

\* دکتر علی تریان

\*\* مهندس شیرام صادقی

### کلمات کلیدی:

تثبیت خاک، فلزات سنگین، خاک رس، رسوبات صنعتی - خانگی.

### چکیده:

برای جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین در خاک به داخل گیاهان و نیز آبهای زیرزمینی، که می تواند خطرات حیران ناپذیری را برای آوردن روشهای متعددی در دنیا بررسی و مورد آزمایش قرار گرفته اند. از جمله این روشها که هنوز در ایران مورد آزمایش قرار نگرفته، بررسی و عملکرد تثبیت فلزات سنگین توسط خاک رس در خاکهای آلوده سی باشد. خاکهای رس به دلیل خاصیت هیدراته شدن می توانند مواد آلی و غیرآلی را در ساختمان خود جذب نمایند.

در این تحقیق دو نوع خاک رس مورد آزمایش قرار گرفته است: خاک رس بنتونیت (Bentonite) با ساختمان شیمیایی ۲ به ۱ (دولایه سیلیس و یک لایه آلومینیوم) و  $CEC = ۸۵$  میلی اکی والان درصد گرم خاک رس و کائولن (Kaoline) با ساختمان شیمیایی ۱ به ۱ (یک لایه سیلیس و یک لایه آلومینیوم) و  $CEC = ۳$  میلی اکی والان درصد گرم خاک رس. این دو نوع خاک رس از لحاظ خواص فیزیکی - شیمیایی با یکدیگر تفاوت دارند.

عمل تثبیت فلزات سنگین با درصدهای مختلف از این دو خاک (۷٪، ۱۵٪، ۲۲٪) و نیز در pHهای متفاوت (۴، ۷/۸ و ۱۱/۵) آزمایش شد و مشخص گردید که با افزایش غلظت ماده تثبیت کننده در  $pH = ۷/۸$  و بالاتر، عمل تثبیت با راندمان بیشتری انجام می شود، حال آنکه در  $pH = ۴$  نه تنها تثبیت در خاک رس انجام نمی گردد، بلکه مقدار فلز استخراج شده از بافت خاک افزایش می یابد. این عمل هنگامی رخ می دهد که پساب ورودی به منطقه حالت اسیدی داشته و یا باران اسیدی در منطقه شروع به باریدن کند. مشاهدات به دست آمده در این پژوهش از لحاظ احتمال تثبیت فلزات سنگین در خاک رس و نیز چگونگی تأثیر pH در عمل تثبیت با نتایج آزمایشهای انجام شده در سوابق تحقیق مطابقت دارد، با این تفاوت که در تحقیقات انجام شده توسط محققین، مسئله تثبیت توسط یک نوع خاک رس بررسی شده و هیچ مقایسه ای بین دو نوع خاک رس با خواص فیزیکی و شیمیایی کاملاً متفاوت و نیز تأثیر غلظت خاک رس در تثبیت انجام نشده است.

\* استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

\*\* دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست

## سر آغاز

در حال حاضر شهر تهران فاقد شبکه جمع آوری فاضلاب می باشد و کلیه پسابهای خانگی، شهری و صنعتی از طریق کانالهای فیروزآباد به عنوان آب آبیاری مورد استفاده اراضی کشاورزی جنوب تهران قرار می گیرد. به دلیل آلوده بودن این پسابها به انواع آلاینده ها از جمله فلزات سنگین، اراضی مذکور محلی مناسب جهت تجمع و انباشتگی آنها می باشند. زیرا خاک مکانی مناسب از لحاظ دریافت آلوده کننده ها است. این روند نامطلوب دریافت آلاینده ها موجب عدم تعادل در محیط خاک می شود، هر چند که محیط خاک در جستجوی یک حالت تعادل و پایدار است.

موضوع آلودگی آب و خاک و به تبع آن گیاه از طریق فلزات سنگین یا به عبارتی عناصر کمیاب، بشر را بر آن داشته است که برای چاره اندیشی در زمینه حل این معضل مطالعات گسترده ای انجام دهد و در این راستا همه ساله هزینه بسیار زیادی صرف تحقیق و مطالعه آلودگی خاک و آب شود. آلودگی حاصل نه تنها دامنگیر انسان و موجودات طبیعی شده، بلکه باعث بروز تغییرات شدید و عمیق در اکوسیستم ها نیز می شود.

