نفوذ آلاینده‌های آلی کم محلول به خاک به عنوان تابعی از توزیع اندازه ذرات خاک

الهه جعفری، مهدی همایی و محمد بای بوردی[1]، مسعود داوری[2]

1. به ترتیب، دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد دانشگاه تربیت مدرس

2. استادیار دانشگاه کردستان

Email: e_jafari_4486@yahoo.com

چکیده

نفوذ ترکیبات مختلف LNAPL[3] به خاک و ورود آنها به سفره‌های آب زیرزمینی، آلودگی های زیادی در زیست بوم ایجاد کرده است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر توزیع اندازه‌ی ذرات خاک بر نفوذ نفت‌خام، تحت بار ثابت 5 سانتی‌متری بود. نتایج نشان داد درزمان‌های آغازین، در خاک رسی، شیب منحنی نفوذ تجمعی LNAPLها زیاد است. تغییرات جبهه‌ی رطوبتی با گذشت زمان کمتری بعد از نفوذ (180 دقیقه) کاهش یافته و سپس شدت نفوذ ثابت می‌گردد. لیکن در خاک لوم شنی، شیب منحنی نفوذ تجمعی کمتر بوده و در زمان طولانی‌تری بعد از نفوذ (250 دقیقه) شدت نفوذ ثابت می‌گردد. نتایج همچنین نشان داد که توزیع اندازه ذرات خاک تاثیری به سزا بر نفوذ نفت خام به خاک دارد.

کلمات کلیدی: توزیع اندازه‌ی ذرات خاک، نفت خام، نفوذ ، LNAPL.

مقدمه

کیفیت زیست بوم موضوعی‌گسترده بوده که امروزه اهمیت ویژه‌ای یافته است (Mrcer and Coher, 1990). فعالیت‌های انسانی موجب ایجاد آلودگی‌های فراوان در سطح کره‌ی زمین شده است. خاک آلوده افزون بر اینکه آلاینده‌ها را از راه چرخه غذایی وارد بدن انسان و دام می کند، خود نیز می تواند به عنوان منبع آلودگی آب های زیر زمینی و آب آشامیدنی باشد (Hilpert et al, 2000 ; Khamechiyan et al, 2006). آلاینده‌های مایع آلی نامحلول در آب (NAPL[4]) از مهمترین آلاینده های آلی زیست محیطی به شمار می آیند (Morshed and Powers, 2000 ; Arbabi et al, 2005). چگالی آلاینده‌های مایع آلی نامحلول در آب، تاثیر زیادی بر رفتار آنها در خاک می گذارند. به همین دلیل، این آلاینده‌ها را بر اساس چگالی خود به دو دسته آلاینده های مایع آلی نامحلول سنگین تر از آب (DNAPL[5]) و آلایند های مایع آلی نامحلول سبک تر از آب (LNAPL) طبقه بندی‌می‌کنند (Johnston et al, 2002; Lee et al, 2001). مقاومت زیاد این ترکیبات در برابر فرآیندهای تجزیه (شیمیایی – بیولوژیک)، خاصیت آب گریزی و سرطان زا بودن این ترکیبات از مهمترین ویژگی های آنها می باشد (Wipfler et al, 2004; Schwartz et al, 2010). منشأ اصلی

3 - Light - Non-aqueous Phase Liquids
4 - Non-aqueous Phase Liquids
5 - Dense Non-aqueous Phase Liquids

آلودگی‌های مربوط به هیدروکربن های نفتی (NAPL) در طبیعت شامل زائدات ناشی از تولید نفت خام، زائدات ناشی از پالایش نفت خام، روغن های مصرف شده‌ی زائد مانند روغن ژنراتورها، نشت از مخازن و لوله های انتقال می باشند (Lee et al, 2001; Mercer et al, 1990; Wipfler et al, 2004).

