

بررسی زیست محیطی پسماندهای حفاری: مطالعه موردی پسماندهای چاه شماره ۴۴۹ میدان نفتی اهواز

مهین فرهادیان بابادی

کارشناسی ارشد زمین شناسی-ژئوشیمی دانشگاه خوارزمی

فریبرز مسعودی

گروه زمین شناسی، دانشگاه شهیدبهشتی تهران

علیرضا زراسوندی

گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷

Mahin.farhadian@gmail.com

چکیده

در این تحقیق، تاثیر مواد افزودنی گل و سازندهای حفاری شده در غلظت فلزات پسماندهای حفاری چاه ۴۴۹ میدان نفتی اهواز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه برداری از مواد افزودنی گل، گل های حفاری، پسماند (گل + خرده) سازندهای حفاری شده و همچنین خاکهای اطراف منطقه حفاری صورت گرفت. پس از آماده سازی نمونه ها، برای تعیین غلظت فلزات از روشهای ICP-OES و ICP-MS استفاده شد.

نتایج نشان می دهد که باریت منشا فلزات Cu, Zn, Ag، بنتونیت منشا فلزات Ni, V, Zn، فروبار منشا فلزات Zn, V, Ni, Cr، گل پایه آبی سنگین منشا فلزات Cu, Ag، شیل ها منشا فلزات Cr, Zn, V، شیل های بیتومینه منشا فلزات Cd, Cr, Zn, V و سنگ آهک منشا فلز Ba در سازند پابده، ماسه سنگ منشا فلز Cr، مارن-خاکستری منشا فلزات Cr, Cu, V و آهک منشا فلز Sr در سازند آسماری، مارن خاکستری آهکی و آهک های شیلی گورپی منشا فلز Cu، سنگ آهک سازند ایلام منشا فلزات Cu, Ag، و سنگ آهک سازند سروک منشا فلز Ba هستند. این تحقیق نشان داد که علاوه بر گل حفاری، سنگ های حفاری شده نیز منبع فلزات هستند و در مواردی موجب افزایش غلظت فلزات در پسماندهای حفاری شده اند. پسماندهای حفاری چاه ۴۴۹ اهواز براساس بررسی های زیست محیطی نسبت به فلزات Cu و Ag آلودگی متوسط تا شدید، نسبت به Cd نسبتاً آلوده، نسبت به Sr و Ba غیر آلوده تا نسبتاً آلوده هستند و نسبت به دیگر فلزات آلوده نیستند.

کلمات کلیدی: چاه شماره ۴۴۹ میدان نفتی اهواز، مواد افزودنی گل حفاری، پسماندهای حفاری، بررسی زیست محیطی

مقدمه

روغنی و مصنوعی دارای فاز پیوسته هیدروکربنی با شوره همراه با رس، مواد وزن افزا و دیگر افزودنی هاست.

نگرانی اصلی دفن پسماندهای حفاری در ارتباط با هدایت الکتریکی (مقدار کلرید در فاز نمکی) و حضور فلزات سنگین در آنهاست (Grow Cock et al., 2002). فلزات سنگین و هیدروکربنهای ضایعات حفاری خشکی باعث آلودگی محیط زیست می شوند. از اینرو می توانند بر روی سلامت انسان تاثیر بگذارند. اگرچه این تاثیرات بستگی به نوع، طبیعت و غلظت فلزات سنگین و هیدروکربنها (Hastings et al., 1984) و همچنین مدت زمان قرار گرفتن در معرض این آلودگیها دارد (API, 1978).

Patin, 1999 نیز ترکیبات گل حفاری را به سه گروه براساس تاثیرات بوم سم شناختی تقسیم بندی کرد:

بیش از ۵۵ نوع ماده مختلف به عنوان افزودنی گل حفاری شناخته شده است که در هر حفاری بسته به روش حفاری، مقاومت سنگها، میزان شکستگی، عمق، مواد گازی و ترکیب کانی شناسی سنگهای میزبان تنها ۱۵-۱۰ ماده مورد استفاده قرار می گیرد (Gettleson, 1980). انجمن بین المللی تولید کننده نفت و گاز دو نوع گل حفاری اصلی را معرفی کرد که شامل: گل پایه آبی و گل غیر آب پایه است (OGP, 2003; Neff et al., 2000). در تقسیم بندی دیگری که توسط Darley and Gray (1988) صورت گرفت گل های غیر آب پایه براساس غلظت آروماتیکها به سه گروه طبقه بندی شدند. نوع I با غلظت آروماتیکی زیاد یا گل پایه نفتی، نوع II با غلظت آروماتیکی متوسط یا گل پایه روغنی معدنی، نوع III با غلظت آروماتیکی کم یا گل پایه مصنوعی. ترکیب گل پایه آبی شامل رس، مواد وزن افزا و دیگر مواد شیمیایی در فاز آبی است در حالیکه گل پایه



شکل ۲. نمایی از الکهای لرزان و خرده‌های خارج شده از چاه حفاری

مواد اولیه گل که احتمال می‌رود منشأ فلزات در پسماندهای حفاری باشند شامل: باریت، بنتونیت، هماتیت (فروبار)، گازوئیل و آب است. نمونه‌برداری از این مواد نیز در آزمایشگاه گل‌حفاری شرکت ملی نفت انجام شد. همچنین نمونه برداری از خاک منطقه (به عنوان نمونه شاهد) در فاصله ۵۰۰ m از چاه مورد نظر انجام شد.

در عملیات حفاری چاه شماره ۴۴۹ اهواز ۵ حفره وجود دارد. گل‌های مورد استفاده در عملیات حفاری این چاه و همچنین سازندهای موجود در هر حفره به همراه نمونه‌های برداشته شده در ادامه توضیح داده می‌شود:

روش ساخت سیال حفاری اولین حفره ۲۶" و نمونه‌برداری از آن

این حفره تا عمق ۶۰ الی ۶۱ متری و در سازند آغاچاری است. در این حفره پیل بنتونیتی باگرانروی بالا بعنوان گل حفاری استفاده شد که روش ساخت آن به این شرح است: آب + ۱۰/۵ پوند/بشکه کربنات سدیم + ۲۵-۲۰ پوند/بشکه بنتونیت + ۰/۲۵-۰/۵ پوند/بشکه کاستیک.

نمونه‌برداری در این حفره به دلیل اینکه سازند آغاچاری و گل بنتونیتی در حفره بعد هم وجود دارد، صورت نگرفت.

روش ساخت گل حفاری دومین حفره ۱۷ ۱/۲" و نمونه‌برداری از آن

این حفره در سازندهای آغاچاری و میشان و بخش ۷ گچساران است. حفاری در این حفره با کاهش گرانروی گل حفره قبل آغاز و جهت تمیز نمودن چاه از پیل بنتونیتی استفاده شد. در این حفره نمونه‌هایی از گل بنتونیتی (۱) نمونه) قبل از ورود به چاه و همچنین از پسماندهای (خرده حفاری+گل) هر لیتولوژی اصلی سازند برداشته شد. بدین صورت که در سازند آغاچاری نمونه- برداری از پسماند مارن‌های قرمز در اعماق مختلف و در سازند میشان از پسماند مارن‌های خاکستری-قرمز و آهک در اعماق مختلف از روی الک‌لرزان انجام شد (شکل ۳). نمونه‌های با لیتولوژی مشابه با هم مخلوط و همگن شدند. از لیتولوژی‌های مختلف سازند گچساران به دلیل اینکه در حفره بعدی هم وجود دارد، نمونه برداری صورت نگرفت.

روش ساخت گل حفاری سومین حفره ۱۲ ۱/۴" و نمونه‌برداری از آن

این حفره در سازند گچساران است و از گل پایه‌آبی سنگین جهت حفاری آن استفاده شد که روش ساخت آن به صورت زیر است:
آب + نمک در حد اشباع + آهک + نشاسته سبز ۱۰-۱۴ بشکه/ پوند+باریت تا وزن PCF ۱۳۵ و از وزن PCF ۱۳۵ به بالا باریت و فروبار به نسبت ۳ به ۱ استفاده گردید. نمونه‌برداری از گل پایه‌آبی سنگین قبل از ورود به چاه و همچنین از پسماند لیتولوژی‌های مختلف سازند گچساران صورت گرفت.

گروه اول: شامل ترکیبات اصلی گل حفاری پایه آبی مثل بنتونیت و رس‌های دیگر، باریت و لیگنوسولفانات است که سمیت کم تا متوسط دارند و تاثیرات آنها با افزایش فاصله از منطقه تخلیه ضایعات حفاری سریعاً کاهش می‌یابد.

گروه دوم: سمیت متوسط دارند اما در مقادیر خیلی کم یافت می‌شوند و شامل صابونها، روان کننده‌ها، نفت و فرآورده‌های نفتی، محلولها، امولسیفایرها و تینرها هستند.

