گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله پژوهشی

نگاهی کنجکاوانه بر ماده ۱۵ قانون حفاظت خاک در خصوص حذف و رفع منشا آلودگی خاک

محبوبه مظهری (نویسنده مسئول)*

* استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران،

mahbubehmazhari@gmail.com

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۲

A curious look at Article 15 of the Law on Protection of Soil regarding the elimination and remediation of soil pollution sources

Mahboube Mazhari (Corresponding author)*

* Assitant Professor, Department of soil science, Agriculture and natural resources Faculty, Karaj Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran, mahbubehmazhari@gmail.com

Received: July 2023 Accepted: November 2023

Abstract

The Law on Protection, Restoration, and Management of Soils in Iran was approved in 2019. This law consists of 44 articles and 127 notes and aims to protect biodiversity, improve soil quality, and enhance environmental health. According to this law, the Environmental Protection Organization can issue warnings to polluters to take necessary actions to remove and remediate contamination sources, restore the soil, and compensate for the damage caused within a certain deadline. If stakeholders object to the warning or order issued by the organization, they can request an extension of the mentioned deadline from the organization once. The Environmental Protection Organization is responsible for identifying soil-polluting units and documents such as soil pollution tests, reports from industry representatives, and reports from the Environmental Protection Organization on the status and extent of soil contamination are admissible as evidence in court. Determining the deadline for removing and remedying contamination sources is difficult due to complex and variable factors in the process of discharging pollutants and their impact on soil and the environment. The type, chemical and physical composition, amount, type and characteristics of the soil, weather conditions, and environmental and geographical differences are all important in determining a specific deadline. For each type of pollutant, specific analyses must be performed to determine an appropriate removal and remediation deadline. Therefore, no specific deadline or time frame exists in the reviewed resources, and giving a specific time is impossible due to the frequency of factors. Ultimately, removal and remediation of contamination sources must take place in the shortest logical and practical time possible, and failure to do so will result in heavy penalties for the polluter.

Keywords: Deadline, Environmental Protection Organization, Law on Protection, Remediation, Soil pollution

چکیده

قانون حفاظت، بهسازی و بهره‌برداری از خاک‌های کشور در سال ۱۳۹۸ تصویب شد. این قانون شامل ٤٤ ماده و ۱۲۷ تبصره است و به حفاظت از تنوع زیستی، بهبود کیفیت خاک و ارتقای سلامت محیط زیست می‌پردازد. بر اساس این قانون، سازمان حفاظت محیط زیست می‌تواند به آلوده کننده اخطار دهد تا ظرف مهلت معینی اقدامات لازم را برای حذف و رفع منشأ آلودگی، بازسازی خاک و جبران خسارت وارده انجام دهد. در صورتی که اشخاص ذینفع نسبت به اخطار یا دستور سازمان معترض باشند، می‌توانند برای یکبار از سازمان درخواست تمدید مهلت مذکور را نمایند. سازمان حفاظت محیط زیست مسئول شناسایی واحدهای آلاینده خاک بوده و مستنداتی مانند آزمایش‌های آلودگی خاک، گزارش‌هایی از نمایندگان واحدهای صنعتی و گزارش‌های سازمان حفاظت محیط زیست درباره وضعیت خاک و میزان آلودگی آن، به عنوان شواهد در دادگاه قابل قبول هستند. تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی به دلیل عوامل پیچیده و متغیری که در فرایند تخلیه آلاینده و تأثیر آن بر روی خاک و محیط زیست وجود دارد، بسیار دشوار است. نوع آلاینده، ترکیب شیمیایی و فیزیکی آن، مقدار آلاینده، نوع و ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی، و تفاوت‌های محیطی و جغرافیایی برای تعیین مهلت مشخص بسیار مهم هستند. برای هر نوع آلاینده، تحلیل‌های خاصی برای تعیین مهلت مناسب برای حذف و رفع منشأ آلودگی باید انجام شود. به همین دلیل، هیچ مهلت مشخص و کمیت زمانی در منابع بررسی شده وجود ندارد و دادن زمان مشخص به دلیل تعدد فاکتورها غیرممکن است. در نهایت، حذف و رفع منشأ آلودگی باید در کمترین زمان منطقی و عملی صورت پذیرد و در غیر اینصورت جریمه‌های سنگین برای آلوده کننده در نظر گرفته می‌شود.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، رفع آلودگی، سازمان حفاظت محیط زیست، قانون حفاظت، مهلت

