



تاریخ: ۱۳۸۸/۰۸/۲۱
شماره: س ۱۰۸۵۲۵/
پیوست: دارد

مدیران محترم ستادی
مدیران عامل محترم شرکتهای فرعی
روسای محترم واحدهای ستادی

موضوع: دستورالعمل پایش خاک
به شماره ۲۱۷۰۰۱۲

با سلام،

به پیوست دستورالعمل پایش خاک که در تاریخ ۸۸/۰۸/۱۴ به تصویب معاون محترم وزیر و مدیرعامل شرکت رسیده است جهت اجرا و رعایت دقیق مفاد آن ابلاغ می گردد.

سپروس رضوان مدیسه
رئیس امور سازمانی

HSE

۸۸-۱۱۷۵۹۰



شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران

دستور العمل پایش خاک

شماره: ۲۱۷۰۰۱۲

تاریخ تصویب / بازنگری	شرح بازنگری	تنظیم و تدوین کننده	تائید کننده	تصویب کننده
۱۳۸۸ / ۸ / ۱۴		رئیس امور سازمانی	مدیر امور بهداشت و ایمنی	معاون وزیر و مدیر عامل

فهرست

- ۱- هدف ۲
- ۲- دامنه کاربرد ۲
- ۳- تعاریف ۲
- ۴- مسئولیتها ۳
- ۵- سیستم مدیریت کیفیت خاک ۳
- ۶- الزامات پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت خاک ۳
- ۶-۱- استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک ۳
- ۶-۲- تضمین کیفیت ۴
- ۶-۳- اقدامات اولیه ۵
- ۶-۴- پایش، کنترل و مدیریت آلودگی خاک ۶
- ۶-۵- پارامترهای مورد آزمایش ۹
- ۶-۶- روش انجام آزمایشات و اندازه‌گیری آلودگی ۱۰
- ۶-۷- فاکتورهای موثر در اندازه‌گیری آلودگی ۱۱
- ۷- تاریخ تصویب و اجرا ۱۱
- پیوست ۱: راهنمای عمومی خاک ۱۲
- پیوست ۲: راهنمای نمونه برداری خاک ۲۴
- پیوست ۳: راهنمای آماده‌سازی اولیه خاک جهت آزمایشهای فیزیکی-شیمیایی ۳۲
- پیوست ۴: راهنمای آزمایش تعیین PH خاک ۳۵
- پیوست ۵: راهنمای آزمایش تعیین هدایت الکتریکی ویژه (EC) خاک ۳۸
- پیوست ۶: راهنمای تعیین میزان ماده خشک و رطوبت خاک بر اساس جرم ۴۱
- پیوست ۷: راهنمای آزمایش تعیین میزان مواد آلی خاک به روش اکت حرارتی ۴۴
- پیوست ۸: راهنمای تعیین حد روانی و حد خمیری نمونه‌های خاک ۴۶
- پیوست ۹: استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک ۵۰

۱- هدف

این دستورالعمل جهت حفاظت از خاک و به منظور حصول اطمینان از حفظ بهداشت و ایمنی کارکنان، حداقل نمودن خسارت به محیط زیست و ارزیابی و پیش بینی مخاطرات بلند مدت در این خصوص، تدوین شده است.

۲- دامنه کاربرد

این دستورالعمل الزاماتی در خصوص شناسایی استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک، نمونه برداری، نگهداری و حمل و نقل نمونه، فرکانس نمونه برداری، آزمایشات لازم و روش های اندازه گیری آلودگی ارائه داده است که باید در چارچوب یک سیستم مدیریت کیفیت خاک، در کلیه واحدهای تابعه شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران رعایت و اجرا شود.

۳- تعاریف

- محیط زیست: آنچه اطراف ما را فراگرفته همچون آب، هوا، زمین و هرآنچه در آن قرار گرفته مانند حیوانات، گیاهان، انواع شکل های انرژی، سیستمها، فرایندهای طبیعی و فعالیتهای انسانی
- حفاظت محیط زیست: نگهداری محیط زیست و جلوگیری از آلودگی و تخریب آن
- حوادث زیست محیطی: هر گونه رخدادی که منجر به آسیب یا تخریب محیط زیست شده و لکن با امکانات موجود منطقه توان کنترل آن وجود داشته باشد.
- تخریب زیست محیطی: اثر منفی بر محیط زیست که طبیعت و ماهیت اصلی یا توازن بین عناصر آن را به هم زده یا زیبایی و جلوه ظاهری آنرا مخدوش نماید.
- آلودگی خاک: هر گونه تغییر در ویژگی های اجزا متشکله خاک به طوری که استفاده از آن ناممکن گردد، آلودگی خاک نامیده می شود.
- شیمی خاک: خاک مخلوطی از جامدات معدنی و آلی، هوا، آب و میکروارگانیسمها است. واکنش های مواد جامد بر کیفیت هوا و آب اثر می گذارد و میکروارگانیسمها تعدادی از واکنش های خاک را تسریع می کند. شیمی خاک هر چند تمام این واکنش ها را دربر می گیرد، اما تاکید آن بیشتر بر محلول خاک، یعنی غشای نازک محلول در اطراف ذرات خاک است.

۴- مسئولیت‌ها

- مدیرعامل: مسئولیت ابلاغ، پیگیری اجرای صحیح و به موقع و پایش دستورالعمل را برعهده دارد.
- مدیر ایمنی، بهداشت، و محیط‌زیست: مسئولیت نظارت بر حسن اجراء، پایش و ارائه گزارش به مدیرعامل را برعهده دارد.

۵- سیستم مدیریت کیفیت خاک

- از آنجا که فعالیت شرکت‌ها و واحدهای تابعه شرکت ملی پالایش و پخش می‌تواند آلودگی خاک را به دنبال داشته باشد، ضروری است واحدهای تابعه یک سیستم مدیریت کیفیت خاک را در سطح شرکت مستقر نمایند. این سیستم باید حداقل شامل موارد زیر باشد:
- اقدامات مدیریتی لازم جهت حفاظت پیشگیرانه آلودگی خاک
 - تعیین نقاط دارای پتانسیل انتشار آلاینده‌گی، جذب و انتشار
 - تدوین استراتژی حفاظت از خاک
 - تدوین رویه‌های اجرایی حفاظت از خاک متناسب با شرایط سایت عملیاتی
 - تعیین اقدامات حفاظتی در نقاط دارای پتانسیل انتشار آلاینده‌گی
 - تعیین و تامین تجهیزات حفاظتی لازم
 - تکوین برنامه پایش خاک شامل نمونه‌برداری، آزمایش، بررسی و رسیدگی به آلودگی‌های خاک و پایش کیفیت خاک به منظور کاهش ریسک آلودگی (استفاده از خدمات آزمایشگاه‌های معتمد سازمان حفاظت محیط‌زیست)
 - تدوین و اجرای اقدامات لازم برای کنترل حوادث منجر به آلودگی خاک
 - توقف انتشار آلودگی و پاکسازی خاکهای آلوده شده

۶- الزامات پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت خاک

۶-۱- استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک

استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک به منظور حفظ و دستیابی به کیفیت مطلوب خاک ارائه می‌شود. در حال حاضر استاندارد زیست محیطی خاصی برای حفظ کیفیت خاک در ایران ارائه نشده است. در سایر کشورها نیز از روش‌ها و راهکارهای متفاوتی برای حفظ کیفیت خاک و ارائه

استانداردهای کیفی ذریبط استفاده شده است. استانداردهای زیست محیطی کیفی برای خاک عموماً به منظور حفظ بهداشت انسان ارائه می شود. این استانداردها با ارزیابی سم شناسی روی پستانداران، رفتار و سرانجام مواد درون خاک و آب زیرزمینی و پتانسیل خطرات ناشی از در معرض قرار گرفتن انسان در مقابل آلاینده‌ها تدوین می شود. بدیهی است این بررسی‌ها به ویژه در مواردی که اندازه‌گیری‌های عملی را نیاز دارد، سخت و پیچیده است. به منظور آگاهی بیشتر از کیفیت خاک و علل آلودگی آن، راهنمای عمومی خاک در پیوست یک ارائه شده است.

در برخی از این بررسی‌ها، اثرات آلودگی روی گیاهان و سایر جانداران مرتبط با خاک، ارگانسیم‌های داخل خاک و سایر خواص خاک در ارتباط با رشد گیاهان نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و در برخی کشورها مثل کانادا نتیجه این مطالعات مقایسه شده و مقادیر کمتر به عنوان استاندارد کیفی خاک انتخاب می شود.

عموماً استانداردهای زیست محیطی کیفی، مقادیر عناصر و مواد خاص آلاینده خاک را به صورت مجزا مد نظر قرار می‌دهد در حالی که آلودگی خاک ناشی از فعالیت‌های شرکت پالایش و پخش معمولاً با مخلوطی از این عناصر و مواد ایجاد می‌شود. لذا این گونه موارد در قانون خاصی ارائه نشده و صرفاً باید با استفاده از ارزیابی‌های ریسک ویژه محلی و لحاظ کردن ضریب ایمنی زیستی در استفاده از استانداردهای کیفی، مقادیر استاندارد کیفی خاک برای مخلوط چند ماده استخراج شود. برای دستیابی به استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک باید با تحلیل شرایط خاص محلی، غربال‌گری عناصر و مواد دارای پتانسیل خطر ناشی از فعالیت‌های سایت و ارزیابی ریسک سایت، استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک را به صورت محلی و در چارچوب سیستم مدیریت کیفیت خاک، برای سایت تدوین نمود. به منظور آگاهی بیشتر از کیفیت خاک و علل آلودگی آن، راهنمای عمومی خاک در پیوست ۱ ارائه شده است.

همان گونه که ذکر شد استاندارد زیست محیطی کیفی خاصی برای خاک در ایران وجود ندارد. لذا به منظور راهنمایی و الگوگیری، الزامات قانونی و استانداردهای زیست محیطی کیفی خاک در کشورهای آمریکا و کانادا در پیوست ۴ ارائه شده است.

۲-۶- تضمین کیفیت

تضمین کیفیت یکی از عناصر بسیار مهم در استقرار سیستم مدیریت کیفیت خاک است. هدف از تضمین کیفیت، اطمینان از معنی‌دار بودن، کامل بودن و صحت نتایج سیستم مدیریت کیفیت خاک است. نکات کلیدی در این زمینه که باید توسط تمام واحدهای تابعه رعایت شود به شرح زیر است:

- برای تمام فعالیت‌ها باید سوابق صحیح، جامع و قابل تمییزی به همراه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نگهداری شود.
- همه کارکنان باید تا دستیابی به سطح شایستگی لازم، آموزش داده شوند. این موارد باید از پیش تعریف شده و آموزش‌ها باید مستند شود.
- تدابیر اتخاذ شده جهت جلوگیری از انتشار آلودگی از محل‌های دارای پتانسیل با ذکر تاریخ و جزئیات عملیات اجرایی ضبط و نگهداری شود.
- تمام تجهیزات اندازه‌گیری باید به نحو مناسب نگهداری شده و در صورت نیاز، کالیبره و تعمیر شود و سوابق کالیبراسیون مستند گردد.
- سوابق بهره‌برداری باید در دفاتر مخصوص نگهداری شود، مشاهدات میدانی و آزمایشگاهی ثبت شود، از رویه‌های اجرایی پیروی شود، تاریخ‌ها، زمان‌ها و کارکنان درگیر و مسوولیت‌های آنان مستند شود.
- مستندات به نحوی مدیریت شود که انجام تمییزی‌ها به آسانی امکان‌پذیر باشد.

۳-۶- اقدامات اولیه

- به منظور استقرار سیستم مدیریت کیفیت خاک ابتدا باید وضعیت سایت مورد بررسی قرار گیرد. این اقدامات به منظور دستیابی به وضعیت موجود یا بررسی احتمال آلودگی خاک در سایت صورت می‌گیرد. به این منظور چهار گام زیر باید انجام شود:
- ارزیابی تاریخچه سایت: این گام به منظور ارزیابی میزان آلودگی سایت ناشی از فعالیت‌های قبلی یا در حال انجام در اطراف سایت انجام می‌پذیرد.
 - بازدید مقدماتی سایت: این گام شامل بررسی موارد عمومی مرتبط با وضعیت موجود سایت، تاریخچه فعالیت‌های جاری، وضعیت آب‌های زیرزمینی و اقلیم سایت، اطلاعات بهره‌برداری، وضعیت مدیریت دورریزها و آلودگی‌ها در گذشته و حال می‌باشد که با استفاده از نتایج بند فوق انجام می‌پذیرد.
 - ارزیابی پتانسیل آلودگی‌ها: این گام با استفاده از اطلاعات بندهای فوق و تحلیل و ارزیابی احتمالات آلودگی‌های خاک انجام می‌پذیرد.
 - گزارش دهی: در این گام اطلاعات حاصل از بندهای فوق باید مستند شود. گزارش مستند باید شامل موارد زیر باشد:

◀ مروری بر منابع اطلاعات

◀ ارزیابی این اطلاعات و تفاوت‌گذاری بین اطلاعات واقعی و مفروضات

◀ ارزیابی واضح و مستدل احتمال آلودگی خاک

۴-۶- پایش، کنترل و مدیریت آلودگی خاک

اقدامات لازم در این بخش برای بررسی‌های پایه، زمانی که آغاز عملیات اجرایی در سایت جدید

و یا خاتمه و از رده خارج کردن یک سایت عملیاتی مد نظر باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هدف این اقدامات شناسایی آلاینده‌ها، وسعت آلودگی و غلظت آلاینده‌های موجود و در صورت

لزوم مکان‌یابی منابع آلودگی می‌باشد. نکاتی که هنگام اجرای اقدامات لازم در سایت باید رعایت شود،

عبارت است از:

۶-۴-۱- رعایت ملاحظات بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست

کلیه فعالیت‌ها باید در انطباق کامل با سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست و الزامات و

راهنماهای مربوطه انجام شود. لوازم استحفاظ فردی باید در دسترس بوده و در مواقع لزوم استفاده شود.

در مواردی که احتمال وجود ترکیبات فرار وجود داشته باشد، باید تجهیزات کشف گاز مورد استفاده

قرار گیرد. محل زیرساخت‌های و تاسیسات زیرزمینی سایت باید تعیین شود. بررسی‌های الکترومغناطیسی

می‌تواند در این خصوص برای مکان‌یابی کابل‌ها و خطوط لوله فلزی استفاده شود.

۶-۴-۲- نمونه برداری

• تدوین استراتژی نمونه‌برداری: استراتژی نمونه‌برداری مطلوب، باید روشی اقتصادی

برای دستیابی به اهداف فوق‌الذکر را در اختیار بگذارد. استراتژی مطلوب به این

معناست که تعادل مناسبی بین دقت علمی مورد نیاز و محدودیت‌های موجود در

خصوص تخصیص منابع برقرار نماید.

• فازبندی نمونه‌برداری: در برخی از موارد ممکن است فعالیت‌های نمونه‌برداری با یک

بار بازدید از سایت انجام شود. این موضوع در سایت‌های کوچک یا سایتی که آلودگی

آن به خوبی شناسایی شده امکان‌پذیر است. اما در خیلی از موارد، نمونه‌برداری باید در

مراحل مختلف و از پیش تعریف شده انجام شود. لذا ضروری است برای صرفه‌جویی

در هزینه‌ها برنامه‌ریزی مناسبی جهت فازبندی عملیات نمونه‌برداری با استفاده از تحلیل

نتایج حاصل از مراحل قبل انجام شود.

• نمونه برداری و حمل نمونه‌ها: نمونه برداری و حمل و نگهداری نمونه‌ها باید به

روش صحیح و اصولی انجام شود. رعایت الزامات زیر به این منظور ضروری است:

◀ ظروف نگهداری نمونه‌ها باید حتی الامکان یکبار مصرف باشد یا بعد از هر

بار مصرف به خوبی شسته شود. روش‌های شستشوی ظروف بسته به نوع

آلودگی و نوع آنالیز متفاوت می‌باشد. استفاده از آب مقطر، محلول‌های آلی

مانند هگزان یا محلول رقیق شده اسید سولفوریک، بسته به نوع آزمایش و

بررسی، الزامی است.

◀ دستگاه‌های نمونه‌برداری نیز باید قبل و بعد از هر نمونه برداری پاکسازی و

ضد عفونی گردد. این روش‌ها بسته به نوع آنالیز می‌تواند متغیر باشد.