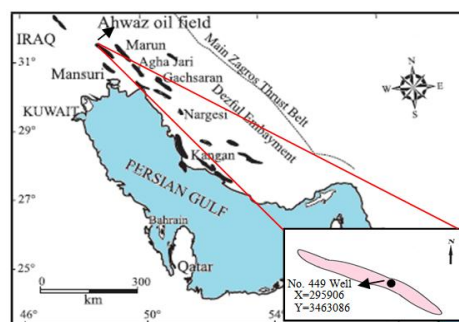
گروه سوم: شامل فلزات سنگین، کف کننده‌ها، مواد استفاده شده برای جلوگیری از خوردگی، مواد کشنده و باکتری کش‌ها هستند که این مواد خیلی سمی و در مقادیر کم وجود دارند.

باریت که به عنوان یک ماده وزن افزا در عملیات حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد نامحلول، خنثی و غیر سمی است (Monaghan et al., 1980). حضور مقادیر زیاد باریم در پسماندهای حفاری به دلیل استفاده باریت در گل حفاری است (Scholten et al., 2000). فلزاتی که ممکن است در باریت وجود داشته باشد و از نظر زیست محیطی نگران کننده هستند شامل: Cd (Nelson et al., 1984), Cr, Cu, Hg (Creclius et al., 2007), Pb, Zn (WHO, 2001) است که این فلزات در باریت اصولاً به صورت نمکهای سولفیدی نامحلول هستند (Trefry and Smith, 2003) و غلظت آنها بستگی به منشأ باریت دارد. بنتونیت به عنوان یکی دیگر از مواد اولیه گل حفاری نیز ممکن است دارای غلظت بالایی از چندین فلز باشد که با ماتریکس آن پیوند می‌یابد (National Research Council, 1983).

با توجه به تنوع مواد بکار رفته در انواع گل حفاری، پسماندهای متفاوتی در میدان‌های نفتی مختلف یافت می‌شوند که می‌بایست برای هر مورد بطور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. میدان نفتی اهواز، بزرگترین میدان نفتی ایران است که در شمال و شمال شرقی شهر اهواز و بخشی از محدوده‌ی شهر اهواز واقع شده‌است. در این میدان نفتی به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی، برای عملیات حفاری از گل حفاری با ترکیبات پیچیده استفاده می‌شود. ضایعات حفاری در حین عملیات و یا پس از پایان آن در محیط اطراف دکل در حوضچه‌های مخصوص تخلیه می‌شود که ممکن است منجر به آلودگی محیط زیست شود. در این تحقیق تاثیر مواد افزودنی گل حفاری و سازندهای مختلف حفاری شده در غلظت فلزات پسماندهای حفاری چاه شماره ۴۴۹ میدان نفتی اهواز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش تحقیق

باتوجه به برنامه زمان‌بندی حفاری چاه‌های نفت و هماهنگی با اداره زمین‌شناسی مناطق نفت‌خیز (کارون)، چاه شماره ۴۹۹ در میدان نفتی اهواز برای نمونه برداری انتخاب گردید (شکل ۱). نمونه‌های پسماند از هر کدام از لیتولوژی‌های اصلی سازندهای مختلف از روی الک لرزان (شکل ۲) و به میزان ۱Kg برداشته شد (Susich, 2000).



شکل ۱. الف- موقعیت میدان نفتی اهواز در فروافتادگی دزفول (با تغییرات از (Insalaco et al., 2006), ب- موقعیت چاه شماره ۴۴۹ در میدان نفتی اهواز

در سازند آسماری از پسماندهای انیدرید، نمک، آهک، مارن خاکستری، مارن خاکستری، سنگ آهک و در سازند پابده از پسماندهای شیل‌های بیتومین دار، سنگ آهک، شیل در اعماق مختلف نمونه برداری انجام شد. در سازند گورپی از پسماندهای سنگ آهک شیلی، مارن خاکستری و در سازند ایلام از پسماندهای سنگ آهک در اعماق مختلف نمونه برداشت گردید (شکل ۳). نمونه‌های برداشته شده از لیتولوژی‌های مشابه با هم مخلوط و همگن شدند.

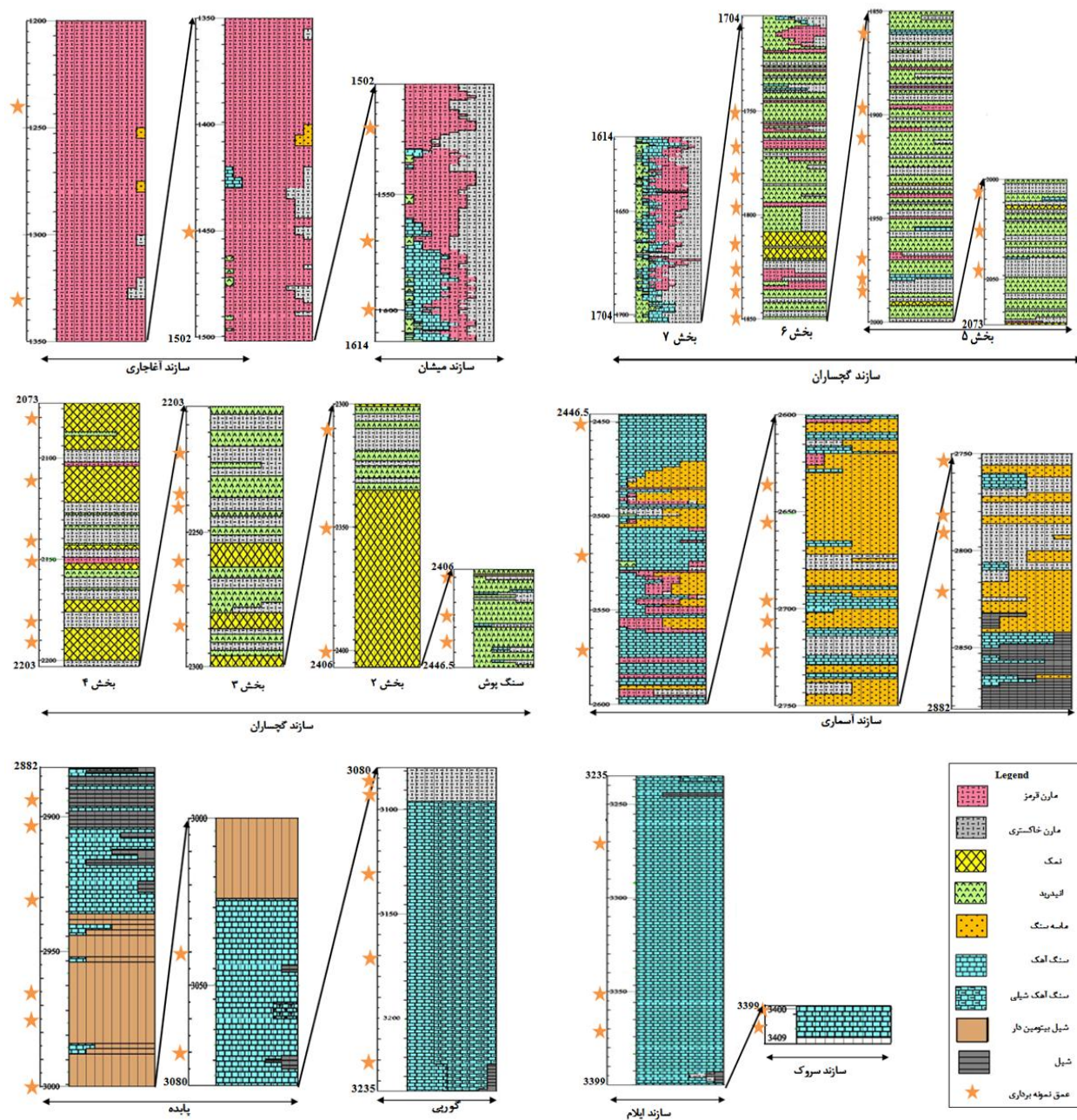
روش ساخت گل حفاری پنجمین حفره " ۶/۸ و نمونه برداری از آن

این حفره در سازند سروک است و باتوجه به اینکه گل مورد استفاده تقریباً همانند مورد قبل است، بنابراین نمونه‌ای برداشته نشد. در سازند سروک از پسماندهای سنگ آهک در اعماق مختلف نمونه برداری صورت گرفت (- شکل ۳). سپس نمونه‌ها مخلوط و همگن شدند.

در سازند گچساران از پسماندهای انیدرید، نمک، آهک، مارن خاکستری، مارن قرمز و شیل‌های پوش سنگ در اعماق مختلف نمونه برداری انجام شد (شکل ۳). نمونه‌های لیتولوژی مشابه با هم مخلوط و همگن شدند.