درک فرآیند نفوذ و چگونگی توزیع NAPLها در خاک ، شرط اولیه برای بهسازی خاکهای آلوده و اقدامات مدیریتی برای جلوگیری از نفوذ این ترکیبات به سفره‌های آب زیرزمینی است . ورود NAPLها به محیط‌های غیراشباع منجر به ایجاد سیالات چندفازی (Multi- phase Flow) می‌گردد. فاکتورهایی از قبیل ویژگی های فیزیکی خاک و NAPL تاثیری به سزا روی نفوذ این ترکیبات به خاک دارند (Reynolds and Kueper, 2004). تحقیقات بیشمار، نفوذ و جابه‌جایی NAPLها به خاک را بررسی کرده‌اند. نایت و همکاران (1996) با مدل سازی توزیع LNAPLها در خاک های غیر اشباع نشان دادند که پیش‌بینی روابط بین فازها (آب، هوا و خاک)، نفوذ پذیری ذاتی خاک و فشار کاپیلاری از فاکتورهای مهم در نفوذ می باشند. هرچند مدل پیشنهادی در بازه‌های زمانی‌کوتاه مدت قادربه پیش‌بینی جابه‌جایی LNAPLها در خاک می‌باشند. مطالعات نشان دادند، ترکیبات NAPL در محیط‌های ناهمگن خاک، در لایه‌هایی با نفوذ پذیری کمتری تجمع‌کرده و دردرازمدت به ترکیبات غیرمتحرک تبدیل می‌شوند. نویسندگان زیادی اثر محیط‌های ناهمگن، روی جابه‌جایی NAPLها با استفاده از مدل‌های عددی مورد مطالعه قرار داده‌اند. (Dekker and Abriola, 2000; Kechavarzi *et al*, 2005 ; Knight *et al*, 1996). کوپر و جرهارد (1995) اثر اندازه‌ی ذرات روی نفوذ و پخشیدگی NAPLها در محیط‌های ناهمگن و اشباع با آب را بررسی کردند. نتایج نشان داد که نرخ نفوذ شدیدا" تحت تاثیر نفوذ پذیری خاک است. پولسن و کوپر در مطالعات صحرایی نشان دادن که مسیر جابه‌جایی NAPLها در خاک، شدیدا" تحت تاثیر نفوذ پذیری خاک است. تغییرات جزیی در نفوذ پذیری خاک، منجر به تغییر در شدت نفوذ NAPLs می گردد.

توزیع اندازه ذرات خاک عاملی اثرگذار بر فرآیند نفوذ سیالات به خاک است. لیکن اطلاعات اندکی در مورد اثر این فاکتور بر نفوذ LNAPLها در دسترس می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی و درک بهتر فرآیند نفوذ نفت‌خام به خاک به عنوان تابعی از توزیع اندازه ذرات خاک است.

مواد و روش‌ها

آلاینده‌ی مایع آلی نامحلول در آب (NAPL)

آلاینده‌ی مایع آلی نامحلول مورد استفاده در این پژوهش نفت خام می‌باشد. درصد اجزای تشکیل دهنده به روش کروماتوگرافی گازی[6] (جدول 1) و ویسکوزیته و وزن مخصوص ترکیب توسط دستگاه SVM 3000 تعیین شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ترکیب در جدول(2) نشان داده شده است.

جدول 1. تست کروماتوگرافی نفت‌خام.

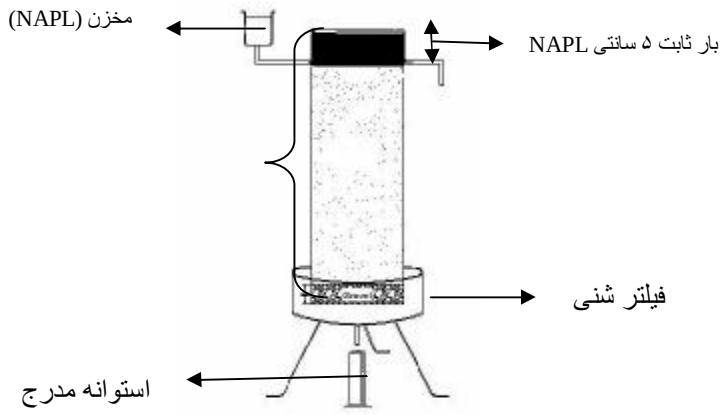
نمک	سولفید هیدروژن	سولفور	نیتروژن	آسفالتین	آلیفاتیک	آروماتیک
%14	%0/68	%2/1	%1/7	%16/8	%54/9	%10/5

6 - Gas Chromatography

جدول 2. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نفت خام.