◀ روش‌های ضد عفونی و شستشوی ظروف و دستگاه‌ها باید در گزارش کار قید

گردد.

◀ در مناطقی که فعالیت در حال انجام است، قبل از نمونه‌برداری، فعالیت‌های

حمل و انتقال سوخت باید متوقف شود.

◀ نمونه‌های با آلودگی بالا نباید در یک مخزن همراه بقیه نمونه‌ها حمل گردد و

باید برای هر کدام مخزن جداگانه استفاده شود.

◀ ظروف حاوی نمونه‌ها باید برچسب خورده و برچسب‌ها شامل اطلاعاتی در

مورد نمونه‌ها، شماره شناسایی نمونه، روش‌های درخواست آنالیز نمونه،

شخص نمونه بردار، نوع ماده نگهدارنده (HCl, Na₂SO₃, HNO₃, Ice, ...) اضافه

شده، همچنین اطلاعاتی راجع به منطقه، محل، چاهک نمونه برداری و تاریخ

نمونه برداری باشد.

◀ جزئیات نمونه‌ها باید در یک فایل نگهداری شده و امضای تمام افرادی که در

مراحل نمونه برداری، انتقال و نگهداری نمونه‌ها نقش داشته‌اند قید گردد.

۶-۴-۳- روش نگهداری نمونه‌ها

• نمونه‌ها باید در دمای $4^{\circ}\text{C} \pm 2$ و با دقت، حمل و نگهداری شود تا از شکسته شدن

احتمالی آنها و پخش آلودگی به سایر نمونه‌ها جلوگیری گردد. نمونه‌ها را می‌توان با

سردکننده‌های یخی حمل کرد.

- مدت مجاز نگهداری نمونه‌ها ۴۸ ساعت می باشد، ولی اگر دمای نمونه‌ها هنگام حمل تا 4°C پایین برده شود، می توان نمونه را تا مدت ۱۴ روز در دمای $2 \pm 12^{\circ}\text{C}$ نگهداری کرد.
- برای حمل نمونه‌های حاوی مواد فرار، نیمه فرار و فلزات، نمونه‌ها نباید با هم مخلوط شود. آزمایشگاه باید مطلع گردد که نمونه‌ها مخلوط نیستند و نیازمند آنالیز جداگانه و سپس مخلوط شدن می باشد.

- حداقل میزان نمونه‌ها ۳۰۰-۵۰۰ گرم در هر ظرف می باشد.
- اگر از حلال‌ها استفاده شود نسبت حداقل ۱ ml از متانول به ۱ gr از نمونه باید حتماً رعایت شود.
- حتماً جهت اندازه گیری وزن خشک و رطوبت خاک باید ظرفی محتوی نمونه، بدون ماده نگهدارنده، به آزمایشگاه فرستاده شود.

۶-۴-۴- تعداد دفعات نمونه برداری

- دفعات اندازه گیری آلودگی خاک بسته به موقعیت سایت و حساسیت منطقه متغیر می باشد. کاربری و حساسیت منطقه (از نظر ساختار زیست محیطی، حیات وحش، آینده منطقه، تاریخچه منطقه و استفاده کنونی از آن)، فاصله آلودگی تا آبهای سطحی و منابع آب آشامیدنی، عمق آب‌های زیرزمینی، جمعیت و ساکنان منطقه، اکولوژی منطقه، مسیر انتقال آلودگی، ساختار خاک، عمق آلودگی، میزان آلودگی، فاصله منطقه تا منابع آلودگی، نوع آلودگی و نوع ساختمان‌های اطراف، نقش اصلی و مهمی در تغییر استانداردها دارد. مثلاً وجود آلودگی در فاصله ۳۰ سانتیمتر از ساختمانها، آلودگی در فاصله ۱۰ متری از آبهای سطحی با هدایت هیدرولیکی بزرگتر از ۵-۱۰ متر بر ثانیه، وجود آلودگی در نزدیکی سنگ بستر، جمعیت بالای منطقه و حساسیت منطقه از نظر اجتماعی و اقتصادی می تواند حساسیت و دقت نمونه برداری و پایش منطقه را بالا ببرد.
- حداقل نمونه برداری باید سالیانه تا سه بار در سال انجام شود. ولی بایستی حداقل دو بار نمونه برداری در دو فصل مخالف انجام گیرد. بهتر است نمونه برداری در فصول بهار و پاییز که تغییرات دمایی شدید وجود ندارد انجام گیرد، تا مقایسه و آنالیز داده‌ها راحت تر و بهتر انجام پذیرد.
- با افزایش میزان آلودگی یا اهمیت منطقه، باید تعداد دفعات نمونه برداری افزایش یابد.

۶-۴-۵- روش های نمونه برداری

- بسته به این که نمونه مورد نظر به چه منظور و از چه نوع خاکی جمع آوری می شود باید روش های متفاوتی مورد استفاده قرار گیرد. راهنما نمونه برداری خاک در پیوست ۲ ارائه شده است.

۶-۵- پارامترهای مورد آزمایش

با توجه به فعالیت های جاری در شرکت های تابعه شرکت ملی پالایش و پخش، تمام یا بر اساس تصمیم کارشناسی هر واحد، قسمتی از آزمایشات زیر برای پایش خاک مورد نیاز خواهد بود:

- کل هیدروکربن های نفتی^۱ (TPH)
- هالوژن های آلی قابل استخراج^۲ (EOX) برای ترکیبات کلرینه مثل PCB و حلال های کلرینه، فقط هنگامی که شواهدی دال بر وجود آلودگی هست.
- میزان روغن برای هیدروکربن های غیر فرار خاک
- روغن و چربی برای هیدروکربن های غیر فرار در آب و لجن
- فلزات قابل ردیابی نظیر Zn, Pb, Ni, Hg, Cr, Cu, Cd, Ba
- نسبت جذب سدیمی^۳ (SAR)
- یون های نظیر SO₄ و NO₃, Cl, K, Na, Mg, Ca
- pH هنگامی که پتانسیل آلودگی اسیدی وجود داشته باشد.
- هدایت الکتریکی^۴ (EC)
- نسبت وزن سوخت (Wf) در خاک آلوده به وزن خاک تا عمق ۱۵ سانتیمتر
- نسبت حجم سوخت، هنگامی که وزن سوخت موجود در خاک را نتوان به طور دقیق محاسبه کرد.
- درصد وزنی میزان آب (Water Content) یا تنش مرطوب (Moisture tension) که نشانه این است که ذرات خاک به چه میزان به هم چسبیده است. شایان ذکر است که درصد وزنی آب و تنش مرطوب با هم نسبت عکس دارد.

1 Total Petroleum Hydrocarbon

2 Extractable Organic Halogens

3: Sodium adsorption ratio

4 Electrical Conductivity

۶-۶- روش انجام آزمایشات و اندازه‌گیری آلودگی

- روش‌های مختلفی برای انجام آزمایشات و اندازه‌گیری آلودگی خاک پیشنهاد و به کار گرفته شده است. در پیوست ۳ راهنمای "آماده‌سازی اولیه خاک جهت آزمایش‌های فیزیکی-شیمیایی"، "تعیین pH خاک"، "تعیین هدایت الکتریکی ویژه خاک"، "تعیین میزان ماده خشک و رطوبت خاک بر اساس جرم"، "تعیین میزان مواد آلی خاک به روش افت حرارتی" و "تعیین حد روانی و حد خمیری نمونه‌های خاک" جهت بهره‌برداری ارائه شده است. همچنین برای اندازه‌گیری برخی از هیدروکربنها در خاک می‌توان از نشریه شماره ۴۵۹۹ موسسه نفت آمریکا^۱ استفاده کرد. در ادامه متداولترین تجهیزات اندازه‌گیری به شرح زیر ارائه می‌گردد:
- استفاده از Eco Probes که ترکیبی از یک آنالایزر PID و سه آنالایزر IR می‌باشد. آنالایزر PID کل غلظت ترکیبات آلی فرار را اندازه‌گیری می‌کند و آنالایزر IR میزان غلظت بخار خاک $(SVC)^2$ ، دی اکسید کربن و متان را اندازه‌گیری می‌کند.
- استفاده از آنالایزر بخار خاک $(SVA)^3$ یا بررسی بخار خاک $(SVS)^4$ که میزان گاز موجود در خاک را اندازه‌گیری می‌کند.
- اندازه‌گیری میزان فعالیت‌های آنزیمی خاک: واکنش‌های آنزیمی خاک حساسیت زیادی به میزان آلودگی دارد و می‌تواند به عنوان یک پارامتر درجه آلودگی خاک را نشان دهد.
- روش‌های BS-UC: این روش برای Bio Remediation آلودگی‌های نفتی مناسب است. BS-UC بر روی امولیزاسیون n-alkenes تاثیر می‌گذارد و همچنین قابلیت جذب آب و پتانسیل Zeta در قشر سلول را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود که غشای سلول‌های میکروبی به مواد جاذب آب راحت‌تر بچسبند.
- کروماتوگرافی: در این روش آلودگی‌های نفتی بر حسب سنگینی و تعداد کربن‌ها از هم جدا شده و اندازه‌گیری می‌شود.
- On-site Laser probe: این روش یکی دیگر از روش‌های کروماتوگرافی است که برای اندازه‌گیری آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1 HEALTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES API PUBLICATION NUMBER 4599

2 Soil Vapor Concentration

3 Soil Vapor Analyzer

4 Soil Vapor Survey

۶-۷- فاکتورهای موثر در اندازه آلودگی


میزان آلودگی موجود در خاک بر اساس شرایط محلی و نوع کاربری خاک متفاوت می‌باشد. از جمله عوامل مشترک در شرایط مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- وجود متان
- قابلیت عبوردهی آب در خاک مورد نظر
- سن آلودگی
- دمای خاک

۷- تاریخ تصویب و اجرا

این دستورالعمل توسط مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست تهیه و توسط امور سازمانی در هفت بند تنظیم و تدوین یافته و در تاریخ ۱ / ۸ / ۱۳۸۸ به تصویب معاون وزیر و مدیرعامل شرکت رسیده و در سطح شرکت ملی پالایش و پخش لازم الاجرا می‌باشد.


معاون وزیر و مدیرعامل


رئیس امور سازمانی


مدیر ایمنی، بهداشت و محیط زیست

پیوست ۱: راهنمای عمومی خاک

۱- مقدمه

هر گونه تغییر در ویژگی‌های اجزا متشکله خاک به طوری که استفاده از آن ناممکن گردد، آلودگی خاک نامیده می‌شود. اخیراً خارج کردن ضایعات به طریق ایمن از محیط زیست انسان، برای ادامه تمدن به عنوان یک ضرورت شناخته شده است. برای به حداقل رساندن آلودگی، ضایعات باید سریعاً به چرخه طبیعی خود برگردانده شوند. خاک یک واسطه برگشت مجدد این ضایعات محسوب می‌گردد. قابلیت خاک برای جذب سطحی، تبادل، اکسیدکنندگی و رسوب دادن مواد، به همان اندازه که برای دفع مواد آلوده با ارزش است، برای تغذیه گیاهان نیز اهمیت دارد.

آلودگی شیمیایی از یک نظر به معنی انحراف عناصر شیمیایی از چرخه‌های طبیعی خود است. کربن، نیتروژن و فسفات‌هایی که از زیاده‌های شهرها به آبهای روان منتقل می‌شود، در حقیقت از چرخه خاک و گیاه خارج شده است. هنگامی که از هوا و آب به عنوان محل تخلیه فاضلاب‌ها استفاده شود، آلودگی ایجاد می‌گردد، زیرا هوا و آب می‌تواند به آهستگی اجزای زیاده را به چرخه‌های طبیعی خود بازگرداند. از سوی دیگر ذرات خاک با وسعت سطوح و فعالیت‌های کاتالیزوری خود همراه با آب و اکسیژن موجود می‌تواند آلوده‌کننده‌ها را بی‌اثر کند. خاک، زیاده و پسماندها را سریعاً تجزیه می‌کند و اجزای آن را به چرخه‌های طبیعی خود باز می‌گرداند و در نتیجه اختلال و خوردگی محیطی حاصل از فعالیت انسان را به حداقل کاهش می‌دهد.

۲- بررسی عمومی

خاک لایه بسیار نازکی از کره زمین را تشکیل می‌دهد. وجود و تغذیه موجودات زنده به آن وابسته است. خاک از مواد متنوعی نظیر مواد معدنی جامد، مواد آلی و آب و هوا و میکروارگانیسم تشکیل شده است. در قسمت معدنی آن فرسایش‌ها و سایر تغییرات فیزیکی دوران مختلف زمین‌شناسی، صخره‌ها را به خاک تبدیل نموده است. قسمت آلی موجود در خاک از بازمانده‌های گیاهی و حیوانی در پی عمل تخریب، حتی شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها و موجوداتی نظیر کرم خاکی می‌شود. یک خاک نمونه که تولید محصول بنماید حدوداً حاوی ۵ درصد مواد آلی و ۹۵ درصد مواد معدنی است. خاک برای پرورش گیاهان احتیاج به آب دارد. این آب از خاک به گیاه می‌رسد. مقداری از آب خاک توسط تعریق مستقیم و زمین و یا تعریق گیاهان به اتمسفر وارد می‌شود. قدرت از دست دادن آب از طرف زمین بستگی به وسعت، مقدار و اندازه خلل و فرج خاک و بالاخره ساختار زمین منطقه دارد. علاوه بر آب، خاک خوب دارای نسبت قابل ملاحظه‌ای از هوا است. درحالی که زمین منطقه خشک،

نسبت درصد حجمی اکسیژن کمتری دارد. هوای خاک نسبت به هوای اتمسفر، از اکسیژن کمتری برخوردار است ولی نسبت درصد حجمی CO_2 آن نسبت به اتمسفر فزونی دارد. از تخریب مواد آلی بر میزان CO_2 افزوده می‌شود که می‌تواند به طرق مختلف از حمله بارش بارانها در آن حل شده به اعماق پایین تر رسوخ و بعد از یک سلسله واکنش‌هایی شیمیایی، رسوب‌های زمین را ایجاد نماید. که از نظر ژئوشیمیایی بسیار مهم و حائز اهمیت است.

۳- شیمی خاک به طور عمومی

خاک مخلوطی از جامدات معدنی و آلی، هوا، آب و میکروارگانیسم‌ها است. واکنش‌های مواد جامد بر کیفیت هوا و آب اثر می‌گذارد و میکروارگانیسمها تعدادی از واکنش‌های خاک را تسریع می‌کند. شیمی خاک هر چند تمام این واکنش‌ها را دربر می‌گیرد، اما تاکید آن بیشتر بر محلول خاک، یعنی غشای نازک محلول در اطراف ذرات خاک است.

شیمی خاک با شیمی کلونید، یعنی با شیمی سطح ذرات جامد، ژئوشیمی، حاصلخیزی خاک، کانی‌شناسی خاک و میکروبیولوژی خاک یا بیوشیمی ارتباط نزدیک دارد.

شیمی خاک مشتمل بر دو شاخه: شاخه آلی یا بیوشیمیایی (مشترک با میکروبیولوژی) و شاخه غیرآلی یا معدنی است. یکی از اهداف مهم در پژوهش‌های شیمی خاک کمک به شناخت بهتر حاصلخیزی خاک است. منبع اولیه تغذیه انسان از گیاهان است که مواد غذایی خود را از خاک دریافت می‌دارد. دومین منبع تغذیه انسان از اقیانوس است یا به عبارتی موجودات دریایی است که در نهایت غذای خود را از واکنش بین رسوبات و آب به دست می‌آورند (واکنش‌های بین خاک و آب)، منبع سوم، تغذیه از غذاهای مصنوعی است. از سه منبع فوق، گیاهان زراعی ارزان‌ترین وسیله تبدیل انرژی خورشیدی به مواد تامین کننده زندگی انسان به شمار می‌آید.

۴- برهم کنش‌های یون - خاک

مواد محلول، الکترولیت‌ها و غیر الکترولیتها منابع مستقیم یون‌های لازم برای رشد گیاهان در محلول خاک است. مکانیسم‌های ورود یون‌ها به داخل محلول خاک عبارت است از: (۱) تخریب کانی‌ها (۲) تجزیه و پوسیدگی مواد آلی (۳) باران (۴) آب‌آبیاری محتوی نمک‌ها و (۵) آزاد شدن یون‌هایی که به وسیله کلونیدها یا مواد رسی در خاک نگهداری می‌شود.

