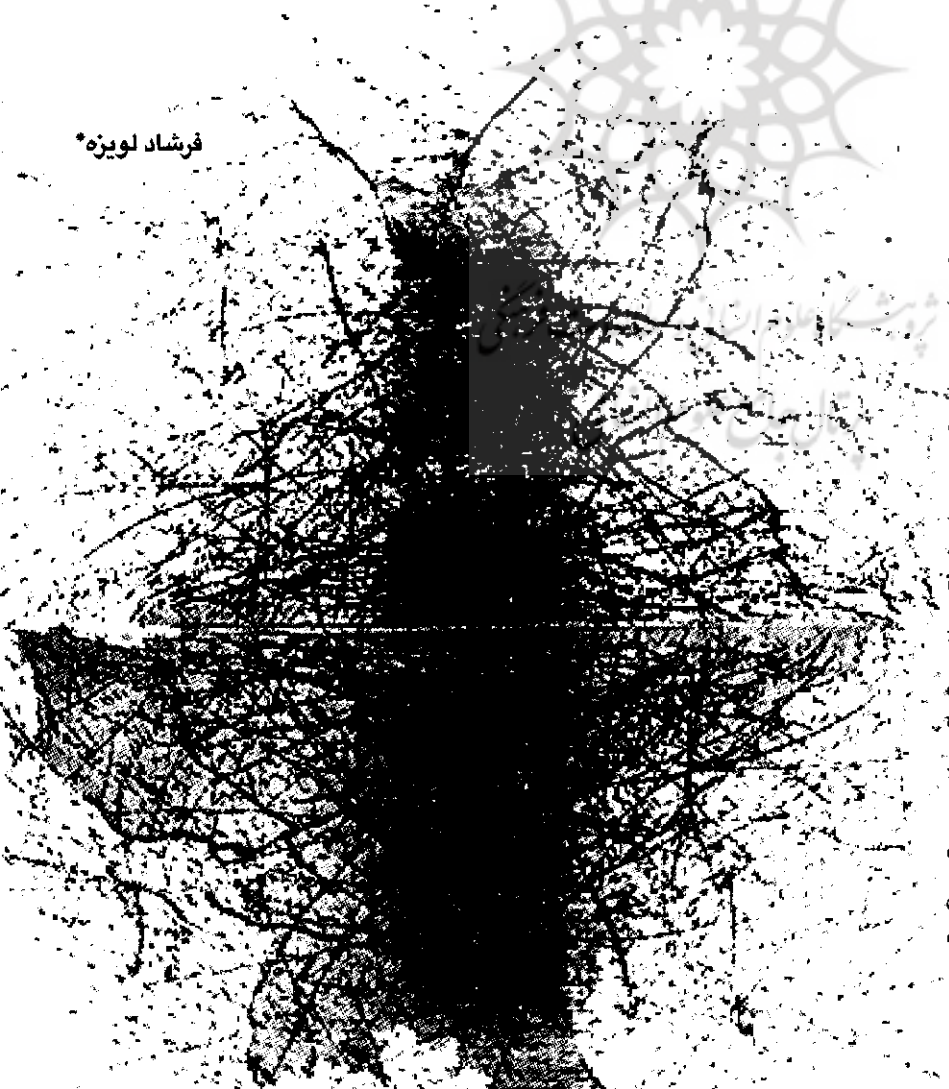
بررسی
منشأ و میزان آلودگی فلزات سنگین
در جزیره‌ی خارک

فرشاد لویزه*



چکیده

۵۰ سال فعالیت پایانه‌ی نفتی خارک، و احداث تأسیسات نفتی و آمد و شد نفتکش‌های غول‌پیکر، عملاً موجب آلودگی شدید آب و خاک، و تمرکز آلاینده‌های فلزی سنگین در حواشی جزیره شده است. حوضه‌ی بسته‌ی خلیج فارس و سیستم خاص چرخه‌ی حیاتی آن که امکان خودپالایی آلودگی را تقریباً غیرممکن ساخته است، و نیز ارتباط مستقیم سکنه‌ی حواشی آن (سواحل ایرانی تبار و عربی) با محیط زیست سالم، لزوم کنترل آلودگی‌های مرتبط با صنایع نفت را محرز می‌سازد.

