Archive of SID

تابستان ۸۹، سال نوزدهم، شماره ۷۶، صفحه ۱۷۷ تا ۱۸۶

نقش رس به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی در کنترل آلودگی نفتی در پالایشگاه آبادان

سیدرضا شادی زاده[1] و منصور زویداویان پور[1]*

[1]دانشکده مهندسی نفت آبادان، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۳/۰۴

چکیده

پالایشگاه آبادان بین دو رودخانه اروندرود و بهمنشیر واقع شده است. این رودخانه‌ها آب شهری، صنعتی و کشاورزی شهر آبادان را تأمین می‌کنند. نشت مواد نفتی و فرآورده‌های آن از لوله‌ها و مخازن روزمینی در طول جنگ تحمیلی و فرسودگی سامانه‌های ذخیره، انتقال و پالایش نفت به دلیل قدمت این واحد، ضرورت بررسی و انجام مطالعات برای شناسایی گسترش و حدود آلودگی نفتی را صد چندان می‌نماید. کاربرد رس به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی در کاربردهای زیست محیطی از جمله کنترل آلودگی به اثبات رسیده است. منطقه آبادان از رسوبات دلتایی عهد حاضر تشکیل شده است و این آبرفت‌های رودخانه‌ای دارای تنوع در جنس و اندازه ذرات هستند. بنابراین در صورت چیره بودن وجود رس در منطقه مورد مطالعه، فرضیه کنترل آلودگی نفتی را به اثبات می‌رساند. در همین راستا موارد ذیل در این نوشتار بررسی شد: ۱) جنس لایه‌های زیرزمینی پالایشگاه آبادان، ۲) وجود آلودگی نفتی در این لایه‌های زیرسطحی و تعیین درصد اشباع به مواد نفتی و ۳) وجود آلودگی نفتی در آب‌های زیرزمینی از طریق نمونه‌گیری از آب‌های زیرزمینی در طول مدت یک سال. روش مطالعه به این صورت بود که در ابتدا موقعیت‌سنجی حفر ۲۰ حلقه چاه آبی مشاهده‌ای، از نظر نشت مواد نفتی در زمان جنگ و بعد از آن انجام شد. در هنگام عملیات حفاری از لایه‌های زیرسطحی مغزه‌گیری به عمل آمد، درصد اشباع نفت در این مغزه‌ها نیز اندازه‌گیری شد و نیز ژرفای آلودگی به نفت و فرآورده‌های نفتی در لایه‌های زیرسطحی پالایشگاه آبادان مشخص شد. طی دوره یک ساله، گسترش و ستبرای نفت شناور بر روی آب‌های زیرزمینی همراه با تغییرات سطح ایستایی آب با توجه به جزر و مد ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهند که جنس رسوبات زیرسطحی عامل مهمی در نگهداری مواد نفتی پخش شده است، به طوری که مواد نفتی در بیشتر چاه‌های حفاری شده دیده شد. از طرف دیگر مواد نفتی شناور بر روی آب‌های زیرزمینی فقط در دو حلقه چاه دیده شدکه آن هم ناشی از فعالیت‌های اخیر پالایشگاه بوده است. نتایج، نشان دهنده جذب بیشتر مواد نفتی پخش شده در زمان جنگ و پس از آن به رس موجود در لایه‌های زیرسطحی است.

کلیدواژه‌ها: رس، موانع طبیعی، محیط زیست، آلودگی نفتی، آب‌های زیرزمینی، لایه‌های زیرسطحی، پالایشگاه آبادان.

***نویسنده مسئول:** منصور زویداویان پور

E- mail: Mzoveidavian@Put.ac.ir

۱- مقدمه

پالایشگاه آبادان نخستین واحد تصفیه نفت ایران است که در سال ۱۲۹۱ شمسی در آبادان راه‌اندازی شد. این پالایشگاه ملقب به بزرگ‌ترین پالایشگاه جهان تا پیش از مهرماه ۱۳۵۹ دارای ظرفیت تولیدی حدود ۶۳۰ هزار بشکه در روز بود. در زمان جنگ تحمیلی، تمامی مخازن ذخیره و واحدهای عملیاتی تصفیه نفت به همراه کل سامانه‌های لوله‌کشی در تیررس حملات دشمن قرار گرفت و به کلی تخریب شد و تمامی نفت و فرآورده‌های نفتی طعمه حریق، تبخیر و یا به زمین نفوذ کرد. نشت مواد نفتی و فرآورده‌های آن از لوله‌ها و مخازن روزمینی در طول جنگ تحمیلی از یک سو و فرسودگی سامانه‌های ذخیره، انتقال و پالایش نفت به دلیل قدمت این واحد صنعتی، واقع شدن این پالایشگاه در شهر آبادان بین دو رودخانه بهمنشیر و اروندرود، مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی از این دو رودخانه و نیز استقرار در جوار مناطق مسکونی، اهمیت شناخت گسترش آلودگی نفتی در لایه‌های زیرسطحی را یادآوری می‌کند.

استفاده از رس به همراه جنبه‌های زیست محیطی آن که Grim (1962) در چهار دهه گذشته مشخص کرد، عبارتند از: دفع زباله‌های هسته‌ای، جاذب‌های سطحی و تصفیه آب. استفاده عمده که در آن زمان از رس‌ها شناخته شده بود عبارت بود از: سرامیک، قالب ماسه ریخته‌گری، ویژگی‌های مهندسی، بهره‌برداری و اکتشاف نفت، تصفیه و تهیه مواد آلی.

مهم‌ترین رسوبات دلتایی در ساحل خلیج فارس، در دهانه اروند رود به وجود آمده است. تمام مناطق باتلاقی این ناحیه را باید رسوبات دلتایی عهد حاضر در نظر گرفت. دلتای آبادان که شهر آبادان بر روی آن بنا شده، از تجمع رسوبات در دهانه این رودخانه به وجود آمده و جزیره مینو یکی از مثلث‌های کوچک این دلتا است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). آبرفت‌های رودخانه‌ای معمولا" دارای لایه‌بندی و بسیار متغیر هستند. در بین لایه‌ها، لایه‌ها یا عدسی‌های با دانه‌بندی متفاوت یافت می‌شوند. نفوذپذیری این رسوبات در جهت افقی به مراتب بیش از سمت قائم است. آبرفت‌های رسی معمولا" نرم‌اند و ماسه‌ها حالتی سست دارند و یا این‌که از تراکم متوسطی برخوردارند. رسوبات دلتایی که در سواحل دریاها درست می‌شوند، به‌طور معمول مخلوطی از ماسه دانه ریزدانه، رس و سیلت هستند(معماریان، ۱۳۷۸). به دلیل گسترش وسیع و در دسترس بودن رس‌ها در خاک‌ها و رسوبات، تعجبی ندارد که رس‌ها در مدت زمان طولانی برای کنترل مواد سمی در مقیاس کوچک یا محلی استفاده می‌شد. به عنوان مثال رس‌های محلی در یونان باستان و ترکیه برای مقابله با مارگزیدگی، سم‌ها و علاج چرک زخم کاربرد داشتند. افزون بر این، روستاییان سودان در امتداد رود نیل از رس برای تصفیه تیرگی (Turbidity) آب استفاده می‌کردند (Robertson, 1986). استفاده از رس به همراه مواد دیگر در کاربردهای رفع آلودگی مواد زائد، بویژه برای حذف فلزات به طور مؤثری به اثبات رسیده و هزینه‌های عملیاتی با توجه به جایگزین شدن با روش‌های مرسوم کنونی که از مواد شیمیایی استفاده می‌شد، به کمترین مقدار خواهد رسید. لایه‌های رسی با نفوذپذیری کم باعث محدود نمودن حرکت در جهت عمودی در سفره‌های آب زیرزمینی شده و باعث انباشت سیال در بالای لایه می‌شود(Nicholas, 2002). وجود فرایندهای طبیعی زیرسطحی در رس مانند فیلتر کردن (Filtration)، جذب، و تبادل یونی که در تصفیه آب‌های زیرزمینی مؤثر و مداوم هستند، به عمل میرایی کمک می‌کند. یکی دیگر از مزایای استفاده از موانع طبیعی درجای زمین‌شناسی این است موانع طبیعی از تخریب (Degradation) مواد آلوده ممانعت می‌کند، نیازی به هزینه‌های تعمیر

www.SID.ir

Archive of SID

و نگهداری ندارد، ویژگی‌های طبیعی مواد زیرسطحی مانند نفوذ (Infiltration) و تراوش (Percolation) را مختل نمی‌کند. مزایای بارز رس‌ها برای کنترل آلودگی و محیط زیست، از بسیاری از ویژگی‌هایی که آنها را مناسب در صنعت و به عبارتی در جامعه انسانی در قرون متمادی می‌کند، نشأت گرفته است(Mackenzie, 1979; Robertson, 1986).

شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی آبادان و موقعیت پالایشگاه را در شهر آبادان نشان می‌دهد. شکل ۲ عکس هوایی پالایشگاه آبادان را نشان می‌دهد که وضعیت و نمای گسترش چاه‌های آبی مشاهده‌ای حفاری شده در این پروژه را نشان می دهد.

در حفاری اخیر چاه اکتشافی شماره یک اروند واقع در ۴۹ کیلومتری جنوب خاور آبادان (نزدیک‌ترین چاه اکتشافی نفت به محل تحقیق)،که توسط شرکت ملی نفت انجام شد، فقط قسمت بالای سازند آغاجاری (Aghajari Top Layer) مشخص شده است که در آن ستبرای ۴۱ متری رسوبات آبرفتی منطقه را نشان داده است. حفاری پروژه‌های عمرانی مختلفی در منطقه آبادان و نیز پالایشگاه آبادان انجام شده است که نشان دهنده وجود رس و نیز در بعضی حالت‌ها وجود آلودگی نفتی در لایه‌های زیرسطحی است. ولی در همه این پروژه‌ها درباره گسترش و ستبرای رس و همچنین آلودگی نفتی، پژوهش‌های متمرکزی انجام نشد. همچنین نقشه زمین‌شناسی که جنس، گسترش و ستبرای رسوبات آبرفتی را نشان دهد، وجود ندارد. در پروژه مکانیک خاک و پی نیروگاه آبادان، ۱۲ گمانه تا ژرفای ۴۰ متری حفاری شد که جنس خاک زیرسطحی اغلب رس، سیلت و ماسه گزارش شده است (شرکت مهندسین زمیران، ۱۳۸۰) در پروژه پساب پالایشگاه آبادان ۲ گمانه تا ژرفای ۲۴ متری حفاری شد که وجود رس و در بعضی مقاطع ماسه به صورت رگه عدسی دیده شده بود(شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک آزمایشگاه خوزستان، ۱۳۸۲). در پروژه بازسازی پالایشگاه آبادان ۸ گمانه تا ژرفای ۱۳/۵ متری حفاری شد که جنس خاک اغلب رس و سیلت بوده و ماسه نیز در آنها دیده شده است و نتایج حاکی از آغشتگی خاک از ژرفای ۷۵ سانتی‌متری تا ۱/۵ متری به نفت بوده است (شرکت مهندسین مشاور روماند، ۱۳۶۷). در پروژه ساختگاه محوطه تقطیر پالایشگاه آبادان، ۴ گمانه تا ژرفای ۳۰ متر حفاری شد که صرفا"داده‌های ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها تجزیه شد (شرکت مهندسین مشاور پی‌کاو، ۱۳۸۰).

این نوشتار، حاصل انجام پروژه‌ای است که برای اولین بار به وسعت کل پالایشگاه آبادان اجرا شده است. بررسی سرنوشت نفت نشت کرده به لایه‌های زیرزمینی و ارزیابی نقش رس به عنوان یک مانع زمین‌شناسی در کنترل آلودگی نفتی، هدف اصلی از انجام این نوشتار است. فرضیه اساسی این نوشتار بر این مطلب استوار است که رس به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی توانسته است نفت را جذب کرده و در خود نگهداری نماید. در این راستا ۲۰ حلقه چاه آبی مشاهده‌ای حفاری و تکمیل شد. درصد اشباع نفت در مغزه‌های حاصل از حفاری در تمامی چاه‌ها اندازه‌گیری شد. در مدت یک سال، ضمن نمونه‌گیری برای امکان مشاهده نفت، تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می دهد که رسوبات رسی عهد حاضر دلتایی دشت آبادان را به طور معمول می‌توان به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی مناسب قلمداد کرد. در این نوشتار، نقش رس به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی بررسی می‌شود. در بخش مواد و روش‌ها، انتخاب موقعیت، حفاری و تکمیل چاه‌های آبی مشاهده‌ای، اندازه‌گیری اشباع نفت در مغزه‌های خاک، تعیین واحدهای مختلف برای خاک، اندازه‌گیری سطح تراز آب‌های زیرزمینی، نمونه‌برداری از آب و اندازه‌گیری مقدار نفت موجود در آب آمده است. تعیین حرکت آب‌های زیرزمینی پالایشگاه آبادان، تغییرات مقدار نفت در آب‌های زیرزمینی پالایشگاه، شناسایی و تعیین شمای گسترش لایه‌های رسی بخش بحث و نتیجه‌گیری این نوشتار را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد اغلب مواد نفتی نفوذ کرده به لایه‌های زیرسطحی، جذب رس شده است. همچنین تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی با جزر و مد رودخانه‌های اروندرود و بهمنشیر مطابقت داشته و خود عاملی برای جذب مواد نفتی به طبقات زیرسطحی پالایشگاه در سال‌های اخیر بوده است.

۲- رس به عنوان یک مانع طبیعی زمین‌شناسی

تعریف موانع طبیعی زمین‌شناسی عبارت است از: واحدهای زمین‌شناسی غنی از رس و دارای نفوذپذیری کم، دارای قابلیت‌هایی مانند میرایی (Attenuation)، کند نمودن حرکت شیرابه (Leachate) به طرف لایه‌های تحتانی، تضعیف همزمان به واسطه تجزیه حیاتی (Biodegradation)، جذب (Sorption)، فیلتر نمودن و تبادل یونی. موانع طبیعی زمین‌شناسی عمدتا" به صورت توالی‌های غیر قابل نفوذ با ستبرای تقریبا" زیاد هستند که در بسیاری از مناطق دنیا یافت می‌شوند. سنگ بستر به مثابه یک مانع طبیعی، دارای پتانسیل محدودی است. با این که بسیاری از انواع سنگ دارای نفوذپذیری اولیه خیلی کم هستند، اما سنگ‌ها معمولا" دارای درز و شکاف با وسعت کم و یا زیاد هستند، بویژه سنگ‌هایی که پیش از ظاهر شدن در سطح زمین، دفن شدگی محدود را متحمل شده باشند. رسوبات سرباره (Overburden) به دلیل قدرت بالا در تضعیف آلودگی و توسعه زیاد در سطح زمین، دارای پتانسیل بالایی به عنوان موانع زمین‌شناسی هستند. این رسوبات سرباره در خواصی مانند جنس و ستبرا متنوع هستند. جنس این رسوبات، نفوذپذیری اولیه و پتانسیل میرایی را کنترل نموده و ستبرا نیز برای پتانسیل میرایی الزامی است. در نواحی گرمسیری مقاطع هوازده غنی از رس با ستبرای زیاد به عنوان یک مانع زمین‌شناسی مناسب قلمداد می‌شوند(Allen, 2002). ارزیابی نقش رس به عنوان یک مانع در جلوگیری از آلودگی توسط پژوهشگران زیادی انجام شده است (Salim, 1996; Roehl, 1997; Chhabra, 1975). همچنین رس به عنوان ترکیب اصلی در ایجاد موانع (Barriers) با هدف دفن مواد آلوده و زباله به کار می‌رود و نقش اساسی در کنترل آلودگی دارد(WHO, 2002; Percival, 1992; Rowe, 1995). پژوهشگران زیادی نشان داده‌اند که بهره‌مندی از ویژگی‌های زمین‌شناسی/ هیدروژئولوژی و خواص میرایی مواد و لایه‌های زیرسطحی در شرایط مناسب در جلوگیری از آلودگی منابع آبی مؤثر است(DoE, 1978; Warith, 1991; Batchelder, 1998a, b). همچنین مزایای بعضی از ترکیبات رسی برای حذف آلودگی‌های آلی از آب در پژوهش‌های زیادی به ثبت رسیده است(McBride and Mortland, 1973; Kokai, 1975; Beall, 1984, 1985a, 1985b, 1996; Alther, 1999).