یون‌ها و ملکولها در خاک به وسیله تبادل کاتیونی (ظرفیت خاک برای تعویض کاتیون)، آنیونی، تشکیل رسوب، جذب ضعیف الکترواستاتیک و تشکیل ترکیبات پیچیده با مواد آلی خاک (که به وسیله

سلولهای میکروبی حفظ و نگهداری می‌شود، جابجا می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی^۱ (CEC)، تعداد میلی گرم‌های یک کاتیون یک ظرفیتی است که بتواند در ۱۰۰ گرم خاک خشک مبادله شود. فرآیند مبادله کاتیونی یک ظرفیتی مکانیسمی است که به وسیله آن پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فلزات کمیاب در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. هر یون توسط چند مکانیسم با درجات مختلف با چندین فاز جامد متفاوت ترکیب می‌شود.

پیچیدگی برهم کنش‌های یون‌ها و فاز جامد خاک با خواص کلوئیدی رس‌ها و مواد آلی خاک افزایش می‌یابد. یک کلئید ممکن است که از هر جسمی تشکیل شده باشد به شرط آن که اندازه ذراتش از چند میکرومتر تجاوز نکند. هنگامی که این ذرات در مایع یا گاز معلق شود به مایع تعلیقی واژه سل اطلاق می‌شود. ذرات کلئید علاوه بر خواص طبیعی که به ترکیبات شیمیایی آنها مربوط می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی مخصوص به خود نیز هستند. ذرات کلوئیدی متبلور و غیر متبلور خاک دارای سطوح وسیع و تعداد زیادی از پیوندهای شیمیایی خنثی نشده‌اند. پیوندهای خنثی نشده، جایگزینی یونی و کریستال‌های ناقص تشکیل میدان الکتریکی را می‌دهند که به داخل فاز مایع خاک یا محلول خاک امتداد می‌یابد. به منظور خنثی شدن میدان الکتریکی در اطراف ذرات کلوئیدی خاک، در اغلب محلول‌های خاک، مقدار کاتیون بیشتر از آنیون است.

۵- یون‌های اساسی

یون‌های موجود در محلول خاک یا فاز جامد، آنهایی هستند که برای ادامه حیات لازم و یا سمی هستند و نیز در تکوین و تحول خاک اهمیت دارند.

عناصر اساسی برای گیاهان را می‌توان به آنهایی که به مقادیر نسبتاً زیاد مورد نیاز هستند (نظیر عناصر غذایی پر مصرف: C, H, N, O, P, S, K, Ca) و آنهایی که به مقدار کم مورد احتیاج هستند (نظیر عناصر غذایی کم مصرف: B, Cl, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo)، تقسیم کرد. علاوه بر این‌ها حیوانات به عناصر پر مصرف نظیر Na و Cl و عناصر کم مصرفی نظیر F, Co, As, Se, Sn, I, Ni, Cr, Si نیاز دارند.

خاک درتامین تمام عناصر اساسی سهم به سزایی دارد. گیاهان عناصر O, C, H مورد نیاز خود را از آب و هوا به دست می‌آورند، اما خاک ظرفیت نگهداری آب را فراهم می‌کند و تخلخل لازم را به منظور تبادل O₂ و CO₂ بین ریشه‌ها و اتمسفر ایجاد می‌کند و CO₂ حاصل از تجزیه و پوسیدگی مواد

^۱ Cation Exchange Capacity

آلی را به اتمسفر خارج، روانه می‌سازد. حیوانات تقریباً تمام عناصر اساسی مورد نیاز خود را از گیاهان به دست می‌آورند.

۶- ترکیبات گیاه و خاک

گیاهان معمولاً اجزای کانی خود را از خاک به دست می‌آورند. به استثنای نیتروژن و گازهای گوگردی (NO_x , NH_3 , SO_2) که مستقیماً و توسط برگها جذب می‌شوند و همچنین یونهایی که از گرد و غبار و پاشیدن کود بر روی برگها وارد گیاه می‌گردد. مقادیر جذب شده فقط در مکانهایی اهمیت پیدا می‌کند که هوا آلوده است و یا در مزارعی که برای تغذیه گیاهان از روشهای محلول پاشی استفاده می‌شود. تحت شرایط طبیعی، عوامل اصلی در قابل جذب بودن عناصر غذایی به وسیله گیاهان عبارت است از: (۱) حضور یا غیبت عنصر مورد نظر در محلول خاک (۲) درجه ترکیب و سرعت استخلاص از فازهای جامد خاک (۳) فعالیت میکروارگانیسمهای خاک (۴) تفاوت قائل شدن ریشه گیاهان ضمن جذب عناصر غذایی از خاک

۷- اهمیت خاک

خاک علاوه بر نقشی که در تداوم حیات به عهده دارد در تکامل و حتی در پیدایش حیات نیز تاثیر عمده به جای گذاشته است. این گیاه است که خود را با ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک وفق داده است. خاک علاوه بر صفات تغلیظ و تشویق به پلیمر شدن، فعالیتهای دیگری نیز که شاید در پیدایش و تکامل حیات اهمیت شایانی داشته است، انجام داده است. از جمله: (۱) حفاظت مولکولهای آلی از تجزیه شدن توسط پرتو فرابنفش، (۲) در اختیار قرار دادن فسفاتها و یونهای فلزی حد واسط، (۳) پایین نگهداشتن پتانسیل اسمزی آب، (۴) نامین قابلیت جذب نسبتاً زیاد کاتیونهای اصلی در نسبتی مشابه با ترکیبات گیاهان و جانوران و (۵) تامین محلول غنی در کاتیونها

موجودات زنده معمولاً احتیاج به میزان و تنوع بیشتری از کاتیونها دارند تا آنیونها و شاید علت این است که حیات در ابتدا در یک محلول غنی از کاتیون آغاز شد. تمام محلولهای دیگر به نسبت مساوی آنیونها و کاتیونها را در خود جذب دارند.

ترتیب فراوانی ترکیبات کاتیونی در بسیاری از گیاهان و جانوران، خاک و آب دریا متفاوت است. این ترکیب برای گیاهان و جانوران $Ca > K > Na = Mg$ ، خاک $Ca > Mg > N = Na$ و آب دریا $Na > Mg > Ca = K$ می‌باشد. باید توجه نمود که غلظت نمک در مایعات بدن خیلی نزدیکتر به غلظت آن در محلول خاک است تا به آب دریا.

۸- یونهای با اهمیت خاک

ضروری بودن یا سمی شدن عناصر برای ارگانسیم‌ها دلیلی بر اختصاصی بودن خواص بیوشیمیایی هر عنصر است. از نظر اکسایش - کاهش، عناصر در طبقات کاتیون‌های تبادل، آنیون‌های محلول، اکسی آنیون‌های غیر محلول، فلزات انتقالی به علاوه آلومینیم، یونهای سمی و عناصر فعال در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفته است. کاتیون‌های اصلی تبدلی، خنثی می‌شوند و توسط بارهای الکتریکی منفی کانیها و مواد آلی خاک ابقا می‌گردند. آنیون‌های اصلی، در فاز محلول آبی اغلب خاک‌ها در غلظت‌های کمتری نسبت به کاتیون‌ها وجود دارند، که می‌توانند کاتیون‌های مازاد بر ظرفیت تبادل کاتیونی را خنثی کنند. اکسی آنیون‌ها در غلظتهای ۱ ppm یا کمتر در اغلب محلول‌های خاک حضور دارند.

فلزات انتقالی و آلومینیم، شامل تمام فلزات به جز فلزات قلیایی و قلیایی خاکی است. آلومینیم به علت مسمومیت گسترده‌اش برای گیاهان تحت رویش در خاکهای اسیدی، در این دسته قرار دارد. مس و روی هم در این طبقه قرار دارند. باید در نظر گرفت که خاک‌ها معمولا غلظت این دو عنصر را پایین نگاه می‌دارند. آخرین گروه در جدول ۱ عناصر فعال در واکنشهای اکسایش کاهش در خاکها است. تغییرات در حالت اکسایش، شدیداً خواص شیمیایی عناصر را تغییر می‌دهد. یون‌های تبدلی در خاک‌های بارور کشاورزی به صورت $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} = Na^{+}$ هستند. کلسیم زیاد، مشخص کننده pH خنثی، یعنی مناسب‌ترین وضع برای اغلب گیاهان و میکروارگانسیمهاست.

۹- نقش عناصر سمی در آلودگی خاک

تمام یون‌های عناصر کم مصرف در غلظتهای موجود در خاک، خیلی بیشتر از حد طبیعی مسموم کننده است. وقوع طبیعی عناصر سمی در غلظتهای زیاد در خاک به جز در مورد مسمومیت‌های گیاهی توسط Al در خاک‌های اسیدی نادر است. آلودگی‌های خاک توسط عناصر سمی معمولا در نتیجه فعالیت انسانی به وجود می‌آید. عناصر آلوده‌کننده حاصل از فعالیت انسان و حالت‌های اکسایش آنها براساس عدد اتمی و نه بر اساس اهمیت (Be(2)، (صفر تا F⁻¹(3-6) Cr، (3-5) As، (2) Cd، (2-3) Ni، (صفر، 1, 2) Hg و (2-4) Pb را شامل می‌شود. آلودگی‌های خاک ناشی از کارخانه‌های ذوب فلزات، صنایع نفت و گاز، زباله‌های شهری و صنعتی، حشره‌کش‌ها و نرافیک اتومبیل‌ها همگی می‌تواند غلظتهای عناصر یاد شده در خاک را به حد سمی برساند. حیواناتی که چرای آنها به نواحی آلوده محدود شده باشد، شدیدترین اثر تجمع مسموم کننده فلزات در خاک‌ها را نشان

خواهند داد. میزان کاتیون‌های فلزی کمیاب بعد از آلودگی با افزایش و با افزایش pH و مقادیر رس خاک کاهش می‌یابد. یون‌هایی نظیر Ni, Zn, Hg, Pb کمتر از Al, Be نسبت به pH تأثیر پذیرند.

جدول ۱: یونهای اصلی در شیمی خاک

کاتیون‌های تبادل‌پذیر اصلی	
$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Al^{3+}, H^+$	به صورت کاتیونهای تبدیلی در خاکها حضور دارند. این یون‌ها توسط آهک دهی و آبیاری و اسیدی شدن، نسبتاً به سهولت تغییر وضع می‌دهند. آلومینیم (Al^{3+}) تبدیلی اگر چه به ندرت کاتیون تبدیلی غالب است، اما از اختصاصات خاکهای اسیدی است.
آنیون‌های اصلی	
$NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, (HCO_3^-, CO_3^{2-})$	در غلظتهای خیلی کمتر از کاتیونهای اصلی در تمام خاکها به غیر از خاکهایی که بافتی بسیار درشت دارند و خاکهای شور قوی که اساساً با یکدیگر مساوی‌اند، حضور دارند. سولفات و نیترات منابع مهمی برای تغذیه گیاهان هستند. نمکهای سولفات، کلراید و بی‌کربنات در خاکهای شور تجمع حاصل می‌کنند و آنیون‌های کربنات به مقدار زیاد فقط در خاکهای دارای pH بیش از ۹ حضور دارند.
آنیون‌های غیر محلول	
$H_2PO_4^-, H_2PO_4^{2-}, H_2AsO_4^-, HAsO_4^{2-}, H_3BO_3, H_2BO_3^-, Si(OH)_4, MnO_4^{2-}$	آنیونهای تقریباً غیر محلول، اسیدهای ضعیف در این گروه بورانها محلولترین آنیون‌ها هستند. پایداری یا تثبیت آنها توسط خاکها مستقل از pH بالا محلول‌ترند. فسفات در pH خنثی یا کمی اسیدی محلولتر است.
فلزات سنگین و آلودگی	
$Al^{3+}, Al(OH)^+, Al(OH)_2^+, TiOOH^+, Fe^{2+}, Fe(OH)^+, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}$	هیدروکسید غیر محلول در خاکهایی میل به ترکیب دارد که سیلیس و دیگر یونها مورد تخریب فرار گرفته باشد. هیدروکسی اکسیدهای آهن و منگنز گرچه در حالت اکسیده خود در خاک تخریب یافته تجمع می‌یابد، اما در خاکهای غرفایی کاهش یافته محلولتر می‌شوند. این کاتیون‌ها بیشتر از کاتیون گروه اول در خاکهای هوازی محلول‌اند. میزان آنها با افزایش قدرت اسیدی خاک بالا می‌رود و توسط مواد آلی خاک به شدت کمپلکس می‌شوند.
فلزات کمیاب	
$Cd^{2+}, Al^{3+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}, Hg, Be^{2+}, AsO_4^{3-}, CrO_4^{2-}$	رفتار این گروه در خاک شبیه به رفتار فلزات انتقالی است. یون Al^{3+} برای گیاهان خطرناک است. دیگر یونها با حیوانات ربط پیدا می‌کنند. یون Cd^{2+} برای گیاهان، محلول و قابل استفاده است و پایداری آن نسبتاً مستقل از pH است. بقیه یونها با افزایش pH کمتر در اختیار گیاهان قرار می‌گیرد، مگر در مورد As. سه یون آخر در خاکها کمتر مورد بررسی فرار گرفته‌اند.
مواد آلی (ماده آلی خاک)	
$C(HCO_3^-), O(O_2^- \text{ تا } O_2), N(-NH_2 \text{ تا } NO_3^-), S(-SH \text{ تا } SO_4^{2-}), Fe(Fe-FeOOH), Mn(Mn^{2+}-MnO_1), Se(SeO_4^{2-}), Hg(HgO \text{ یا } Hg^{2+})$	بیوشیمی خاک در اطراف تغییرات حالت اکسایش ترکیبات کربن، نیتروژن و گوگرد دور می‌زند. مولکول اکسیژن پذیرنده اصلی الکترون است. آهن (3)، منگنز (3-4) نیترات و سولفات فقط در مواقعی که میزان اکسیژن کم است پذیرنده‌های الکترون هستند.

جیوه و به خصوص کادمیم ضعیف‌تر از دیگر کاتیونهای سمی توسط خاک ابقا می‌شود. کادمیم فلزی نسبتاً محلول است و بیشتر شبیه Ca^{2+} رفتار می‌کند. با در نظر گرفتن مسمومیت شدید Cd^{2+} در خاک‌هایی که به عنوان محل تخلیه زباله مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند مسئله جدی و زیان‌باری ایجاد نماید. جیوه عنصری فرار است و می‌تواند به صورت گاز به داخل منافذ خاک پخش شود. ترکیب سمی دی‌متیل جیوه ($\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$) که در رسوبات آبی آلوده و کاهیده تشکیل می‌شود، در خاک کمتر ملاحظه گردیده است.

خاک برای دفن بقایای آلوده‌کننده می‌تواند واسطه بسیار سالمتری از هیدروسفر یا اتمسفر باشد. خاک در مقایسه با هوا یا آب توان بهتری برای اکسیده کردن و ابقای آلوده‌کننده‌ها و انتقال آنها از زنجیره غذایی به خاک دارد.

زباله شهری منبع بسیار با ارزشی از نیتروژن، فسفات و آب برای گیاهان زراعی است. تحت یک مدیریت ضعیف، استعمال زباله می‌تواند به آلودگی خاک توسط فلزات کمیاب منجر شود. برای پیش‌گیری از این واقعه، جلوگیری اولیه از آلودگی زباله شهری به وسیله فلزات سمی است که توسط کارخانه‌های صنعتی ایجاد می‌شود.

۱۰- نقش ترکیبات معدنی مسموم کننده در آلودگی خاک

ترکیبات معدنی حاوی جیوه، کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل، روی، منگنز، فلونور و بر موجب آلودگی خاک می‌شود. ترکیبات حاوی آرسنیک و کادمیم بسیار سمی هستند. ترکیبات شامل جیوه، سرب، نیکل و فلونور سمیت متوسط دارد. ترکیبات حاوی بر، مس، منگنز و روی نسبتاً سمی هستند. به کارگیری تکنولوژی مدرن از عوامل موثر در بروز آلودگی محیط ناشی از کاربرد این گونه ترکیبات به شمار می‌آید. در اثر سوزاندن مواد نفتی و فعالیت کارخانجات ذوب فلز مقادیر زیادی از عناصر سمی وارد اتمسفر شده که می‌تواند بر روی نباتات و خاک نشسته و اثرات سوء خود را اعمال نماید. سرب از طریق احتراق بنزین در وسایل نقلیه موتوری و سوزاندن زغال‌سنگ وارد اتمسفر می‌شود و در مواقع بارندگی و ریزش برف بر روی خاک نشست می‌کند. سوپر فسفات‌ها و سنگ آهک معمولاً دارای مقادیری از کادمیم، مس، منگنز، نیکل و روی بوده و به کارگیری آنها آلودگی خاک را به دنبال دارد. آرسنیک در حشره‌کش‌ها مورد استفاده قرار گرفته و به علت پایداری دراز مدت در محیط از آن استفاده نمی‌شود. فلزات سنگین در ترکیب قارچ‌کش‌های آلی، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها شرکت دارد که با به کاربرد آن، موجبات آلودگی را فراهم می‌آورد. واکنش عناصر در خاک تحت تاثیر pH، میزان مواد آلی و شرایط اکسایش و احیا است. عناصر در شرایطی که pH خاک برابر ۶ و یا بیشتر باشد، کمتر در دسترس گیاه

قرار می‌گیرد. کاتیون عناصر به کیلاته شدن (حلقه‌ای شدن) در حضور مواد آلی تمایل دارد. قدرت کیلاته شدن به صورت $Cu > Ni > Zn > Mn$ است.

