**پایش و پاکسازی سفره های آب زیرزمینی از آلودگی هیدروکربنی**

آبهاي زيرزميني به عنوان يکي از باارزش­ترين منابع کره زمين شناخته مي­شوند. ارزيابي گستره آلودگي و پاكسازي زيستي آبهاي زيرزميني و خاكهاي عمقي آلوده به تركيبات هيدروکربني سابقه طولاني در جهان دارد. از دهه 1970 ميلادي، توجه بيشتري به تخريب و آلودگي منابع آب زيرزميني در دنيا صورت گرفت و مقرراتي براي حفاظت از منابع قابل استفاده آب زيرزميني و همچنين پاکسازي آلودگي ناشي از عدم مديريت صحيح پسابها و پسماندها وضع گرديد. با اين حال تلاشهاي انجام شده براي حفظ کيفيت و کميت آب زيرزميني همچنان از شتاب توسعه صنعتي عقب است. ترکيبات مختلفي از جمله هيدروکربن­هاي نفتي، حلالها، PAH، PCB، دي­اکسين، MTBE و فلزات مي­توانند در اثر نشت مخازن و لوله­ها و يا حوادث خاک و آبهاي زير زميني را آلوده نمايند. در ميان گروه­هاي مختلف ترکيبات آلاينده، ترکيبات آلي فرار به سبب اثرات سمي و همچنين فراريت بالا و امکان گسترش از طريق آبهاي زيرزميني از اهميت ويژه­اي برخوردارند. در سال 1997، سازمان حفاظت محيط زيست امريکا اعلام کرد که حدود 360 هزار مخزن زيرزميني سوخت با احتمال نشت آلودگي به آبهاي زيرزميني در امريکا وجود دارد. با توجه به مصرف روزافزون آبهاي زيرزميني و احتمال آلودگي آن در اثر فعاليتهاي صنعتي، در کشور امريکا مقررات سختگيرانه­اي براي صيانت از اين منابع ارزشمند وضع شده است که باعث شده در سالهاي اخير برنامه­هاي منظم پايش آبهاي زيرزميني، تدوين امکانسنجي زيست­محيطي و نيز طراحي و اجراي روشهاي متنوع پاکسازي به انجام برسد. اما پيش از هر اقدامي، ضروري است سايت آلوده به دقت و به صورت کامل ارزيابي گردد تا از نظر شرايط زيست­محيطي و نيز ماهيت و گستره آلودگي شناسايي لازم صورت پذيرد. داشتن اين اطلاعات به عنوان پايه­اي براي ارزيابي ريسک، پاکسازي و پايش موثر و موفق آلودگي ضروري است.

براي داشتن يک برنامه پايش بلندمدت موفق، مرحله ارزيابي زيست­محيطي سايت بايد اطلاعات مشخص و دقيقي را در خصوص شرايط آب زيرزميني فراهم کند تا بتوان در خصوص انتخاب موقعيت چاه­ها، طراحي داخلي چاه، مکان استقرار جداره منفذدار در چاه، و زمان نمونه­برداري براي رسيدن به نمونه­هاي گواه و گويا از شرايط واقعي آب زيرزميني تصميم­گيري نمود.

روش پايش گازهاي خاک در صنايع مختلف از جمله صنايع نفت و گاز، کشاورزي و مواد معدني کاربرد دارد و بيش از 50 سال است که مورد استفاده است. اين روش به عنوان يک تکنيک سريع و نسبتا ارزان در تشخيص آلاينده­هاي فرار در منطقه غيراشباع بسيار موثر است. پايش گازهاي خاک براي ارزيابي ميزان آلودگي آب­هاي زيرزميني به آلاينده­هاي خاص نيز مفيد است. اين روش همچنين يک روش عملي براي پايش آلاينده­هاي زير سطحي (مثلا با منشا مخازن ذخيره­سازي زيرزميني فراورده­هاي نفتي) مي­باشد. اگر چه پايش گازهاي خاک در منطقه غيراشباع يک ابزار شناسايي و روش پايش ايده­آل در بسياري از برنامه­هاي کاربردي است، محدوديت هاي خاص سايت و يا آلاينده مي­تواند موجب عدم موفقيت فرايند شود.