مرگ و میر آبزیان در اثر تخلیه پسابهای صنعتی که حاوی فلزات سنگین می باشند در دنیا و در ایران بی سابقه نیست و وجود فلزات سنگین در طبیعت، به دلیل امکان تجمع آنها در بدن انسان و رسیدن غلظت آنها به بیش از حد استاندارد و عوارض جانبی آن، نظر محققان را به خود جلب کرده است. در عین حال امکان تبدیل آنها به مواد سمی تر در اثر فعل و انفعالات شیمیایی و احتمال سرطانزایی بعضی از این ترکیبات، مطالعات و پژوهشهای بیشتری را می طلبد.

چون حذف کامل این آلودگیها هزینه زیادی را دربردارد، لذا تثبیت فلزات سنگین و جلوگیری از حرکت و ورود آنها به منابع آب از اهمیت بسزائی برخوردار است.

در خصوص حذف آلودگی از خاک روشهای متعددی بررسی شده و در حال حاضر در برخی از کشورهای جهان برای حذف آلودگی فلزات سنگین و جلوگیری از نفوذ آنها به داخل گیاه و یا آبهای زیرزمینی از روش تثبیت توسط خاک رس استفاده می شود. یکی از این تحقیقات توسط اسکوکارت و همکارانش در سال ۱۹۹۳ در بلژیک انجام شد. در این تحقیق مشخص شد که در  $pH > 6$  این فلزات در لایه های فوقانی خاکهای آهکی تثبیت

می شوند و نیز با افزایش عمق خاک در خاکهای اسیدی، حرکت و در نتیجه قابلیت در دسترس بودن کادمیم و روی افزایش می یابد. در خاکهای آهکی و خنثی از طریق جذب توسط خاک رس، حرکت و قابلیت در دسترس بودن فلزات سنگین پایین نگه داشته می شود.

تحقیق دیگری در زمینه تثبیت فلزات سنگین توسط خاک رس در سال ۱۹۹۱ توسط آلود و همکارانش در سوئد انجام شد. آنها بر روی پراکندگی مس، روی و کادمیم در خاک ایلیت، منطقه ای که سالها توسط پسابهای گوگرد معدنی استخراج شده، بوجود آمده بود، آزمایشهایی انجام دادند. نتایج این آزمایشها نشان داد که انتقال و حرکت فلزات سنگین توسط خاک رس ایلیت قابل کنترل بوده و از نفوذ آن به اعماق خاک و آلوده شدن سفره های آب زیرزمینی جلوگیری می کند.

در سال ۱۹۹۳ نیز در آمریکا برای حذف فلزات سنگین در خاک از سه روش به صورت جداگانه و نیز توأم استفاده شد:

۱. استفاده از مواد احیاءکننده
۲. استفاده از خاک رس (بتونیت)
۳. شستشوی خاک توسط اسید (Acid wash)

نتایج این تحقیق نشان داد که از بین روشهای فوق استفاده از خاک رس (بتونیت) به طور جداگانه، برای تثبیت فلزات سنگین کارایی بالایی را نسبت به دو روش دیگر دارد، ولی اگر از سه روش فوق توأم استفاده شود راندمان بسیار بالاتری را در حذف آلودگی خواهد داشت (Jessling et al, 1993).

در سال ۱۹۹۶ توسط Yien و همکارانش تأثیر pH و مواد آلی روی جذب جیوه (II) توسط خاک بررسی گردید. در این تحقیق مشخص شد که در حضور مواد آلی خاک، اگر pH خاک افزایش یابد، جذب جیوه کاهش یافته و برعکس اگر pH خاک کم شود، جذب جیوه افزایش می یابد. این امر به علت ترکیب جیوه با مواد آلی است، زیرا با افزایش pH و افزایش غلظت مواد آلی، ترکیب آنها با جیوه باعث کاهش در جذب جیوه توسط خاک می شود. هنگامیکه مواد آلی از خاک پالایش شوند، تحت شرایط اسیدی، جذب جیوه کاهش یافته و تحت شرایط قلیایی، جذب افزایش می یابد (Yin et al, 1996).

شده است. هضم در اسیدنیتریک و کلریدریک غلیظ و حل در اسید کلریدریک یک نرمال انجام می شود (احیایی، ۱۳۷۲).