NAPL	وزن مولکولی	نقطه‌ی جوش (C°)	رنگ	ویسکوزیته دینامیکی (μ)(P)*	ویسکوزیته سینماتیکی (cm^2/s) (h)	وزن مخصوص (gr/cm^3)
نفت‌خام	C_4-C_{400}	۴۰	قهوه‌ای	۰/۰۲۴۲۴۴	۰/۰۲۷۳۵۷	۰/۸۸۶۲

سیلندرها: سیلندرهای استوانه‌ای شفاف (پلکسی‌گلاس) به طول 85 سانتی‌متر و قطر خارجی 9/5 سانتی‌متر که توسط مترهای کاغذی با دقت 0/001متر مدرج شده تهیه گردید. انتهای سیلندرها توسط صفحه‌های متخلخل، مسدود شد. از فیلتر شنی با قطر ذرات 5 میلی‌متر در انتهای سیلندرها استفاده شد تا از خروج خاک به همراه سیال جلوگیری شود. در فاصله‌ی 15 سانتی‌متری ابتدای سیلندرها سوراخ‌هایی به قطر 12میلی‌متر به منظور تخلیه سیال اضافی از بار-ثابت سوار شده بروی ستون خاک، ایجاد گردید و ترکیبات خروجی به وسیله‌ی شیلنگ جمع‌آوری شد (شکل 1).



شکل1. شماتیک نفوذ نفت‌خام به خاک.

خاک: دو نوع خاک با بافت لوم شنی و رسی در این پژوهش استفاده شده است(جدول3). خاک‌ها هوا خشک شده و از الک 5 میلی‌متری عبور داده شد.

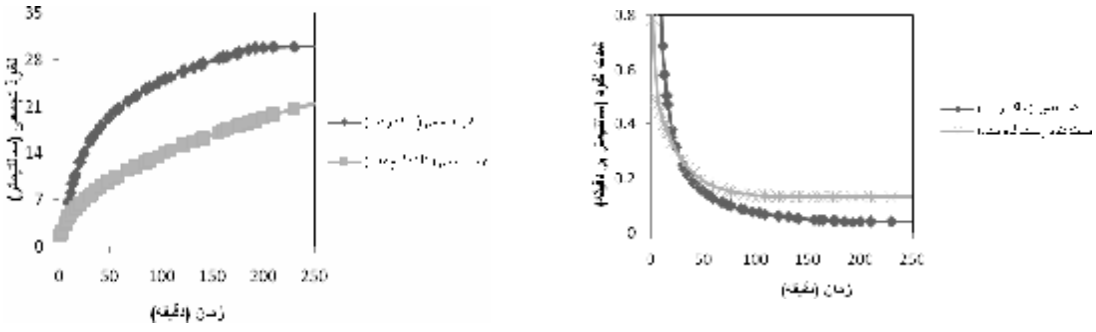
جدول 3. ویژگی‌های خاک لوم شنی و رس.

بافت خاک	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	تخلخل خاک (%)
لوم شنی	21/1	12/2	66/7	1/55	41
رسی	18	58/2	23/8	1/32	50/2

سیلندرها تا ارتفاع 70 سانتیمتری از خاک پر شد. بار ثابت 5 سانتی‌متری از نفت‌خام روی هر سیلندر اعمال شده و در زمان‌های مشخص طول جبهه رطوبتی، نفوذ تجمعی و شدت نفوذ ترکیب تعیین گردید.