پايش گازهاي خاک اطلاعات کمّي تکرارپذيري را در طول زمان ارائه نمي­دهد که اين امر در درجه اول به علت ماهيت پوياي تعادل بين فازها در منطقه غيراشباع و در درجه دوم به دليل خطاها و نوسانات غيرقابل اجتناب در روند نمونه­برداري مي­باشد. همچنين به دليل تغييرات زمين شناسي در منطقه غيراشباع و تنوع وسايل نمونه­برداري، پايش گازهاي خاک مي­تواند با محدوديت­هايي مواجه شود. از اين رو، داده­هاي بدست آمده به خودي خود نمي­توانند به منظور فراهم کردن پاسخ­هاي قطعي در مورد محل آلودگي و يا عدم وجود آن، مورد استفاده قرار گيرند و انجام تست­هاي تکميلي مورد نياز است (ASTM D5314).

براي نمونه برداري از گازهاي خاک، مي­توان از پروبهاي موقتي استفاده نمود که پس از فرو کردن در زمين و نمونه­برداري از عمق، از زمين خارج مي­شوند (پروبهاي موقت) و يا از لوله­هايي که براي مدت طولاني (بسته به طول دوره پايش) در زمين کار گذاشته مي­شوند و به دفعات از آنها نمونه­برداري مي­شود، استفاده کرد (پروبهاي دائمي). متداول­ترين نوع گمانه، روش زيرسطحي يا Sub-slab است. در اين روش با کمک دريل الکتريکي يا دستي، حفره­اي کوچک (به قطر 20 تا 30 ميلي­متر) در لايه کفپوش (بتوني، آسفالت و ...) ايجاد و يک پروب جهت نمونه­برداري هوا در آن قرار داده مي­شود. معمولا براي تسريع عبور جريان هوا، اطراف بخش منفذدار لوله نمونه­برداري در بخش پاييني حفره، يک لايه شن (Sandpack) ريخته مي­شود. قبل از ريختن سيمان يا بنتونيت، يک واشر تفلون در مرز بين لايه شني و لايه سيمان يا بنتونيت قرار داده مي­شود تا ازنفوذ دوغاب به لايه پايين و مسدود شدن پروب جلوگيري شود. گازهاي خاک را مي­توان با دستگاه­هايي از قبيل سنجشگر پرتابل VOC، GC-MS، روش­هاي رنگ سنجي و ... اندازه گيري کرد.

اسپکتروسکوپي فروسرخ و حسگرهاي شيميايي فيبر نوري را نيز مي­توان براي آناليز بکار برد ولي استفاده از آنها در حال حاضر محدود بوده و بررسي­هاي معدودي با اين روشها انجام شده است. در عمل، کروماتوگرافي گازي (GC) و دتکتورهاي بر پايه آن به وفور استفاده مي­شوند (ASTM D5314). دستگاه­هاي سنجشگر پرتابل VOC توسط بسياري از محققان براي آناليز گازهاي خاک استفاده شده است. در برخي موارد نيز به دليل اينکه دستگاه­هاي پرتابل توانايي تفکيک مناسب آلاينده­ها را ندارند امکان تداخل آناليز برخي ترکيبات وجود دارد. آناليز گازهاي خاک به کمک GC بسيار سودمند بوده ولي موجب افزايش هزينه­ها مي­شود(ASTM D5314 ).

چندين روش متفاوت براي حفاري چاه گمانه به منظور ايجاد چاه پايش و يا ارزيابي شرايط سايت آلوده وجود دارد و روشهاي استاندارد متعددي مانند ASTM D6286، ASTM D5092 در خصوص نحوه انتخاب روش حفاري و طراحي موقعيت چاه­ها ارائه شده است.

پاکسازي زيستي آبهاي آلوده زيرزميني بيش از 50 سال با موفقيت انجام شده است. ترکيبات مختلفي از جمله هيدروکربن¬هاي نفتي، حلالها، PAH، PCB، دي اکسين، MTBE و فلزات توسط موجودات زنده از آبهاي زير زميني پاکسازي شده¬اند.