### روش استخراج عناصر قابل دسترس گیاه (Availability)

در این تحقیق از اسیدکلریدریک یکدهم نرمال به عنوان محلول عصاره گیری (Extractant) استفاده شده است (احیایی، ۱۳۷۲).

### روش اندازه گیری pH خاک در سوسپانسیون 1:2.5

اندازه گیری pH مطابق دستورالعمل مؤسسه تحقیقات آب و خاک صورت گرفته است (احیایی، ۱۳۷۲).

### روش تثبیت فلزات سنگین توسط خاک رس

#### (بنتونیت و کائولن) در نمونه خاک

تثبیت فلزات سنگین توسط خاک رس، در آزمایش مربوط به قابلیت در دسترس بودن فلزات انجام می شود. برای استفاده از خاک رس دو نوع رس به نامهای بنتونیت و کائولن با خواص فیزیکی - شیمیایی کاملاً متفاوت انتخاب شد تا مقایسه ای بین تثبیت احتمالی فلزات سنگین در بنتونیت و کائولن نشان داده شود، که یکی از اهداف ویژه این بررسی می باشد.

آزمایشها با سه درصد متفاوت (۷٪، ۱۵٪، ۲۲٪) از بنتونیت و کائولن به طور جداگانه با سه pH متفاوت (۷/۸ محیط اصلی خاک، ۴/۰ محیط اسیدی شده و ۱۱/۵ محیط قلیایی شده) انجام شده است.

#### شرح آزمایش

ابتدا pH خاک نمونه طبق روشی که شرح داده شد اندازه گیری گردید. pH متر عدد ۷/۸ را نشان می دهد. برای تهیه نمونه خاک با pH اسیدی و قلیایی به روش زیر عمل شد. ابتدا مقدار ۱۰ گرم از نمونه را داخل ارلن ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و مقداری آب مقطر به آن اضافه گردید، تا به حالت سوسپانسیون و گل درآید. سپس به سوسپانسیون تهیه شده اسیدکلریدریک یک نرمال تا زمانیکه pH متر داخل سوسپانسیون عدد ۳ الی ۴ را نشان دهد، اضافه شد. سپس ارلن داخل آن در حرارت (۴۰°C) خشک می گردد تا برای آزمایش های بعدی آماده باشد.

در سال ۱۹۹۷ در منطقه سین سیناتی آمریکا نیز تحقیقی بر روی جذب مواد آلی و فلزات سنگین انجام شد و مشخص گردید که عمل تثبیت فلزات سنگین توسط خاک بنتونیت معمولی به خوبی انجام می شود و برای جذب مواد آلی مانند بنزن، گزین، هگزان و غیره، خاک بنتونیت را باید به صورت منفعل درآورد که این عمل توسط یک نمک آمونیم چهاروجهی انجام شده است (Gitipour and Bowers, 1997).

در این تحقیق از دو نوع خاک رس استفاده شده است. خاک رس بنتونیت با ساختمان شیمیایی ۲ به ۱ (دو لایه سیلیس و یک لایه آلومینیوم) و  $CEC = ۸۵$  میلی اکی والان درصد گرم خاک رس و نیز خاک رس کائولن با ساختمان شیمیایی ۱ به ۱ (یک لایه سیلیس و یک لایه آلومینیوم) و  $CEC = ۳$  میلی اکی والان درصد گرم. این دو نوع خاک رس از لحاظ فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر متفاوت می باشند، به طوری که سطح ویژه ذرات بنتونیت و قابلیت هیدراته شدن آنها بسیار بالاتر از کائولن است.

طی آزمایشهایی که در این تحقیق انجام شد، اثر احتمالی دو نوع خاک رس بنتونیت و کائولن با درصدهای مختلف (۷٪، ۱۵٪ و ۲۲٪) در pH های متفاوت (۴/۰، ۷/۸ و ۱۱/۵) و همچنین مقایسه راندمان بین دو نوع خاک رس مذکور در تثبیت دو فلز سنگین سرب و نیکل مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روشها:

برای آگاهی از وسعت و نیز مقدار آلودگی فلزات سنگین در اراضی جنوب تهران، در سال ۱۳۷۷، ۱۵ منطقه از این اراضی انتخاب شد و از دو عمق ۱۵- و ۳۰-۱۵ سانتی متری نمونه برداری به عمل آمد. پس از ارسال نمونه ها به آزمایشگاه و آماده سازی آنها جهت آزمایش، مقدار کل و قابل دسترس فلزات سنگین مس، روی، سرب، کرم، کادمیم و نیکل آنها طبق روش استاندارد مؤسسه آب و خاک استخراج شد و توسط دستگاه جذب اتمی مدل unicam-919 اندازه گیری گردید. در این بررسی از میان ۱۵ منطقه مذکور، خاک منطقه امین آباد از فاصله ۱۵-۰ سانتی متری انتخاب شد و عمل تثبیت توسط خاک رس بر روی دو فلز سرب و نیکل مورد آزمایش قرار گرفت.