جدول ۱ کاربردهای رس برای کنترل آلودگی و حفاظت محیط زیست را نشان می‌دهد(Bergaya et al., 2006).

در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز، رس موجود در سیالات حفاری نه فقط به عنوان یک مانع هیدرولیکی عمل می‌کند، بلکه همچنین به دلیل خاصیت جذب شیمیایی از مهاجرت آلوده‌کننده‌ها یا سیالات دیگر از گودال گل (Mud Pit) جلوگیری می‌کند(Deuel, 1993; Williams, 1987; Quigley, 1988). ترکیبات متنوع رسی همچنین برای استفاده به عنوان موانع محدودکننده آلودگی BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene) در اطراف مخازن ذخیره نفت کاربرد دارند(Jaynes and Vance, 1996; Xu et al., 1997; Sharmasarkar, 2000; Lo and Yang, 2001). انجمادسازی (Solidification) یکی از روش‌های حذف آلودگی از مواد شیمیایی است که از رس به عنوان عامل جذب (Absorbent) برای از بین بردن رطوبت مایعات یا ژل‌های آلوده به کار می‌رود(Martin, 2002). در سال ۱۹۷۳ استفاده از رس جهت تمیز کردن پرندگان و حیوانات وحشی آلوده شده از مواد نفتی به انجام رسید(Holmes, 1973). در مناطقی که لایه‌های سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

و زیرسطحی رس وجود دارد، هزینه ساخت تسهیلات دفع زباله و مواد خطرناک کاهش می‌یابد(U.S. Army, 1984). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که رس‌های غنی از آهن، در از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا مؤثر هستند(Haydel, 2008). رسوبات سطحی که خارج از محدوده هدایت هیدرولیکی بهینه (10^{-7}-10^{-9} ms^{-1}) باشند، با افزودن ماسه در حالت پایین بودن نفوذپذیری و یا افزودن رس در حالت بالابودن نفوذپذیری رسوبات، قادر به ترمیم هدایت هیدرولیکی خواهند بود. رسوبات سطحی غنی از رس، مانند یک سپر در برابر هرزآب اسیدی عمل می‌کنند و باعث رسوب فلزات سنگین می‌شوند(Batchelder et al., 1998b)، در حالی است که سدیم، کلسیم و منیزیم بر روی سطوح کانی رس به واسطه سازوکار تبادل یونی جابه‌جا می‌شوند (Mohamed et al, 1994). کاربرد موانع رسی در انبار کردن و دفن زباله‌های هسته‌ای نیز به اثبات رسیده است (Verstricht, 2003;Thury, 2002). به دلیل تمایل زیاد در جذب سطحی و نیز ثابت نگه داشتن اجسام خارجی، رس‌ها به عنوان موادی جهت کنترل آلودگی به کار می‌روند. همچنین به عنوان آستر در دفع مواد زائد و نیز به عنوان یک مانع طبیعی در مدیریت زباله‌های هسته‌ای به کار می‌روند. خواص سطحی ویژه رس‌ها مانند بالا بودن مساحت سطح ویژه، بار الکتریکی لایه و ظرفیت تورم این مواد را برای سلامت انسان مفید می‌نماید. نتایج نشان داده‌اند که ویروس‌ها (Lund, 1986) ، انگل‌ها (Olsen, 1987) و انواع مختلف باکتری‌ها (Madsen, 1989) قابل حذف از آب توسط اضافه نمودن رس هستند. اثر متقابل میان آلودگی و آسترهای رسی(Liners) شامل تبادل یونی، جذب سطحی/ واجذبی، کاهش اندازه ذرات و بروز انحلال درکانی رسی است. (Batchelder et al., 1998a; Warith, 1991).

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱. انتخاب موقعیت چاه‌های آبی مشاهده‌ای

برای انتخاب موقعیت چاه‌های آبی مشاهده‌ای موارد زیر مورد نظر قرار گرفته است: ۱) مشخص نمودن کلیه مکان‌هایی که تا پیش از جنگ تحمیلی در آنها واحدهای عملیاتی، مخازن ذخیره نفت و فرآورده‌های آن در سرویس قرار داشتند. ۲) مشخص نمودن کلیه مکان‌هایی که در زمان انجام پروژه، واحدهای عملیاتی و مخازن ذخیره‌ای آنها در سرویس بودند. ۳) مشخص نمودن کلیه خطوط لوله‌ای که پیش از جنگ تحمیلی در سرویس بوده ولی در حال حاضر در سرویس نیستند. ۴) مشخص نمودن کلیه مکان‌هایی که پرسنل پالایشگاه در زمان‌های مختلف عملیاتی شاهد نشت مواد نفتی بوده‌اند. ۵) گسترش سطحی که بتوان کلیه تانکفارم پالایشگاه را برای انجام مطالعه پوشش داد. پس از انجام مطالعات اولیه و بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده در سطح پالایشگاه، موقعیت تقریبی این چاه‌ها تعیین شد و سپس با تطبیق نتایج این مطالعات اولیه با نقشه‌های موجود، موقعیت دقیق این چاه‌ها به کمک دستگاه GPS و نقشه‌برداری‌های زیرسطحی مشخص شد. در شکل ۳ نقشه پالایشگاه به همراه وضعیت و شمای قرار گرفتن چاه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص شده است، موقعیت قرارگیری چاه‌های آبی مشاهده‌ای به گونه‌ای انتخاب شده است که بیشترین پراکندگی را از جهت بررسی دقیق‌تر گسترش آلودگی نفتی در آب‌های زیرزمینی و لایه‌های زیرسطحی فراهم آورند. جدول ۲ نیز موقعیت این چاه‌ها را نشان می‌دهد. برای مشخص نمودن ارتفاع سطح زمین در هر یک از چاه‌ها نسبت به یکدیگر و نسبت به سطح آزاد دریا، مشخص نمودن دقیق تفاوت در سطوح آب در چاه‌ها و شیب زمین، نقشه‌برداری انجام شد. شکل ۳ منحنی میزان ارتفاع سطح زمین محوطه پالایشگاه را به همراه محل چاه‌ها نشان می‌دهد.

۳-۲. حفاری و تکمیل چاه‌های آبی مشاهده‌ای

با استفاده از چاه‌های آبی مشاهده‌ای قادر خواهیم بود سطح تراز آب در سفره‌های آبی زیرزمینی را اندازه‌گیری کنیم(Powers, 1992). واژه چاه آبی مشاهده‌ای برای هر چاه یا گمانه‌ای که به مقصد مطالعه دراز مدت سطح آب‌های زیرزمینی به کار رود اطلاق می‌شود(FHWA, 1997) . عملیات حفاری یکی از مهم‌ترین مراحل پروژه بوده است که با توجه به شرایط در حال کار پالایشگاه، دستگاه‌های موجود و محل انتخاب شده جهت حفاری، مناسب‌ترین وسیله حفاری که دارای قابلیت مانور بالا در سطح پالایشگاه باشد طراحی شد. برای جلوگیری از نفوذ آب‌های روزمینی به درون چاه، بعد از انجام عملیات گراول پکینگ(Gravel Packing) در چاه‌ها، یک متر انتهایی چاه تا سطح زمین به واسطه سیمان انباشته شد و نیز سطح روزمینی چاه به اندازه یک متر مربع سیمان شد. برای تعیین تراز آب زیرزمینی در چاه‌های آبی مشاهده‌ای، از چسب مخصوصی (Indicator Paste, Water) استفاده شد که بر روی متر فلزی پوشیده می‌شد. به واسطه راندن متر آغشته شده به چسب مخصوص و به محض برخورد با آب، محل تماس با آب، تغییر رنگ داده و ژرفای مناسب با کم کردن اندازه تا تاج چاه خوانده می‌شود. مراحل مختلف طراحی و نصب و تعیین سطح آب‌های زیرزمینی در جدول ۳ آمده است.