 در ميان گروه¬هاي مختلف ترکيبات آلاينده، ترکيبات آلي فرار به سبب اثرات سمي و همچنين فراريت بالا و امکان گسترش از طريق آبهاي زيرزميني از اهميت ويژه اي برخوردارند.

از ميان روشهاي مختلف براي کنترل آلودگيهاي زيرزميني، روش¬هاي استخراج بخارت خاک Soil Vapor Extraction (SVE) و پاکسازي زيستي کاربرد گسترده¬اي در جهان پيدا کرده است. در اين فرايندها از دو مكانيزم تبخير و تجزيه زيستي به منظور كاهش آلاينده¬ها در خاك و آب زيرزميني استفاده ميشود. در فرايند SVE با اعمال خلاء در دهانه چاه بخارات ناشي از آلاينده¬هاي آلي فرار موجود در آب زيرزميني و خاک از عمق زمين خارج شده و به سيستم تصفيه هوا (مانند بيوفيلتر) وارد مي شود. همزمان با استخراج و تيمار بخارات، با دميدن هوا از طريق چاههاي هوادهي و تزريق مواد، هواي مورد نياز و نوترينت¬هاي لازم براي رشد ميكروارگانيسمها در منطقه آلوده تامين مي شود و در نهايت رشد ميکروب¬ها تحريک شده و منجر به تجزيه زيستي آلاينده ها مي گردد. از مهمترين مزاياي استفاده از اين فناوري اين است که در مناطق آلوده¬اي که زير تاسيسات سطح الارضي واقع شده¬اند و غير قابل دسترس¬اند، قابل اجراست.

در حال حاضر از اين روش¬ها در کشورهاي صنعتي و پيشرفته جهان به منظور رفع آلاينده هاي خاکها و آبهاي زيرزميني استفاده مي شود که به عنوان نمونه مي¬توان به انجام عمليات پاكسازي به روش SVE در مناطق Basket Creek surface impoundment site جورجياي آمريكا، Sacramento Army Depot superfund ايالت كاليفرنيا و منطقه Sand Creek Industrial Superfund ايالت كلرادو آمريكا و بسياري از نقاط ديگر دنيا اشاره نمود.

 عليرغم وجود تجربه ي جهاني زياد در اين زمينه، تجربه انجام پروژه ميداني در اين خصوص در كشور وجود ندارد. پژوهشگاه صنعت نفت در چند سال گذشته به صورت متمرکز در راستاي بومي سازي فناوريهاي پاکسازي زيستي آلودگيهاي محيطي فعاليت نموده است و پس از انجام مراحل آزمايشگاهي و پايلوت، چندین پروژه ميداني را در جزيره سيري، جزیره خارگ، پالایشگاه شازند و منطقه خانگيران به اجرا در آورده است و دو پروژه پایش و رفع آلودگی آب زیرزمینی را نیز در منطقه عسلویه در دست اجرا دارد.

1. GeoEngineers (2012). Soil Vapor Extraction Specifications and Work Plan. Washington: Washington State Department of Ecology.
2. Johnson, P., Stanley, C., Kemblowski, M., Byers, D., & Colthart, J. (1990). A Practical Approach to the Design, Operation, and Monitoring of In Situ Soil-Venting Systems. GWMR , 159-178.
3. EPA, How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewers (510-B-94-003; EPA 510-B-95-007; and EPA 510-R-04-002)
4. Leeson, A., & Hinchee, R. (1996). Principles and practices of Bioventing . Batelle Memorial Institute Colombus OH.
5. Parsons. (2004). Procedures for Conducting Bioventing Pilot tests and long-term monitoring of Bioventing Systems. Colorado: U.S Air Force.
6. Suthersan, S. (1999). Soil Vapor Extraction. In S. Suthersan, Remediation Engineering: Design Concepts. CRC Press.
7. *Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground-Water Monitoring*, Second Edition. Edited by David M. Nielsen. CRC Press 2005
8. ASTM D 5092 – 04 Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells
9. ASTM D7663 – 12 Standard Practice for Active Soil Gas Sampling in the Vadose Zone for Vapor Intrusion Evaluations
10. Design and Installation of Monitoring Wells, US EPA, SESDGUID-101-R1, 2013
11. Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells, US EPA160014-891034 March 1991