### روش استخراج کل عناصر سنگین در خاک

در این تحقیق از روش هضم نمونه در محیط اسیدی استفاده

سپس روی این خاک آلوده به نیکل آزمایش‌های قبلی در حضور بنتونیت و کاتولن مانند روش قبل انجام گردید، تا کارایی خاک رس در تثبیت آلودگی شدید خاک نشان داده شود. در این بخش، حالت اسیدی خاک اندازه گیری نشد، زیرا طبق آزمایش‌های قبلی مشاهده شد که در این حالت مقدار فلز قابل دسترس افزایش یافته و کارایی خاک رس در تثبیت کاهش می یابد.

### یافته های تحقیق

نتایج آزمایشها در جداول شماره ۱ الی ۱۲ نشان داده شده است. در کلیه جداول فوق نمونه هایی که با علامت (\*) مشخص شده نمونه اصلی و فاقد خاک رس می باشد.

جداول شماره ۱ الی ۳ مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه را در خاک با درصدهای مختلف بنتونیت در pH های متفاوت نشان می دهد و جداول شماره ۴ الی ۶ مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه را در خاک با درصدهای مختلف کاتولن در pH های متفاوت می نمایند. نمونه فوق مربوط به منطقه امین آباد از اراضی جنوب تهران می باشد که به آن درصدهای مختلف بنتونیت و کاتولن جهت تثبیت فلز سنگین اضافه شده است.

جداول شماره ۷ الی ۱۲ مقدار نیکل قابل دسترس گیاه را در خاک آلوده به این فلز در درصدهای مختلف بنتونیت و کاتولن نشان می دهد. مقایسه کارایی بنتونیت و کاتولن در تثبیت سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک اراضی امین آباد در نمودارهای ۱ الی ۶ و همچنین مقایسه کارایی بنتونیت و کاتولن جهت تثبیت نیکل در خاک آلوده به نیکل در نمودارهای ۷، ۸ و ۹ نشان داده شده است.

### جدول شماره ۱: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در

#### خاک حاوی ۷٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۴۸	۰/۳۱۴
۲	۷/۸	۰/۰۵۸	۰/۰۶۳
۳	۱۱/۵	۰/۰۴۲	۰/۰۴۸
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

همین روش برای تهیه خاک با pH قلیایی (۱۱/۵) انجام داده شد و برای قلیایی کردن خاک از سود نرمال استفاده گردید.

سپس سه عدد بشر ۲۵۰ میلی لیتری تهیه شد و داخل هر کدام ۵ گرم خاک خشک از نمونه های خاک اصلی (pH = ۷/۸)، خاک اسیدی (pH = ۴/۰) و خاک قلیایی (pH = ۱۱/۵) وارد گردید و ۷٪ بنتونیت (نسبت به ۵ گرم نمونه) به آن اضافه شد. سپس آزمایش قابلیت در دسترس بودن فلز روی آنها انجام گردید و محلولهای فیلتر شده طبق روش آزمایش تهیه شد، که آماده برای اندازه گیری فلز مورد نظر توسط دستگاه جذب اتمی می باشد.

همین عمل با اضافه کردن ۱۵٪ و ۲۲٪ از خاک بنتونیت و کاتولن در نمونه هایی که از لحاظ pH متفاوت هستند انجام گردید و مقدار سرب و نیکل هر کدام از محلولهای استخراج شده اندازه گیری شد.

### روش آلوده کردن خاک به صورت مصنوعی و

#### کارایی خاک رس در تثبیت آلودگی

برای نشان دادن کارایی خاک رس در تثبیت آلودگی فلز سنگین در نمونه خاکی که حاوی مقدار زیادی از این آلودگی باشد، باید نمونه خاک بطریقه مصنوعی آلوده گردد.