در نوشتار حاضر، سعی بر آن بوده است که ضمن بررسی منشأ پیدایش آلودگی‌ها، میزان تراکم و تمرکز فلزات سنگین نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۱. مقدمه

انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم میلادی دستاوردهای بسیاری را برای رفاه نوع بشر به همراه داشته است. اما در مسیر اشتیاق به بهره‌گیری از توسعه‌ی فناوری، بیش‌تر از آن که بتوان محیط زیست را برای زندگی بهتر سامان داد، به نظر می‌رسد، بهره‌برداری بی‌رویه از آن مدنظر بوده است.

توسعه‌ی سریع شهرنشینی، افزایش بی‌رویه‌ی جمعیت، توسعه‌ی سیستم‌های ارتباطی، و رشد سریع شبکه‌های حمل و نقل زمینی و هوایی در دهه‌های اخیر، نیاز صنایع به انرژی را چندین برابر کرده است. به همین دلیل نیز، اکتشاف، استخراج و مجموعه فعالیت‌های مرتبط با حمل و نقل و پالایش نفت خام، در فاصله‌ی بین دو جنگ جهانی تا پایان سده‌ی اخیر، همواره از رشد صعودی سرسام‌آوری برخوردار بوده است. کشور ما به عنوان سومین صادرکننده‌ی بزرگ نفت از دهه‌ی ۱۳۳۰ به بعد، در بخش اکتشاف، استخراج و تدارک امکانات صدور نفت خام، سرمایه‌گذاری کلانی کرده است و در حال حاضر، ترمینال نفتی خارک، به رغم بمباران‌های شدید دوران جنگ، کماکان ۹۰ درصد سهم صادرات نفت خام را عهده‌دار است.

در پی سیاست‌های اخیر دولت مبنی بر جلب سرمایه‌ی خارجی به منظور رونق معاملات اقتصادی و تقویت بنیه‌ی فنی و تکنیکی کشور، شرکت فرانسوی ELF (یکی از هفت کمپانی بزرگ نفتی معروف به هفت خواهران)، در سال‌های گذشته، قراردادی را به منظور توسعه‌ی میدان نفتی دورود با دولت منعقد کرد که فاز یک آن، هم اکنون در حال مطالعه و اجراست.

از آن جا که رعایت موازین زیست محیطی و سعی در بهبود وضعیت موجود محیط زیست، در کشورهای پیشرفته سال‌هاست که در دستور کار برنامه‌ریزان و مسؤولان ذی‌ربط در اجرای پروژه‌های بزرگ صنعتی قرار گرفته است، و نیز با توجه به این که یکی از گام‌های اساسی در تهیه‌ی گزارش ارزیابی اثرات زیست محیطی[1]، تشریح وضعیت موجود محیط زیست است، مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک و اخذ نمونه‌های لازم از رسوبات بستر برای آنالیز شیمیایی و تعیین الگوی انتشار عناصر صورت گرفته است.

نوشتار حاضر که با هدف بررسی منشأ و تعیین الگوی انتشارعناصر فلزی سنگین[2] تهیه شده است، سعی بر آن دارد که ضمن بررسی منشأ آلاینده‌ها و نیز تشریح وضعیت موجود محیط زیست، راه را برای اجرای بهینه‌ی پروژه از دیدگاه محیط زیست و سعی در حذف یا تقلیل آلاینده‌ها در منبع تولید هموار سازد و چنان که در آخرین بخش از همین مطالب ملاحظه خواهد شد، طراحان و برنامه‌ریزان پروژه (چه ایرانی و چه غیر ایرانی)، با آگاهی از وضعیت فعلی محیط زیست و اطلاع ازمقادیر کمی و کیفی پارامترهای مهم، باید بتوانند اجرای پروژه مزبور را با موازین خاک، بر سیستم‌های مدیریت زیست محیط[3] منطبق کنند.