روش ساخت گل حفاری چهارمین حفره " ۸/۲ و نمونه برداری از آن

این حفره در سازندهای آسماری تا ایلام است که در ابتدا حفاری با آب-نمک و با ورود به شیل‌های آسماری، گل‌روغنی مورد استفاده قرار گرفت. مورد استفاده در گل روغنی شامل: گازوئیل، F.L.C، امولسیفایر اولیه، امولسیفایر ثانویه، آهک، آب کلرید کلسیم، ویسکازیفایر است. نمونه برداری از گل‌روغنی مورد استفاده در عملیات حفاری این حفره قبل از ورود به چاه و پسماند لیتولوژی‌های مختلف سازندهای آسماری، پابده، گورپی، ایلام انجام شد.



شکل ۳. لاگ چاه شماره ۴۴۹ اهواز و اعماق نمونه برداری که با علامت ستاره مشخص شده است

آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

براساس نتایج این جدول، مقدار $0/447$ به بالا معنی‌دار در نظر گرفته شد. عناصر با ضریب همبستگی بین $0/448$ تا $0/567$ (با علامت *) به‌عنوان همبستگی متوسط و عناصر با ضریب همبستگی $0/568$ به بالا (با علامت **) به‌عنوان همبستگی قوی در نظر گرفته شدند. این نتایج نشان می‌دهد که عنصر باریوم همبستگی منفی قوی با عناصر مس، روی و استرانسیم و با عنصر نقره همبستگی منفی دارد و همچنین با کروم همبستگی مثبت دارد.

مقایسه نتایج نمونه‌های پسماند چاه شماره ۴۴۹ اهواز با
استانداردهای خاک، میانگین خاک منطقه

مقادیر عناصر مختلف در پسماندها (جهت مطالعه‌ی میزان آلودگی پسماندهای سازندهای حفاری شده) با استانداردهای موجود برای خاک‌ها، میانگین عناصر در نمونه‌های خاک منطقه مقایسه شدند و همچنین غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی آن‌ها تعیین شد.

کادمیم

مقدار متوسط کادمیم در پوسته زمین $0/2$ قسمت در میلیون گزارش شده است (Krauskopf & Dannis, 1995). غلظت این عنصر در خاکها بین $0/11$ ppm - $0/6$ با میانگین جهانی $0/53$ ppm (آستانه‌ی آلودگی) است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که ۳۵ درصد نمونه‌های پسماند بیشتر از این محدوده هستند. مقدار کادمیم طبق استاندارد U.S EPA, 1992 در خاکها بین $0/7$ ppm - $0/1$ و با میانگین $0/6$ گزارش شده است (Lindsay, 1979). مقدار کادمیم در ۴۰ درصد نمونه‌ها بیشتر از این محدوده است. حد بحرانی این فلز 3 ppm - 8 است (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) که تنها ۵ درصد نمونه‌ها در محدوده بحرانی (پسماند شیل‌های بیتومینه پابده) قرار می‌گیرند. مقدار کادمیم در ۵۰ درصد نمونه‌های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه ($0/288$ ppm) است (شکل ۴الف).

باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ دارای $0/78$ ppm کادمیم و آب مورد استفاده در عملیات حفاری نیز دارای $0/15$ $\mu\text{g/l}$ کادمیم است که بالا بودن کادمیم در نمونه‌های پسماند گچساران تا حدودی می‌تواند به دلیل استفاده از باریت در فرمولاسیون گل پایه‌آبی سنگین ($0/16$ ppm) باشد. در گزارشات U.S EPA, 1988 آمده است که کادمیم تخلیه‌شده به محیط در طی فعالیتهای حفاری، پتانسیل بالایی برای آلودگی زیست‌محیطی در محیط دریایی و انتقال به انسان در طی مصرف غذایی دریایی آلوده را دارد. باریت منبع اصلی این فلز در پسماندهای حفاری است.

خرده‌های حاصل از حفاری سازندها نیز ممکن است درصد قابل‌توجهی از کادمیم را دارا باشند (Candler, 1995) که شیل‌های غنی از ماده آلی دارای فلزات کمیاب بیشتری مثل Zn, Cd, V, Mo, Cu نسبت به مقدار طبیعی هستند (Stow, 1987). در مطالعه‌ای نیز توسط Leuterma, 1997 نشان داده شد که غلظت کادمیم در سنگهای حفاری شده پنج برابر بیشتر از غلظت کادمیم در باریت تجاری است. در چاه مورد مطالعه، مقدار کادمیم در شیل‌های بیتومینه پابده بیشترین مقدار را نسبت به سایر لیتولوژی‌ها دارد. همچنین مقدار این عنصر در شیل‌های پابده نیز بالاست. گل حفاری مورد استفاده در سازند پابده از نوع گل پایه‌روغنی است و مقدار کادمیم در گل پایه‌روغنی و گازوئیل ppm $0/1$ < اندازه‌گیری شده‌است بنابراین، می‌توان نتیجه‌گرفت که منشأ این عنصر در پسماندهای شیلی پابده لیتوژنی است.

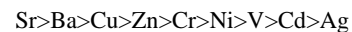
نمونه‌های پسماند با وزن ۱ kg پس از جمع‌آوری درون کیسه های پلاستیکی گذاشته و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پسماندهای پایه‌آبی در داخل اون به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه خشک- شدند. شایان ذکر است که خشک کردن پسماندهای روغنی در اون به دلیل داشتن روغن‌های سنگین و احتمال سوختن نمونه‌ها میسر نبود. به همین دلیل، نمونه‌ها در دمای اتاق تا چندین روز نگه‌داشته شدند به نحوی که قابل پودر کردن شوند. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب پودر شدند. نمونه‌های پودر شده از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند. قبل از پودر کردن هر نمونه، دستگاه و الک با استون و پنبه تمیز شدند تا احتمال آلودگی نمونه‌ها کمتر شود. سپس ۲۰ گرم از هر نمونه به منظور اندازه‌گیری فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه A.L.S کانادا ارسال شد.

نمونه‌های گازوئیل، آب، گل‌های پایه آبی و روغنی به حجم ۱۲۰ cc و درون ظروف پلی اتیلن (Eaton, et al., 1998) گذاشته شدند. نمونه‌های باریت، بنتونیت، فروبار نیز به وزن ۲۰ g و در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. تجزیه نمونه‌های مایع توسط آزمایشگاه Labwest استرالیا و نمونه‌های جامد توسط آزمایشگاه A.L.S کانادا به روش ICP-MS انجام شد. تجزیه نمونه‌های گازوئیل و گل‌روغنی نیز به روش ICP-OES توسط مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفت.

بحث و نتایج

پارامترهای آماری مربوط به داده‌های خام شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، حداقل و حداکثر برای ۹ عنصر در پسماندهای مختلف چاه شماره ۴۴۹ محاسبه و در (جدول ۱) ارائه شده‌است.

نتایج نشان می‌دهد که میانگین فراوانی عناصر در نمونه‌های پسماند به شرح زیر است:



جدول ۱. پارامترهای آماری داده‌های خام با تعداد نمونه‌های پسماند N: 20

Elements	Ba	Cu	Sr	Ag	Cr	Zn	Cd	Ni	V
Mean	449.6	182.4	1236.65	0.99	63.2	81.85	1.0735	41.855	37.4
Median	310	59.35	873	0.435	64	64.5	0.395	35.45	25
Stdev	397.02	218.68	1434.14	0.99	41.19	59.72	1.43	30.74	29.42
Min	21	19.2	185	0.11	4	13	0.08	8.3	10
Max	1410	684	6740	3.34	148	192	6	120	101

تعیین ضریب همبستگی

ماتریکس ضرایب همبستگی بین نتایج خام حاصل از تجزیه پسماندهای چاه شماره ۴۴۹، به روش اسپیرمن در (جدول ۲) نشان داده شده‌است.

جدول ۲. ماتریکس ضرایب همبستگی بین عناصر به روش اسپیرمن

Var	Ba	Cu	Cr	Zn	Ni	V	Cd	Sr	Ag
Ba	1.00	-.603**	.466*	-.638**	.120	.272	-.396	-.606**	-.540*
Cu		1.00	-.708**	.579**	-.544*	-.489*	.498*	.191	.938**
Cr			1.00	-.262	.857**	.653**	-.313	-.341	-.592**
Zn				1.00	.000	.023	.794**	.451*	.692**
Ni					1.00	.655**	-.232	-.128	-.465*
V						1.00	.112	-.048	-.430
Cd							1.00	.339	.544*
Sr								1.00	.214
Ag									1.00

آهک ایلام در حد بحرانی ۱۲۵-۶۰ ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) قرار دارند. گل مورد استفاده در عملیات حفاری این سازندها از نوع گل پایه روغنی است و غلظت مس در گازوئیل < 0.1 ppm و در گل پایه روغنی ۱۰ ppm است بنابراین تا حدودی منشأ مس در سازندهای ذکر شده لیتوژن است. براساس مطالعاتی که توسط Nelson et al., 1984 نیز صورت گرفت عنصر مس در پسماندهای حفاری یافت شد که منشأ این فلز هم از خرده های حفاری و هم از باریت مورد استفاده بوده است.