مقدمه و کلیات

برخورداری از محیط زیست سالم یکی از حقوق بنیادین افراد است که در قانون اساسی نیز مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر اشخاص خصوصی که موظف به جلوگیری از آلودگی محیط زیست هستند، نهادهای دولتی هم در این حوزه دارای مسئولیت هستند. حفاظت از محیط زیست مستلزم حاکمیت یک سری اصول بر عملکردها و نیز مبنای موثر مسئولیت در قبال خسارات زیست محیطی است. نقش قوه قضائیه در این حوزه شامل نظارت و پیشگیری فراگیر و فعالانه، تعقیب فراگیر و فعالانه و جبران‌های قضایی موثر می‌باشد (Hemati, 2018). قانون حفاظت از خاک، با عنوان رسمی «قانون حفاظت، بهسازی و بهره‌برداری از خاک‌های کشور»، در سال ۱۳۹۸ توسط مجلس شورای اسلامی تصویب شده است. این قانون شامل ٤٤ ماده و ۱۲۷ تبصره است و هدف آن ارتقای مدیریت بهینه خاک‌های کشور، حفاظت از تنوع زیستی و تثبیت خاک‌های مهم مزارع و مراتع، بهبود کیفیت خاک و ارتقای سلامت محیط زیست است (Islamic Republic of Iran, 2019). مهمترین مفاد قانون حفاظت از خاک عبارتند از: تعریف دقیق خاک و انواع آن، تدوین استانداردهایی برای مدیریت بهینه خاک‌های کشور، تعیین مسئولیت‌ها و اختیارات مراجع مختلف در حوزه حفاظت از خاک و تعیین مجازات‌هایی برای تخریب و آلوده کردن خاک‌ها. ماده ۱۵ قانون حفاظت از خاک بیان می‌دارد سازمان حفاظت محیط زیست مکلف است نسبت به شناسایی واحدهای آلاینده خاک اقدام نموده و به آلوده کننده اخطار دهد که ظرف مهلت معینی متناسب با نوع ماده آلاینده نسبت به حذف و رفع منشأ آلودگی، بازسازی خاک و جبران خسارت وارده اقدام کند. درصورتی که اشخاص ذینفع نسبت به اخطار یا دستور سازمان معترض باشند، می‌توانند برای یکبار از سازمان درخواست تمدید مهلت مذکور را نمایند. مستنکف علاوه بر توقف فعالیت، رفع آلودگی و جبران خسارت زیست محیطی به جزای نقدی دو تا پنج برابر خسارت وارده و درصورت تکرار علاوه بر موارد یادشده به حداکثر جزای نقدی با حکم مراجع قضائی محکوم می‌شود (قانون حافاظت از خاک، ۱۹۹۸).

تبصره ـ درصورتی که آلودگی ایجاد شده، محیط زیست و یا سلامت را با وضعیت اضطراری مواجه کند، سازمان بدون اخطار قبلی رأساً نسبت به توقف موقت تمام یا قسمتی از فعالیت واحد آلاینده که موجب آلودگی می‌شود اقدام خواهد کرد و آلوده کننده به حکم مرجع قضائی علاوه بر حذف و رفع منشأ آلودگی، اعاده به وضعیت سابق و جبران خسارت، به حداکثر جزای نقدی محکوم می‌شود (قانون حفاظت از خاک، ۱۹۹۸).

این مقاله به بررسی چالش‌هایی که در زمان اجرای پروژه تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی مطرح می‌شود، می‌پردازد. در این پروژه، سازمان حفاظت محیط زیست از شرکت‌های زیست محیطی خواسته است تا راهنمایی برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی خاک تا رسیدن به حدود مجاز و تعیین رویه‌های لازم جهت بازسازی خاک و جبران خسارت وارده را تدوین کنند. یکی از چالش‌های این

پروژه، عدم وجود قوانین و دستورالعمل‌های کافی در بسیاری از کشورها برای مقابله با آلودگی خاک است. در بسیاری از کشورها، آلودگی خاک تنها در سایر قوانین مربوط به محیط زیست کشورها مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، منابع آلاینده متنوع هستند و بانک اطلاعاتی خاک‌ها در کشورهای جهان کامل نیست، بنابراین تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی می‌تواند با چالش‌هایی در ارزیابی آلودگی خاک مواجه شود (FAO and UNEP, 2021) . یکی دیگر از چالش‌های این پروژه، وجود ایراد در متن قانون حفاظت خاک است که می‌تواند منجر به تفسیر گوناگون قانون توسط افراد مختلف شود. این مسئله می‌تواند باعث شود که تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی با مشکلاتی مواجه شود. در نهایت، برای تدوین راهنمای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی، قوانین محیط زیستی در سه کشور توسعه یافته و سه کشور دیگر، به عنوان نمونه‌هایی برای بررسی چارچوب‌های ملی برای مقابله با آلودگی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین، داده‌های سایر کشورها نیز بررسی شده است (مظهری، ۱٤۰۰). در موضوع "تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی" ابتدا نظر کارشناسان و نمایندگان سازمان حفاظت محیط زیست بر این بود که با کمک اسناد بین المللی و با کمک ارزیابی خطر باید "تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی" صورت گردد اما با بررسی‌های چند ماهه شبانه روزی و بررسی اسناد و قوانین آلودگی خاک مشخص شد که اگر هدف بهره بردای از جداول ارزیابی خطر باشد با مراجعه به راهنمای شماره ۲ (۱٤٤ صفحه و بالغ بر ۱٦۰ جدول) شاخص‌های کمی و کیفی منابع خاک و نحوه ارزیابی خطر برای تنها ۱۸عنصر سنگین وجود دارد ولی برای حداقل ۲۰۰ آلاینده ای که در حال حاضر در سازمان حفاظت محیط زیست لیست شده است بخواهیم جداول ارزیابی خطر داشته باشیم آنگاه دستورالعملی چند هزار صفحه‌ای لازم است که توجه به تعداد فاکتورهای دخیل در آلودگی خاک این امکان وجود ندارد. در عین حال با توضیح پژوهشگران خاکشناسی به واضح است در لحظه ای که سانحه ای نظیر نشت خط لوله و یا ترکیدگی یک تانکر مواد شیمیایی رخ می‌دهد و بخواهیم از جداول ارزیابی خطر استفاده کنیم مراحل کار باید به صورت زیر باشد. پس از اعلان حادثه، گروه نمونه‌برداری به منظور ارزیابی خطر خاک اعزام خواهد شد، سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه معتمد ارسال شده و پس از تجزیه و تحلیل جواب آزمایشات و مقایسه آنها بر اساس انواع آلودگی و با استفاده از جداول ارزیابی خطر، مطالبات به دست آمده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با فرض اعلام خطر، آنگاه باید به آلوده کننده دستور داده شود تا جلوی منشا آلودگی را بگیرید! قاعدتا طی مراحل یک الی پنج در خوشبینانه‌ترین زمان ۲ هفته زمان میبرد. یعنی پس از ۲ هفته نتیجه گیری تازه باید به آلوده کننده اخطار دهیم که ظرف مثلاً ٤۸ ساعت از شروع نشت (که در آن زمان ۲ هفته از آن می‌گذرد) جلوی منشا آلودگی را بگیرد! عاقلانه به نظر نمیرسد که با این روش بخواهیم از ارزیابی خطر برای تعیین مهلت زمان آلودگی استفاده نماییم. دقیقا به همین دلیل هیچ نهاد بین المللی و هیچ کشوری از ارزیابی خطر آلاینده