۲. زمین‌شناسی عمومی خارک

جزیره‌ی خارک با وسعتی معادل ۲۴ کیلومتر مربع (۴×۶ کیلومتر)، در بخش شمال باختری خلیج فارس واقع است و به دلیل وجود پایانه‌ی صادراتی نفت خام، از اهمیت راهبردی برخوردار است.

میدان نفتی خارک اساساً قسمتی از میدان نفتی دورود (داریوش) است که در جنوب جزیره‌ی خارک قرار می‌گیرد. این بخش از میدان دورود، در سال ۱۳۳۱ یعنی درست یک سال پس از کشف قسمت دریایی آن، مورد اکتشاف واقع شد و نتایج حاصل مبین آن است که در این میدان، جمعاً دو مخزن نفتی وجود دارد. بخش فوقانی این میدان توسط رخساره‌های سازند گچساران پوشیده شده است [مطیعی، ۱۳۷۴]. رخساره‌های عهد حاضر در جزیره‌ی خارک به طور کلی تحت عنوان آهک خارک (QPh_{kh}) در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱۵۰/۰۰۰ رده‌بندی شده و مشتمل بر ضخامتی معادل ۲۵ متر آهک صدف‌دار به رنگ کرم روشن، آهک‌های مرجانی، ماسه سنگ دانه درشت و کنگلومرای ریزدانه در نقاط متفاوت سطح جزیره است [صمدیان، ۱۳۶۰].

بستر بخش ساحلی و کم‌عمق حواشی جزیره (تا عمق دو

متری) نیز، صرف‌نظر از ماسه‌های ساحلی، متشکل از آهک‌های مرجانی زبر و نسبتاً سختی است که حفاری ژئوتکنیکی در آن، مبین مقاومتی معادل ۱۰۰ Kg/cm^2 برای توده‌ی سنگ در این گروه از رخساره‌هاست. فرسایش و هوازدگی مکانیکی در اغلب بخش‌های جزیره ردیف سنگ‌های فوق را به مجموعه رسوباتی در حد شن‌های ماسه سیلت‌دار[۴] تبدیل کرده است [لویزه و همکاران، ۱۳۷۸].

۳. نمونه برداری و آماده‌سازی

از مجموع تقریباً ۳۰ متر گمانه دستی حفاری شده، تعداد ۹۵ نمونه با حداقل میزان دست‌خوردگی (درمورد نمونه‌های حاصل از حفاری ماشینی، کاملاً دست نخورده) اخذ شد. نمونه‌برداری از گمانه‌های دستی توسط کورکاتر[۵] و نمونه‌برداری از گمانه‌های ماشینی توسط «دبل تیوپ کربارل»[۶] به قطر ۸۶mm صورت پذیرفت. کلیه‌ی نمونه‌برداری‌های سطحی از بستر دریا توسط اکیپ غواصی صورت پذیرفتند و به منظور رعایت شرایط استاندارد، تمامی نمونه‌ها پس از بسته‌بندی، در جعبه‌های مخصوص مغزه[۷] و رعایت شرایط دمای مناسب ۳-۲ درجه‌ی سانتی گراد به تهران حمل شدند. شایان توجه است که نمونه‌برداری درفاصله‌ی زمانی، ۴ تا ۱۸ مهرماه ۷۸ صورت پذیرفته است.

تعداد ۶۷ نمونه از ۱ عماق متفاوت از بین کلیه‌ی نمونه‌ها، پس از مراحل خردایش و تهیه‌ی پودر، از الک عبور داده شد و پودر حاصله با مشخصات ۹۹۹٪ ریزتر از ۶۳ میکرون، برای انجام آزمایش‌های مربوطه به آزمایشگاه ارسال شد و توسط دستگاه فلورسانس اشعه‌ی ایکس (XRF) مورد آزمایش قرار گرفت.