۱-۱۰- آلودگی خاک ناشی از آفت‌کش‌ها

مطالعه روی اثرات سوء نباتی نشان داده است که بعضی از آفت‌کش‌ها چون حشره‌کش‌های آلی کلره به دلیل پایداریشان در خاک نه تنها ممکن است محیط را برای نباتاتی که در تناوب زراعی وارد شوند نامطلوب سازد، بلکه ممکن است از طریق نقل و انتقال و جذب در انساج چربی و بالاخره ورود به زنجیره غذایی، موجبات آلودگی بخش‌های مختلف بیوسفر را فراهم سازد و حیات انسان و دیگر جانداران را به مخاطره اندازد. پس مانده آفت‌کش‌های جستجو شده در خاک یا مربوط به ترکیبات شیمیایی معدنی پایدار چون آرسنیک، مس یا سرب بوده که تا قبل از جنگ جهانی دوم از آنها به عنوان حشره‌کش یا قارچ‌کش استفاده به عمل می‌شده و یا مربوط به هیدروکربنهای کلره پایدار است که بعد از جنگ کشف و مورد استفاده قرار گرفته‌است. آفت‌کش‌ها از راه‌های مختلفی وارد خاک می‌شوند که عبارتند از:

۱- از طریق کاربرد مستقیم آنها در خاک

۲- از طریق سمپاشی و ذرات خاک معلق در هوا و نشست آنها بر زمین

۳- بقایای نباتی که به خاک اضافه می‌شود

۴- ۴- سموم جذب شده به وسیله موجودات زنده خاک (غیرذره‌بینی)

محققین بررسی مسائل آلودگی محیط بر این عقیده‌اند که پس‌مانده حشره‌کش‌ها در آب باران و گرد و غبار موجود در هوا حاصل سمپاشی هوایی نباتات بوده که مقداری از آنها به خاک منتقل شده و بعد از طریق تبخیر و فرار از سطح خاک به صورت ترکیبات گازی وارد هوا می‌شود و نتیجتاً آب بارانی که به زمین می‌رسد حاوی مقادیری از این مواد خواهد بود.

تصور می‌رود که ذرات سموم موجود در هوا در سطح ذرات گرد و غبار موجود در هوا متمرکز شده و پس از بارندگی به صورت قطرات حاوی حشره‌کش به خاک واریز شود. ولی نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که، انتقال ذرات حشره‌کش از طریق باران به زمین از اهمیت بیشتری برخوردار است و مقدار سمی که از این طریق به خاک می‌رسد قابل توجه است. بالاترین رقم میزان D.D.T که از طریق بارندگی در بریتانیای کبیر به خاک می‌رسد ۲۱۰ ppm و در آمریکا نیز رقمی معادل آن گزارش شده است.

عوامل موثر در پایداری حشره‌کش‌ها در خاک عبارتند از :

۱- طبیعت شیمیایی حشره‌کش‌ها

نوع خاک، حشره‌کش‌ها بسته به کیفیت ساختمانی خود به وسیله بخش‌های مختلف خاک جذب می‌شوند. به عنوان مثال، هپتاکلر^۱ و ددت D.D.T به وسیله بخش رس، دیازینون^۲ و پارتیون^۳ به وسیله بخش شن و سیلت، دی‌کلوفنتیون^۴ به وسیله هر دو بخش جذب و غیر فعال می‌گردد.

۲- میزان رس: میزان مواد کلوئیدی موجود در خاک می‌تواند روی پایداری حشره‌کش موثر باشد.

۳- اسیدیته خاک: غلظت یون هیدروژن می‌تواند تجزیه حشره‌کش‌ها را در خاک تحت تاثیر قرار دهد. تحقیقات نشان می‌دهد که BHC^۵ و DDT در خاک‌های قلیایی (PH=۹/۵) سریع‌تر تجزیه می‌شود.

۴- یون‌های معدنی: اثر نوع و میزان کانی‌های خاک بر زمان پایداری حشره‌کشها از طریق تاثیر در ساختمان و نوع خاک اعمال می‌گردد.

۵- درجه حرارت: حشره‌کش‌ها از طریق تجزیه شیمیایی و باکتریایی و به صورت گاز یا بخار از خاک خارج می‌شوند، این فرآیند تحت تاثیر درجه حرارت محیط قرار دارد.

۶- رطوبت خاک: رطوبت هوای خاک که مستقیماً در ارتباط با رطوبت خاک می‌باشد، می‌تواند پایداری حشره‌کش‌ها را از سه طریق: الف) تاثیر در میزان جذب، ب) تاثیر در میزان انتشار و ج) تاثیر در قابلیت حصول، تحت تاثیر قرار دهد. جذب آلدترین و لیندان به وسیله خاک‌های خشک چندان شدید نبوده و از این نظر با آب رقابتی نخواهند داشت و در نتیجه حشرات را همیشه تحت کنترل خواهند داشت. متیل پاراتیون و فنیتروتیون^۶ با شدت متوسطی توسط خاک‌های خشک جذب می‌شوند و با آب رقابتی متوسط دارند و می‌توانند در ردیف حشره‌کش‌های خوب قرار گیرند. تیونازین، دیازینون و دیکلوفنتیون با شدت بیشتری جذب خاک‌های معدنی خشک می‌شوند، و در شرایط خاک مرطوب از نظر جذب با آب رقابتی نخواهند داشت، لذا سمیت آنها از نظر حشرات بسیار شدید خواهد بود. آزین‌فس-متیل به شدت در سطح ذرات خاک جذب

¹ Heptachlor

² Diazinon

³ Parathion

⁴ Dichlofenthion

⁵ Benzene Hexa Chloride (BHC)

⁶ Fenitrothion

می‌شود و از این طریق با آب در رقابت کامل است، به طوری که حتی در شرایط خاک مرطوب به حالت جذب باقی می‌ماند، از نظر کنترل حشرات کاملاً غیر موثر می‌باشد. زمان پایداری حشره‌کش‌ها در خاک‌هایی که به طور مداوم مرطوب هستند نسبت به خاک‌های خشک کمتر می‌باشد.

۷- پوشش نباتی: خاکهای فاقد پوشش نباتی یا در حال آیش در مقایسه با خاک‌های زیر کشت بیشتر در معرض تابش خورشید، وزش باد و بالاخره ضربات مستقیم باران هستند. با توجه به نقش درجه حرارت، رطوبت و دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در میزان پایداری حشره‌کش‌ها به نظر می‌رسد که اثر سایه افکنی نباتات ممکن است تا حد زیادی در درجه پایداری حشره‌کش‌ها تاثیر گذارد.

۸- شخم: حشره‌کش‌ها با عمل شخم به داخل خاک منتقل می‌شوند ولی آنهایی که از طریق سمپاشی نبات و شستشوی برگ‌ها حاصل از بارندگی به خاک منتقل می‌شود ممکن است برای مدتی طولانی در خاک باقی بماند و هیچگونه تغییری در آنها به وجود نیاید. پایداری حشره‌کش‌ها در خاک تابع کیفیت شخم بوده و با آن تغییر می‌کند.

پس مانده آفت‌کش‌ها می‌توانند اثرات نامطلوب بر روی موجودات زنده ذره‌بینی خاک اعمال نماید. در بین حشره‌کش‌های آلی کلره به نظر می‌رسد BHC (بنزن هگراکلرید) بیشترین تاثیر را بر روی جانداران ریز خاک دارد.

پس مانده آفت‌کش‌ها اثرات سوء بر روی حیوانات خاکزری می‌گذارد. همچنین می‌تواند در زنجیره غذایی وارد شود. پس مانده آفت‌کش‌ها می‌توانند موجب جلوگیری از رشد و نمو نباتی گردد.

BHC در شمار حشره‌کش‌های کلره‌ای است که بیشترین سمیت را برای نبات ایجاد می‌کند و اغلب مقدار متوسطی از پس مانده آن در خاک باعث توقف رشد آن می‌گردد و مهمتر از همه طعم بخش‌های خوراکی نبات را نامطلوب می‌سازد. آزمایشات دیگری نشان داده است که BHC می‌تواند رشد نبات را تحریک کند. DDT در صورتی که به مقدار زیاد مورد استفاده قرار نگرفته باشد نمی‌تواند برای بیشتر نباتات ایجاد مسمومیت کند. آلدترین نسبت به DDT مسمومیت بیشتری برای نباتات به وجود می‌آورد. راه‌های خروج پس مانده آفت‌کش‌ها از خاک، ۱) فرار از خاک (بخار شدن) ۲) آبشویی و آبدویدگی و ۳) توسط تجزیه میکروبی صورت می‌گیرد.

۱۰-۲- نقش کودها معدنی در آلودگی خاک

آلودگی خاک ناشی از به کارگیری کودها از طریق تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بالاخره بیولوژیکی خاک به وجود می‌آید. کودهای معدنی از سه طریق خصوصیات شیمیایی خاک را تحت تاثیر قرار داده و آلودگی آن را باعث می‌شود:

- تغییر غلظت املاح: در خاک عناصر غذایی به صورت املاح محلول در دسترس نبات قرار می‌گیرد، ولی در عین حال مقادیر زیاد املاح محلول رشد و نمو نباتی را متاثر و دچار اختلال می‌سازد و در این شرایط خاک را شور می‌نامند (آلودگی)

- تغییر PH

- ایجاد مسمومیت و کاهش در عناصر جزئی
- جلوگیری و محدود کردن آلودگی ناشی از ترکیبات غیر آلی سمی به دو طریق: الف) عدم یا کاهش کاربرد آنها در خاک و ب) مدیریت صحیح خاک و نبات در جهت ممانعت از گردش بیشتر آنها، صورت می‌گیرد.

۱۰-۳- آلودگی خاک ناشی از فضولات آلی

فضولات آلی می‌تواند در دو مورد، الف) اضافه کردن به خاک‌های زراعی در جهت افزایش حاصلخیزی آنها و ب) تخلیه و دفن آنها در خاکهای غیرزراعی مورد استفاده قرار گیرد.

رشد و نمو نباتی در شرایط به کارگیری توام کودهای شیمیایی و حیوانی به مراتب بیشتر از زمانی است که کودهای شیمیایی به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد. کودهای حیوانی علاوه بر این که خود حاوی مقدار کمی از عناصر غذایی مورد نیاز نباتات است در بهسازی فعالیت‌های میکروبی خاک و جذب بیشتر عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی به وسیله نبات بهتر می‌سازد.

به کارگیری فضولات آلی در کشاورزی می‌تواند، الف) کمک به افزایش تولید نماید و ب) در درازمدت موجب حاصلخیزی خاک گردد، اما ضروری است که کمیت و کیفیت اجزاء متشکله آنها و نقشی که در تغذیه نباتی دارند مورد بررسی و در صورت لزوم تحت کنترل قرار گیرد.

مزایایی که برای به کارگیری زمین به عنوان انبار فضولات آلی می‌توان در نظر گرفت عبارت است از الف) ظرفیت پذیرش زیاد خاک برای موادی که به آن اضافه می‌شود، ب) تجزیه و تخریب بخشی از این مواد به وسیله فعالیت‌های میکروبی خاک و ج) انجام واکنش بین بخش معدنی این مواد و خاک معایب به کارگیری زمین به عنوان انبار فضولات آلی عبارت است از: الف) آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین و دیگر عناصر سمی محتوای آنها، ب) آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی ناشی از آلودگی

سطحی و آبشویی فضولات به ویژه از نوع دارنده نیترات در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب، ج) آلودگی هوا ناشی از پراکندگی ذرات فضولات آلی در شرایط خشک (د) اشاعه بیماری‌های مختلف به وسیله موجودات زنده میکربی فضولات آلی

۱۰-۴- عوامل بیماری‌زا در خاک

مسافتی که باکتری‌های بیماری‌زا در داخل زمین از میان خلل و فرج و پوکی طبقات زمین می‌پیمایند و سپس متوقف می‌شوند حائز اهمیت است. چنانچه آنها در منطقه‌ای که ته‌نشین شده اند متوقف شوند خطر آلودن آبهای زیرزمینی کاهش می‌یابد. در صورتی که مسافت طولانی را همراه آب در خلل و فرج خاک طی کنند خطر آلودن آبهای زیرزمینی پیش بینی می‌شود. در چاههای فاضلاب در اثر تجزیه شدن مواد مختلف توسط باکتری‌های جوانتر، ذرات جامد ریزتر به طور مداوم تولید می‌شود. این باکتری‌ها و ذرات جامد ریز همراه آب به لایه‌های پایین‌تر زمین (خاک) نفوذ کرده و بین لایه‌ها و دانه‌های خاک و شن زمین محبوس می‌گردند. مواد شیمیایی مانند آمونیاک، نیترات و نیتريت که با فاضلاب همراه و به صورت محلول است همراه آب از لایه‌های زمین به آسانی گذشته و با سفره آبهای زیرزمینی می‌رسد.

۱۰-۵- اثرات شوینده‌ها در خاک

شوینده‌ها نفوذپذیری خاک را تغییر می‌دهند. مقدار حرکت شوینده در خاک متغیر بوده و به جنس و ماهیت زمین بستگی دارد. به این ترتیب هنگامی که قابلیت نفوذ خاک تغییر کند و شوینده (پاک‌کننده) افزایش یابد این امکان که سایر آلوده‌کننده‌ها به طبقات و لایه‌های پایین‌تر زمین (حتی تا سطح آبهای زیرزمینی) نفوذ کند وجود دارد. در عمل ثابت شده که در آب چاه‌های تهران حتی در اعماق ۱۵۰ متری، شوینده، نیترات، نیتريت و کلیفرم تایید شده است. وجود شوینده‌ها در خاک نفوذپذیری خاک را افزایش داده و میکروارگانیزم‌ها و حتی مولکول‌هایی که به طور معمول نمی‌توانند از صافی‌های خاک عبور کنند در حضور شوینده‌ها قادر خواهند بود از خلل و فرج لایه‌های متوالی و مختلف خاک عبور نمایند و موجب آلودگی میکربی آب‌هایی شوند که در فاصله زیاد نسبت به سطح زمین قرار دارند.

پیوست ۲: راهنمای نمونه برداری خاک

۱- مقدمه

هدف از این راهنما تشریح روشهای جمع‌آوری نمونه‌های نماینده خاک است. نمونه‌های خاک سطحی را می‌توان برای تحقیق در مورد آلاینده‌هایی که در نزدیکی سطح محیط خاک وجود دارند بکار برد. آلاینده می‌تواند به اعماق خاک گسترش یافته و به آبهای زیرزمینی، آب‌های سطحی، اتمسفر و یا سیستمهای بیولوژیکی مهاجرت نماید.

۲- دامنه کاربرد

در این راهنما اعماق نمونه برداری بر اساس شرایط فیزیکی و زمین شناسی سایت و میزان گسترش آلودگی تعیین می‌گردد. لذا نیاز یا عدم نیاز به دکل حفاری و یا سایر تجهیزات ماشینی، بر اساس شرایط سایت تعیین می‌گردد روش اجرایی که بر اساس این راهنما و توسط واحد عملیاتی تنظیم خواهد شد روند اجرا و ضبط مستندات را مشخص می‌نماید

۳- خلاصه روش

نمونه‌های خاک را می‌توان به روشهای مختلف و با تجهیزات متنوعی با توجه به عمق دلخواه، نوع نمونه (دست‌خورده یا دست‌نخورده) و نوع خاک برداشت نمود. نمونه برداری در اعماق بیشتر با استفاده از بک اوگر دستی، اوگر فلایت، ترایر، قاشق تقسیم و یا در صورت نیاز بیل مکانیکی قابل انجام است.