برای تعیین مهلت حذف و رفع استفاده نکرده است و نهایتا جمله کلیدی به این صورت بود که حذف و رفع منشا آلودگی باید در کمترین زمان منطقی و عملی صورت پذیرد و اگر برخلاف آن ثابت شود جریمه‌های سنگین برای آلوده کننده در نظر گرفته شده است (FAO and UNEP, 2021). از دیدگاه خاکشناسی چرا نمی توان برای حذف و رفع منشا آلودگی مهلت کمی تعیین کرد؟ یعنی چرا نمی‌توان ظرف مهلت معینی متناسب با نوع ماده آلاینده نسبت به حذف و رفع منشأ آلودگی اقدام کرد؟ آیا فقط نوع آلاینده در تعیین مهلت معین برای حذف و رفع منشا آلودگی موثر است؟

تحلیل

فاکتورهای محدود کننده در تعیین مهلت معین برای حذف و رفع منشا آلودگی: تعیین مهلت مشخص برای حذف و رفع منشأ آلودگی به دلیل بسیاری از عوامل پیچیده و متغیری که در فرایند تخلیه آلاینده و تأثیر آن روی خاک و محیط زیست وجود دارد، بسیار دشوار است. برخی از مهمترین این عوامل عوامل شامل نوع آلاینده، ترکیب شیمیایی و فیزیکی آن، مقدار آلاینده، نوع و ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی، و تفاوت‌های محیطی و جغرافیایی می‌باشند. بنابراین، تعیین مهلت مشخص برای حذف و رفع منشأ آلودگی برای همه آلاینده‌ها، به دلیل تفاوت‌های زیادی که در خصوص این عوامل وجود دارد، کار بسیار سختی است و به شدت وابسته به شرایط محیطی و شرایط خاک و آلاینده است. همچنین برای هر نوع آلاینده، و ترکیب انواع آلاینده‌ها با یگدیگر باید تحلیل‌های خاصی انجام شود تا بتوان مهلت مناسب برای حذف و رفع منشأ آلودگی تعیین **کرد**. به این ترتیب محدودیت‌های زیادی برای در نظر گرفتن تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی وجود دارد که دادن زمان مشخص را به دلیل تعدد فاکتورها غیر ممکن می‌سازد و به همین دلیل هیچ مهلت مشخص و کمیت زمانی در منابع بررسی شده وجود ندارد (مظهری، ۱٤۰۰). در ذیل به یکایک فاکتورهای محدود کننده در تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی اشاره شده است. البته باید گفت تعداد فاکتورهای موثر بر تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی بسیار بیشتر از موارد ذکر شده است و در اینجا فقط به تاثیرگذارترین فاکتورها اشاره شده است. مهمترین عوامل محدود کننده در تعیین مدت زمان (به صورت کمی) حذف و رفع منشا آلودگی موارد زیر است:

توپوگرافی: توپوگرافی از عوامل محدود کننده مهم در "تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی" می‌باشد. تصور کنید با ثابت بودن تمام شرایط محیطی از قبیل نوع آلاینده، پوشش گیاهی، دبی خروجی آلاینده، نوع آلاینده، عمق آب زیرزمینی، نوع کاربری زمین، اقلیم منطقه سایر فاکتورهای دخیل ، دو حالت مختلف در مورد توپوگرافیِ منشا آلودگی نظیر نشت نفت از خط لوله وجود داشته باشد. در حالت اول شیب زمین ۵٪ و در حالت دوم شیب زمین ٤۰٪ باشد. با توجه به دو حالت مختلف توپوگرافی ذکر شده، در حالتی که شیب زمین کمتر است، آلودگی با سرعت بیشتری در خاک نفوذ میکند و احتمال رسیدن آن به آب‌های زیرزمینی بیشتر است و یا سطح زمین پخش می‌شود

و وسعت آلودگی بیشتر می‌شود. اما در حالت دیگر با شیب زمین بیشتر، آلودگی با سرعت بیشتری به سمت پایین حرکت می‌کند و عمق آلودگی کمتر است. این مساله دقیقا مثل اثر شیب بر روی حرکت رواناب است. در نتیجه، برای تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی، باید با توجه به شرایط توپوگرافی و دیگر شرایط محیطی، تخمینی از زمان و مهلت لازم برای حذف و رفع منشا آلودگی ارائه شود. قاعدتا مهلت داده شده به آلوده کننده برای حذف و رفع منشا این دو آلودگی نمی‌تواند یکسان باشد(Fang, 2021).

زه کشی و میزان نفوذپذیری خاک: نفوذپذیری خاک از دیگر عوامل محدود کننده در "تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی" می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های مختلف خاک مانند نوع و ساختار، میزان نفوذپذیری می‌تواند تأثیر زیادی بر روی سرعت حرکت آلاینده‌ها به سمت آبهای زیرزمینی داشته باش (Tripathy *et al*., 2009; Mu *et al*., 2006). تصور کنید با ثابت بودن تمام شرایط محیطی از قبیل نوع آلاینده، پوشش گیاهی، دبی خروجی آلاینده، نوع آلاینده، عمق آب زیرزمینی، نوع کاربری زمین، اقلیم منطقه سایر فاکتورهای دخیل، دو حالت مختلف (صدها حالت مختلف برای نفوذپذیری خاک وجود دارد، اما اینجا فقط دو حالت بررسی می‌شود) در مورد نفوذپذیری منشا آلودگی نظیر نشت نفت از خط لوله وجود داشته باشد. در حالت اول خاک رسی با نفوذپذیری بسیار کم و در حالت دوم خاک شنی با نفوذپذیری بسیار زیاد باشد(Structx, 2023). قاعدتاً مهلت داده شده به آلوده کننده برای حذف و رفع منشا این دو آلودگی نمی‌تواند یکسان باشد.