۴. تجزیه‌ی نمونه‌ها

اگرچه کاربرد این روش در مواردی که هدف، تشخیص حد دقیق تغییرات فراوانی عناصر است، به دلیل تغییرات ۵۰+ درصد دقت نتایج با محدودیت مواجه است، ولی در این پروژه، به دلیل ضیق وقت، تراکم کاری و نیز سرعت عمل پائین روش اسپکترومتری جذب اتمی (AA)، از دستگاه سیار XRF به منظور آزمایش نمونه‌ها، استفاده شده است.

خطای دستگاهی و به تبع آن، تغییرات ۵۰ درصدی مقادیر فراوانی به دست آمده برای عناصر در نمونه‌های گوناگون، که ناشی از به کارگیری روش آزمایش فوق بوده است، اگرچه موجب بروز مقادیر غیرعادی ضرایب هم بستگی عناصر ۱۰.۰۰۰ تا ۹۰۰۰ درصد با یکدیگر شده است که در طبیعت امکانپذیر نیست، اما توجه بدین نکته ضروری است که تأثیر خطای دستگاهی مزبور در نتایج نهایی بررسی تقریباً ناچیز است؛ چرا که حتی با در نظر گرفتن ۵۰ درصد کاهش نسبت به مقادیر فراوانی مندرج در جدول‌های ۱ و ۳، بازهم میزان تمرکز در حد چندین برابر تمرکز میانگین طبیعی عناصر در پوسته‌ی زمین است و به عبارت بهتر، حتی به شرطی که مقادیر به دست آمده از تجزیه‌ی نمونه‌ها را برای هر عنصر نصف کنیم، باز هم داده‌پردازی آماری نتایج، مبین وجود تراکم‌های بسیار بالاتر از حد نرمال فراوانی در محیط‌های طبیعی (پوسته‌ی زمین) است.

۵. ماهیت ژئوشیمیایی داده‌ها

بررسی توزیع فلزات سنگین باتوجه به ماهیت ژئوشیمیایی، توزیع میانگین در پوسته‌ی جامد زمین و سایر پارامترهای مشابه در واقع می‌تواند به عنوان روشی برای تعیین منشأ، هم‌گام با تعیین الگوی پراکنش محسوب شود. برای مثال، فراوانی غیرعادی فلزاتی نظیر نیکل، وانادیوم و کرم در رسوبات (سنگ مادر غنی از فلزات مزبور در منطقه موجود نیست که بتواند مبین و توجیه‌کننده حضور و تمرکز فلزات مزبور باشد)، می‌تواند در منطقه‌ای نظیر جزیره‌ی خارک صرفاً به فعالیت‌های ناشی از حمل و نقل و نشت نفت باشد و تمرکز فلز باریم (Ba) به حفاری‌های اکتشافی یا چاه‌های در دست بهره‌برداری نسبت داده شود. در این مطالعه، باتوجه به حجم نسبتاً زیاد داده‌ها، داده‌پردازی آماری توسط نرم‌افزار "Datamine" انجام گرفته است که به نتایج حاصل ازآن دربخش‌های بعدی اشاره خواهد شد.

۶. تفسیر داده‌ها

به منظور تفسیر آماری داده‌ها، نتایج تجزیه‌ی شیمیایی به‌دست آمده از آنالیز ۶۷ نمونه‌ی ارسالی به آزمایشگاه، در چهار گروه برحسب عمق نمونه‌برداری، تفکیک، مقادیر میانگین و انحراف معیار برای هر یک از فلزات، به تفکیک عمق در جدول۲ محاسبه و آورده شده است.