۴- ظروف، نگهداری، حمل و انبار نمونه‌ها

نگهداری (حفاظت) مواد جامد به روش شیمیایی عموماً توصیه نمی‌شود. به هر حال نمونه باید سریعاً به محیط خنک و دمای 4°C و دور از نور مستقیم خورشید منتقل شود تا واکنشهای احتمالی به حداقل برسد. مقدار نمونه، نوع ظرف مناسب و ملزومات حمل و جابجایی نمونه در راهنما REAC ۲۰۰۳ با عنوان «نگهداری، حفاظت و جابجایی نمونه مورد» بحث قرار گرفته است.

۵- تداخلات و اشکالات بالقوه

دو مشکل اولیه در ارتباط با نمونه برداری خاک وجود دارد: اول، تداخل آلودگی از نمونه‌ای به نمونه دیگر و دوم، نمونه برداری نامناسب. تداخل آلودگی را می‌توان با استفاده از ابزارهای نمونه برداری اختصاصی حذف کرده یا کاهش داد. اگر این امر عملی نبود، نظافت و پاکسازی ابزارهای نمونه برداری الزامی است. رویه‌های نامناسب نمونه برداری ممکن است ماتریس نمونه را بهم بریزد که موجب تبخیر آلودگیها، تراکم نمونه و یا عدم یکنواختی کافی نمونه‌ها شده و در نتایج حاصله خطا ایجاد نماید.

۶- تجهیزات و لوازم

تجهیزات مورد نیاز برای نمونه‌برداری خاک مشتمل بر موارد زیر است که ممکن است برخی مورد استفاده قرار نگیرد:

- نقشه‌های منطقه / نقشه واحد مورد بررسی
- تجهیزات ایمنی همانطور که در سیستم HSE-MS تعیین گردیده است.
- اسباب مرسوم پیمایش و یا سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)
- متر نواری
- میخ و یا پرچم پیمایش
- دوربین و اسباب عکسبرداری
- کیسه‌های پلاستیکی قفل زیپی
- دفترچه یادداشت مشخصات منطقه
- برجسب مشخصات
- فرمهای اطلاعاتی منطقه و نمونه‌ها
- خنک کننده‌ها
- بیلچه، کاردک، ماله و قاشقکهای پلاستیکی و یا استیل
- اوگر مناسب و میله‌های امتداد و دسته
- استوانه نمونه‌گیر لبه نازک، مغره‌گیر، جک‌کشند و ...
- آشکارسازهای FID, PID و نمایشگر ذرات قابل تنفس (RAM)
- بیل مکانیکی
- نمونه‌بردارهای En Core

توجه: اگر نمونه خاک جهت آنالیز ترکیبات نیمه فرار مدنظر باشد، نباید از ابزارهای پلاستیکی استفاده گردد.

۷- روشها

۷-۱- آماده‌سازی

- میزان و شدت نمونه‌برداری، آزمایشهایی که باید انجام شود، روشهای نمونه‌برداری که باید به کار رود و نوع و تعداد تجهیزات و تأمینات لازم برای اجرای مأموریت را معین کنید.
- تجهیزات لازم برای نمونه‌برداری و پایش را فراهم کنید.

- هماهنگی و برنامه‌ریزی لازم با متولیان، مشتری و موسسات قانونی انجام دهید.
- یک برنامه شناسایی مقدماتی از محل قبل از عملیات مطابق با برنامه بهداشت و ایمنی خاص منطقه انجام دهید.
- از میخ چوبی و پرچمها برای شناسایی و علامتگذاری نقاط نمونه‌برداری استفاده کنید. به هنگام انتخاب محل نمونه برداری باید پارامترهای خاص محل مانند طبیعت و شدت آلودگی، مورد توجه قرار گیرد. این محلها ممکن است بدلیل شرایط دسترسی، محدوده‌های ممنوع و یا موانع سطحی اصلاح گردد. تمامی موقعیتهای علامتگذاری شده باید قبلا از هرگونه تاسیسات پاک شده و از نظر ایمنی تایید گردد.
- تجهیزات را مطابق راهنماهای اختصاصی هر موقعیت، پاکسازی و نظافت کنید.

۷-۲- نمونه‌برداری

۷-۲-۱- نمونه‌های خاک سطحی

برداشت نمونه از خاک نزدیک به سطح را می‌توان با استفاده از ابزارهایی مانند بیلچه، کج‌بیل، ماله و کمچه انجام داد. لایه‌های بالاتر برای رسیدن به عمق مورد نیاز برداشته می‌شود و با یک قاشقک ضدزنگ و یا پلاستیکی نمونه را برمی‌داریم. البته برای آنالیز ترکیبات نیمه‌فرار کاربرد ابزارهای پلاستیکی مجاز نیست. این روش را می‌توان برای انواع زیادی از خاک‌ها بکاربرد. ولی تنها به خاک‌های مجاور سطح محدود می‌شود. با این روش نمونه‌های دقیق و نماینده بسته به نظر اعضای تیم نمونه‌بردار قابل جمع‌آوری است. می‌توان با یک ماله تخت بنایی یک بلوک از خاک را بعنوان نمونه دست نخورده جدا نمود. ابزارهایی که با کروم یا سایر مواد روکش داده شده است، نباید بکاربرد. اگر آلودگیهای آلی فرار (VOC) مدنظر باشد، از یک نمایشگر PID برای پایش وضعیت تنفس فرد نمونه بردار هنگام عملیات استفاده کنید. با استفاده از یک بیلچه ضدزنگ، قاشقک پلاستیکی یا ماله، تکه‌چوبها، سنگها، گیاهان و سایر مواد اضافی را از سطح پاک کرده دوربریزید. مقدار کافی از نمونه براساس آزمایشهایی که فرار است انجام شود جمع کرده و در یک ظرف کاسه مانند ضدزنگ، پلاستیکی یا جنس مناسب دیگر بریزید. اگر آزمایش مواد آلی فرار مدنظر است، بلافاصله بخشی از نمونه را با یک قاشق استیل در ظرف نمونه مناسب برچسب‌گذاری شده بریزید و درب آنرا محکم کنید تا مواد فرار خارج نشود. خاک باقیمانده را کاملا مخلوط نمایید تا یک نمونه نماینده از کل نمونه‌برداری بدست آید. سپس نمونه را در یک ظرف برچسب‌گذاری شده قرار داده درب آنرا محکم کنید. اگر قصد نمونه مرکب دارید، قبل از این مرحله سایر نمونه‌ها را نیز به ظرف همگن سازی منتقل و کاملا مخلوط کنید.

۲-۲-۷- نمونه برداری از عمق با اوگرها و استوانه‌های نمونه گیر جدار نازک

این سیستم شامل یک اوگر، سر، چند میله امتداد و یک دسته T شکل است. اوگر برای حفر یک گمانه تا عمق دلخواه بکار رفته و سپس خارج می‌شود. نمونه ممکن است مستقیماً از سر اوگر برداشت شود. اگر مقدار بیشتری نمونه لازم باشد، گمانه‌های بیشتری تا همان عمق حفر می‌شود. همچنین می‌توان سر اوگر را با یک بخشی که شامل یک استوانه نمونه‌گیر است تعویض نمود و آنرا در گمانه تا عمق مورد نظر فروبرد. نمونه را بصورت مغزه از استوانه خارج نمود.

انواع مختلف اوگر وجود دارد که می‌توان به نوع سطلی، استوانه‌ای، پره پیوسته (مارپیچی) و یا پست هول (post-hole) اشاره نمود. نوع سطلی بدلیل امکان برداشت حجم زیاد نمونه از یک عمق مشخص و در زمان کوتاه، برای نمونه‌برداری مستقیم بهتر است. وقتی از اوگرهای پره پیوسته و یا پست-هول استفاده می‌شود نمونه را مستقیماً می‌توان از پره‌ها و یا توده خاک خارج شده اطراف گمانه برداشت. این دو نوع اوگر برای برداشت نمونه مرکب از کل ستون خاک مناسب هستند. اما نمی‌توان از آنها برای برداشت نمونه از عمق معین استفاده نمود.

مراحل زیر برای برداشت نمونه خاک با استفاده از یک اوگر اجرا می‌شود:

- ۱ سر اوگر را به میله‌های امتداد متصل کرده و به دسته T شکل وصل کنید.
- ۲ سطح محل گمانه را از ضایعات پاک کنید. توصیه می‌شود که یک لایه نازک از خاک سطحی را در دایره‌ای به قطر ۳۰ cm اطراف گمانه را برداشته دور بریزید.
- ۳ اوگر زدن را آغاز کرده و به تناوب خاکهای خارج شده اطراف گمانه را جمع کرده و روی یک سطح پلاستیکی پهن شده نزدیک گمانه بریزید تا از سقوط تصادفی خاکهای به سطح آمده در داخل گمانه جلوگیری شود. همچنین پرکردن گمانه را تسهیل کرده و از آلوده شدن احتمالی محیط اطراف جلوگیری می‌کند.
- ۴ پس از رسیدن عمق دلخواه اوگر را به آرامی و با دقت از گمانه خارج کنید. در صورتیکه نمونه از سر اوگر برداشته می‌شود به مرحله ۱۰ بروید.
- ۵ سر اوگر را از میله‌های امتداد جدا کرده و با یک غلاف برنده و استوانه نمونه‌گیر جایگزین کنید.
- ۶ استوانه نمونه گیر را با دقت در گمانه پایین ببرید. به تدریج استوانه را در داخل خاک فشار دهید. دیواره‌های گمانه را تراشید. از چکش‌زدن به میله‌ها خودداری کنید تا ارتعاش حاصل موجب ریزش دیواره نشود.
- ۷ غلاف برنده را خارج کرده از میله‌ها جدا کنید.

۸ استوانه نمونه‌گیر را خارج کنید.

۹ بالای مغزه (حدود یک اینچ) را دور بریزید. زیرا ممکن است شامل خاکهای ریزشی باشد. تمام

و یا بخشی از مواد مورد نظر را به کمک قاشقک استیل در داخل یک ظرف برچسب‌دار مناسب

منتقل کنید و درب ظرف را محکم کنید. در صورت لزوم نمونه را قبلاً مخلوط و همگن کنید.

۱۰ اگر آنالیز VOC مدنظر باشد نمونه را مستقیماً از سر اوگر به کمک قاشقک استیل در داخل یک

ظرف برچسب‌دار مناسب منتقل کنید و درب ظرف را محکم کنید.

۱۱ اگر نمونه دیگری در عمق بیشتر همان‌گمانه باید برداشت شود، سر اوگر را متصل کرده و مراحل

۳ تا ۱۱ را تکرار کنید. البته بین هر دو نمونه سر اوگر کاملاً از آلودگی پاک شود.

۱۲ گمانه را با توجه به قوانین موجود ترمیم و یا رها کنید.

۷-۲-۳- نمونه‌برداری در عمق با یک ترایر (Traier)

مراحل زیر برای برداشت نمونه خاک با استفاده از ترایر اجرا می‌شود:

۱. ترایر را با زاویه ۴۵ درجه از سطح در ماده‌ای که قرار است نمونه‌برداری شود فرو برید. در این

زاویه ریزش نمونه کمتر است.

۲. ترایر را یک یا دو بار بچرخانید تا یک مغزه از ماده جدا شود.

۳. در حالیکه شکاف ترایر بالا است ترایر را به آرامی عقب بکشید.

۴. اگر آنالیز VOC مورد نظر باشد نمونه را به کمک قاشقک استیل مستقیماً به یک ظرف

برچسب‌دار مناسب منتقل کنید و درب ظرف را محکم کنید. باقیمانده نمونه را در یک ظرف

استیل یا پلاستیکی یا جنس مشابه دیگر ریخته و بخوبی مخلوط کنید. اگر قرار است نمونه

مرکب اخذ شود از سایر محلها نیز نمونه را به ظرف منتقل و همگن کنید سپس نمونه را به

ظرف برچسب‌دار منتقل و درب آنرا محکم کنید.

۷-۲-۴- نمونه‌برداری از عمق به وسیله استوانه دوتکه

این نمونه‌گیر بصورت دو نیم استوانه است که با بست بهم متصل شده و تشکیل یک لوله می‌دهد

که پس از نمونه‌برداری مجدداً جدا شده و پروفیل خاک خارج شده و پروفیل خاک خارج می‌شود. از

این وسیله عموماً برای اخذ مغزه‌های دست‌نخورده خاک به طولهای ۴۵ تا ۶۰ سانتیمتر استفاده می‌شود.

این نمونه‌گیر با قطرهای ۵ و ۷/۵ و ۸ سانتیمتر وجود دارد. می‌توان با برداشت چندین مغزه متوالی

در عمق، پروفیل کاملی از خاک را بدست آورد و یا این که ابتدا برای رسیدن به عمق مورد نظر از اوگر

دستی یا ماشینی استفاده کرد و سپس استوانه دو تکه را در انتهای گمانه وارد نموده و مغزه‌گیری کرد.

استاندارد ASTM D ۱۵۸۶ برای نمونه برداری‌های زمین‌شناسی با استفاده از نمونه‌گیر استوانه دو تکه تدوین شده است.

برای برداشت نمونه خاک با استفاده از این اسباب مراحل زیر اجرا می‌شود:

۱. نیمه استوانه‌ها را به موازات هم قرار داده و قطعه پاشنه را در پایین و قطعه سر را در بالای آن محکم کنید.
۲. نمونه‌گیر را با زاویه ۹۰ درجه (عمود بر سطح) قرار دهید.
۳. به کمک جک و یا عامل دیگر نمونه‌گیر را حداکثر تا پایین قطعه سر در خاک فرو ببرید تا باعث تراکم خاک نگردد.
۴. در دفترچه یادداشت اطلاعات مربوط به طول استوانه و تعداد ضربه بکار رفته را یادداشت کنید.
۵. نمونه‌گیر را بیرون کشیده و با بازکردن پیچهای پاشنه و سر، استوانه را باز کنید. مقدار نمونه و نوع خاک باید در برگه اطلاعات گمانه ثبت گردد. اگر نمونه نصف شده نیاز باشد، با یک چاقوی استیل و پاک نمونه را در طول آن دو قسمت کنید.
۶. بدون دست‌خوردگی مغزه، آنرا به ظرف مخصوص برچسب گذاری شده منتقل و بخوبی محبوس کنید. در صورت نیاز می‌توان باقیمانده نمونه و یا نمونه‌های چند محل را (برای نمونه مرکب) در یک ظرف مناسب مخلوط و همگن کرده و به ظرف برچسب‌دار منتقل نمود. محل گمانه را مطابق قوانین موجود، پر و یا ترک کنید.

۷-۲-۵- گودال نمونه / حفاری ترانشه

بهنگام نیاز به بررسی دقیق لایه‌ها و خصوصیات خاک، می‌توان با یک بیل مکانیکی مقطعی از خاک را برداشت. برای نمونه از چنین ترانشه و یا گودال نمونه، مراحل زیر طی می‌شود:

۱. قبل از هر گونه عملیات حفاری با بیل مکانیکی ضروری است تا تمامی محل‌های مورد نظر از نظر عدم وجود تاسیسات سطحی و دفن شده مورد بررسی قرار گیرد.
۲. برنامه ایمنی و سلامت مخصوص محل را بررسی کرده و از نصب و اجرای تمامی تجهیزات کنترلی مناسب اطمینان حاصل کنید.
۳. به کمک بیل مکانیکی یک ترانشه به عرض تقریبی ۹۰ cm و عمق ۳۰ cm پایین‌تر از عمق مورد نظر حفر کنید. خاکهای خارج شده را روی لایه‌های پلاستیکی بریزید. ترانشه‌های با عمق بیش از ۱/۵ متر باید شیب‌دار شده و مطابق با مقررات ذیربط مهار گردد.
۴. با یک بیل ۲ تا ۵ سانتیمتر خاک روی سطح عمودی گودال در محل نمونه برداری را بردارید.

۵. نمونه‌ها به کمک یک بیلچه، کج بیل و یا هر ابزار مناسب دیگر در فواصل مورد نظر برداشته می‌شود. حتماً سطح محل نمونه برداری را مقداری بخرائید تا خاکهایی که احتمالاً از محل‌های دیگر چسبیده جدا شده و به خاک تازه برای نمونه برداری دست پیدا کنید. در بسیاری از موارد می‌توان از خاکهای داخل باکت بیل مکانیکی نمونه برداشت.