کروم

مقدار متوسط کروم در پوسته زمین ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Krauskopf & Dannis, 1995). میزان بالای کروم در سنگهای الترامافیک (۳۴۰۰-۱۶۰۰ ppm) و مقدار کمتر آن در سنگهای فلسیک و رسوبی (۱۲۰-۵ ppm) است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). غلظت کروم در خاکهای جهانی بین ۱۱۰۰-۱/۴ ppm با میانگین ۵۴ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که ۵۵ درصد نمونه های پسماند بیشتر از این میانگین هستند. مقدار کروم طبق استاندارد U.S EPA, 1992 نیز در خاکها بین ۱-۱۰۰ ppm و با میانگین ۱۰۰ گزارش شده است (Lindsay, 1979) که میزان کروم در ۲۰ درصد نمونه های پسماند بیشتر از این میانگین هستند. حد بحرانی کروم ۱۰۰-۷۵ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) که ۲۰ درصد نمونه های پسماند (پسماندهای ماسه سنگ و مارن آسماری، شیل های پابده) بیشتر از حد بحرانی و ۱۵ درصد (پسماندهای آجاجاری، مارن قرمز میشان، سنگ آهک آسماری) در محدوده بحرانی قرار دارند. میزان کروم در ۳۰ درصد نمونه های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۷۶/۵ ppm) است (شکل ۴).

میزان کروم در باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ ppm و آب مورد استفاده نیز دارای $0.001 \mu\text{g/l}$ کروم است. همچنین مقدار این عنصر در بنتونیت ۲۰ ppm است. بالابودن غلظت کروم در نمونه های پسماند آجاجاری و میشان تا حدودی می تواند به دلیل استفاده از بنتونیت در فرمولاسیون گل پایه-آبی سبک (۲۰ ppm) باشد که در عملیات حفاری این سازندها مورد استفاده قرار می گیرد. غلظت کروم در نمونه های پسماند مارن قرمز گچساران در حد بحرانی قرار دارد که به دلیل استفاده از فروبار در ترکیب گل پایه آبی سنگین است. مقدار این عنصر در فروبار ۲۵ ppm اندازه گیری شده است. میزان کروم در پسماندهای آسماری در محدوده و بالاتر از حد بحرانی قرار دارد. گل مورد استفاده در این سازند آب نمک است. آب مورد استفاده در حفاری سازند آسماری دارای $0.001 \mu\text{g/l}$ کروم است و می توان گفت که منشأ این عنصر در سازند آسماری از خود سازند است. میزان کروم در پسماندهای شیلی پابده نیز بالاتر از حد بحرانی است. گل مورد استفاده در حفاری این سازند گل روغنی است و میزان کروم در گازوئیل و گل روغنی < 0.1 ppm اندازه گیری شده است. لذا منشأ کروم در سازند پابده از خود سازند است. کروم موجود در گل حفاری به صورت سه ظرفیتی است که در لیگنوسولفاتات کروم (که از مواد اولیه گل حفاری است) وجود دارد. خوشبختانه لیگنوسولفاتات کروم در گل حفاری چاه ۴۴۹ و دیگر چاه های میدان نفتی اهواز استفاده نمی شود. در نتیجه مقدار کروم در پسماندهای چاه ۴۴۹ نیز چندان بالا نیست. نتایج مطالعات Trefry et al., 1986 نشان داد که عناصر کمیاب مانند باریم، کروم به عنوان عناصر ردیاب برای نشان دادن تخلیه گل های حفاری به درون آب و خاک هستند.

روی

مقدار میانگین روی در پوسته زمین ۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم است (Krauskopf & Dannis, 1995). بیشترین میزان روی در سنگهای مافیک و

مقدار باریم در پوسته زمین ۴۲۵ میلی گرم در کیلوگرم است (Krauskopf & Dannis, 1995). مقدار باریم در سنگهای آهکی بین ۲۰۰-۵۰ ppm در سنگهای رسی بین ۸۰۰-۵۰ ppm و در ماسه سنگها بین ۳۲۰-۱۰۰ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). میزان باریم در خاکهای جهانی بین ۹۶۰-۸۴ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که ۱۰ درصد نمونه های پسماند بیشتر از این محدوده است. غلظت باریم در خاکهای U.S.A بین ۲۹۰-۲۴۰ ppm است (Govindaraju, 1994) که ۵۰ درصد نمونه های پسماند بیشتر از این محدوده است. میزان باریم در ۵۰ درصد نمونه های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۲۶۰/۵ ppm) است (شکل ۴).

باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ دارای ۲۴۰۰ ppm باریم و آب مورد استفاده نیز دارای $61 \mu\text{g/l}$ باریم است همچنین بنتونیت دارای ۹۹۱ ppm باریم است. میزان باریم در گل پایه آبی سبک و سنگین به ترتیب ۷۸/۲ ppm و ۳۰۰۰ ppm است. غلظت باریم در پسماندهای آجاجاری، میشان و گچساران (که از گل پایه آبی سبک و سنگین برای حفر آنها استفاده می شود) بالا نیست در صورتی که عمده مصرف باریت در گل پایه آبی سنگین است. غلظت باریم در پسماندهای مارن خاکستری آسماری، سنگ آهک پابده، شیل و شیل های بیتومینه پابده، سنگ آهک ایلام و سروک بالاست که بیشترین مقدار باریم در پسماند سنگ آهک پابده است. در عملیات حفاری این سازندها از آب نمک (سازند آسماری) و گل پایه روغنی (سازندهای پابده، ایلام و سروک) استفاده می شود. میزان باریم در آب $61 \mu\text{g/l}$ ، گازوئیل < 0.1 ppm و در گل پایه روغنی ۷۶ ppm است. براساس Paradis et al., 1997 سنگ های میزبان باریت شامل شیل های سیلیکات و کربنات دار، سیلتستون، چرت، رس، ماسه سنگ، دولومیت، آهک است بنابراین منشأ این فلز در پسماندهای آسماری، پابده، ایلام و سروک می تواند از خود سازندها باشد.

مس

مقدار میانگین مس در پوسته زمین ۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم است (Krauskopf & Dannis, 1995). بالاترین مقدار مس در سنگهای مافیک (۱۲۰-۶۰ ppm) و رسوبات رسی (۶۰-۴۰ ppm) و کمترین مقدار آن در سنگ آهک (۱۰-۲ ppm) است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). غلظت مس در خاکها خیلی متغیر است اما معمولاً از ۴۰-۱ ppm با میانگین ۹ ppm در ایالت متحده است (Tisdale et al., 1985) مقادیر ۶۰ درصد نمونه های پسماند مطالعه شده بیشتر از این محدوده است. مقدار مس برای خاکهای جهانی بین ۲۴۰-۱۳ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که ۸۰ درصد نمونه های پسماند چاه ۴۴۹ بیشتر از این محدوده هستند. مقدار مس طبق استاندارد U.S EPA, 1992 نیز در خاکها بین ۱۰۰-۲ ppm و با میانگین ۳۰ گزارش شده است (Lindsay, 1979) که میزان مس در ۴۰ درصد نمونه های پسماند بیشتر از این محدوده هستند. حد بحرانی این فلز ۱۲۵-۶۰ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) که ۳۵ درصد نمونه ها (نمونه های گچساران) بیشتر از این محدوده بحرانی می باشند. مقدار مس در ۸۰ درصد نمونه های پسماند بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۲۳/۹۵ ppm) است (شکل ۴). باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ دارای ۴۵۸ ppm مس و آب مورد استفاده نیز دارای $10 \mu\text{g/l}$ مس است. بالابودن غلظت مس در نمونه های پسماند گچساران می تواند به دلیل استفاده از باریت در فرمولاسیون گل پایه آبی سنگین (۱۶۲ ppm) باشد. غلظت این عنصر در نمونه های پسماند مارن خاکستری آهکی، آهک های شیلی گورپی و سنگ-

به پایین بودن مقدار نیکل در گل، می‌توان گفت تا حدودی منشأ این عنصر در پسماندهای ماسه‌سنگ آسماری لیتوژن است.