از آن جا که توزیع نیکل و وانادیوم (Ni, V) در رسوبات جزیره‌ی خارک با توجه به منابع دیگر انتشار صرفاً می‌تواند منشأ آلودگی نفتی داشته باشد، لذا بررسی پارامتر آماری ضریب هم‌بستگی این دو فلز و نیز بررسی نحوه‌ی ارتباط سایر فلزات آلاینده با این دو عنصر، می‌تواند به خوبی راهنمای منشأ توزیع آلودگی‌ها در محوطه‌ی جزیره خارک باشد. به همین ترتیب، توزیع میانگین فراوانی باریم (Ba) و نحوه‌ی ارتباط آماری سایر عناصر با آن، می‌تواند به فعالیت‌های ناشی از حفاری سکوهای نفتی، نشت پساب‌ها، تزریق گل حفاری و نیز پراکندگی مواد حاصل از حفاری در حین فعالیت‌های اکتشافی نفت در سطح جزیره و سواحل آن، منتسب گردد. با ملاحظه‌ی جدول ۱ و بررسی مقادیر کمی ضرایب هم‌بستگی نتایج زیر را می‌توان به‌دست آورد:

۱. بیش‌ترین مقادیر مثبت ضریب هم‌بستگی بین عناصر،

اسکاندیوم ـ استرانسیم (Sc-Sr)، اسکاندیوم ـ کرم (Sc-Cr)، کرم ـ وانادیوم (V-Cr)، نیکل ـ کروم (Ni-Cr)، و نیکل ـ وانادیوم (Ni-V) مشاهده می‌شود و مقادیر عددی آن‌ها بین ۱/۰۰۰۰ تا ۹۹۹۰٪ متغیر است.

۲. هم‌بستگی انتشار عناصر فوق در تمام عمق‌ها تقریباً یکسان، و تغییرات ضریب هم‌بستگی زوج‌ها در حد ده هزارم است.

۳. اسکاندیم، استرانسیم، کرم و مس (Cu)، بیش‌ترین هم‌بستگی را با نیکل (Ni) نشان می‌دهند. از طرف دیگر، ردیف تغییرات ضریب هم‌بستگی بین ۹۹۳۸٪ تا ۹۹۹۹٪ برای زوج نیکل ـ وانادیوم در سطح جزیره‌ی خارک، صرفاً می‌تواند ناشی از فعالیت‌های نفتی باشد. در نتیجه، منشأ عناصر فوق نیز می‌تواند نشت از تأسیسات استخراج، حمل و نقل، پمپاژ یا ذخیره‌سازی موجود در سطح جزیره باشد.

۴. عناصر قلع (Sn) و ارسنیک (As) نیز هم‌بستگی بسیار خوبی با عناصر نیکل نشان می‌دهند، به ترتیبی که ردیف تغییرات ضریب برای اعماق متفاوت بین ۸۳۸۳٪ برای زوج نیکل ـ قلع، و بین ۶۶۷۱٪ تا ۹۹۵۰٪ برای زوج نیکل ـ ارسنیک متغیر است. بنابراین می‌توان انتظار داشت، منشأ این عناصر نیز نشت نفت از منابع تأسیساتی جزیره باشد.

۵. عناصر روی و سرب نیز با عنصر نیکل هم‌بستگی خوبی را نشان می‌دهند؛ به ترتیبی که ردیف تغییرات ضریب برای اعماق گوناگون بین ۴۸۳۶٪ تا ۷۹۹۸٪ برای زوج نیکل ـ سرب، و بین ۶۵۵۴٪ تا ۸۳۸۳٪ برای زوج روی ـ نیکل متغیر است و به همین ترتیب می‌توان انتظار داشت، منشأ این دو عنصر نیز نشت نفت باشد.

۶. بررسی دندروگرام مربوط به داده‌های آماری در اعماق متفاوت گویای آن است که ارتباط معنی‌داری میان توزیع باریم (Ba)، نقره (Ag) و جیوه (Hg) با عناصر مرتبط با گروه نیکل دیده نمی‌شود و بنابراین می‌توان انتظار داشت که منشأ توزیع آلودگی فلزات سنگین قاعدتاً باید از دو منبع متفاوت نشت نفت و فعالیت‌های حفاری تغذیه شود.