۶. اگر آنالیز VOC مدنظر باشد نمونه را با یک قابلقک استیل مستقیماً به یک ظرف برچسب‌دار مناسب منتقل کنید و درب ظرف را محکم کنید. باقیمانده نمونه را در یک ظرف استیل یا پلاستیکی با جنس مشابه دیگر ریخته و بخوبی مخلوط کنید. اگر فرار است نمونه مرکب اخذ شود از سایر محلها نیز نمونه را به ظرف منتقل و همگن کنید. سپس نمونه را به ظرف برچسب‌دار منتقل و درب آنرا محکم کنید.

۷. گودال حفر شده را مطابق مقررات محلی اصلاح نمایید.

۷-۲-۶- نمونه برداری خاک برای VOC با نمونه‌گیر En core

نمونه‌گیر En core وسیله‌ای یکبار مصرف است که برای برداشت و انتقال نمونه خاک به آزمایشگاه بکار می‌رود. این وسیله از نوعی پلیمر مرکب بی‌اثر ساخته شده که نمونه اخذ شده با آن اصلاً در معرض هوا قرار نمی‌گیرد. بنابراین از دست دادن VOC در آن به حداقل می‌رسد. برای استفاده از آن به این روش عمل کنید:

- بخش مغزه‌گیر، میله و دسته T شکل را مطابق روش سازنده سرهم کنید.
- ابزار را در خاک فرو کنید تا بخش مغزه‌گیر کاملاً پر شود. نمونه‌گیر را از خاک بیرون آورده و خاک اضافه انتهای مغزه‌گیر را بترائید.
- درب بخش مغزه‌گیر را در حالی که هنوز به دسته T شکل متصل است بگذارید. درب را روی سطح صاف برآمدگی فشار دهید تا بخوبی کیپ شده و نمونه کاملاً محبوس شود.
- دسته T شکل را با چرخش و فشار لازم از بخش مغزه‌گیر جدا کنید.
- برچسب را به درب متصل کرده و بخش مغزه‌گیر را در کیسه پلاستیکی زیپ‌دار محبوس کرده و در یخ قرار دهید.
- معمولاً سه نمونه‌گیر En core برای هر محل نمونه برداری مورد نیاز است. این نمونه‌گیرها به آزمایشگاه منتقل شده و در آنجا نمونه خاک با متانول و یا سدیم بیوسولفات محافظت می‌شود.

۸- تضمین کیفیت / کنترل کیفیت

برای اجرای این راهنماها، اقدامات تضمین کیفیت خاصی صورت نمی‌پذیرد. بهر حال ملاحظات عمومی زیر بکار می‌رود:

۱. تمامی اطلاعات باید در دفترچه یادداشت یا برگه‌های اطلاعاتی منطقه ثبت گردد. حداقل اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- نام نمونه‌بردار و وابستگی او به پروژه
- شرح نمونه
- شماره نمونه
- زمان و تاریخ نمونه‌برداری
- موقعیت نمونه
- شرایط جوی هنگام نمونه‌برداری
- عمق نمونه
- روش برداشت نمونه
- حجم تقریبی نمونه برداشت شده
- کروکی محل نمونه
- نوع آزمایش‌های مورد نیاز

۲. تمامی ابزارها و تجهیزات باید مطابق راهنماهای اجرایی استاندارد و یا آموزشهای سازنده بکار گرفته شود. چکاپ و کالیبراسیون دستگاه‌ها باید قبل از نمونه‌برداری اجرا شده و مستند گردد.

۳. نوع نمونه‌های کنترل کیفی مورد نیاز که باید در محل برداشت شود، در برنامه کاری مخصوص منطقه ثبت گردد.

۹- ایمنی و سلامت

هنگام کار با مواد یا محیطهای خطرناک، راهنما ایمنی و سلامت ملی و بین‌المللی (OSHA, USEPA) علاوه بر برنامه ایمنی و سلامت خاص منطقه (HASP) رعایت گردد.

۱۰- مرجع

U.S.EPA Environmental Response Team, Standard Operating Procedures, SOP:

#2012 ,Soil Sampling, Date: 2001.07.11 , 2003 Revise

پیوست ۳: راهنمای آماده‌سازی اولیه خاک جهت آزمایش‌های فیزیکی-شیمیایی

۱- هدف

این راهنما به بیان مراحل آماده‌سازی نمونه‌های خاک که قرار است مورد آنالیزهای فیزیکی-شیمیایی واقع شود می‌پردازد. در این راهنما به مراحل خشک کردن، خردکردن کلوخه‌ها، حذف ذرات درشت و کوچک کردن نمونه اشاره می‌شود.

۲- دامنه کاربرد

این راهنما برای آزمون‌هایی که در آنها روش آماده‌سازی متفاوتی دستور داده شده و یا روش‌های آماده‌سازی این راهنما بر روی نتیجه آزمایش تاثیر نامطلوب دارد بکار نمی‌رود.

توجه ۱: باید دانست هر نوع آماده‌سازی موجب تغییراتی در برخی پارامترهای خاک خواهد شد.

توجه ۲: نگهداری نمونه برای زمان‌های طولانی نیز موجب تغییر برخی پارامترها خصوصاً قابلیت انحلال مواد معدنی و آلی می‌گردد.

توجه ۳: در مورد نمونه‌های آلوده باید ملاحظات ویژه‌ای را در خصوص عدم تماس با دست، تامین شرایط تهویه مناسب و ... اجرا نمود.

توجه ۴: در این راهنما فرض می‌شود لااقل ۵۰۰ گرم خاک اولیه وجود دارد.

۳- تجهیزات

- آون با قابلیت نگهداری دما در محدوده 20 ± 40 درجه سانتیگراد (اختیاری)
- فریزدرایر (اختیاری)
- خردکن، هاون و دسته یا چکش چوبی
- الک استاندارد با اندازه سوراخ ۲ میلیمتر
- تقسیم کننده نمونه (اختیاری)
- ترازو با دقت ۰/۱ گرم

۴- آماده‌سازی نمونه

مطابق این راهنما نمونه خشک شده و به اندازه و وزن کافی جهت آنالیز تقسیم می‌شود.

توجه ۱: پیشنهاد می‌شود که آماده‌سازی نمونه در اتاق جداگانه‌ای انجام شود.

توجه ۲: در صورتی که نمونه دارای اجزاء غبار مانند است، باید مراقب از دست رفتن نمونه به دلیل پراکنده شدن در هوا بود.

- به هنگام ورود نمونه، مشخصات عمومی و در صورت وجود وضعیت خاص، توصیف آنرا یادداشت نمایید.
- خشک کردن نمونه: نمونه را در لایه‌های نازکتر از ۱۵ میلیمتر روی سطح عاری از آلودگی پهن کنید. کلوخه‌های درشت را با دست یا چکش چوبی یا هاون متلاشی کنید تا سریعتر خشک شده و پس از خشک شدن راحت‌تر خرد شود. نمونه را از نور مستقیم خورشید حفظ کنید. این وضعیت را تا موقعی که اختلاف وزن ناشی از تبخیر رطوبت در مدت ۲۴ ساعت کمتر از ۰/۰۵ باشد ادامه دهید. معمولاً ۴۸ ساعت زمان مناسبی است.
- توجه: برای تسریع در عملیات خشک شدن، می‌توان نمونه پهن شده را در آون ۴۰ درجه سانتیگراد قرار داد. همچنین می‌توان در مواردی که روش آنالیز اعلام می‌کند، از دستگاه فریزدرایر ۱ مطابق راهنما سازنده برای خشک کردن نمونه استفاده نمود. در این روش برای خاکهای ماسه‌ای ۲۴ ساعت، خاک‌های رسی ۴۸ ساعت و نمونه‌های با مواد آلی زیاد ۷۲ تا ۹۶ ساعت زمان لازم است.
- خرد کردن و حذف ذرات درشت: خرد کردن کلوخه‌های خاک تا رسیدن به ذرات مجزا ضروری است. همچنین ذرات درشت‌تر از ۲ میلیمتر مانند سنگها، قطعات شیشه، ریشه گیاهان و... را با دست یا الک جدا کنید.
- الک کردن: خاک حاصل را بر روی الک ۲ میلیمتر ریخته الک کنید کلوخه‌های مانده روی الک را مجدداً خرد و الک کنید. ذرات ریز چسبیده به سنگها را حتی المقدور جدا کنید.
- تعیین نسبت ذرات درشت‌تر از ۲ میلیمتر: برای این کار وزن نمونه خشک شده را قبل از مرحله (۳-۴) و وزن کلیه ذرات درشت‌تر ۲ میلیمتر را پس از الک کردن بدست آورده و این نسبت را محاسبه کرده بصورت درصد بیان کنید.
- کوچک کردن نمونه: در صورتی که حجم اولیه از مقدار مورد نیاز بیشتر است این کار انجام می‌شود. بدین منظور نمونه را روی سطح صاف پهن و به چهار قسمت مساوی تقسیم کنید (روش چهاربخش کردن ۲). دو بخش قطری را انتخاب و مخلوط کرده مابقی را کنار بگذارید. این کار را ادامه دهید تا به حجم مورد نظر برسید. همچنین می‌توان از ابزار تقسیم نمونه ۳ و دستگاه تقسیم نمونه ۴ استفاده نمود.

- 1 Freeze-drier
- 2 Quartering
- 3 Mechanical Sample Divider
- 4 Mechanical Sub sampler

- آسیاب کردن نمونه: زمانی که وزن نمونه کمتر از ۲ گرم باشد باید خاک خرد و آسیاب شده و از الک ۲۵۰ میکرومتر عبور داده شود. این کار بر روی ۲ گرم خاک خشک شده و ریزتر از ۲ میلیمتر بوسیله یک آسیاب انجام می شود. باید تدابیر جلوگیری از انتقال آلودگی از نمونه‌ای به نمونه دیگر را لحاظ نمود.

۵- گزارش

موارد زیر در گزارش ذکر شود:

- ارجاع به استاندارد بین‌المللی
- مشخصات کامل نمونه و وجود سنگها، قطعات شیشه، بو، رنگ و
- روش و دستگاههای بکاررفته و دمای خشک کردن
- هرگونه شرایط و یا اقدامات خاصی که خارج از این استاندارد اعمال شده و یا بر نتیجه تاثیر دارد.

۶- مرجع

-ISO 11464: 1994(E), Soil quality-pretreatment of Samples for physico- chemical analysis

پیوست ۴: راهنمای آزمایش تعیین PH خاک

۱- هدف

اندازه‌گیری pH در عصاره تهیه شده از نمونه‌های خاک توسط دستگاه pH متر با الکتروود شیشه‌ای در سوسپانسیون خاک به نسبت حجمی (۱ به ۵ از خاک با یکی از موارد زیر:

- آب مقطر (pH in H₂O)
- محلول کلرید پتاسیم مولار (pH in KCl)
- محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (pH in CaCl₂)

۲- دامنه کاربرد

این راهنما برای کلیه نمونه‌های خاک هواخشک کاربرد دارد
توجه: براساس راهنماهای استاندارد مختلف، pH خاک در عصاره‌های مختلفی از خاک قابل اندازه‌گیری است. برای مثال استانداردهای مختلفی جهت تعیین pH خاک در گل اشباع شده، عصاره اشباع، عصاره ۱ به ۲/۵ آب مقطر و ... وجود دارد. انتخاب نوع روش بسیار اهمیت داشته و براساس اندازه‌گیری‌های قبلی و یا فضاوت مهندسی صحیح انجام می‌گیرد. بعنوان مثال پیشنهاد می‌شود برای خاک‌هایی که در معرض حجم بالای آب قرار دارند از روش حاضر و برای خاک‌هایی که بحالت اشباع با آب قرار دارند از روش عصاره اشباع و یا گل اشباع استفاده شود.

۳- تجهیزات

- شیکر
- pH متر با قابلیت تنظیم شیب و کنترل دما
- الکتروود شیشه‌ای و الکتروود مرجع با قابلیت تعیین pH از صفر تا ۱۴
- توجه: خطر آلودگی یا شکستن الکتروود در محیط خاک افزایش می‌یابد.
- دماسنج یا الکتروود دما با دقت ۱ درجه سانتیگراد
- توجه: در الکتروودهای جدید تعیین pH معمولاً پروب دما نیز تعبیه شده است.
- ظرف نمونه با حجم حداقل ۵۰ ml از جنس شیشه بروسلیکاتی یا پلی اتیلن با درب کاملاً محکم
- قاشقک حجمی با حجم معین حداقل ۵ ml

۴- مواد مصرفی

- از یکی از محلولهای ۱-۴ تا ۳-۴ برای تعیین pH در نمونه خاک استفاده کنید:
- آب مقطر با هدایت الکتریکی کمتر از ۰/۲ mS/m در ۲۵ درجه سانتیگراد و pH بالاتر از ۵/۶
 - محلول کلراید پتاسیم مولار: ۷۴/۵ گرم از پتاسیم کلراید را در آب مقطر (۱-۴) حل کرده حجم یک لیتر برسانید.
 - محلول کلسیم کلراید ۰/۰۱ مولار: ۱/۴۷ گرم کلسیم کلراید دو آبه را در آب مقطر (۱-۴) حل کرده به حجم یک لیتر برسانید.
 - محلولهای بافر کالیبراسیون pH متر: بهتر است با توجه به راهنما سازنده از محلولهای تجاری آماده استفاده نمایید.

۵- آماده سازی نمونه

جهت این آزمایش خاک هواخشک یا خاکی که حداکثر در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شده، از الک ۲ mm عبور داده شده و از ذرات ریزتر از ۲ میلیمتر استفاده می شود. برای مثال می توان از خاک آماده شده به روش راهنما آماده سازی نمونه استفاده نمود.

۶- تشریح انجام آزمون

- حجم مناسبی از خاک آماده شده را با استفاده از قاشقک حجمی بردارید (حداقل ۵ میلی لیتر).
 - نمونه را در ظرف نمونه ریخته و ۵ برابر حجم آن از آب مقطر یا محلولهای ۲-۴ یا ۳-۴ به ظرف اضافه کنید و درب ظرف را محکم ببندید.
 - بمدت 10 ± 60 دقیقه ظرف را روی شیکر تکان دهید. سپس حداقل یک و حداکثر سه ساعت آنرا به حالت خود رها کنید.
 - pH متر را روشن کرده پس از ۱۰ دقیقه مطابق راهنما سازنده کالیبره کنید. پس از هر مرحله الکتروود را با آب مقطر شسته و خشک کنید.
 - ظرف نمونه را در دمای 20 ± 2 درجه سانتیگراد خوب هم زده و الکتروود را در سوسپانسیون همگن شده وارد کنید. پس از رسیدن به تعادل، عدد را تا دو رقم اعشار یادداشت کنید.
- توجه ۱: تعادل را می توان موقعی در نظر گرفت که پس از گذشت ۵ ثانیه تغییر عدد pH کمتر از ۰/۰۲ باشد. معمولاً تعادل در کمتر از یک دقیقه برقرار می شود اما این زمان به عوامل زیر بستگی دارد:
- مقدار pH (تعادل در مقادیر بالا دیرتر حاصل می شود)
 - کیفیت الکتروود شیشه ای ناشی از سازنده یا عمر الکتروود

• محیط اندازه‌گیری (تعادل در محیط KCl یا CaCl₂ زودتر از آب حاصل می‌شود).

• تفاوت در pH نمونه‌هایی که پشت سر هم تست می‌شود.
• هم زدن مکانیکی قبل از اندازه یا حین آن، به رسیدن به تعادل در زمان کوتاه‌تر کمک می‌کند.

توجه ۲: در خاکهای با مواد آلی زیاد مانند پیت و خاکهای آهکی (بدلیل امکان جذب کربن دی‌اکسید) رسیدن به تعادل مشکل می‌شود.

۷- تکرار پذیری

تکرار پذیری که بصورت اختلاف قرائت دو نمونه که جداگانه آماده شده اند تعریف می‌شود، باید شرایط جدول زیر را ارضا کند:

تفاوت قرائت	محدوده pH
۰/۱۵	$pH \leq 7/00$
۰/۲۰	$7/00 < pH < 7/50$
۰/۳۰	$7/50 < pH < 8/00$
۰/۴۰	$pH > 8/00$

۸- گزارش

موارد زیر در گزارش ذکر شود:

- ارجاع به استاندارد بین‌المللی
- مشخصات کامل نمونه
- محیطی که برای ساخت سوسپانسیون بکار رفته است؛ PH در آب مقطر یا pH در KCl و یا pH در CaCl₂
- نتیجه pH با یک رقم اعشار
- هرگونه مشکل و وضعیت خاص در رسیدن به تعادل

۹- مرجع

پیوست ۵: راهنمای آزمایش تعیین هدایت الکتریکی ویژه (EC) خاک

۱- هدف

اندازه گیری EC در عصاره آبی تهیه شده از نمونه های خاک به نسبت ۱ به ۵ (جرم به حجم) از خاک با آب مقطر توسط دستگاه EC متر، برای بدست آوردن شاخصی از میزان الکترولیت های قابل حل خاک در آب

۲- دامنه کاربرد

این راهنما برای کلیه نمونه های خاک هواخشک کاربرد دارد.