۳-۳. اندازه‌گیری اشباع نفت در مغزه‌های خاک

با استفاده از استاندارد EPA (1983, Method 413.3)، اشباع نفت در مغزه‌های حاصل از حفاری در این پروژه با استفاده از دستگاه Retort انجام شد.

۳-۴. تعیین واحدهای مختلف جهت خاک

جدول ۴ واحدهای تعیین شده برای بررسی گسترش لایه‌های خاک را نشان می‌دهد.

۳-۵. اندازه‌گیری سطح تراز آب‌های زیرزمینی

با توجه به این مطلب که جزر و مد در رودخانه‌های بهمنشیر و اروندرود در دو نوبت صبح و بعد از ظهر انجام می‌شود، اندازه‌گیری زمان نمونه‌گیری برای داشتن میانگینی از جزر و مد انجام گرفته است. از استاندارد ASTM D 4750 برای تعیین سطح تراز آب‌های زیرزمینی استفاده شده است. نتایج اندازه‌گیری تغییرات سطح ایستابی هر یک از چاه‌های آبی مشاهده‌ای در طول دوره یک ساله نمونه‌برداری، ارتباط بین جزر و مد در رودخانه‌های بهمنشیر و اروندرود و آب‌های زیرزمینی پالایشگاه آبادان، دمای هوا و میزان بارندگی را نشان می‌دهد.

۳-۶. نمونه‌برداری از آب

نمونه‌برداری از آب توسط وسیله‌ای مخصوص به نام Bailer انجام شده است.

۳-۷. اندازه‌گیری مقدار نفت موجود در آب

استاندارد مورد استفاده EPA (1983,Method 413.3) بوده است که برای اندازه‌گیری نفت محلول در آب استفاده شد. بدین صورت که ۵۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب‌های چاه‌های مشاهده‌ای را درون یک قیف دکانتور ریخته، ظرف نمونه را دو بار، هر بار با ۱۰ میلی‌لیتر تری‌کلر و تری‌فلور اتان شستشو داده و به قیف دکانتور اضافه شد. سپس به مدت ۲ دقیقه آن را به هم زده و گازگیری شد. فاز آلی را درون یک بالن مخصوص دستگاه Rotary ریخته و دوباره ۱۰ میلی‌لیتر دیگر حلال به فاز آبی اضافه شد و به هم زده شد و به بالن اضافه شد. سپس بالن حاوی روغن و حلال را روی دستگاه نصب کرده و حمام روی ۷۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و دستگاه روشن شد. نقطه جوش C2 CL3 F3، نیز ۴۷ درجه سانتی‌گراد است. هنگامی که کل حلال تبخیر شد دما از ۴۷ درجه سانتی‌گراد نزول کرد، سپس بالن از دستگاه جدا شد و با سشوار درون آن را هوا زده و در دسیکاتور خنک کرده و بعد از آن وزن شد. ستبرای قشر نفتی شناور بر روی آب زیرزمینی نیز با استفاده از Indicator Paste, Oil که به محض برخورد با نفت تغییر رنگ می‌دهد، اندازه‌گیری شد. روش کار نیز همانند Indicator Paste, Water است و این چسب مخصوص فقط در هنگام تماس با نفت تغییر رنگ

www.SID.ir

Archive of SID

داده و ستبرای قشر نفتی بر روی متر فلزی اندازه‌گیری می‌شود.

۴- بحث

۴-۱. تعیین حرکت آب‌های زیرزمینی پالایشگاه آبادان

جهت تعیین حرکت آبهای زیرزمینی در پالایشگاه آبادان، در زمان‌های مشخص شده ارتفاع آب در درون هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های ارتفاع سطح زمین نسبت به آب‌های آزاد دریا، ارتفاع پتانسیل آب در درون هر چاه اندازه‌گیری شد. در این پروژه تغییرات پتانسیل آب در هر کدام از چاه‌های آبی مشاهده‌ای در طی زمان نمونه‌گیری و همچنین حرکت آب‌های زیرزمینی در لایه‌های زیرین پالایشگاه مشخص شد. شکل ۴ میانگین تغییرات سطح ایستابی را در محوطه پالایشگاه در یک دوره نمونه‌برداری یک ساله از آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. خطوط هم پتانسیل (Iso Potential lines) و خطوط جریان (Flow lines) نشان می‌دهند که سه جهت جریان متفاوت در پالایشگاه آبادان موجود است که به ترتیب اهمیت عبارتند از:

۱- یک جریان آب زیرزمینی عمدتاً به طرف وسط پالایشگاه و در محدوده چاه‌های ۱۲ و ۱۸ موجود است. همچنین چاه‌های شماره ۱۹،۱۶،۹ و ۱۰ نیز در این محدوده قرار می‌گیرند.

۲- یک جریان دیگر نیز در شمال باختری پالایشگاه در محدوده چاه‌های شماره ۲۰ موجود است که چاه‌های شماره ۱،۶ و ۷ نیز در این محدوده قرار می‌گیرند.

۳- یک جریان آب زیرزمینی نیز در خاور پالایشگاه است که در محدوده چاه شماره ۴ و ۳ است.

مهم‌ترین عامل حرکت در آب‌های زیرزمینی اختلاف پتانسیل موجود بین دو نقطه است، به‌طوری که حرکت آب‌های زیرزمینی بر اساس قوانین هیدرولیک انجام می‌شود و حرکت آنها از پتانسیل بالا به طرف پتانسیل پایین انجام می‌شود. چاه‌های شماره ۱۸ و ۱۲ در پایین‌ترین سطح نسبت به چاه‌های مجاور قرار دارند و همین امر باعث ایجاد یک گرادیان هیدرولیکی به سمت اصلی‌ترین منطقه حرکت آب‌های زیرزمینی در پالایشگاه آبادان شده است.

۴-۲. تغییرات مقدار نفت در آب‌های زیرزمینی پالایشگاه

نتایج اندازه‌گیری مقدار نفت در نمونه‌های آبی گرفته شده در طول زمان نمونه‌گیری در این پروژه در این قسمت آمده است. میانگین مقدار نفت محلول در آب در کل محوطه پالایشگاه، ۲۴۶۱ میلی‌گرم در لیتر است. تنها مکان‌های مشاهده نفت به صورت قشر نفتی و شناور در آب‌های زیرزمینی نیز محوطه چاه‌های شماره ۳ و ۱۱ است. نفت شناور در روی آب‌های زیرزمینی فقط در اطراف چاه‌های ۳ و ۱۱ در دوره انجام این پروژه دیده شده است.

۴-۳. شناسایی و تعیین شمای گسترش لایه‌های زمین

همان‌گونه که در شکل‌های Strip log شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است، سمت چپ این شکل‌ها (محور y)، ژرفا را بر حسب سانتی‌متر نشان می‌دهد. اشباع نفت نیز در محور x نشان داده شده است. جنس لایه‌های چاه و توصیف آن نیز نشان داده شده است. شایان یادآوری است که واحدهای مربوط نیز طبق جدول ۴ برای لایه‌های زیرسطحی مشخص شده است. شکل ۷ شمای سطحی گسترش لایه‌های مختلف زمین بر حسب نوع خاک مشخص شده در جدول ۴ در ژرفای ۳۶۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. این شکل در ژرفای ثابت نشان داده شده است و وضعیت گسترش سطحی لایه‌ها را در محوطه پالایشگاه نشان می‌دهد. ستون افقی و عمودی، طول و عرض جغرافیایی و در سمت راست شکل راهنمای جنس لایه‌های زیرسطحی (جدول ۴) نشان داده شده است که بیشتر از نوع رس- ۶ هستند. شکل ۸ شمای سه بعدی گسترش لایه‌های خاک در پالایشگاه را نشان می‌دهد. راهنمای سمت راست، مقاطع زده شده در محدوده پالایشگاه را نشان می‌دهد و سعی شده تمام چاه‌ها در آن نشان داده شود.