نتیجه‌گیری

شکل (2) نشان می‌دهد که اگر نفت‌خام (LNAPL) روی سطح خاک (لوم شنی و رسی) قرار گیرد، بلافاصله نفوذ می-کند. با گذشت زمان، نفوذ تجمعی افزایش و شدت نفوذ نفت‌خام کاهش می‌یابد و در نهایت به مقدار ثابتی می‌رسد. در زمان‌های آغازین، نفوذ NAPLها تحت تاثیر نیروی ثقل و پتانسیل ماتریک است. با توجه به اینکه خاک هوا خشک است، لذا در ابتدا خاک تمایل بیشتری برای جذب این ترکیبات از خود نشان می‌دهد. به بیان دیگر پتانسیل ماتریک در زمان های آغازین نفوذ، بیشتر و به دنبال آن شدت نفوذ افزایش خواهد یافت. با گذشت زمان مقدار پتانسیل ماتریک خاک کاهش می‌یابد و مقدار نیروی لازم به منظور غلبه بر مقاومت های حاصل از خصوصیات NAPLها (ویسکوزیته، کشش سطحی، دانسیته و...) و جذب سطحی این ترکیبات بروی ذرات خاک (که منجر به کاهش اندازه خلل و فرج خاک می‌شوند) افزایش می یابد. بنابراین نیروی بیشتری برای نفوذ این ترکیبات به اعماق پایین تر نیاز است که منجر به کاهش شدت نفوذ این ترکیبات به خاک می‌شود. یافته‌های سایر محققین، (Khamechiyan *et al*, 2006 ; Zhu, 2001; Yungiang and Ming on, 2009) در این زمینه نتیجه‌ی به دست آمده را تایید می‌کند. نفوذ نفت‌خام به خاک رسی در دقایق آغازین نسبتا" سریع بود. تا زمان (50 دقیقه)، شیب منحنی نفوذ تجمعی بیشتر شده و از دقیقه 50 به بعد، تغییرات جبهه رطوبتی کم شده و شدت نفوذ ثابت شد. در مقابل، شیب منحنی نفوذ تجمعی‌خاک لوم شنی، کمتر بوده و در زمان بیشتری بعد از نفوذ(250 دقیقه)، شدت نفوذ ثابت خواهد شد. در نتیجه در زمان‌های اولیه، توزیع اندازه‌ی ذرات خاک می‌تواند موجب تغییرات شدید در نفوذ شود. همچنین تخلخل موثر (Effective Porosity) خاک، تعیین کننده‌ی شدت نفوذ سیال می‌باشد. هرچه خاکدانه‌های خاک کوچکتر باشند، تخلخل موثر کمتر است. به همین دلیل، جابه‌جایی سیال در خاکهایی با بافت‌ریز، شیب هیدرولیکی بالایی نیاز دارد. نتایج اثر معنی‌دار توزیع اندازه ذرات خاک بر نفوذ نفت خام به خاک را نشان داد.



(الف) (ب)

شکل 2. منحنی نفوذ تجمعی و شدت نفوذ، نفت خام به خاک (الف. نفوذ تجمعی، ب. شدت نفوذ).

منابع

1- اربابی م. 1384. حذف هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای از خاک های آلوده به ترکیبات نفتی، رساله‌ی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

Dekker TJ and Abriola LM, 2000. The influence of field scale heterogeneity on the infiltration and entrapment of dense non-aqueous phase liquids in saturation formations. Journa of Contaminent Hydrology. 42: 187-218.

Hilpert M, McBride j and Miller C. 2000. Investigation of the residual funicular nonwetting-phase-saturation relation. Advanc in water resources.24: 154-177.

Johnston CD, Raynen JL and Bregel D. 2002. Effectiveness of in situ air sparging for removing NAPL gasoline from a sandy near perth, western Australia. Journal of Contaminant Hydrology. 59: 87-111.

Khamechiyan M, Charkhabi AH and Tajic M. 2006. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. Engineering Geology. 89:220-229.

Khodadoust AP, Bagchi R, Suidan MT, Brenner RC and Sellers NG. 2000. Removal of PAHs from highly contaminated soils found at prior manufactured gas operations. Hazardous Materials. B80: 159-174.

Knight MA and Mitchell RJ. 1996. Modelling of light ninaqueous phase liquid (LNAPL) releasesinto unsaturated sand. Can Geotech .33: 913-925

Lee PK., Ong SK., Golchin J and Nelson GL. 2001. Use of solvent to enhance PAH biodegradation if coal tar-contaminated soils. PERGAMON. 35:3941-3949.

Mercer JW and Cohen RM. 1990. A review of immiscible fluids in the subsurface: properties, model, characterization, and remediation. Hydrol. 6: 107-163.

Morshed J, Powers SE. 2000. Regression and dimensional analysis for modeling two phase flow. Trasport in Porous Media. 38: 205-221.

Newell CJ, Conner JA and Wilson DK. 1999. On petroleum hydrocarbons and organic chemical in ground water. 369-383.

Reynolds DA, Kueper BH. 2004. Multi phase flow and transport through fractured hetrogenous porous media. Journal of Contaminant Hydrology. 17: 89-110.

Schwartz N and Alex F. 2010.Electrical Properties of NAPL contaminated unsaturated soil. Geophysical Research Abstracts. 12: EGU2010- 14870, 2010.

Wang Y and Shao, 2009. Infiltration characteristics of non- aqueous phase liquids in undisturbed loessal soil cores. Journal of Environmental Sciences. ISSN 1001-0742.

Wipfler EL, Van MIJ. 2004. Three-phase flow of dense nonaqueous phase liquid infiltration in horizonally layered porous media. Contaminant Hydrology. 1-4:47-60.

Zhu J. 2001. Transport and fate of nonaqueous phase liquid (NAPL) in variably saturated porous media with evolving scales of heterogeneity. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 15: 447 – 461.