Ward (ed.). Advances in applied bioremediation. Soil biology, Springer.

Lenhard RJ, Oostrom M and Dane JH, 2004. A constitutive model for air–NAPL–water flow in the vadose zone accounting for immobile,non-occluded (residual) NAPL in strongly water-wet porous media. J. Contam. Hydrol. 71: 261– 282.

Lenhard RJ and Parker JC, 1987. A Model for Hysteretic Constitutive Relations Governing Multiphase Flow: 1. Saturation-Pressure Relations. Water Resour Res. 23: 2187-2196.

Sharma RS and Mohamed HA, 2003. An experimental investigation of LNAPL migration in an unsaturated/saturated sand. Eng. Geology 70: 305–313.

USEPA, 2004. How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites, a guide for corrective action plan reviewers, United States Environmental Protection Agency, Solid Waste and Emergency Response.5401G, EPA 510-R-04–002,May 2004, www.epa.gov/oust/pubs/tums.htm.

Van Genuchten MTh, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892–898.

Weiner ER, 2007. Applications of environmental aquatic chemistry: a practical guide (2nd Ed.). CRC press LLC.