عمق خاک و عمق آب‌های زیر زمینی: عمق اب‌های زیرزمینی از دیگر عوامل محدود کننده در "تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی" می‌باشد. تصور کنید با ثابت بودن تمام شرایط محیطی از قبیل نوع آلاینده، پوشش گیاهی، دبی خروجی آلاینده، نوع آلاینده، نوع کاربری زمین و اقلیم منطقه دو حالت مختلف (ما میدانیم که صدها حالت مختلف برای عمق آب زیرزمینی وجود دارد، اما اینجا فقط دو حالت بررسی می‌شود) در مورد عمق آب زیرزمینی در جایی که منشاو منبع آلودگی ایجاد شده است، نظیر نشت نفت از خط لوله وجود داشته باشد. در حالت اول عمق آب زیرزمینی بسیار کم و نزدیک سطح زمین باشد و در حالت بعدی عمق آب زیرزمینی بسیار پایین تر از سطح خاک و در عمق زمین باشد. قاعدتاً مهلت داده شده به آلوده کننده برای حذف و رفع منشا این دو آلودگی نمی‌تواند یکسان. در شرایطی که عمق آب زیرزمینی بسیار پایین باشد و از سطح زمین دور باشد، می تواند مهلت حذف و رفع منشا آلودگی برای آلاینده مورد نظر بیشتر از شرایطی باشد که عمق آب زیرزمینی بسیار کم و نزدیک سطح زمین باشد. رابطه بین عمق آب زیرزمینی و میزان آلودگی آن در مقالات زیادی بررسی شده است (Gemitizi *et al*., 2006; Lad *et al*., 2019; Saha and Alam, 2014).

دوری و نزدیکی منابع آلودگی به آب‌های سطحی: این عامل از عوامل محدود کننده در تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا و منبع آلودگی است.

فاصله بین منابع آلودگی و بدنه‌های آبی سطحی، عامل مهمی در تعیین سطح آلودگی آب در نواحی مختلف است. در صورتی که منبع و منشا آلودگی بسیار نزدیک به آب‌های سطحی باشند، آلودگی به سرعت به آب‌های سطحی منتقل می‌شود و می‌تواند به سرعت به محیط زیست و انسان‌ها آسیب برساند (Ghorbani *et al*., 2018) در مقابل، در صورتی که منبع آلودگی بسیار دور از آب‌های سطحی باشد، آلودگی به سرعت به آب‌های سطحی منتقل نمی‌شود و زمان بیشتری برای رفع منشا آلودگی می‌تواند داده شود. بنابراین، تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی باید با توجه به دوری و نزدیکی منشا و منبع آلودگی به آب‌های سطحی و با توجه به سرعت انتقال آلودگی به محیط زیست و احتمال آسیب به انسان‌ها و موجودات زنده، تعیین شود.در برخی موارد، ممکن است منبع آلودگی نزدیک به آبهای سطحی باشد اما خطراتی برای محیط زیست و انسان‌ها نداشته باشد و این موضوع به دلیل شرایط محیطی و مشخصات آلاینده می‌تواند رخ دهد. به عنوان مثال، در صورتی که منشا آلودگی از نوعی ماده‌ی شیمیایی باشد که با آب تداخل ندارد و سرعت انتقال آلودگی به آبهای سطحی کم باشد، ممکن است مهلت حذف و رفع منشا آلودگی بیشتری داده شود. با توجه به شرایط محیطی، مشخصات آلاینده، دوری و نزدیکی منشا و منبع آلودگی به آبهای سطحی، سرعت انتقال آلودگی به محیط زیست و پتانسیل خطر آن برای انسان‌ها و موجودات زنده، تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی برای هر منشا و منبع آلودگی باید انجام شود.

در صورتی که منشا آلودگی بسیار دور باشد، لزومی برای تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی بیشتر وجود ندارد. با این حال، در برخی موارد، ممکن است منبع آلودگی بسیار دور باشد اما خطراتی برای محیط زیست و انسان‌ها داشته باشد. بنابراین، تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی برای هر منشا و منبع آلودگی باید با توجه به شرایط خاص هر منشا و منبع آلودگی صورت گیرد (Saha and Alam, 2014).

نوع کاربردی اراضی و همچنین دوری و نزدیکی به مناطق مسکونی و نوع اراضی بایر–حاصلخیز–مشکوک: به دلیل تفاوت در تأثیر آلودگی بر روی سلامت عمومی و محیط زیست، ممکن است مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی برای نوع کاربری زمینی متفاوت باشد. در مناطق مسکونی به دلیل تأثیرات جدی بر روی سلامت عمومی و محیط زیست، ممکن است مهلت حذف و رفع آلودگی کوتاه‌تری نیاز باشد. اما در مناطق زمین بایر و بدون هیچ کشت و کاری، به دلیل عدم تأثیر آلودگی بر روی کیفیت محصولات، ممکن است زمان بیشتری برای حذف و رفع آلودگی نیاز باشد. در هر حالت، تعیین مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی باید با توجه به شرایط محیطی و نوع کاربری زمین انجام شود (Ghorbani *et al*., 2018).