۳- تعریف هدایت الکتریکی

خاصیتی از خاک برحسب میلی زیمنس بر متر (یا میکروزیمنس بر سانتیمتر) است که بیانگر میزان عبور جریان الکتریکی از عصاره آبی خاکی بوده و با مقدار نمک حل شده در آب رابطه مستقیم دارد.

۴- تجهیزات

- EC متر مجهز به کنترل ثابت سل و با قابلیت اصلاح اتوماتیک دما و دقت 1 mS/m در 20 درجه سانتیگراد
- شیکر مکانیکی با حرکت افقی شدید (تا 180 دور در دقیقه و جابجایی 5 سانتیمتر مناسب است) و در مکانی با شرایط دمایی 20 ± 1 درجه سانتیگراد
- دماسنج یا الکتروود دما با دقت 0.1 درجه سانتیگراد
- توجه: در الکتروودهای جدید تعیین EC معمولاً پروب دما نیز تعبیه شده است.
- ظرف نمونه با حجم 250 میلی لیتر از جنس بروسلیکاتی یا پلی اتیلن
- کاغذ فیلتر با خواص مقاومتی بالا و عدم باقی گذاشتن الیاف در نمونه
- ترازو با دقت 0.01 گرم

۵- مواد مصرفی

- آب مقطر با هدایت الکتریکی کمتر از 0.2 mS/m (معادل 2 uS/cm) در 25 درجه سانتیگراد
- محلولهای کالیبراسیون EC متر و تعیین ثابت سل دستگاه با توجه به راهنما سازنده

۶- آماده سازی نمونه

برای این آزمایش از بخش ریزتر از ۲ میلیمتر خاک که مطابق راهنما آماده سازی اولیه نمونه هواخشک تهیه شده است استفاده می شود.

۷- تشریح انجام آزمون

- ۲۰ گرم از نمونه خاک آماده شده را توزین کرده به ظرف ۴-۴ منتقل کنید
- ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به ظرف افزوده و درب آنرا بسته روی شیکر قرار دهید. دمای نمونه 20 ± 1 درجه سانتیگراد باشد.
- بمدت ۳۰ دقیقه نمونه را روی شیکر تکان دهید. سرعت تکان دادن در حدی باشد که اختلاط کاملی صورت گیرد سرعت بیش از حد موجب پراکندگی ذرات رس و سختی فیلتراسیون می شود. سپس سوسپانسیون را مستقیماً از کاغذ فیلتر عبور دهید.
- توجه: دمای نمونه در زمان عصاره گیری و صاف نمودن در محدوده 20 ± 1 درجه سانتیگراد حفظ می شود. زیرا حلالیت نمکها به دما بستگی دارد. پس از صاف شدن تغییر دما بلامانع بوده و قرائت برای دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اصلاح می شود.
- همزمان کار را بر روی یک نمونه شاهد انجام دهید. اگر هدایت الکتریکی آن بیش از 1 mS/m است استخراج را تکرار کنید.
- EC متر را روشن کرده پس از ۱۰ دقیقه مطابق دستور العمل سازنده آنرا کالیبره و ثابت سل را کنترل کنید. حداکثر اختلاف قابل قبول ثابت سل محاسبه شده، از مقدار داده شده از سوی سازنده ۵٪ است پس از هر مرحله الکتروود را با آب مقطر شسته و خشک کنید.
- توجه: برخی دستگاههای جدید دارای قابلیت کنترل اتوماتیک ثابت سل پس از کالیبراسیون می باشند، به نحوی که اگر خارج از محدوده قابل قبول باشد، پیغام خطا داده می شود.
- EC متر را مطابق با دمای اصلاح شده ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم کنید. الکتروود را در عصاره صاف شده وارد کرده و قرائت را تا یک رقم اعشار بر حسب میلی زیمنس بر متر (mS/m) ثبت کنید.
- توجه آلودگی الکتروود و حبابهای هوای چسبیده به الکتروود از عوامل ایجاد نداخل در تعیین EC هستند. همچنین دی اکسید کربن و آمونیاک هوا نیز در مقادیر $EC < 1 \text{ mS/m}$ می تواند ایجاد نداخل نماید.

۷- تکرارپذیری

تکرار پذیری که بصورت اختلاف قرائت دو نمونه که جداگانه آماده شده‌اند تعریف می‌شود، باید شرایط زیر را ارضا کند:

جدول ۱: تکرارپذیری قابل قبول در اندازه‌گیری EC

مقدار EC (mS/m)	مقدار اختلاف (mS/m)
$0 < EC \leq 50$	5 mS/m
$50 < EC \leq 200$	20 mS/m
$EC > 200$	250

۸- گزارش

موارد زیر در گزارش ذکر شود:

- ارجاع به استاندارد بین‌المللی
- مشخصات کامل نمونه
- مقدار EC بر حسب mS/m به صورت عدد کامل
- هر گونه شرایط و یا اقدامات خاصی که خارج از این استاندارد اعمال شده و یا بر نتیجه تأثیر دارد.

۹- مرجع

-ISO 11265: 1994 (E), Soil quality- Determination of the specificall electrical conductivity

پیوست ۶: راهنمای تعیین میزان ماده خشک و رطوبت خاک بر اساس جرم

۱- هدف

اندازه‌گیری میزان ماده خشک و درصد رطوبت خاک بر اساس جرم. این راهنما برای تمامی انواع نمونه‌های خاک کاربرد دارد. برای نمونه‌های هوا خشک و یا نمونه‌های با شرایط اولیه (در محل) روشهای متفاوتی عنوان شده است.

۲- دامنه کاربرد

این راهنما برای تعیین میزان ماده خشک و رطوبت خاک بر اساس جرم، در کلیه نمونه‌های خاک کاربرد دارد.

۳- تعاریف و اصطلاحات

- **میزان ماده خشک بر اساس جرم (W_{dm}):** نسبت وزنی خاک پس از خشک شدن به خاک اولیه بر حسب درصد
- **میزان رطوبت بر اساس جرم (W_{H_2O}):** جرم آب تبخیر شده از خاک تا رسیدن به جرم ثابت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد تقسیم بر جرم خاک خشک شده ضربدر ۱۰۰
- **جرم ثابت:** زمانی است که اختلاف جرمی نمونه در دو توزین به فاصله ۴ ساعت در عملیات خشک شدن در آن، کمتر از ۰/۱٪ (جرم به جرم) باشد.
- **توجه:** معمولاً زمان ۱۶ تا ۲۴ ساعت برای خشک شدن اغلب خاکها کافی است. برخی از خاکها و نمونه‌های بزرگ به زمان بیشتری نیاز دارند.

۴- تجهیزات

- آون با قابلیت نگهداری دما در محدوده 105 ± 5 درجه سانتیگراد و گردش مناسب هوا
- دسیکاتور با ماده جاذب فعال
- ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم
- ظرف دریدار با حجم ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌لیتر برای نمونه‌های هوا خشک و لااقل ۱۰۰ میلی‌لیتر برای نمونه‌های با شرایط اولیه (در محل)، از جنس غیرجاذب رطوبت و مقاوم در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد
- قاشقک

۵- آماده‌سازی نمونه

در صورت آلودگی نمونه‌های خاک، لازم است ملاحظات ایمنی جهت تهویه و خروج گازهای حاصل از حرارت دادن خاک در نظر گرفته شده و از تماس مستقیم دست با نمونه خودداری شود. همچنین از انتقال آلودگی به سایر نمونه‌ها جلوگیری شود.

در این آزمایش می‌توان از نمونه خاک هواخشک شده و یا نمونه خاک با شرایط اولیه برای تعیین درصد رطوبت استفاده نمود. کلیه مراحل این آزمایش، لازم است هرچه سریعتر اجرا گردد تا از تبخیر یا جذب رطوبت جلوگیری شود.

- آماده‌سازی نمونه هوا خشک: برای مثال می‌توان از خاک آماده شده مطابق راهنما آماده‌سازی اولیه نمونه استفاده نمود.

- آماده‌سازی نمونه با شرایط اولیه: خاک را بر روی سطح غیر جاذب رطوبت ریخته و بخوبی مخلوط کنید. بخش مناسبی از خاک را انتخاب کرده و سنگها، شاخه‌های کوچک و سایر اجزا بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر را جدا کنید.

توجه: اگر آزمایشی مانند آزمایش ریز آلاینده‌های آلی مدنظر باشد که در آن نباید سنگها و شاخه‌ها و غیره حذف شود، جهت تعیین میزان رطوبت از این راهنما بدون حذف سنگها و شاخه‌ها و غیره استفاده می‌شود.

۶- تشریح انجام آزمون

- ظرف دریدار را همراه درب در آون با دمای 105 ± 5 درجه سانتیگراد خشک و خنک کرده و آنرا همراه درب بسته با دقت 0.01 گرم توزین نمایید (m_0)
- با استفاده از قاشقک حدود ۱۰ تا ۱۵ گرم خاک هواخشک یا ۳۰ تا ۴۰ گرم خاک با شرایط اولیه (بخش ۵-۲) را در ظرف ریخته پس از بستن درب آنرا با دقت 0.01 گرم توزین نمایید (m_1)
- درب ظرف را برداشته و آنرا همراه ظرف در آون با دمای 105 ± 5 درجه سانتیگراد قرار دهید تا به وزن ثابت برسد.

توجه ۱: باید مراقب بود که ذرات بسیار سبک بدلیل جریان هوا یا باد از دست نرود.

توجه ۲: از تجزیه مواد آلی به هنگام خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد می‌توان صرفنظر نمود. اما در مورد خاکهای با مواد آلی زیاد (بیش از ۱۰٪ جرمی) بهتر است نمونه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد خشک شود. استفاده از خلا سرعت این عملیات را بیشتر می‌کند.

توجه ۳: برخی مواد معدنی مانند گچ، آب تبلور خود را در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد از دست می‌دهد.

توجه ۴: اگر مواد فرار در نمونه حضور داشته باشد، این راهنما نتیجه قابل اعتمادی نخواهد داشت.

• درب ظرف را گذاشته آنرا ۴۵ دقیقه در دسیکاتور خنک و سپس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین نمایید (m₂).

۷- محاسبه

میزان ماده خشک (W_{dm}) و میزان رطوبت (W_{H2o}) براساس خاک خشک شده در آون از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه گردد:

$$w_{dm} = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$w_{H2o} = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_0) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه‌های فوق داریم:

M₀ جرم ظرف خالی و درب بر حسب گرم

m₁ جرم ظرف یا درب همراه خاک یا با رطوبت اولیه بر حسب گرم

m₂ جرم ظرف یا درب همراه خاک خشک شده در آون بر حسب گرم

توجه ۱: میزان رطوبت خاک بر اساس خاک خشک شده در آون ممکن است بیش از ۱۰۰٪ بدست آید.

توجه ۲: در صورتی که مقدار (X) گرم از خاک هواخشک یا با رطوبت اولیه داشته باشیم، جرم خاک خشک شده در آون معادل آن از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$y = x * 100 / (100 + w_{H2o}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

۸- گزارش:

موارد زیر در گزارش ذکر شود:

- ارجاع به استاندارد بین‌المللی
- مشخصات کامل نمونه
- میزان رطوبت یا ماده خشک با دقت ۰/۰۱ (جرم اولیه)
- شرایط خاص در نمونه (مانند وجود گچ و یا سنگ و شاخه در نمونه با شرایط محل)

۹- مرجع

ISO 11465: 1993 (E) – Soil quality- Determination of dry matter and water content on a mass basis- Gravimetric method

پیوست ۷: راهنمای آزمایش تعیین میزان مواد آلی خاک به روش افت حرارتی

۱- هدف

اندازه‌گیری درصد مواد آلی در انواع خاک‌های آلی به وسیله تعیین اختلاف وزن خاک ناشی از قرار گرفتن در کوره (روش افت حرارتی)

توجه ۱: برای تعیین میزان ماده آلی در خاک از روش‌های شیمیایی نیز می‌توان استفاده نمود.

توجه ۲: بدلیل تبخیر شدن و سوختن مواد آلی خاک در این روش، لازم است ملاحظات ایمنی جهت تهویه و خروج گازهای حاصل از حرارت دادن خاک در نظر گرفته شود.

۲- دامنه کاربرد

این راهنما برای کلیه نمونه‌های خاک کاربرد دارد.

توجه: در تدوین این راهنما، متد C عنوان شده در مابند مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- تجهیزات

- آون با قابلیت نگهداری دما در محدوده 105 ± 5 درجه سانتیگراد و گردش مناسب هوا
- کوره الکتریکی با قابلیت تامین دما تا ۴۴۰ درجه سانتیگراد
- ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم
- بونه چینی با حجم حداقل ۱۰۰ میلی‌لیتر
- دسکاتور

۴- آماده‌سازی نمونه

در این راهنما تنها بخش C استاندارد مرجع مورد نظر است که در آن لازم است ابتدا کلیه رطوبت همراه نمونه در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد تبخیر شود. لذا می‌توان از نمونه باقیمانده در آزمایش تعیین درصد رطوبت (مطابق روش استاندارد)، برای اجرای این آزمون استفاده نمود. در غیر این صورت نمونه خاک را بر روی سطحی که جاذب آب نباشد، مانند ورقه لاستیکی یا کاغذ روغنی پهن کرده خوب مخلوط کنید. به روش چهاربخش کردن، نمونه به مقدار کافی جدا کنید و در ظرف آب‌بند جداگانه‌ای قرار دهید. لافل ۵۰ گرم خاک را در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت حداقل ۱۶ ساعت قرار دهید تا جایی که اختلاف وزنی ناشی از تبخیر رطوبت در مدت یک ساعت ناچیز شود.

۵- تشریح انجام آزمون

- بوت‌چینی را که قبلاً کاملاً خشک شده است به‌مراه پوشش ورقه آلومینیم با دقت دو رقم اعشار توزین کنید (m_0).
- مقداری از خاک خشک شده در آون را در بوت‌چینی ریخته و همراه پوشش توزین نمایید (m_1).
- پوشش را برداشته بوت‌چینی و خاک آون - خشک را در کوره گذاشته دما را به تدریج به ۴۴۰ درجه سانتیگراد برسانید تا زمانی که کلیه مواد آلی از بین رفته و وزن در یک فاصله زمانی ثابت بماند.
- پوشش را گذاشته و بوت‌چینی و خاک را در دسیکاتور خنک کرده و توزین نمایید (m_2).

۶- محاسبه

درصد مواد آلی در نمونه خاک (به روش افت حرارتی) را از رابطه زیر محاسبه نمایید:

$$\text{om}\% = (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه داریم:

M_0 : جرم بوت‌چینی خالی

m_1 : جرم بوت‌چینی همراه خاک خشک شده در آون

m_2 : جرم بوت‌چینی همراه خاک پس از حذف مواد آلی در کوره

۷- گزارش (مربوط به بخش C)

در گزارش علاوه بر مشخصات عمومی نمونه و تاریخ، نتایج میزان مواد آلی را تا ۰/۱٪ و دمای کوره را ذکر کنید (سایر موارد ذکر شده در بخش گزارش استاندارد مرجع مربوط به بخشهای A, B و D است)

۸- مرجع

-ASTM D2974-00(2000), Standard Test Method for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils (Test Method C)

پیوست ۸: راهنمای تعیین حد روانی و حد خمیری نمونه‌های خاک

۱- هدف

تعیین حد روانی و حد خمیری و محاسبه شاخص خمیری نمونه‌های خاک به منظور طبقه‌بندی خاک و تعیین خصوصیات رفتاری خاک

۲- دامنه کاربرد

بر روی بخش رد شده از الک شماره ۴۰ (اندازه ۴۲۵ میکرومتر) کلیه خاکها بکار می‌رود.