وانادیم

مقدار متوسط وانادیم در پوسته زمین ۱۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Krauskopf & Dannis, 1995). سنگهای مافیک (۲۵۰ ppm - ۲۰۰) و سپس شیل‌های غنی از مواد آلی (۱۳۰-۸۰ ppm) دارای بیشترین میزان وانادیم هستند (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). غلظت وانادیم در خاکها بین ۱۱۵-۱۸ ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) است که غلظت وانادیم در همهی نمونه‌های پسماند در این محدوده قرار می‌گیرند.

مقدار وانادیم در ۲۵ درصد نمونه‌ها (پسماندهای آجاجاری، میشان، مارن قرمز گچساران، مارن قرمز آسماری و شیل‌های پابده) در محدوده بحرانی (۱۰۰ ppm - ۵۰ و ۵ درصد نیز بیشتر از این محدوده) (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) هستند. مقدار وانادیم در ۲۵ درصد نمونه‌های پسماند بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۶۲/۵ ppm) است (شکل ۴ج).

میزان وانادیم در بنتونیت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ ppm، ۴۸ ppm و همچنین مقدار این عنصر در باریت ۳ ppm است. بالابودن غلظت وانادیم در نمونه‌های پسماند آجاجاری و میشان تا حدودی به دلیل استفاده از بنتونیت در گل پایه‌آبی سبک (۳۰ ppm V) مورد استفاده در عملیات حفاری این سازندهاست. بالابودن میزان وانادیم در پسماند مارن قرمز گچساران نیز به علت استفاده از فروبار در ترکیب گل پایه‌آبی سنگین مورد استفاده در حفاری این سازندهاست. فروبار دارای ۴۹ ppm وانادیم است. مقدار وانادیم در پسماند مارن-خاکستری آسماری نیز در محدوده بحرانی قرار دارد. گل مورد استفاده در این سازنده آسماری، گل آب‌نمکی است و میزان وانادیم در آب مورد استفاده در این گل پایین (۷/۷ μg/l) است. مقدار وانادیم در بقیه لیتولوژی‌های این سازنده نیز پایین است پس تنها گل نمی‌تواند منشأ افزایش این عنصر در پسماند شود. همچنین غلظت وانادیم در پسماندهای شیل و شیل بیتومینه پابده در محدوده بحرانی قرار دارد. گل مورد استفاده در این سازنده از نوع گل پایه‌روغنی است و میزان وانادیم در گازوئیل و گل پایه‌روغنی ۱/۲ ppm < اندازه‌گیری شده‌است. باتوجه به پایین بودن مقدار وانادیم در گل پایه‌روغنی، می‌توان منشأ وانادیم را در این سازنده لیتوژن محسوب کرد.

استرانسیم

مقدار متوسط استرانسیم در پوسته زمین ۳۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Krauskopf & Dannis, 1995). میزان استرانسیم در سنگهای آهکی بین ۶۰۰-۴۰۰ ppm، در سنگهای رسی بین ۴۵۰-۳۰۰ ppm و در ماسه سنگ‌ها بین ۱۴۰-۲۰ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). مقدار میانگین استرانسیم در خاکهای سطحی ۲۵۰ ppm و در خاکهای مختلف ۱۰۰۰ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). مقدار استرانسیم در ۳۵ درصد نمونه‌ها (پسماندهای میشان، آهک، مارن خاکستری و نمک گچساران، آهک آسماری) بیشتر از مقدار آن در خاکهای مختلف است. مقدار استرانسیم در ۷۰ درصد نمونه‌های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۵۴۹ ppm) است (شکل ۴ج).

مقدار استرانسیم در پسماند مارن خاکستری-قرمز+آهک میشان بالاست. میزان استرانسیم در بنتونیت ۲۷۵ ppm و در گل پایه‌آبی سبک مورد استفاده در عملیات حفاری ۲۱۰/۸ ppm است پس می‌توان گفت که تا حدودی منشأ استرانسیم در سازنده میشان لیتوژن است. مقدار استرانسیم در پسماندهای گچساران نیز به دلیل استفاده از گل پایه‌آبی سنگین بالاست. باریت مورد استفاده در گل آبی سنگین دارای ۸۷۶ ppm استرانسیم است و باعث افزایش

شیل‌های غنی از مواد آلی (۱۲۰-۸۰ ppm) و کمترین مقدار آن در سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ (۱۰-۳۰ ppm) است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). مقدار روی در خاکهای غیرآلوده جهانی ۱۷-۱۲۵ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که ۲۵ درصد نمونه‌های پسماند غلظتی بیشتر از محدوده دارند. حد بحرانی عنصر روی ۴۰۰-۷۰ گزارش شده‌است (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) که ۵۰ درصد نمونه‌ها (پسماندهای آجاجاری، گچساران و شیل‌های پابده) در این محدوده بحرانی هستند. مقدار روی طبق استاندارد U.S EPA, 1992 در خاک‌ها بین ۳۰۰-۱۰ و با میانگین ۵۰ گزارش شده‌است (Lindsay, 1979) که میزان روی در ۶۰ درصد نمونه‌های پسماند بیشتر از این میانگین است. مقدار روی در ۵۰ درصد نمونه‌های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۶۴/۵ ppm) است (شکل ۴ث). میزان روی در باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ ppm و آب مورد استفاده نیز دارای ۲۴ μg/l روی است. همچنین مقدار این عنصر در بنتونیت ۸۵ ppm است. غلظت روی در پسماندهای آجاجاری در حد بحرانی قرار دارد که به دلیل استفاده از بنتونیت در فرمولاسیون گل پایه‌آبی سبک (۳۶/۹ ppm) است که در عملیات حفاری این سازنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت این عنصر در پسماندهای گچساران نیز در حد بحرانی قرار دارد. گل مورد استفاده در این سازنده، گل پایه‌آبی سنگین است و مقدار روی در گل پایه‌آبی سنگین ۵۷/۳ ppm اندازه‌گیری شده‌است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که منشأ عنصر روی در این پسماندها تا حدودی به دلیل استفاده از باریت است. غلظت روی در پسماندهای شیلی پابده نیز در محدوده بحرانی قرار دارد. گل مورد استفاده در حفاری این سازنده از نوع گل‌روغنی است و میزان روی در گازوئیل ۱/۱ ppm < و در گل‌روغنی ۷ ppm است باتوجه به کم بودن عنصر روی در گل‌روغنی، منشأ این عنصر در پسماندهای این سازنده زمین‌زاد در نظر گرفته شد.

نیکل

مقدار متوسط نیکل در پوسته زمین ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Krauskopf & Dannis, 1995). مقدار بالای نیکل در سنگهای الترامافیک (۲۰۰۰-۱۴۰۰ ppm) و به میزان کمتر در سنگهای مافیک است. در سنگهای رسوبی، غلظت بالای نیکل در شیل‌های غنی از مواد آلی (۹۰-۴۰ ppm) است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). دامنه تغییرات جهانی غلظت نیکل در خاکها ۴۵۰-۱۰ ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) و با میانگین ۴۰ ppm است (McGrath and Smith, 1990) که مقدار نیکل در ۴۰ درصد نمونه‌ها بیشتر از این مقدار میانگین است. مقدار نیکل طبق استاندارد U.S EPA, 1992 در خاک‌ها بین ۵۰-۵ ppm و با میانگین ۴۰ ppm گزارش شده است (Lindsay, 1979) که مقدار نیکل در ۴۰ درصد نمونه‌ها بیشتر از این مقدار میانگین است. همچنین مقدار نیکل در ۵ درصد نمونه‌ها (پسماندهای آجاجاری) بیشتر از مقدار بحرانی ۱۰۰ ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1984) است. مقدار نیکل در ۱۵ درصد نمونه‌های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه (۷۵/۶۵ ppm) است (شکل ۴ج).