میزان دبی خروجی منبع مایع آلاینده: میزان دبی خروجی از منبع آلاینده، به خصوص در حالت مایع، محدودیتی در تعیین مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی است. در صورتی که میزان دبی خروجی بیشتر باشد، مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی

کوتاه‌تر خواهد بود. در مثالی که ذکر شد، در حالت دوم با دبی خروجی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه، مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی کوتاه‌تر خواهد بود. البته باید توجه داشت که تفاوت در مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی، بسته به شرایط محیطی دیگر نیز ممکن است متفاوت باشد و باید با توجه به همه عوامل موثر در تعیین مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی، تصمیم گیری شود(Dhaliwal *et al.*, 2020).

اقلیم یا آب و هوای منطقه: آب و هوا و اقلیم منطقه نیز عامل مهمی در تعیین مهلت حذف و رفع منشا و منبع آلودگی هستند. در مثالی که ذکر شد، در اقلیم خشک ممکن است آلودگی به دلیل تبخیر سریع‌تر، سریع‌تر منتشر شود و در اقلیم بارانی به دلیل وجود باران، سریع‌تر منتشر خواهد شد. همچنین، بررسی‌ها نشان داده‌اند که پوشش یخ در مناطق سرد، برای پیش‌بینی سرنوشت ریزش‌های نفتی بسیار مهم است و در اقلیم گرمتر ریزش‌های نفتی باعث پوشش مساحت بیشتری می‌شوند (Asif *et al.*, 2022).

صب العبور بودن منطقه: صب العبور بودن منطقه هم یکی از عوامل محدود کننده در تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی می‌باشد. صعوبت دسترسی به منطقه می‌تواند باعث کند شدن فرآیند حذف و رفع آلودگی شود. در مناطقی که دسترسی به آن‌ها سخت است، ممکن است برای حمل و نقل تجهیزات و مواد شیمیایی به محل آلودگی نیاز به زمان و هزینه بیشتری داشته باشیم (Li *et al.*, 2019). به همین دلیل، فرآیند حذف و رفع آلودگی در این مناطق معمولاً بیشتر از مناطقی که دسترسی به آن‌ها راحت است، زمان می‌برد. همچنین، در مناطقی که دسترسی به آن‌ها سخت است، احتمال وجود زیستگاه‌های حیات وحش و بومی بیشتر است که باید در فرآیند حذف و رفع آلودگی به آن‌ها توجه شود.

تعداد زیاد آلاینده‌ها و تلفیق و تجمیع آن‌ها با یکدیگر: تعداد زیاد آلاینده‌ها و تلفیق آن‌ها با یکدیگر می‌تواند محدودیتی در تعیین مهلت حذف و رفع منشا آلودگی ایجاد کند. در صورتی که آلاینده‌ها و تلفیق آن‌ها با یکدیگر سمی نباشند، مدت زمان لازم برای حذف و رفع منشا آلودگی ممکن است مشابه منابع آلودگی با آلاینده‌های یکسان باشد، اما در صورتی که سمی باشند، مدت زمان لازم برای حذف و رفع منشا آلودگی باید سریع‌تر باشد(Chen *et al.*, 2020). برای تعیین مدت زمان لازم برای حذف و رفع آلودگی، نوع آلاینده‌ها و تلفیق آن‌ها و فرآیندهای حذف و رفع آلودگی مورد استفاده باید مورد بررسی قرار گیرند.

وسعت آلودگی و میزان دبی خروجی: وسعت آلودگی و میزان دبی خروجی ایجاد شده از منابع آلودگی در یک زمان ثابت از دیگر عوامل محدود کننده در "تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی" می‌باشد (Mahinroosta and Senevirathna, 2020). دقت شود که در مرحله اول از شروع یک آلودگی منظور ما "حذف و رفع منشا آلودگی"هست و "نه خود آلودگی ایجاد شده در خاک". تصور کنید با ثابت بودن تمام شرایط محیطی از قبیل شیب زمین، نوع خاک، نوع آلاینده، پوشش گیاهی و سایر فاکتورهای دخیل ، دو حالت مختلف

در مورد وسعت آلودگی ایجاد شده از منشا آلودگی نظیر نشت نفت از خط لوله وجود داشته باشد. در حالت اول میزان نشت یک لیتر در ثانیه و در حالت دوم میزان نشت ۵۰ لیتر در ثانیه باشد. قاعدتا مهلت داده شده به آلوده کننده برای حذف و رفع منشا این دو آلودگی نمی‌تواند یکسان باشد. تعیین کمی این زمان و این مهلت امکان پذیر نیست زیرا بینهایت حالت ممکنه برای میزان خروجی و وسعت آلودگی می‌تواند وجومد داشته باشد که نمی‌توان آن را جدول بندی به صورت کمی کرد. با این حال، درست است که با توجه به تنوع شرایط محیطی و شرایط منبع آلودگی، تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی ممکن است بسیار پیچیده باشد و نمی‌توان آن را به صورت کمی انجام داد. اما می‌توان با استفاده از تجربیات گذشته و شرایط مشابه، تخمینی از زمان و مهلت لازم برای حذف و رفع منشا آلودگی را ارائه داد. همچنین برای تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی، می‌توان از ابزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی استفاده کرد تا شرایط محیطی و شرایط منبع آلودگی را مدل کرده و به دست آوردن مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی کمک کند. البته باید توجه داشت که این تخمین‌ها تنها به عنوان یک راهنمایی برای تعیین مهلت کمی برای حذف و رفع منشا آلودگی استفاده می‌شوند و باید با توجه به شرایط ویژه هر منبع آلودگی و شرایط محیطی، تصمیم‌گیری‌های لازم انجام شود (Wang *et al.*, 2018).