۷. مقایسه‌ی ضریب هم‌بستگی بین میانگین کلی توزیع فلزات در جزیره‌ی خارک با میانگین فراوانی عناصر مورد نظر در پوسته‌ی زمین، آب‌های سطحی، آب دریاهای آزاد و... در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱. مقایسه‌ی ضریب هم‌بستگی بین میانگین کلی توزیع فلزات در جزیره‌ی خارک با میانگین فراوانی عناصر مورد نظر در محیط‌های انتشار گوناگون

محیط انتشار	مقدار ضریب هم‌بستگی با داده‌های جزیره‌ی خارک
پوسته‌ی زمین	۰/۵۴۳۵
پوسته‌ی زمین بدون احتساب سنگ‌های رسوبی	۰/۵۱۹۶
آب‌های سطحی	۰/۱۲۹۰
آب‌های دریاهای آزاد	۰/۰۶۱۳
خلیج فارس	۰/۷۳۴۵
نفت خام	۰/۲۳۸۹
ذغال سنگ	۰/۳۰۳۶
شیل‌ها و رس‌ها	۰/۵۱۳۲
کربنات‌ها	۰/۰۹۸۵
ماسه سنگ‌ها	۰/۳۱۳۰

همان گونه که در این جدول دیده می‌شود، مقادیر ضریب همبستگی میان داده‌های خارک و آب‌های سطحی و نیز آب دریاهای آزاد بسیار پایین است و به عبارت بهتر می‌توان اذعان داشت که میان توزیع فلزات سنگین در جزیره‌ی خارک با منشأ هیدروسفری آن ارتباط قابل قبولی موجود نیست. ازطرف دیگر، بین داده‌های موجود با داده‌های خلیج فارس ارتباط نسبتاً خوبی دیده می‌شود که می‌توان نتیجه گرفت، توزیع آلودگی در سایر بخش‌های خلیج فارس نیز، اگرچه در حد شدت جزیره‌ی خارک نیست، ولی فراوانی آلاینده‌ها نسبتاً بالاست.

۸. از آن جا که عملاً هیچ ساختار زمین‌شناسی که بتواند به عنوان منبع و منشأ توزیع فراوانی‌های غیرعادی فلزات سنگین در محدوده‌ی جزیره خارک معرفی شود، وجود ندارد و اصولاً ماهیت کلی جزیره از دیدگاه زمین‌شناسی آهکی ـ مرجانی است، و نیز با توجه به مقادیر مثبت ضرایب هم‌بستگی میان توزیع داده‌ها با نفت

خام، ذغال‌سنگ، شیل‌ها و رس‌ها (جدول ۱)، می‌توان با ضریب اطمینان بالا نتیجه گرفت که منبع انتشار آلودگی در جزیره‌ی خارک، عمدتاً فعالیت‌های نفتی غیرمنطبق با موازین زیست‌محیطی است.

۷. بررسی میزان تراکم نسبی آلاینده‌ها

بررسی تلویحی مندرجات جدول شماره یک و نیز قیاس مقادیر فراوانی فلزات سنگین در خارک با مقادیر معادل در سایر محیط‌ها، مبین تراکمی معادل ۶ تا ۱۹ برابر تراکم متوسط در خصوص برخی عناصر، مانند کرم، ارسنیک و... است. تمرکز در مقادیری این چنین در نقطه‌ای که هیچ پتانسیل دیگری به غیر از فعالیت نفتی برای انتشار فلزات سنگین در آن تعریف نشده است، نمی‌تواند به سادگی و طی یک دهه یا چند سال، و یا در نهایت به دلیل شرایط اضطراری پدید آمده باشد. نگاهی گذرا به مندرجات جدول ۲ مبین آن است که تمرکز نسبی ۲۰ـ۲ برابر مقادیر متعارف توزیع فراوانی در پوسته‌ی زمین صرفاً می‌تواند ناشی از عدم اهتمام به رعایت موازین زیست‌محیطی توسعه، تخلیه پساب نفتکش‌ها، بهره‌برداری از فناوری مستهلک استخراج و حمل و نقل نفت خام، ایستگاه‌های فرسوده‌ی پمپاژ و... باشد.