از تمام چاه‌هایی که در پالایشگاه حفاری شد، میزان آغشتگی و جنس لایه‌ها مشخص شد که میزان آغشتگی خاک‌های سطحی و زیرسطحی در کل پالایشگاه متفاوت است و مقدار آن از سطح زمین تا ژرفای ۴/۵ متری است. همان‌گونه که در شکل ۱۰، Fence Diagram آغشتگی خاک به نفت در کل محیط پالایشگاه نشان داده شده است، سطح پالایشگاه به صورت گسترده تا ژرفای ۴/۵ متری آغشته به نفت است. همان‌طور که مدل‌سازی چاه‌های حفر شده و Fence Diagram آغشتگی خاک به نفت را در کل محیط پالایشگاه نشان می‌دهد، مقدار آغشتگی خاک به نفت از ۲۰ تا ۸۵ درصد است و به طور کلی میانگین مقدار مواد نفتی در خاک به میزان ۵۲ درصد از حجم فضای بین دانه‌ای است (شکل ۹).

وجود و گسترش پخش مواد نفتی در کل لایه‌های زیرزمینی پالایشگاه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، به علت نوسانات آب‌های زیرزمینی است که خود وابسته به مقدار جزر و مد، بارندگی و همچنین جریان آب در دو رودخانه اروندرود و بهمنشیر است. تخریب واحدهای مختلف تصفیه نفت در پالایشگاه در دوران جنگ و دیگر حوادث صنعتی مانند خرابی لوله‌های انتقال مواد نفتی در سطح پالایشگاه، باعث پخش مواد نفتی در سطح زمین و نفوذ آنها به لایه‌های زیرین شده است. این مواد نفتی در هنگام حرکت در لایه‌های زیرین، به علت جنس لایه‌های زیرسطحی، جذب رس شده‌اند و در مکان‌هایی افزون بر جذب رس توانسته‌اند به لایه‌های آبی زیرین برسند، عواملی همچون نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی پالایشگاه موجب پخش‌شوندگی و در نتیجه جذب نفت به لایه‌های زیرزمینی شده است.

همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، لایه‌های زیرسطحی خاک در محوطه پالایشگاه از جنس رس هستند. مقدار نفت شناور بر روی آب زیرزمینی در طول زمان نمونه‌برداری، یکسان نیست به‌طوری که در زمانی زیاد و در زمان دیگر کم است. بالا بودن این مقدار در چاه ۳ در دوره‌های اول و دوم قابل ملاحظه بوده است. همچنین در چاه ۱۱ این افزایش مشاهده نفت در آب‌های زیرزمینی در دوره‌های چهارم و پنجم دیده می‌شود. و این بدین دلیل است که در طول زمان نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دوره یک ساله به غیر از دوره اول و دوم در چاه ۳ و دوره‌های چهارم و پنجم در چاه ۱۱، هیچ‌گونه اتفاقی از نظر پخش مواد نفتی در پالایشگاه رخ نداده است. در چاه‌های دیگر به غیر از چاه‌های ۳ و ۱۱ هیچ‌گونه مواد نفتی دیده نشده است. چاه ۳ نزدیک به ایستگاه انتقال نفت تصفیه شده به اهواز و چاه ۱۱ نزدیک به مکان بارگیری قیر پالایشگاه است. پخش مداوم نفت از این دو مکان باعث دیده شدن نفت در این مکان‌ها و گستردگی آنها در اطراف این چاه‌ها شده است. مقدار نفت دیده شده به طور میانگین در آب‌های زیرزمینی چاه ۳ به ستبرای ۵ سانتی‌متر و در چاه ۱۱ به ستبرای ۱/۵ سانتی‌متر است.

رس، جنس بیشتر لایه‌های زیرسطحی در پالایشگاه را به خود اختصاص می‌دهد. مشاهده مواد نفتی در لایه‌های رسی زیرسطحی پالایشگاه آبادان نیز در مراجع(شرکت مهندسین مشاور روماند، ۱۳۶۷؛ شادی‌زاده و زویداویان‌پور، ۱۳۸۶) آمده است. عواملی مثل جزر و مد و نوسانات سطح ایستابی در این چاه‌ها باعث شده است که نفت نفوذ کرده به درون لایه‌های زیرسطحی به حالت شناور روی آب درآید و با بالارفتن سطح ایستابی، نفت به سمت بالا و با پایین آمدن سطح ایستابی آب، نفت به سمت پایین حرکت نماید.

۵- نتیجه‌گیری

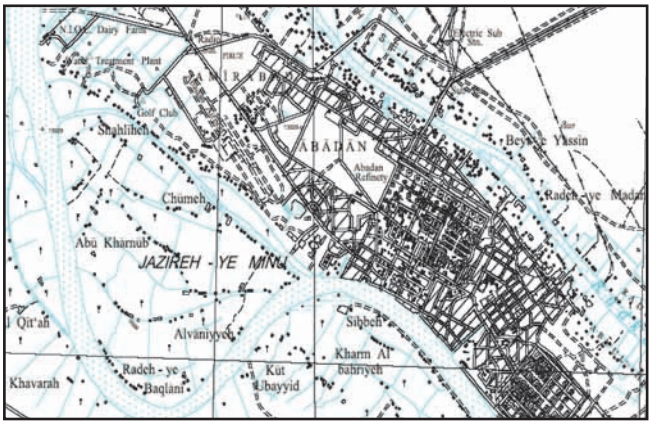
- نفت شناور موجود در روی آب‌های زیرزمینی فقط در محدوده چاه ۳ از نوع نفت

www.SID.ir

Archive of SID

تصفیه شده، به ستبرای ۵ سانتی‌متر و نیز در محدوده چاه ۱۱ نوع سنگین، به ستبرای ۱/۵سانتی‌متر دیده شده است.

- مواد نفتی موجود در چاه‌های ۳ و ۱۱ به دلیل فعالیت‌های اخیر در پالایشگاه هستند.
- جنس بیشتر لایه‌های زیرسطحی پالایشگاه آبادان، رس است (شکل‌های ۵ تا ۸).
- با نمونه‌برداری از چاه‌های آبی مشاهده‌ای، مشخص شد مواد نفتی پخش شده و نفوذ کرده به زیرزمین در زمان جنگ تحمیلی، از طریق جزر و مد جذب رس شده است.
- میزان آغشتگی خاک‌های سطحی و زیرسطحی در کل پالایشگاه متفاوت است و مقدار آن از سطح زمین تا ژرفای ۴/۵ متری است (شکل ۱۰).
- میزان اشباع خاک به نفت از ۲۰ تا ۸۵ درصد است و به طور کلی میانگین مقدار مواد نفتی در خاک به میزان ۵۲ درصد از حجم فضای بین دانه‌ای است (شکل ۹).
- با توجه به موارد ۱ تا ۶، رس نقش اساسی در کنترل آلودگی و جلوگیری از انتشار آن به محیط زیست در پالایشگاه آبادان ایفا کرده است.



شکل۱- نقشه زمین‌شناسی آبادان با مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱ که موقعیت پالایشگاه آبادان را نشان می‌دهد.

جدول ۲- موقعیت قرارگیری چاه‌های آبی مشاهده‌ای حفاری شده در پالایشگاه آبادان.

Well No.	Easting	Northing
1	238105.05	3362009.61
2	238837.48	3361518.72
3	239534	3361088
4	239649.79	3360659.3
5	238962.13	3361026.37
6	237969.18	3361594.12
7	238444.27	3361339.4
8	237704.23	3361334.27
9	238433.24	3360935.72
10	239453.92	3360329.95
11	239219.01	3359868.4
12	238267.58	3360573.35
13	237450.56	3360980.51
14	237441.82	3359820.3
15	237986.89	3359680.56
16	238545.96	3359611.31
17	238266.24	3359104.74
18	238715.91	3360701
19	238687.74	3359995.88
20	238379.93	3361658.9

www.SID.ir

سپاسگزاری

بدین وسیله از اداره پژوهش و توسعه شرکت پالایش نفت آبادان به خاطر پشتیبانی مالی از این پروژه که برای اولین بار در ایران انجام گرفته است قدردانی به عمل می‌آید.

جدول ۱- کاربردهای رس‌ها برای کنترل آلودگی و حفاظت محیط زیست (Bergayaetal.,2006).