میزان نیکل در بنتونیت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه ۴۴۹ ppm، ۲۳ ppm است. بالابودن غلظت نیکل در پسماندهای آجاجاری تا حدودی به دلیل استفاده از بنتونیت در گل پایه‌آبی سبک (۲۰ ppm Ni) مورد استفاده در عملیات حفاری این سازنده است. مقدار نیکل در پسماند مارن قرمز گچساران نسبت به بقیه لیتولوژی‌های دیگر این سازنده بالاست که به علت استفاده از فروبار در گل آبی سنگین است. فروبار دارای ۳۰ ppm نیکل است. در ماسه‌سنگ آسماری نیز میزان نیکل بالاست ولی کمتر از حد بحرانی است. آب موجود در گل آب‌نمکی مورد استفاده در عملیات حفاری این سازنده دارای ۶/۸ μg/l نیکل است. باتوجه

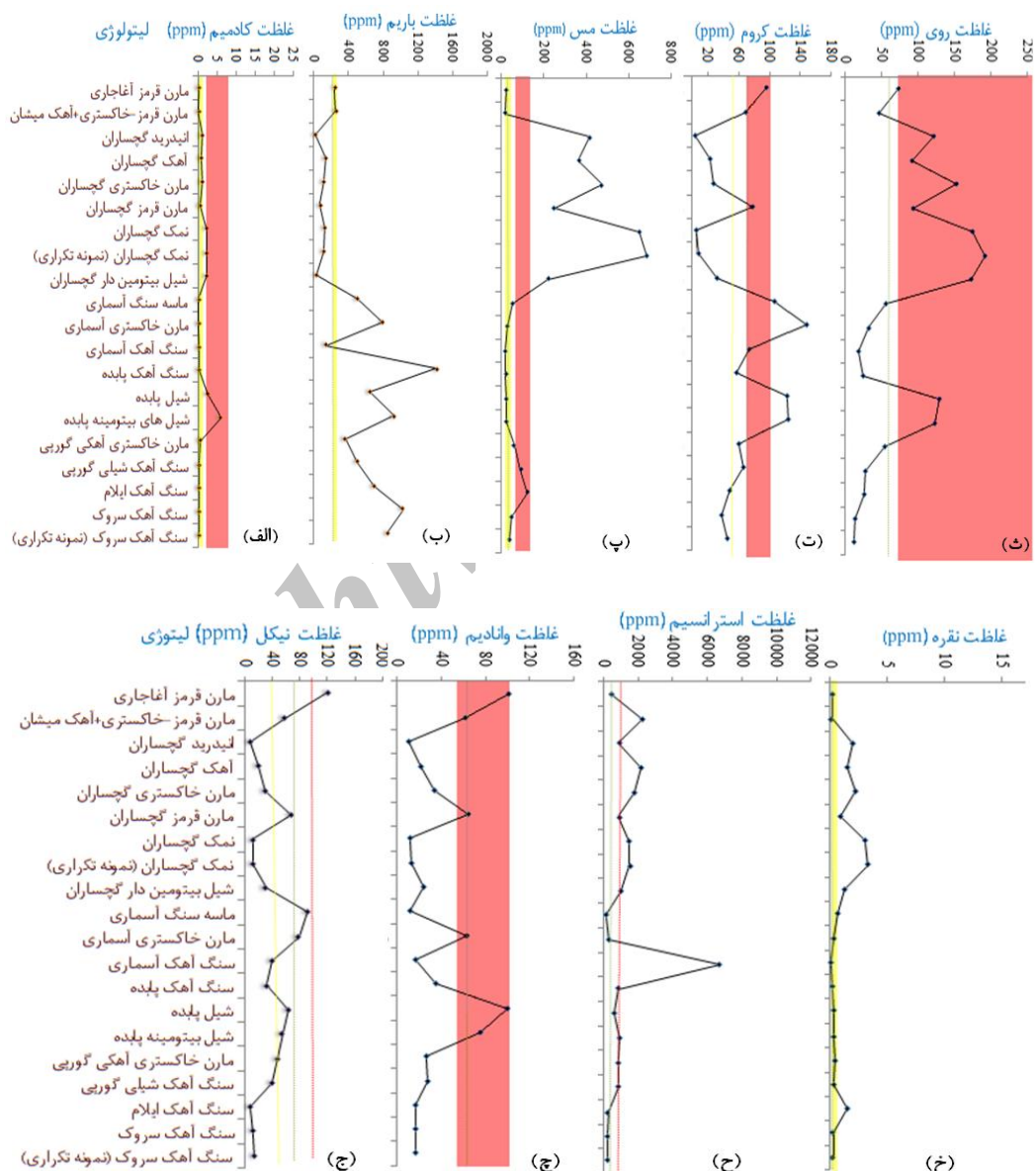
میانگین $0/05 \text{ ppm}$ است که همه‌ی نمونه‌ها غلظتی بیشتر از این مقدار میانگین دارند. مقدار نقره در 90% درصد نمونه‌های پسماند نیز بیشتر از میانگین آن در خاکهای منطقه مورد مطالعه ($0/16 \text{ ppm}$) است (شکل ۴).

میزان نقره در پسماندهای سازند گچساران بالاست که این افزایش به دلیل استفاده از باریت در فرمولاسیون گل پایه‌آبی سنگین ($1/36 \text{ ppm Ag}$) است. باریت مورد استفاده در عملیات حفاری چاه 449 ، دارای $3/12 \text{ ppm}$ و آب مورد استفاده در آن نیز دارای $22/8 \mu\text{g/l}$ نقره است. غلظت نقره در پسماندهای سنگ آهک ایلام نیز تقریباً بالاست. گل مورد استفاده در حفاری این سازند، گل روغنی است که در عملیات حفاری بقیه سازندها مثل پابده، گوربی و سروک نیز استفاده می‌شود. به دلیل اینکه افزایشی در مقدار نقره در این سازندها مشاهده نشده است پس می‌توان نتیجه گرفت که این افزایش در غلظت نقره در پسماند آهک ایلام از خود سازند است.

استرانسیم در این سازند شده است. سنگ آهک آسماری دارای بیشترین مقدار استرانسیم است. باتوجه به اینکه گل مورد استفاده در این سازند گل آب‌نمکی است و میزان استرانسیم در آب مورد استفاده در این گل، $4/92 \text{ ppm}$ است پس می‌توان گفت منشأ استرانسیم در آهک آسماری، لیتوزن است.

نقره

مقدار متوسط نقره در پوسته زمین $0/07$ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Krauskopf & Dannis, 1995). میزان نقره در سنگهای آهکی بین $0/15 - 0/1$ ppm، در سنگهای رسی بین $0/1 - 0/07$ ppm و در ماسه‌سنگ‌ها بین $0/25 - 0/05$ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). دامنه تغییرات غلظت نقره در خاکهای جهانی ($0/06 - 0/4 \text{ ppm}$ است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) که مقدار نقره در 50% درصد نمونه‌ها (پسماندهای گچساران، ماسه‌سنگ آسماری و سنگ آهک ایلام) بیشتر از این محدوده است. میزان نقره در استاندارد U.S EPA, 1992، $5 - 0/1 \text{ ppm}$ و با



شکل ۴. غلظت فلزات (الف-کادمیم، ب-باریم، پ-مس، ت-کروم، ث-روی، ج-نیکل، چ-وانادیم، ح-استرانسیم، خ-نقره) در نمونه‌های پسماند لیتولوژی‌های مختلف سازندهای چاه شماره ۴۴۹ در مقایسه با میانگین آن در خاکهای منطقه (خط چین سبز)، خاکهای جهانی (نوار و خط چین زرد) و حد بحرانی آن (نوار و خط چین قرمز)

تعیین میزان آلودگی نمونه‌های پسماند

روش‌های متفاوتی برای تشخیص تجمع غیرعادی آلوده‌کننده‌ها وجود دارد که در این روش‌ها، همگی آلوده‌کننده‌ها با یک عنصر مرجع مقایسه می‌شوند (Abraham & Parket, 2008). یکی از این روش‌ها، روش تعیین شاخص آلودگی است. در این روش، مقادیر آلاینده‌های موجود در نمونه‌ها با مقادیر زمینه مقایسه می‌شوند و نتایج آن به صورت عدد گزارش می‌شود (Christophoridis et al., 2009). از متداول‌ترین این روش‌ها تعیین فاکتور غنی‌شدگی (Ef) و ضریب زمین انباشت (I_{geo}) است. شاخص آلودگی به‌خوبی بیانگر تغییرات زمین‌شناسی و اثرات فعالیت‌های انسانی است. در ادامه شاخص‌های آلودگی نمونه‌ها برای تعیین شدت آلودگی آنها محاسبه می‌شود.

فاکتور غنی‌شدگی

یک روش متداول برای بررسی تاثیرات بشرزاد بر روی خاک یا رسوب، محاسبه فاکتور غنی‌شدگی برای غلظت‌های فلزی بالاتر از مقادیر زمینه غیرآلوده است (Herrnanz et al., 2003). در این روش غلظت فلزات سنگین، فرعی و کمیاب اندازه‌گیری شده نسبت به یک فلز مرجع مثل Fe, Al, Sc, Mn که در این مطالعه از عنصر نرمالیزه می‌شوند (Ravichandran et al., 1995) که در این مطالعه از عنصر آهن به‌عنوان عنصر مرجع و از مقادیر میانگین منطقه مورد مطالعه به‌عنوان مقادیر زمینه استفاده شده‌است. معادله فاکتور غنی‌شدگی استفاده شده به صورت زیر است:

$$Ef = \frac{(M/Fe) \text{ Sample}}{(M/Fe) \text{ Background}}$$

در این معادله $Sample$ $\left(\frac{M}{Fe}\right)$ نسبت غلظت فلز به آهن در نمونه مورد مطالعه و $Background$ $\left(\frac{M}{Fe}\right)$ نسبت غلظت فلز به آهن در نمونه زمینه منطقه مورد مطالعه است. براساس فاکتور غنی‌شدگی ۵ گروه آلودگی تشخیص داده شده‌است (Sutherland, 2000) که در (جدول ۳) ارائه شده‌است. فاکتور غنی‌شدگی برای پسماند همگی سازندها محاسبه شد که برای ۹ عنصر در جدول ۴ (الف و ب) ارائه شده‌است.