تکنولوژی‌های موجود در یک کشور: استفاده از تکنولوژی‌های مختلف برای حذف و رفع منشأ آلودگی خاک می‌تواند بر مدت زمان لازم برای انجام این کار تأثیرگذار باشد. گاهی امکانات در اختیار یک کشور برای حذف و رفع منشا آلودگی پیشرفته و گاهی این امکانات ساده می‌باشد. بنابراین در تعیین مهلت برای حذف و رفع منشا الودگی ایجاد شده سطح تکنولوژی‌های کاربردی آن کشور و منطقه بسیار مهم است (Aparicio *et al.*, 2022).

نوع خاک: نوع خاک و عوامل مختلفی که بر آن تأثیر می‌گذارند، در تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی خاک بسیار مهم هستند. اسیدیته خاک، مقدار رس و شن، نوع کانی‌های خاک، مقدار ماده آلی و الی خاک، و مقدار آهک خاک، از جمله عواملی هستند که باید در نظر گرفته شوند. اسیدیته خاک یکی از مهمترین عوامل است که بر تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی خاک تأثیرگذار است. همچنین، مقدار رس و شن در خاک نیز بر روی امکان حرکت آب و هوا در خاک و در نتیجه حرکت آلاینده‌ها تأثیر دارد. بنابراین، در تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی خاک، باید به تمامی عواملی که در کیفیت و ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارند توجه کرد و بر اساس آن‌ها برنامه‌ریزی انجام داد (Firouzbakht *et al.*, 2012).

تلفیق خاک و سنگ: برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی در مناطق با ترکیب خاک و سنگ، نیاز به انجام آنالیز شیمیایی خاک و سنگ نیست. به عنوان جایگزین، می‌توان از داده‌های زمین‌شناسی مانند نوع و مقدار کانی‌های موجود در سنگ و تخته‌سنگ‌ها، نسبت آن‌ها و میزان آهک و مواد آلی در خاک استفاده کرد (Mishra *et al.*, 2016). همچنین، در

صورتی که بخش بسیار کمی از منطقه خاک است و بخش زیادتری سنگ و تخته سنگ دارد، باید به تمامی عوامل مؤثر در کیفیت و ویژگی‌های منطقه توجه کرد و بر اساس آن‌ها برنامه‌ریزی انجام داد. به همین منظور، باید به میزان آب و هوا، شرایط آب‌وهوایی، میزان بارش، شدت باد و دما در منطقه

نتایج و بحث

درست است که برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی در مناطق با ترکیب خاک و سنگ متفاوت، نیاز به انجام آنالیز شیمیایی خاک و سنگ نیست و باید به تمامی عوامل مؤثر در کیفیت و ویژگی‌های منطقه توجه کرد. همچنین، در صورت وقوع حادثه آلودگی، باید قانون نوشته شده در این زمینه رعایت شود و بلافاصله بعد از شناسایی، اقدام به حذف و رفع منشأ آلودگی صورت گیرد. از این رو، برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و سریع در مورد نحوه اقدام و تمامی عوامل مؤثر در کیفیت و ویژگی‌های منطقه وجود دارد. موارد زیر قابلیت استفاده سریعتر و نتیجه گیری بهتر دارد:

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان تغییرات موقعیت جغرافیایی و کیفیت خاک و سنگ را در منطقه بررسی کرد و مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی را تعیین کرد (Zhao *et al*., 2017).

تحلیل خاک و سنگ با استفاده از گوگل ارث: با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث، می‌توان به تحلیل خاک و سنگ در منطقه پرداخت و با توجه به نتایج توجه کرد و نیز به میزان آب و هوای رطوبتی، نوع و میزان کانی‌های خاک، میزان ماده آلی و الی، اسیدیته خاک و مقدار آهک در خاک توجه کرد (Hillel, 2003). در نتیجه، با توجه به این عوامل، می‌توان برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی از داده‌های زمین‌شناسی و شرایط منطقه استفاده کرد.

حاصل، مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی را تعیین کرد (Yang *et al*., 2022).

استفاده از نرم‌افزارهای مدلسازی: نرم‌افزارهای مدلسازی مانند HSPF (Tsai *et al*., 2017) SWAT (Li and Guo, 2020) می‌توانند در تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی در مناطق با ترکیب خاک و سنگ مؤثر باشند.

به طور کلی، برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی در مناطق با ترکیب خاک و سنگ، می‌توان از ترکیبی از روش‌های فوق استفاده کرد. همچنین، در صورت نیاز می‌توان به مشاوره کارشناسان و متخصصان حوزه محیط زیست نیز مراجعه کرد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به عوامل مختلفی که در تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی مؤثر هستند، می‌توان نتیجه گرفت که این فرایند پیچیده است و به شرایط محیطی متغیر وابسته است. برای تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی باید به ویژگی‌های منشأ و منبع آلودگی، خصوصیات خاک و سنگ، وضعیت آب‌های زیرزمینی و سطحی، وضعیت منطقه اطراف، شرایط اقلیمی و سایر عوامل مؤثر در کیفیت و ویژگی‌های منطقه توجه کرد. بهترین روش برای حذف و رفع منشأ آلودگی، انجام آن در کمترین مهلت زمان از

شروع آلودگی است تا نرسیدن به شرایط اضطراری در قانون حفاظت خاک.

قانون حفاظت از خاک بر این اصول تأکید دارد: حذف و رفع منشأ آلودگی باید در کمترین زمان انجام شود و با فوریت و در ٢٤ ساعت اول الزامی است. تمامی افراد موظف به اعلام آلودگی در اولین فرصت عملی و منطقی هستند و متخلف مکلف به جبران خسارت ناشی از عدم حذف و رفع منشأ آلودگی است. در صورت اظهارات نادرست، جریمه بر اساس قانون حفاظت از خاک تعیین می‌شود. قانون مدیریت بحران، ضوابط و دستورالعمل‌های مربوطه منبع اصلی برای تعیین زمان حذف و رفع منشأ آلودگی می‌باشد. در نهایت، به نتایج دقیق تر و قابل قبول تری با کمک کارشناسان و متخصصان حوزه محیط زیست باید دست یابیم.