Contaminants for control	Status (actual or potential use)	Pretreatments required	Relevant clay properties
Heavy metal cations and simple cations	Actual, mainly passive, use (e.g., in soils, liners)	Mostly none, some organic and inorganic modification	Charge, surface area, reactive surface groups
Organic and biological cations	Potential for water and wastewater treatment, pesticide control	Generally none, except cation saturation	Charge, surface area, especially interlayer
Non-ionic organic molecules	Actual, for water and wastewater treatment; potential, for pesticide control, waste liners	Cation saturation, organic or inorganic modification	Charge
Anions	Actual, for water and wastewater treatment; potential, for pesticide and nutrient leaching control	Appropriate organic modification	Charge
Turbidity and residual treatment chemicals	Actual, for treatment of potable water and some wastewaters and sewage	Generally none	Colloidal, from size and charge; charge, surface area
Leachates	Actual, for waste liners and radioactive waste storage	Generally none, except cation saturation	Swelling, charge, surface area, reactive surface groups

جدول ۳- استانداردهای استفاده شده در رابطه با طراحی، نصب و تعیین سطح آب‌های زیرزمینی.

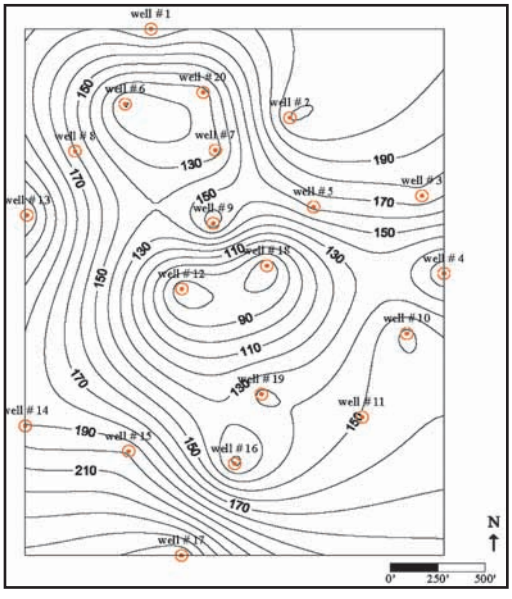
Standard	Description
ASTM D 4750	مشخص نمودن تراز آب‌های زیرسطحی در چاه‌های آبی مشاهده‌ای
ASTM D 5092	طراحی و نصب چاه‌های آبی مشاهده‌ای در سفره‌های آبی زیرزمینی
ASTM C 294	بررسی، تحقیق و مغزه‌گیری از خاک
ASTM D 1586	نمونه‌گیری از خاک با استفاده از Split-barrel
ASTM D 4220	نگهداری و انتقال مغزه‌های خاک

Archive of SID

جدول ۴- واحدهای تعیین شده برای بررسی گسترش لایه‌های خاک.

Layer Type	Subdivision	Nomenclature
Clay		
Clay	Gray	C-1
Clay	Gray to Brown	C-2
Clay	Dark Gray	C-3
Clay	Light gray	C-4
Clay	Brown	C-5
Clay	Brown to gray	C-6
Clayed Silt with sand		
Clayed Silt with sand	Gray	CSS-1
Clayed Silt with sand	Dark Gray	CSS-2
Clayed Silt with sand	Brown	CSS-3
Clayed Silt with sand	Brown to Gray	CSS-4
Clayed Silt		
Clayed Silt	Light Gray	CS-1
Clayed Silt	Gray to Brown	CS-2
Clayed Silt	Light Brown	CS-3
Clayed Silt	Brown to Gray	CS-4

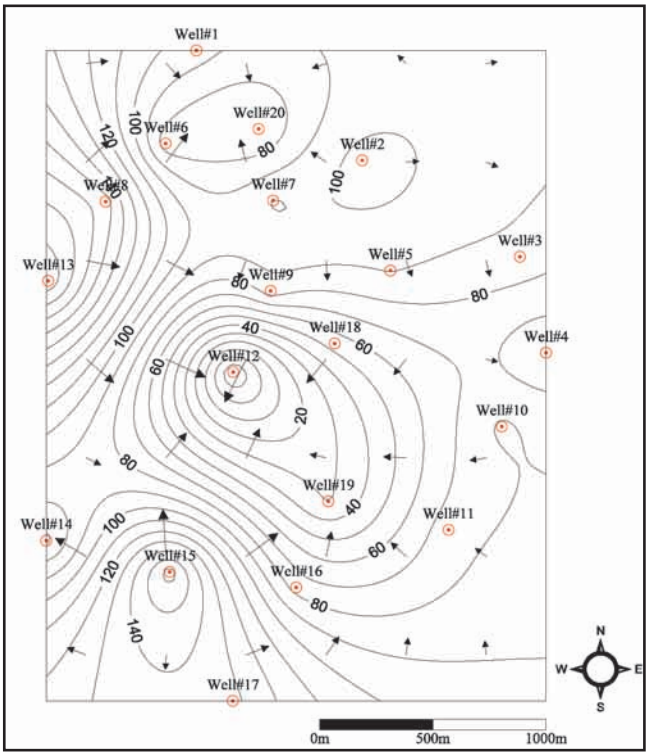
شکل۲- وضعیت عکس هوایی و شمای گسترش چاه‌های آبی مشاهده‌ای در پالایشگاه آبادان.



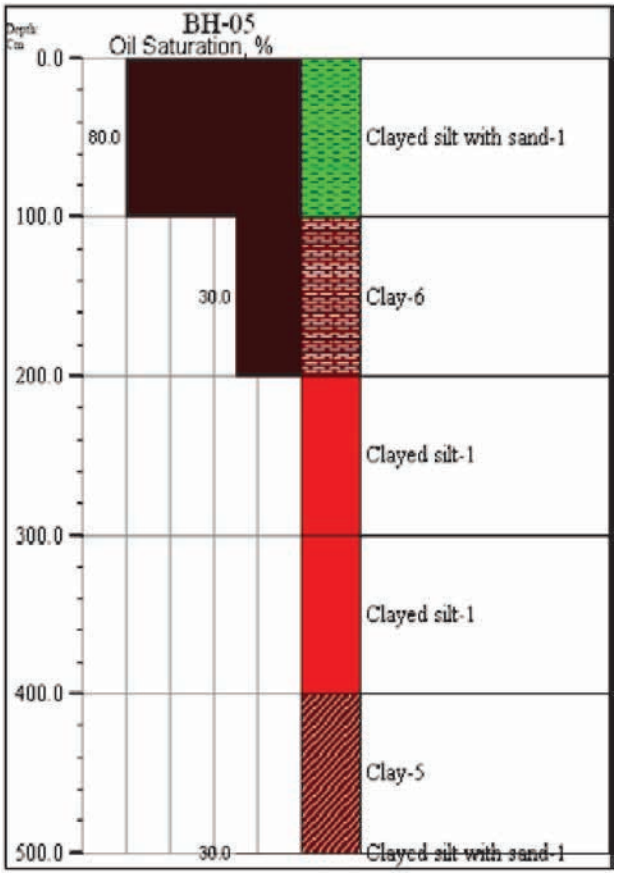
شکل۳- کانتور ارتفاع سطح زمین نسبت به سطح دریا در محوطه پالایشگاه (بر حسب سانتی‌متر).

www.SID.ir

Archive of SID



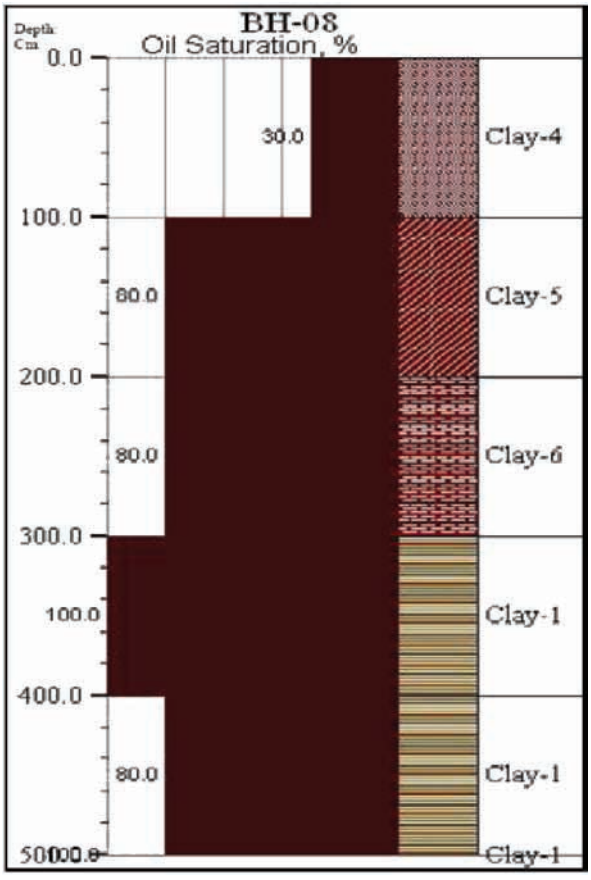
شکل۴- کانتور میانگین سطح ایستابی و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی آب پالایشگاه آبادان در طول مدت یکسال نمونه‌گیری.