ضریب زمین انباشت

ضریب زمین انباشت (I_{geo}) توسط Muller, 1979 برای بررسی کمی آلودگی فلزات در رسوبات معرفی شد. ضریب زمین انباشت طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n}$$

C_n مقدار عنصر در نمونه مورد مطالعه، B_n مقدار عنصر مورد نظر در نمونه زمینه منطقه مورد مطالعه است. ضریب ۱/۵ برای حذف تاثیر لیتولوژی‌های مختلف در منطقه است. براساس نتایج ضریب زمین انباشت، ۷ گروه آلودگی تشخیص داده شده‌است (Abraham & Parket, 2008) که در (جدول ۵) ارائه شده‌است. ضریب زمین انباشت برای پسماند همگی سازندها محاسبه شد که برای ۹ عنصر در جدول ۶ (الف و ب) و برای مجموع پسماندها در (جدول ۷) ارائه شده‌اند.

جدول ۳. گروه‌های آلودگی براساس فاکتور غنی‌شدگی

سطح آلودگی	Ef	گروه آلودگی
تهی تا کمی غنی‌شدگی	< ۲	۱
Moderate Enrichment	۲-۵	۲
Significant Enrichment	۵-۲۰	۳
Very High Enrichment	۲۰-۴۰	۴
Extremely High Enrichment	> ۴۰	۵

جدول ۴ (الف و ب). گروه‌های آلودگی براساس فاکتور غنی‌شدگی عناصر در پسماندهای مختلف چاه شماره ۴۴۹ اهواز

(الف)

عناصر	پسماندهای آتلاچی		پسماندهای میثان		پسماندهای گچ‌ساران		پسماندهای آسماری	
	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی
Ba	0.62	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.97	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.45	تهی تا کمی غنی‌شدگی	2.85	نسبتاً غنی‌شدگی
Cu	0.76	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.8	تهی تا کمی غنی‌شدگی	24.51	شدیداً غنی‌شدگی	2.26	نسبتاً غنی‌شدگی
Cr	0.84	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.9	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.45	تهی تا کمی غنی‌شدگی	2.21	نسبتاً غنی‌شدگی
Zn	0.8	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.7	تهی تا کمی غنی‌شدگی	2.97	نسبتاً غنی‌شدگی	0.85	تهی تا کمی غنی‌شدگی
Ni	1.13	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.77	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.45	تهی تا کمی غنی‌شدگی	1.42	تهی تا کمی غنی‌شدگی
V	1.15	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.99	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.54	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.75	تهی تا کمی غنی‌شدگی
Cd	0.7	تهی تا کمی غنی‌شدگی	0.38	تهی تا کمی غنی‌شدگی	7.02	غنی‌شدگی قابل توجه	0.68	تهی تا کمی غنی‌شدگی
Sr	0.67	تهی تا کمی غنی‌شدگی	4.08	نسبتاً غنی‌شدگی	3.4	نسبتاً غنی‌شدگی	6.83	غنی‌شدگی قابل توجه
Ag	0.84	تهی تا کمی غنی‌شدگی	1	تهی تا کمی غنی‌شدگی	17.31	غنی‌شدگی قابل توجه	3.74	نسبتاً غنی‌شدگی

ادامه جدول ۴

(ب)

عناصر	یـمـنـدـهـای یـابـده		یـمـنـدـهـای گـریـبی		یـمـنـدـهـای ایـلام		یـمـنـدـهـای سـرـوک	
	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی	Ef	سطح آلودگی
Ba	4.54	نسبتا غنی شدگی	4.52	نسبتا غنی شدگی	12.52	غنی شدگی قابل توجه	15.69	غنی شدگی قابل توجه
Cu	1.17	تهی تا کمی غنی شدگی	8.67	غنی شدگی قابل توجه	24.45	شدیدا غنی شدگی	8.03	غنی شدگی قابل توجه
Cr	1.57	تهی تا کمی غنی شدگی	2.26	نسبتا غنی شدگی	2.98	نسبتا غنی شدگی	2.38	نسبتا غنی شدگی
Zn	1.69	تهی تا کمی غنی شدگی	1.71	تهی تا کمی غنی شدگی	1.91	تهی تا کمی غنی شدگی	0.91	تهی تا کمی غنی شدگی
Ni	0.78	تهی تا کمی غنی شدگی	1.54	تهی تا کمی غنی شدگی	0.52	تهی تا کمی غنی شدگی	0.7	تهی تا کمی غنی شدگی
V	1.33	تهی تا کمی غنی شدگی	1.16	تهی تا کمی غنی شدگی	1.29	تهی تا کمی غنی شدگی	1.18	تهی تا کمی غنی شدگی
Cd	12.19	غنی شدگی قابل توجه	3.65	نسبتا غنی شدگی	3.84	نسبتا غنی شدگی	3.66	نسبتا غنی شدگی
Sr	1.78	تهی تا کمی غنی شدگی	4.22	نسبتا غنی شدگی	2.54	نسبتا غنی شدگی	1.95	تهی تا کمی غنی شدگی
Ag	2.37	نسبتا غنی شدگی	6.75	غنی شدگی قابل توجه	44.64	بی نهایت غنی شدگی	7.74	غنی شدگی قابل توجه

جدول ۵. گروه‌های آلودگی براساس ضریب زمین انباشت

گروه های آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی
۱	< ۰	غیر آلوده Unpolluted
۲	۰ - ۱	غیر آلوده تا نسبتا آلوده Unpolluted to Moderately Polluted
۳	۱ - ۲	نسبتا آلوده Moderately Polluted
۴	۲ - ۳	آلودگی متوسط تا شدید Moderately to Strongly Polluted
۵	۳ - ۴	شدیدا آلوده Strongly Polluted
۶	۴ - ۵	شدیدا آلوده تا بی نهایت آلوده Externely to Strongly Polluted
۷	> ۵	بی نهایت آلوده Externely Polluted

جداول ۶ (الف و ب). گروه‌های آلودگی براساس شاخص ضریب زمین انباشت عناصر در پسماندهای مختلف چاه شماره ۴۴۹ اهواز

(الف)

عناصر	یـمـنـدـهـای تـمـاز		یـمـنـدـهـای مـیـشـن		یـمـنـدـهـای کـجـانـن		یـمـنـدـهـای تـقـاطـری	
	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی
Ba	-0.69	غیر آلوده	-0.62	غیر آلوده	-3.61	غیر آلوده	0.29	غیر آلوده تا نسبتا آلوده
Cu	-0.51	غیر آلوده	-0.91	غیر آلوده	3.60	شدیدا آلوده	-0.04	غیر آلوده
Cr	-0.26	غیر آلوده	-0.73	غیر آلوده	-2.14	غیر آلوده	-0.07	غیر آلوده
Zn	-0.41	غیر آلوده	-1.08	غیر آلوده	0.56	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	-1.44	غیر آلوده
Ni	0.07	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	-0.97	غیر آلوده	-0.64	غیر آلوده	-0.71	غیر آلوده
V	0.09	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	-0.59	غیر آلوده	-1.88	غیر آلوده	-1.63	غیر آلوده
Cd	-0.62	غیر آلوده	-2	غیر آلوده	1.80	نسبتا آلوده	-1.76	غیر آلوده
Sr	-0.68	غیر آلوده	1.44	نسبتا آلوده	0.75	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	1.55	نسبتا آلوده
Ag	-0.26	غیر آلوده	-0.58	غیر آلوده	3.10	شدیدا آلوده	0.67	غیر آلوده تا نسبتا آلوده

(ب)