آیا راه یا روشی وجود دارد که بتوان با کمک دیتاهای گذشته به تخمین شرایط در آینده اقدام نمود؟ استفاده از هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ برای تخمین مدت زمان لازم و تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی در شرایط مختلف محیطی و آلایندگی امکان پذیر است. با توجه به پیچیدگی مسئله و تعداد زیادی از عوامل مؤثر، استفاده از روش‌های محاسباتی و هوش مصنوعی، می‌تواند به شناخت بهتر شرایط محیطی و بهینه سازی فرآیند حذف و رفع منشأ آلودگی کمک کند. با استفاده از الگوریتم‌های ماشین لرنینگ می‌توان از داده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه آلوده و بر اساس شرایط محیطی مختلف ورودی، مدت زمان لازم و مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی را تخمین زد. این الگوریتم‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، توانایی پیش‌بینی مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی را دارا هستند. به طور کلی، استفاده از هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ می‌تواند به شناخت بهتر شرایط محیطی و بهینه سازی فرآیند حذف و رفع منشأ آلودگی کمک کند. با این حال، برای دستیابی به نتایج دقیق و قابل قبول، باید داده‌های کافی و دقیق برای آموزش الگوریتم‌های ماشین لرنینگ فراهم شود و از کارشناسان و متخصصان حوزه محیط زیست برای اعتبار سنجی و بررسی نتایج استفاده شود (Mumtaz *et al*., 2022). روش‌های هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ برای مدیریت آلودگی در کشورهای دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، در چین، از این روش‌ها برای پیش‌بینی آلودگی هوا و آب، مدیریت پسماندها و کنترل آلودگی خاک استفاده می‌شود. همچنین، در آمریکا، سامانه‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی برای مدیریت آلودگی هوا و آب، مانیتورینگ و کنترل آلودگی خاک و همچنین مدیریت پسماندها و بازیافت آنها استفاده می‌شوند (Aazam *et al*., 2016). در کشورهای دیگر نیز از این روش‌ها برای مدیریت آلودگی و کنترل آن استفاده می‌شود. با توجه به اینکه استفاده از هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ بهبود قابل توجهی در کارایی و دقت روش‌های مدیریت آلودگی و تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی به دنبال دارد، احتمالاً استفاده از این روش‌ها در کشورهای دیگر نیز در آینده افزایش خواهد یافت (Kharat and Devi, 2021). در ایران نیز در برخی پروژه‌ها از روش‌های هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ برای

مدیریت آلودگی و تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در پروژه "مدیریت پسماندهای شهری با استفاده از سامانه‌های هوشمند" که توسط وزارت کشور و با همکاری سازمان مدیریت پسماندهای کشور اجرا شده است، از روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تولید پسماندها و مدیریت بهینه آنها استفاده شده است (Alavi and Ahmadi Zarjabadi, 1399). همچنین، در برخی پروژه‌های دیگر نیز مانند ارزیابی و مدیریت کیفیت هوا، کنترل آلاینده‌های صنعتی و شناسایی منابع آلودگی از روش‌های هوش مصنوعی و ماشین لرنینگ استفاده شده است (Kharat and Devi, 2021). با این حال، فعالیت‌های انجام شده در این زمینه در ایران هنوز به صورت محدود است و نیاز به توسعه و گسترش بیشتر دارد. سامانه‌های هوشمند در آمریکا عمدتاً برای مانیتورینگ آلودگی خاک و تعیین منشأ آلودگی استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، سامانه‌هایی وجود دارد که با استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعاتی درباره آلودگی خاک، مانند نوع آلاینده، مقدار و مکان آلودگی را بدست می‌آورند. سپس با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، این اطلاعات برای تعیین منشأ آلودگی و طراحی راهبردهایی برای کاهش آلودگی خاک استفاده می‌شوند (Gautam *et al*., 2023). همچنین، در آمریکا از روش‌های ماشین لرنینگ و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تغییرات آلودگی خاک در آینده و تعیین منشأ آلودگی استفاده می‌شود. این روش‌ها به کارشناسان محیط زیست کمک می‌کنند تا با تحلیل داده‌های بزرگ، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری درباره آلودگی خاک داشته باشند و برای کنترل و کاهش آلودگی خاک، راهبردهای مناسبی طراحی کنند (Mumtaz *et al*., 2022).

منابع

۱) مظهری، م. ۱۴۰۰. تدوین راهنمای نحوه تایید و هماهنگی برطرف نمودن آلودگی خاک تا رسیدن به حدود مجاز و تعیین مهلت حذف و رفع منشأ آلودگی، بازسازی خاک و جبران خسارت وارده، پروژه ملی، سازمان حافظت محیط زیست، معاونت انسانی، دفتر آب و خاک، اسفندماه.

۲) قانون حفاظت، بهسازی و بهره‌برداری از خاک‌های کشور. ۱۳۹۸. ماده ۱۵.

3) Aazam, M., St-Hilaire, M., Lung, CH. and I, Lambadaris. 2016. Cloud-based smart waste management for smart cities. *IEEE 21st international workshop on computer aided modelling and design of communication links and networks (CAMAD)*. IEEE.

4) Alavi, N. and F, Ahmadi Zarjabadi. 1399. Mapping and management of waste in smart cities using the Internet of Things. *Paper presented at the 13th National Student Conference on Health Sciences*, Tehran, Iran.

5) Aparicio, J.D., Raimondo, E.E., Saez, J.M., Costa-Gutierrez, S.B., Alvarez, A., Benimeli, C. S. and M.A, Polti. 2022. The current approach to soil remediation: A review of physicochemical and biological technologies, and the potential of their strategic combination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(2): 107141.