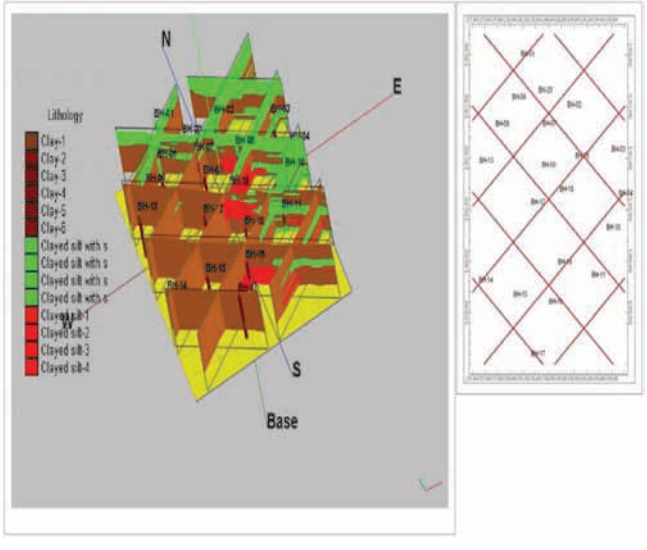
شکل ۵- نمای لایه‌های زیرسطحی و درصد اشباع و آغشتگی به نفت گمانه ۵.

www.SID.ir

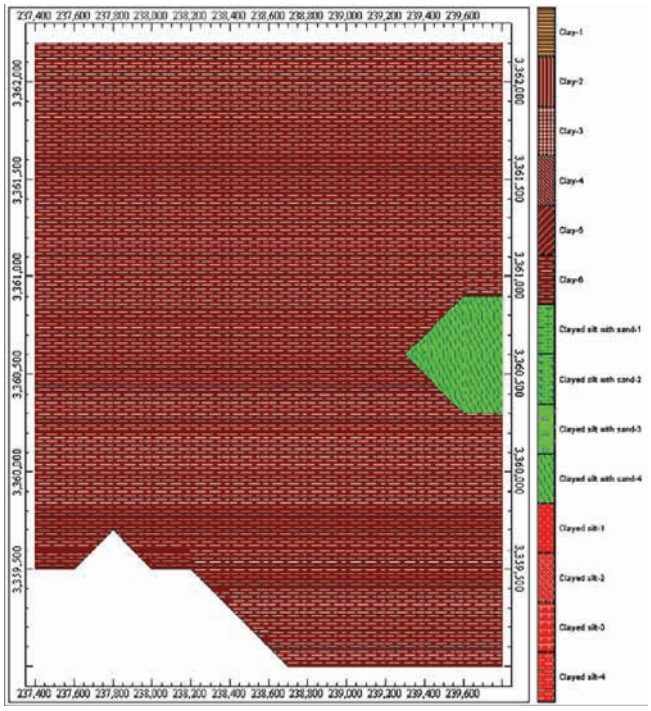
Archive of SID



شکل ۶- نمای لایه‌های زیرسطحی و درصد اشباع و آغشتگی به نفت گمانه ۸.



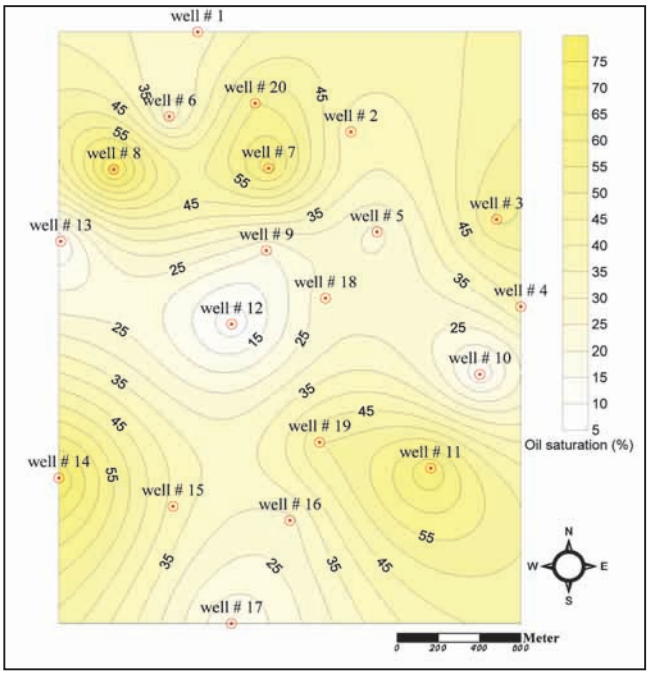
شکل ۸- سطح مقطع سه‌بعدی لایه‌های زیرسطحی در چاه‌های مشاهده‌ای و محوطه پالایشگاه.



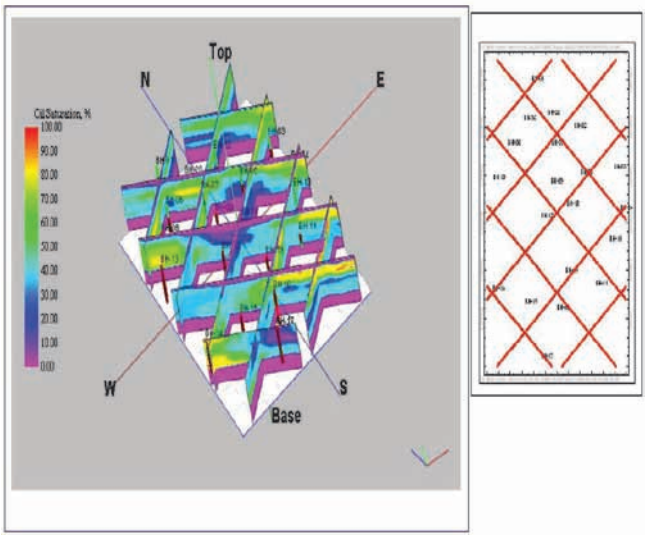
شکل ۷- نقشه الگوی گسترش لایه‌های زیرسطحی در محوطه پالایشگاه در ارتفاع ۳۶۰ سانتی‌متری پایین‌تر از سطح دریا Z=-۳۶۰ cm.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹- کانتور میانگین اشباع نفت در محوطه زیرسطحی پالایشگاه آبادان.



شکل ۱۰- سطح مقطع سه‌بعدی لایه‌های زیرسطحی آغشته به نفت در چاه‌های مشاهده‌ای و در محوطه پالایشگاه.

کتابنگاری

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۸۰۷ صفحه.

معماریان، ف.، ۱۳۷۸- زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.

شرکت مهندسین زمیران، ۱۳۸۰- گزارش نهایی مطالعات مکانیک خاک و پی طرح نیروگاه آبادان.

شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک آزمایشگاه خوزستان، ۱۳۸۲- تصفیه خانه پساب صنعتی پالایشگاه آبادان.

شرکت مهندسین مشاور روماند، ۱۳۶۷- گزارش مطالعات و تحقیقات مکانیک خاک و پی‌سازی و مقاومت مصالح ژئوتکنیک پروژه بازسازی پالایشگاه آبادان.

شرکت مهندسین مشاور پی‌کاو، ۱۳۸۰- گزارش مطالعات ژئوتکنیکی پروژه ساختگاه محوطه تقطیر پالایشگاه آبادان.