۳- اصطلاحات و تعاریف

- حد روانی: رطوبتی از خاک بر حسب درصد که خاک در رطوبت بالاتر از آن خواص نیمه سیال و در رطوبت کمتر از آن خواص خمیری از خود نشان می‌دهد.
- حد خمیری: رطوبتی از خاک بر حسب درصد که خاک در رطوبت بالاتر از آن خواص خمیری و در رطوبت کمتر از آن خواص نیمه‌جامد از خود نشان می‌دهد.
- شاخص خمیری: محدوده‌ای از درصد طبیعت که خاک در آن خواص خمیری دارد و از نظر عددی، تفاضل حد روانی و حد خمیری است.

۴- تجهیزات و مواد مصرفی

- دستگاه حد روانی مطابق مشخصات استاندارد ماخذ
- شیارکش تخت پلاستیکی با فلزی مطابق مشخصات استاندارد ماخذ
- گیج تنظیم ارتفاع سقوط فنجان دستگاه حد روانی
- ظروف درب‌دار تعیین رطوبت نمونه خاک
- ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم
- ظرف اختلاط و همگن سازی و نگهداری رطوبت نمونه
- شیشه تخت به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتیمتر و ضخامت حدود ۱ سانتیمتر
- الک شماره ۴۰ (اندازه ۴۲۵ میکرومتر)
- آون با قابلیت نگهداری دما بین 110 ± 5 درجه سانتیگراد
- آب مقطر یا دیونیزه

۵- آماده سازی نمونه (به روش خشک)

- نمونه خاک اولیه را در هوا خشک کنید (می‌توان از آون با دمای حداکثر ۶۰ درجه سانتیگراد نیز استفاده نمود). کلوخه‌ها را در هاون خرد کنید. ذرات خارجی مثل صدف، شیشه و ... را با دست جدا کنید. می‌توان از خاک آماده شده مطابق راهنما آماده‌سازی اولیه نمونه استفاده نمود.
- خاک را از الک شماره ۴۰ عبور دهید تا حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ گرم خاک ریزتر از ۴۲۵ میکرون بدست آید. بخش مانده روی الک را در آب غوطه‌ور و سپس روی الک ۴۰ بریزید تا کلیه ذرات ریز شسته شده و عبور نماید. آب و خاک رد شده را به خاک رد شده قبلی بیافزایید.
- مخلوط را کاملاً با کاردک ورز داده همگن کنید. آب اضافه را با تبخیر در مجاورت هوا یا جریان هوای گرم کاهش دهید تا درصد رطوبت به حدی برسد که ۲۰ تا ۳۰ ضربه برای دستگاه حد روانی لازم باشد. مخلوط را در پوشش و ظرف مانع تبخیر قرار داده و مدت ۱۶ ساعت در (طول شب) آن را به حال خود رها کنید. سپس قبل از آزمایش آنرا به خوبی ورز دهید.

۶- تشریح انجام آزمون

۱-۶- آزمون تعیین حد روانی

- ابتدا از سالم و تمیز بودن و عدم خوردگی و لقی در دستگاه اطمینان حاصل کرده و ارتفاع سقوط را با گیج کنترل کنید.
- مقداری از گل همگن را با کاردک برداشته در فنجان دستگاه به صورت افقی پهن کنید به طوری که ضخامت لایه در عمیق‌ترین نقطه حدود ۱۰ میلیمتر شود. مراقب باشید حباب هوا در لایه گل نباشد و دچار فشردگی زیاد نشود.
- شیارکش را از بالای لایه گل بطور عمود به سطح فنجان فشار داده و به آرامی به پایین (درجهت قطر) بکشید تا شیار به عرض ۱۲ میلیمتر ایجاد و لایه گل دقیقاً نصف شود.
- دسته را با سرعت ۲ دور در دقیقه بچرخانید. در اثر ضربه‌های وارده کم کم لبه‌های شیار به هم می‌آید. وقتی که ۱۳ میلیمتر از شیار به هم آمد، تعداد ضربه را یادداشت کنید (که باید بین ۲۵-۳۵ باشد). ممکن است اجرای عملیات فوق بر روی برخی نمونه‌های خاک عملی نباشد. در این صورت خاک را بدون حدروانی مشخص گزارش کنید.
- با کاردک بخشی از لایه گل را که عمود بر شیار بوده و قسمت به هم آمده را در بردارد برداشته به ظرف رطوبت که از قبل توزین شده منتقل کنید.

- گل باقیمانده را به گل اولیه برگردانده و مقداری آب اضافه و کاملاً همگن کنید. فنجان برنجی را شسته و خشک و مجدداً نصب کنید. آزمایش را حداقل دو بار تکرار کنید تا دو تعداد ضربه یکی بین ۲۰ و ۳۰ و دیگری بین ۱۵ و ۲۵ بدست آید.
- درصد رطوبت نمونه‌ها را مطابق راهنما مربوطه بدست آورید.
- نموداری نیمه لگاریتمی از درصد رطوبت بر حسب لگاریتم تعداد ضربه رسم و بهترین خط عبور کننده از نقاط را رسم کنید. درصد رطوبت معادل تعداد ۲۵ ضربه را بدست آورده و رند کنید. این درصد رطوبت معادل حد روانی خاک می‌باشد.

۶-۲- آزمون تعیین حد خمیری

- حدود ۲۰ گرم از گل آماده شده برای آزمایش تعیین حد روانی را برداشته و رطوبت آنرا کاهش دهید تا بدون چسبیدن به انگشتان شکل پذیرد. این کاهش رطوبت را با پهن کردن گل روی شیشه، جریان هوای گرم یا ... انجام دهید.
- ۱/۵ تا ۲ گرم گل فوق را برداشته به شکل بیضی درآورید. سپس با انگشت یا کف دست روی سطح شیشه‌ای غلت دهید تا به شکل فتیله‌ای به قطر ثابت درآید (به جای دست می‌توان از یک صفحه دسته‌دار نیز استفاده نمود). ادامه دهید تا فتیله به قطر ۳/۲ میلی‌متر در کنار دست جهت مقایسه داشته باشید.
- پس از رسیدن به قطر ۳/۲ میلی‌متر، فتیله را چند قسمت کرده، به هم چسبانده و یکنواخت کنید و مرحله قبل را مجدداً تکرار کنید تا جایی که فتیله قبل از رسیدن به قطر لازم، ترک خورده و ادامه کار ممکن نباشد.
- قطعات ترک خورده را جمع کرده و در ظرف تعیین درصد رطوبت از پیش وزن شده بگذارید و درب آنرا ببندید. ۲ گرم دیگر از گل برداشته و کار را تکرار کنید و به همان ظرف اضافه کنید تا لااقل ۶ گرم گل ترک خورده جمع شود.
- ظرف تعیین درصد رطوبت دیگری را با همین روش و ۶ گرم گل ترک خورده تهیه کنید.
- درصد رطوبت دو نمونه را مطابق راهنما مربوطه تعیین و به عدد صحیح گرد کنید. اگر تفاضل آنها بیشتر از ۱ است (در آزمایش تک ایراتور) نمونه دیگری از خاک ترک خورده تهیه و آزمایش کنید. میانگین دو نمونه را به عدد صحیح گرد و به عنوان حد خمیری خاک گزارش کنید.

۷- محاسبه و گزارش

شاخص خمیری خاک را از تفاضل حد خمیری از حد روانی خاک مطابق رابطه (۱) بدست آورید:

$$PI = LL - PL \quad \text{رابطه (۱)}$$

حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری را گزارش نمایید. در صورتی که آزمایشهای فوق بر نمونه غیر قابل اجرا بوده، گزارش نمایید. برآوردی از درصد خاک باقیمانده روی الک ۴۲۵ میکرومتر به کل خاک گزارش دهید.

۸- مرجع

Standard Test Method for: Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils-2000-4318-00ASTM

پیوست ۹: استانداردهای زیست‌محیطی کیفی خاک

از آنجا که در حال حاضر استاندارد ملی برای آلاینده‌های خاک از طرف سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه نشده است و با توجه به ضرورت و نیاز کارشناسان محیط زیست صنعت نفت به آشنایی با استانداردهای موجود، در این بخش پس از بررسی استانداردهای خاک ارائه شده در کشورهای مختلف، استانداردهای ایالت لوئیزیانای آمریکا، موسسه نفت آمریکا (API) و وزارت محیط زیست کانادا به عنوان راهنما ارائه گردیده است. لازم به ذکر است به دلایل زیر در استفاده از استانداردهای ارائه شده باید دقت لازم به کار برده شود.

- دانش مورد استفاده برای تهیه این استانداردها با عدم قطعیت مواجه بوده و این امر باعث می‌شود در مقام مقایسه نتوان به یک مرجع به عنوان فصل الخطاب استناد نمود.

- رویکردهای مورد استفاده در کشورهای مختلف در بحث خاک و آبهای زیر زمینی ناشی از مباحث جغرافیایی، اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی بوده و استفاده از آن در محلهای دیگر نیاز به بررسی میدانی دارد.

۱- استاندارد مورد استفاده در ایالت لوئیزیانای آمریکا:

از آنجا که ایالت لوئیزیانای آمریکا تاریخچه طولانی در فعالیتهای صنعت نفت دارد ضوابط و استانداردهای مرتبط با حفاظت محیط زیست در این ایالت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در بحث آلودگی خاک، بر اساس نوع روشی که برای امحاء مواد آلاینده در نظر گرفته می‌شود استانداردهایی تهیه شده است. عمده روشهای مطرح عبارتند از تصفیه روی زمین، رقیق سازی و دفن، جامد سازی و دفن بر اساس روشهای فوق استانداردهای مطرح به شرح زیر می‌باشد:

۱-۱- تصفیه روی زمین

در این روش از تخلیه مستقیم زائدات روی زمین به منظور کاهش غلظت مواد آلی استفاده می‌شود. در صورت استفاده از این روش غلظت پارامترهای زیست‌محیطی به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد.

جدول شماره ۱: استانداردهای زیست محیطی برای دفع روی زمین

محدودیت	واحد	پارامتر
۶-۸	-	pH
۱	درصد وزن خشک	چربی و روغن
۱۰	ppm مواد خشک	آرسنیک
۴۰۰۰۰	ppm مواد خشک	باریم
۵۰۰	ppm مواد خشک	کادمیم
۵۰۰	ppm مواد خشک	سرب
۱۰	ppm مواد خشک	جیوه
۱۰	ppm مواد خشک	سلنیوم
۲۰۰	ppm مواد خشک	نقره
۵۰۰	ppm مواد خشک	روی
< ۴	mmhos/cm	هدایت الکتریکی
< ۱۲	-	نسبت جذب سدیم

۲-۱- رقیق سازی و دفع

در این روش پس از اختلاط زائدات با خاک تمیز به منظور رقیق سازی، مخلوط حاصله در ترانشه حفر شده دفن می‌گردد. استفاده از این روش به دلیل آلوده کردن مقادیر زیادی خاک تمیز در اکثر کشورهای دنیا منسوخ می‌باشد. مشخصات این مخلوط باید به شرح جدول شماره ۲ باشد.

جدول شماره ۲: استانداردهای زیست محیطی برای رقیق سازی و دفن

محدودیت	واحد	پارامتر
۶-۹	-	pH
۳	درصد وزن خشک	چربی و روغن
۱۰	ppm مواد خشک	آرسنیک
۴۰۰۰۰	ppm مواد خشک	باریم
۱۰	ppm مواد خشک	کادمیم
۵۰۰	ppm مواد خشک	سرب
۱۰	ppm مواد خشک	جیوه
۱۰	ppm مواد خشک	سلنیوم
۲۰۰	ppm مواد خشک	نقره
۵۰۰	ppm مواد خشک	روی
۱۲	mmhos/cm	هدایت الکتریکی
بدون محدودیت	-	نسبت جذب سدیم

۳-۱- جامد سازی و دفن

در این روش در ابتدا زائدات با استفاده از سیمان یا دیگر مواد شیمیایی از قبیل سیلیکات سدیم، به صورت کپسوله جامد سازی گردیده و در ترانسه‌هایی که بدین منظور حفر گردیده دفن می‌گردد. جدول شماره ۳ مشخصات زائدات جامد سازی شده را ارائه می‌نماید:

جدول شماره ۳: استانداردهای زیست محیطی برای جامد سازی و دفع

پارامتر	واحد	محدودیت
pH	-	۶-۱۲
چربی و روغن	mg/l	۱۰
آرسنیک	mg/l	۱۰
باریم	mg/l	۱۰
کادمیم	mg/l	۰/۱
کروم	mg/l	۰/۵
سرب	mg/l	۰/۵
جیوه	mg/l	۰/۰۲
سلنیوم	mg/l	۰/۱
نقره	mg/l	۰/۵
روی	mg/l	۵
هدایت الکتریکی	mmhos/cm	بدون محدودیت
نسبت جذب سدیم	-	بدون محدودیت

۲- مؤسسه نفت آمریکا (API)

استاندارد مورد تأیید API برای حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در خاک به شرح جدول شماره ۴ می‌باشد. غلظت مجاز برخی پارامترها در این استاندارد نسبت به آنچه در جداول قبلی برای ایالت لویزیانا ارائه شد بیشتر می‌باشد. از آنجا که این استاندارد بر اساس نتایج علمی ارائه شده توسط EPA تنظیم گردیده از اعتبار مناسبی نیز برخوردار می‌باشد. به هر حال برای استفاده از این استاندارد شناخت حساسیتهای زیست محیطی منطقه نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

جدول شماره ۴: استانداردهای زیست محیطی API برای خاک

نوع آلاینده	واحد	میزان مجاز
آرسنیک	ppm مواد خشک	۱۰
باریم	ppm مواد خشک	۱۸۰۰۰۰
بور	mg/l (محلول در آب گرم)	۲
کادمیم	ppm مواد خشک	۲۶
کروم	ppm مواد خشک	۱۵۰۰
مس	ppm مواد خشک	۷۵۰
سرب	ppm مواد خشک	۳۰۰
جیوه	ppm مواد خشک	۱۷
سلنیوم	ppm مواد خشک	-
نیکل	ppm مواد خشک	۲۱۰
روی	ppm مواد خشک	۱۴۰۰

۳- کانادا

به منظور تعیین میزان آلودگی خاک در کشور کانادا از تعاریف متفاوتی استفاده شده است. یکی از این تعاریف محدوده پارامترهای آلاینده را به گونه‌ای تعیین می‌نماید که خطرات بارزی را برای سلامتی انسان و محیط زیست بر اساس قضاوت‌های علمی و تجربی به همراه نداشته باشد. دسته بندی صورت گرفته بر اساس کاربری زمین و برای زمینهای کشاورزی، مسکونی- پارک و صنعتی- تجاری تنظیم شده است. جداول شماره ۵ و ۶ محدوده مجاز پارامترهای فلزات سنگین و مواد آلی در خاک را بر اساس تعریف فوق ارائه می‌نماید.

جدول شماره ۵: استانداردهای زیست محیطی فلزات سنگین در خاک بر حسب نوع کاربری زمین
(واحد: میلیگرم به ازاء ۱ کیلوگرم جرم خشک خاک)

نوع کاربری زمین	استاندارد ملی	استاندارد بین‌المللی	واحد
آرسنیک	۲۰	۳۰	۵۰
باریم	۷۵۰	۵۰۰	۲۰۰۰
برلیوم	۴	۴	۴
کادمیم	۳	۵	۲۰
کروم	۷۵۰	۲۵۰	۸۰۰
کیالت	۴۰	۵۰	۲۰۰
مس	۱۵۰	۱۰۰	۵۰۰
سرب	۳۷۵	۵۰۰	۱۰۰۰
جیوه	۰/۸	۲	۱۰
سلنیوم	۲	۳	۱۰
نیکل	۱۵۰	۱۰۰	۵۰۰
روی	۶۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰

جدول شماره ۶- استانداردهای زیست محیطی مواد آلی در خاک بر حسب نوع کاربری زمین
(واحد: میلیگرم به ازاء ۱ کیلوگرم جرم خشک خاک)

نوع کاربری زمین	استاندارد ملی	استاندارد بین‌المللی	واحد
بنزن	۰/۰۵	۰/۰۵	۵
اتیل بنزن	۰/۱	۵	۵۰
تولوئن	۰/۱	۳	۳۰
زائیلن	۰/۱	۵	۵۰
فنل - غیر کلره	۰/۱	۰/۵	۱۰
فنل - کلره	۰/۰۵	۰/۵	۵
ترکیبات آلیفاتیک - غیر کلره	۰/۳	-	-
PCBs	۰/۵	۵	۵۰
نفتالین	۰/۱	۵	۵۰
فئاترن	۰/۱	۵	۵۰
پیرن	۰/۱	۱۰	۱۰۰