6) Asif, Z., Chen, Z., An, C. and J, Dong. 2022. Environmental impacts and challenges associated with oil spills on shorelines. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6): 762.

7) Chen, C., Zhang, X., Chen, J., Chen, F., Li, J., Chen, Y. and H, Hou. 2020. Assessment of site contaminated soil remediation based on an input output life

18) Islamic Republic of Iran. 2019. Law of protection, restoration, and exploitation of the country's soils. Retrieved from https://dotic.ir/news/3009
19) Kharat, R. and T, Devi. 2021. Artificial Intelligence in Environmental Management. In Artificial Intelligence Theory, Models, and Applications (pp. 37-46). Auerbach Publications.
20) Lad, S., Ayachit, R., Kadam, A. and B, Umrikar. 2019. Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC model: a comparative analysis of conventional, AHP, Fuzzy logic and Frequency ratio method. Modeling Earth Systems and Environment, 5: 543-553.
21) Li, M. and Q, Guo. 2020. SWAT model simulation of non-point source pollution in the Miyun Reservoir Watershed. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,428(1): 012075. IOP Publishing.
22) Mahinroosta, R. and L, Senevirathna. 2020. A review of the emerging treatment technologies for PFAS contaminated soils. Journal of environmental management, 255: 109896.
23) Mishra, R.K., Mohammad, N. and N, Roychoudhury. 2016. Soil pollution: Causes, effects and control. Van Sangyan, 3(1): 1-14.
24) Mu, H.Z., Zheng, T., Huang, Y.C., Zhang, C.P. and C, Liu. 2006. Reducing non-point source pollution with enhancing infiltration. Journal of Environmental Sciences, 18(1): 115-119.
25) Mumtaz, N., Izhar, T., Pandey, G. and P.K, Labhasetwar. 2022. Utilizing artificial intelligence for environmental sustainability. In Artificial Intelligence for Renewable Energy Systems (pp. 259-279). Woodhead Publishing.
26) Nordam, T., Dunnebier, D.A., Beegle-Krause, C.J., Reed, M. and D, Slagstad. 2017. Impact of climate change and seasonal trends on the fate of Arctic oil spills. Ambio, 46(Suppl 3): 442-452.
27) Saha, D. and F, Alam. 2014. Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC and Pesticide DRASTIC models in intense cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 263: 121422.
8) Dhaliwal, S.S., Singh, J., Taneja, P.K. and A, Mandal. 2020. Remediation techniques for removal of heavy metals from the soil contaminated through different sources: a review. Environmental Science and Pollution Research, 27: 1319-1333.
9) Engelhardt, F.R. 1999. Remote sensing for oil spill detection and response. Pure and applied chemistry, 71(1): 103-111.
10) Fang, H. 2021. Effect of soil conservation measures and slope on runoff, soil, TN, and TP losses from cultivated lands in northern China. Ecological Indicators, 126: 107677.
11) FAO and UNEP. 2021. Global assessment of soil pollution: Report. Rome. https://doi.org/10.4060/cb4894en
12) Firouzbakht, S., Gitypour, S., Valizadeh, R. and S, Jalalian Qarabagh. 2012. The importance of soil, sources of contamination, and methods for soil remediation. Paper presented at the 2nd Environmental Planning and Management Conference, Tehran. Retrieved from https://civilica.com/doc/148232.
13) Gautam, K., Sharma, P., Dwivedi, S., Singh, A., Gaur, V.K., Varjani, S and H.H. Ngo. 2023. A review on control and abatement of soil pollution by heavy metals: Emphasis on artificial intelligence in recovery of contaminated soil. Environmental Research, 115592.
14) Gemitzi, A., Petalas, C., Tsihrintzis, V.A. and V, Pisinaras. 2006. Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision-making techniques. Environmental Geology, 49: 653-673.
15) Ghorbani, H., Hafezi Moghadas, N. and H, Kashi. 2018. Effects of land use on the concentrations of some heavy metals in soils of Golestan Province, Iran.
16) Hemmati, M. 2018. Establishing the right to compensation for environmental damage in the Iranian legal system. Didegahaye Hoghoghi, 81: 221-232.
17) Hillel, D. 2003. Introduction to environmental soil physics. Elsevier.

agriculture area of the Gangetic plains, India. Environmental monitoring and assessment, 186: 8741-8763.
28) Structx.com. Soil Properties. https://structx.com/Soil_Properties_007.html. Accessed April 21, 2023.
29) Tang, Y., Li, B., Li, J., Wang, Y. and Y, Zhang. 2018. Assessment of water quality and source apportionment of pollution in the upstream of the Liao River Basin, China. Environmental Science and Pollution Research, 25(8): 7286-7298.
30) Tripathy, D.P., Panigrahi, D.C. and G, Singh. 2009. Determination of soil pollution index and soil infiltration rates in some non-fire and fire areas of Jharia coal field.
31) Tsai, L.Y., Chen, C.F., Fan, CH. and J.Y, Lin. 2017. Using the HSPF and SWMM models in a high pervious watershed and estimating their parameter sensitivity. Water, 9(10): 780.
32) Wang, J., Zhao, J., Lei, X. and H, Wang. 2018. New approach for point pollution source identification in rivers based on the backward probability method. Environmental pollution, 241: 759-774.
33) Yang, L., Driscol, J., Sarigai, S., Wu, Q., Chen, H. and C.D, Lippitt. 2022. Google earth engine and artificial intelligence (ai): a comprehensive review. Remote Sensing, 14(14): 3253.
34) Zhao, S., Wang, Q., Li, Y., Liu, S., Wang, Z., Zhu, L. and Z, Wang. 2017. An overview of satellite remote sensing technology used in China’s environmental protection. Earth Science Informatics, 10: 137-148.