شادی‌زاده، س .ر.، زویداویان‌پور، م.، ۱۳۸۶- پروژه پژوهشی مصوب بررسی نفت خام و فراورده‌های نفتی پخش شده در طی زمان در پالایشگاه آبادان و نفوذ آنها به لایه‌های زیرزمینی و امکان‌سنجی استحصال مواد نفتی فوق، دانشگاه صنعت نفت و پالایشگاه آبادان.

References

Allen, A., 2002- Attenuation: A Cost Effective Landfill Strategy for Developing Countries. in: van Rooy, J. L., Jermy, C. A. (eds) Engineering Geology for Developing Countries, International Association of Engineering Geology and the Environment, pp156-167.

Alther, G. R., 1999- Removal of oil from wastewater with organo-clay, International Water Irrigation Review 19, 44.

Batchelder, M., Mather, J. D. & Joseph, J. B., 1998a- Mineralogical and chemical changes in mineral liners in contact with landfill leachate, Waste Management and Research, 16: 411-420.

Batchelder, M., Mather, J. D. & Joseph, J. B., 1998b- The stability of the Oxford Clay as a mineral liner for landfill. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, 12: 92-97.

Beall, G. W., 1984- Method of breaking emulsions; absorption of a quaternary ammonium exchanged clay in wastewater, U.S. Patent 4,470,912.

Beall, G. W., 1985a- Process for treating organic contaminated water; organoclay absorption column followed by active carbon, U.S. Patent 4,517,094.

Beall, G. W., 1985b- Method of removing organic contaminants from aqueous compositions; absorption with reaction product of clay and quaternary ammonium salt, U.S. Patent 4,549,590.

Beall, G. W., 1996- Method of removing water-insoluble organic contaminants from an acidic aqueous stream, U.S. Patent 5,567,318.

Bergaya, F., Theng, B. K. G. & Lagaly, G., 2006- Handbook of Clay Science, Developments in Clay Science, Elsevier Ltd Vol. 1. 1246 p.

Cheremisinof, N. P., 2002- Handbook of water and wastewater treatment technologies, Butterworth-Heinemann Publication, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

Chhabra, R., Pleysier, J. & Cremers, A., 1975- The Measurement of the Cation Exchange Capacity and Exchangeable Cations in Soils: A New Method. Proc. Int. Clay Conf., 439-449; Wilmette.

Deuel, L. E. Jr., 1993- Evaluation of limiting constituents suggested for land disposal of exploration and production wastes. API publication 4527, Washington, DC, 20005

DoE (Department of the Environment), 1978- Cooperative Programme of Research on the Behavior of Waste in Landfill Sites, HMSO, pp.169

Environmental Health, 2002- World Health Organization (WHO), Regional Office for the Eastern Mediterranean, Amman, Jordan.

Grim, R. E., 1962- Applied Clay Mineralogy, 1st edition. McGraw-Hill, New York, 422 p.

Haydel, S. E., Remenih, C. M. & Williams, L.,B., 2008- Broad-spectrum in vitro antibacterial activities of clay minerals against antibiotic-susceptible and antibiotic-resistant bacterial pathogens, Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 61(2): 353-361.

Holmes, M., 1973- Oil and penguin don't mix. National Geographic Magazine, 143(3): 384-397.

Jaynes, W. F., Vance, G. F., 1996- BTEX sorption by organo-clays: cosorptive enhancement and equivalence of interlayer complexes. Soil Science Society of America Journal, 60: 1742–1749.

Kokai, T., 1975- Japanese Patent Application 25,489.

Lo, I. M. C., Yang, X. Y., 2001- Laboratory investigation of the migration of hydrocarbons in organobentonite. Environmental Science and Technology, 35: 620–625.

Lorenzen, D., Conway, R. A., Jackson, L. P., Hamza, A. & Perket, C. L., 1986- Hazardous an Industrial Solid Waste Testing and Disposal. Sixth Volume, ASTM STP933, ASTM, Philadelphia, 93-103.

Lund, E., Nissen, B., 1986- Low technology water purification by bentonite clay flocculation as performed in Sudanese villages: virological examinations. Water Research, 20: 37–43.

Mackenzie, R. C., 1979- Clay mineralogy—whence and whither? In: Mortland, M.M., Farmer, V.C. (Eds.), International Clay Conference. Developments in Sedimentology 27. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–14.

Madsen, M. & Schlundt, J., 1989- Low technology water purification by bentonite clay flocculation as performed in Sudanese villages: bacteriological examinations. Water Research, 23: 873–882.

Martin, W. F., Lippitt, J., Webb, M. P. J., 2002- Hazardous Waste Handbook for Health and Safety, 3rd edition. Butterworth-Heinemann Publication.

McBride, M. B. & Mortland, M. M., 1973- Segregation and exchange properties of alkylammonium ions in a smectite and vermiculite. Clays and Clay Minerals 21, 323–329.

Mohamed, A. M. O., Yong, R. N., Tan, B. K., Farkas, A. & Curtis, L. W., 1994- Geo-environmental assessment of a micaceous soil for its potential use as an engineered clay barrier. Geotechnical Testing Journal, 17: 291-304.

Olsen, A., 1987- Low technology water purification by bentonite clay and moringa oleifera seed flocculation as performed in Sudanese villages: effects on schistosoma mansoni cercariae, Water Research 21: 517–522.

Percival, C., Schroeder, C. & Leape, J., 1992- Environmental Regulation: Law, Science, and Policy, 2nd edition. New York, Little Brown and Company, 1354 p.

Powers, J. P., 1992- Construction Dewatering: new Method and Applications, 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 528 p.

Quigley, R. M. & Rowe, R. K., 1986- Leachate migration through clay below a domestic waste landfill, Sarnia, Ontario, Canada: Chemical interpretation and modeling philosophies, In: Lorenzen, R.A., Conway R.A. (eds.) Hazardous and Industrial Waste Testing and Disposal, American Society for Testing and Material, pp. 93-103.

Robertson, R. H. S., 1986- Fuller's Earth: A History of Calcium Montmorillonite, 1st edition. Volturna Press, Hythe, Kent. 421 p.

Roehl, K. E. & Czurda, K., 1998- Diffusion and solid speciation of Cd and Pb in clay liners. Applied Clay Science, 12: 387-402.

Roehl, K. E., 1999- Assessment of Contaminant Retention in Clay Barriers. Conference of the European clay groups association conference Euroclay 1999, Krakow, Poland, p.127.

Rowe, R. K., Quigley, R. M. & Booker, J. R., 1995- Clayed barrier systems for waste disposal facilities, 1st edition. Spon Press Publishing, 560 p.

Salim, I. A., Miller, C. J. & Howard, J. L., 1996- Sorption Isotherm – Sequential Extraction Analysis of Heavy Metal Retention in Landfill Liners. Soil Science Society of America Journal, 60: 107-114.

Sharmasarkar, S., Jaynes, W. F., Vance, G. F., 2000- BTEX sorption by montmorillonite organo- clays: TMPA, ADAM, HDTMA. Water, Air and Soil Pollution, 119: 257–273.

Thury, M., 2002- The characteristics of opalinus clay investigated in the Mont Terri underground rock laboratory in Switzerland. C. R. Physique, 3: 923-933.

U.S. Army TM 5-814-7, 1984- Hazardous waste and disposal/land treatment facilities, Head quarters department of the army.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1997- Subsurface Investigation Practice Manual. FHWA H1-97-021.

Verstricht, J., Blümling, P. & Merceron, T., 2003- Repository concepts for nuclear waste disposal in clay formations, Field Measurements in Geomechanics, Proc. of the 6th Int. Symp., Oslo (Norway).

Warith, M. A., Yong, R. N., 1991- Landfill leachate attenuation by clay soil. Hazardous Waste and Hazardous Materials, 8: 127-141.

Williams, C. E., 1987- Containment applications for earthen liners. In Proceedings of the 1987 Specialty Conference on Environmental Engineering (Ed. Dietz, J.D.) ASCE, 122-128.

Xu, S., Sheng, G. Y. & Boyd, S. A., 1997- Use of organoclays in pollution abatement. Advances in Agronomy, 59: 25–62.

www.SID.ir