جدول ۲. درصد تراکم فلزات سنگین نسبت به پوسته‌ی زمین

نام عنصر	میزان تراکم (درصد)
روی (Zn)	۲۰۴
سرب (Pb)	۳۶۱/۵
باریم (Ba)	۴۸۱/۱
وانادیوم (V)	۱۵۱/۷
کرم (Cr)	۹۱۸/۱
نیکل (Ni)	۶۲۴/۷
مس (Cu)	۳۲۲/۳
ارسنیک (As)	۶۰
قلع (Sn)	۲۱۸/۳
آنتیموان (Sb)	۹۲۷/۷
ایتریم (Y)	۴۱۳/۵
استرانسیم (Sr)	۱۷۵
تنگستن (W)	۳۳/۰۳
نقره (Ag)	۷۷/۶
کبالت (Co)	۱۸۴
جیوه (Hg)	۲۷۱۴/۲
بیسموت (Bi)	۳/۲
اسکاندیم (Sc)	۲/۵

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

توسعه‌ی فناوری و بهره‌برداری از منابع طبیعی چنانچه توأم با تلفیق موازین زیست‌محیطی توسعه‌ی پایدار نباشد، می‌تواند در کوتاه‌مدت یا بلندمدت به نتایج تلخ زیست‌محیطی بینجامد.

جزیره‌ی خارک ظرف دهه‌های گذشته متولی امر صادرات بیش از ۸۰ درصد نفت خام کشور بوده است، اما عدم اهتمام به معیارهای مدون فراملّی در خصوص موازین محیط‌زیست، غلظت آلاینده‌های فلزی سنگین ـ که بسیاری از آن‌ها در گروه آلاینده‌های خطرناک قرار دارند ـ را به چندین برابر حد مجاز رسانده است. داده‌پردازی ژئوشیمیایی و تحلیل آماری نتایج، منبع نشت نفت را تنها منبع قابل قبول و معقول برای انتشار آلاینده‌ها معرفی می‌کند. چنانچه اشاره شد، ساختار زمین‌شناسی جزیره‌ی خارک نمی‌تواند موجد فعالیت‌های کانی‌سازی و به تبع آن، انتشار عناصر مورد بحث باشد. ازطرف دیگر، سیستم بسته‌ی خلیج فارس و وسعت اندک خارک، امکان خودپالایی آلاینده‌ها را سلب کرده و پرمحتمل است ظرف سنوات نه چندان دور، فراوانی آلاینده‌ها به حدودی برسد که علاوه بر تهدید منابع زیست‌محیطی، چرخه‌ی سلامتی انسان را نیز تهدید کند.

چنانچه ارزش بالقوه‌ی تمرکز فلزات سنگین موجود در جزیره‌ی خارک ـ که در مواردی ده‌ها برابر غلظت متوسط پوسته‌ی زمین است ـ با پارامترهایی از قبیل کاهش میزان ذخایر آبزیان به دلیل آلودگی محیط، کاهش میزان صید، مرگ و میر گونه‌های نادر آبزیان و نیز سلامت چرخه‌ی محیط‌زیست انسانی تلفیق شود، آن‌گاه شاید بتوان امیدوار بود که بازیافت[8] فلزات سنگین در جزیره‌ی خارک به عنوان پروژه‌ای معدنی با کاربری‌های چندگانه تعریف شود. گرچه تحلیل اقتصادی بودن چنین پروژه‌ای نیازمند داده‌پردازی دقیق‌تر، داده‌های بیش‌تر، تلفیق دیدگاه‌های محیط‌زیست ـ معدن و... است، اما نگارنده امیدوار است، این نوشتار گامی در جهت پیشبرد هدف‌های توسعه‌ی پایدار و فناوری سبز محسوب شود.

* گروه اکتشافات ژئوشیمیایی سازمان زمین‌شناسی کشور

زیرنویس

1. Environmental impactment
2. Heavy metals
3. Environmental management systems
4. Silty gravel with Sand
5. Core Cutter
6. Double Tube Core barrel
7. Core boxes
8. Recyclin