عناصر	یـمـنـدـهـای سـرـوک		یـمـنـدـهـای ایـلام		یـمـنـدـهـای گـریـبی		یـمـنـدـهـای یـابـده	
	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی	I _{geo}	سطح آلودگی
Ba	1.26	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.83	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.15	نسبتا آلوده	1.34	نسبتا آلوده
Cu	0.29	نسبتا آلوده	1.77	نسبتا آلوده	1.09	غیر آلوده	-0.6	غیر آلوده
Cr	-1.45	غیر آلوده	-1.25	غیر آلوده	-0.84	غیر آلوده	-0.18	غیر آلوده
Zn	-2.84	غیر آلوده	-1.89	غیر آلوده	-1.24	غیر آلوده	-0.07	غیر آلوده
Ni	-3.22	غیر آلوده	-3.77	غیر آلوده	-1.39	نسبتا آلوده	1.98	نسبتا آلوده
V	-2.46	غیر آلوده	-2.46	غیر آلوده	-1.79	غیر آلوده	-0.42	غیر آلوده
Cd	-0.83	غیر آلوده	-0.89	غیر آلوده	-0.15	آلودگی متوسط تا شدید	2.77	آلودگی متوسط تا شدید
Sr	-1.74	غیر آلوده	-1.49	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.05	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.004	غیر آلوده تا نسبتا آلوده
Ag	0.24	آلودگی متوسط تا شدید	2.64	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.73	غیر آلوده تا نسبتا آلوده	0.41	غیر آلوده تا نسبتا آلوده

جدول ۷. گروه‌های آلودگی براساس ضریب زمین انباشت در مجموع پسماندها

عناصر	Ba	Cu	Sr	Ag
Igeo	0.20	2.34	0.58	2.04
آلودگی متوسط تا شدید	غیرآلوده تا نسبتاً آلوده	آلودگی متوسط تا شدید	غیرآلوده تا نسبتاً آلوده	آلودگی متوسط تا شدید

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام گرفته بر روی غلظت فلزات موجود در پسماندهای هر لیتولوژی و افزودنیهای گل مصرفی در حفاری سازندهای چاه شماره ۴۴۹ میدان نفتی اهواز نشان داد که برخی از سازندهای حفاری شده ممکن است منشأ افزایش فلزات موجود در پسماندها باشند. این لیتولوژی‌ها شامل شیل‌ها (منشا فلزات Cu, Zn, V), شیل‌های بیتومینه (منشا فلزات Cd, Cr, Zn, V) و سنگ‌آهک (منشا فلز Ba) سازند پابده، ماسه‌سنگ (منشا فلز Cr)، مارن-خاکستری (منشا فلزات Cr, Cu, V) و آهک (منشا فلز Sr) سازند آسماری،

منابع

- Abraham. G.M.S., Parket. R.J., 2008, Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 136 227-238.
- API (American Petroleum Institute), 1978, API recommended practice. Standard procedure for testing drilling mud, API, Washington D.C, pp:35.
- Candler. J.E., 1995, Sea floor monitoring for synthetic based mud discharged in the Western Gulf of Mexico, presented at society of professional engineers, Houston, Texas, March.
- Crecelius. E., Trefry. J., McKinley. J., Lasorsa. B., Trocine. R., 2007, Study of barite solubility and the release of trace components to the marine environment. New Orleans (LA): US Department of the Interior Minerals Management Service, Mexico Region. OCS Study MMS 2007-061. Accessed on 10 December 2008 at <http://www.gomr.mms.gov/PI/PDFImages/ESPIS/4/4289.pdf>.
- Christophoridis. C., Dedepsidis. D., Fytianos. K., 2009, Occurrence and distribution of selected heavy metals in the sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators *Journal of Hazardous Materials*.
- Darley. H.C.H., Gray. G.G., 1988, Composition and properties of drilling and completion fluids. Fifth Edition. Gulf Publishing Co., Houston, TX. 643 pp.
- Eaton. A.D., Clesceri. L., Greenbery. A.E., 1998, Standards methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., APHA-AWWA-WEF.
- Gettleson. D.A., 1980, Effects of oil and gas drilling operations on the marine environment. in *Marine Environmental Pollution, 1: Hydrocarbons* (R. A. Geyer, Ed.), pp. 371-411, Elsevier Scientific, Amsterdam.
- Govindaraju. K., 1994, Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostand Newsletters*, Special Issue 18:1-158.
- Grow Cock. F.B., Curtis. G.W., Hoxha. B., Broo. W.S., Candler. J.E., 2002, Designing invert drilling fluids to yield environmentally friendly drilled cuttings. IADC/SPE 74470, IADC/SPE drilling conference, Dallas, Tx, Feb 26-28.
- Hastings. L., Cooper. G.P., Burg. W., 1984, Human sensory response to selected petroleum hydrocarbons. In: *Advances in modern environmental toxicology*.
- Hernandez. L., Probst. A., Probst. J. L., Ulrich. E., 2003, Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmosphere contamination. *The Science of Total Environment*, 312, 195-210.
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., Monibi, S., 2006, Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: *Bahrain, Gulf PetroLink, GeoArabia*, 11(2), 75-176.
- Kabata-Pendias. A., Pendias. H., 1984, Trace element in soil and plant. CRC press, Boca Raton, Fla.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992, Background levels and environmental influences on trace metals in soils of the temperate humid zone of Europe. In: Adriano DC (ed) *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis Publ, Boca Raton, pp 19-60.
- Krauskopf. K., Dannis. B., 1995, Introduction to geochemistry. Third edition, McGraw-Hill.
- Leuterman. A., Still. I., Christie. J., Butcher. N., 1997, A study of trace metals from barites: Their concentration, bioavailability, and potential for bioaccumulation. In: *Proceedings of the Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, OMC97; 1997 March 19-21: Ravenna, Italy. Ravenna (IT): OMC. P 357-396*.
- Lindsay. W.L., 1979, *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and Sons. New York.
- McGrath. S.P., Smith. S., 1990, Chromium and nickel. In *heavy metals in soils*. B.J. Alloway (ed.). Blackie and Son, Ltd., Bishopbriggs, Glasgow. pp 151-176.

- Monaghan. P.H., McAuliffe. C.D., 1980, Environmental aspects of drilling fluids and cuttings from oil and gas operation in offshore and coastal waters. *Marine Environmental Pollution 1: Hydrocarbons*. Elsevier Scientific.
- Muller. G., 1979, Schwermetalle in den sediment des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschan* 79, 778-783.
- NRC (National Research Council), 1983, *Drilling Discharges in the Marine Environment*. National Academy Press, Washington. 180 pp.
- Neff. J.M., Mckelvie. S., Ayers. R.C., 2000, Environmental Impacts of Synthetic Based Drilling Fluids. OCS Study MMS 2000-64. U.S.Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Program, New Orleans, LA, LA. 118 pp.
- Nelson. D.W., Liu. S.L., Sommers. L.E., 1984, Extractability and plant uptake of trace elements from drilling fluids. *J. Environ. Qual.* 13:562-566.
- OGP (International Association of oil & Gas Producers), 2003, Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations. Report 342 from OGP, London, England. 103 pp.
- Paradias. S., Simandl. G.L., MacIntyre. D., Orris. G.J., 1997, Sedimentary-hosted, stratiform barite. *B.C, Mineral Deposit*.
- Patin. S.A., 1999, *Environmental Impact of Offshore Oil & Gas Industry*. New York: Eco Monitor Publishing.
- Ravichandran. M., Baskaran. M., Santschi. P.H., Bianchi. T.S., 1995, History of Trace Metal Pollution in Sabine-Neches Estuary, Beaumont, Texas. *Environ. Sci. Tech.*, **29**, 1495-1503.
- Scholten. M.C.Th., Karman. C.C., Huwer. S., 2000, Exotoxicological risk assessment related to chemicals and pollutants in off-shore oil production. *Toxicology Letters* 112-113, 283-288.
- Stow. D., 1987, South Atlantic organic rich sediments: Facies, Processes, and Environments of Deposition", *GSSP*, No.26.
- Susich. M.L., 2000, Onshore drilling waste management: Beneficial reuse of cuttings. Marathon Oil Company. Max W. Sche\wenne, OASIS Environmental, Inc.
- Sutherland. R.A., 2000, Bed sediment-associate trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.* 39 (6), 611.
- Tisdale. S.L., Nelson. W.L., Beaton. J.D., 1985, *Soil Fertility and Fertilizers*. 4th ed.
- Trefry. J.H., Trocine. R.P., Metz. S., Sisler. M.A., 1986, Forms, reactivity and availability of trace metals in barite, Report to the offshore operators committee, task force on environmental science, New Orleans, LA, 1986, P 1-50.
- Trefry. J.H., Smith. J.P., 2003, Forms of mercury in drilling fluid barite and their fate in the marine environment. A review and synthesis. SPE 80571. SPE/EPA/DOE exploration and production Environmental conference, San Antonio, TX. Richardson (TX): Society of petroleum Engineers. P 1-10.
- U.S EPA, 1992, Behavior of metals in soils. U.S Environmental Protection Agency. Office of solid waste and emergency response, EPA/540/S-92/018.
- U.S EPA, 1988, 53 Federal Register, 41356-383.
- WHO (World Health Organization), 2001, Concise International Chemical Assessment Document 33: Barium and Barium Compounds. Accessed on 12 December 2008 at <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad33.htm>.