ابتدا مقدار سیصد گرم از نمونه خاک اولیه وارد یک ستون شیشه ای بطول ۲۰ سانتی متر و قطر ۲ سانتی متر شد. ابتدا و انتهای ستون توسط یک درپوش لاستیکی که وسط آن سوراخی به قطر نیم سانتی متر برای ورود و خروج مایع داشته باشد بسته شد. برای اینکه خاک از درون این منفذ عبور نکند روی آن توسط یک کاغذ صافی پوشانیده می شود. سپس محلول ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نیکل را تهیه و قطره قطره توسط یک تنظیم کننده سرم، وارد ستون خاک می گردد. این عمل ۲۴ ساعت ادامه پیدا می کند تا محلول تمام ستون خاک را در خود احاطه کند و مهلت داده می شود تا مدت ۴۸ ساعت محلول نیکل داخل خاک باقی بماند. سپس خاک درون ستون خارج و در دمای اتاق خشک می گردد. سپس روی ۵ گرم از نمونه خشک آزمایش قابلیت در دسترس بودن انجام می شود، تا مقدار فلز نیکل در خاک جذب شده، که می تواند در دسترس گیاه قرار گیرد (Available) مشخص شود.

مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در این حالت ۱۲۶/۵۲ میلی گرم در لیتر در pH = ۷/۸ (pH معمولی خاک) اندازه گیری شد.

جدول شماره ۶: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک حاوی ۲۲٪ کائولن

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۳۱۶	۰/۴۰۶
۲	۷/۸	۰/۰۳	۰/۰۳۹
۳	۱۱/۵	۰/۰۲	۰/۰۳
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

جدول شماره ۲: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک حاوی ۱۵٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۴۰۲	۰/۳
۲	۷/۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴
۳	۱۱/۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

جدول شماره ۷: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۷٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۱/۸۵۲
۲	۱۱/۵	۱/۷۳۱
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲

\* نمونه اولیه و فاقد بنتونیت

جدول شماره ۳: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک حاوی ۲۲٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۲۲	۰/۲۹
۲	۷/۸	۰/۰۲	۰/۰۲۵
۳	۱۱/۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

جدول شماره ۸: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۱۵٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۱/۵۳۱
۲	۱۱/۵	۱/۲۰۲
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲

جدول شماره ۴: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک حاوی ۷٪ کائولن

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۵۶	۰/۷۷
۲	۷/۸	۰/۰۷۳	۰/۰۷۵
۳	۱۱/۵	۰/۰۵۹	۰/۰۶۵
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

جدول شماره ۹: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۲۲٪ بنتونیت

شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۱/۲۴۵
۲	۱۱/۵	۱/۰۹۸
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲

جدول شماره ۵: مقدار سرب و نیکل قابل دسترس گیاه در خاک حاوی ۱۵٪ کائولن

شماره نمونه	PH	مقدار سرب قابل دسترس ppm	مقدار نیکل قابل دسترس ppm
۱	۴/۰	۰/۵۴۵	۰/۶۸
۲	۷/۸	۰/۰۴۴	۰/۰۵۴
۳	۱۱/۵	۰/۰۳۲	۰/۰۴۲
*۴	۷/۸	۰/۱۹	۰/۰۹

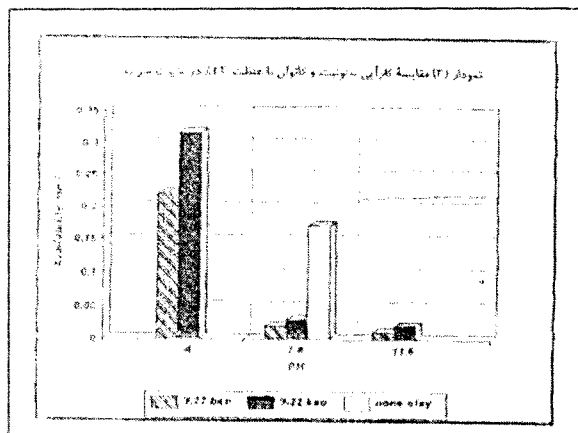
جدول شماره ۱۰: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۷٪ کائولن

شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۳/۷۵۳
۲	۱۱/۵	۳/۵۴۷
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲

\* نمونه اولیه و فاقد کائولن

جدول شماره ۱۱: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۱۵٪ کائولن

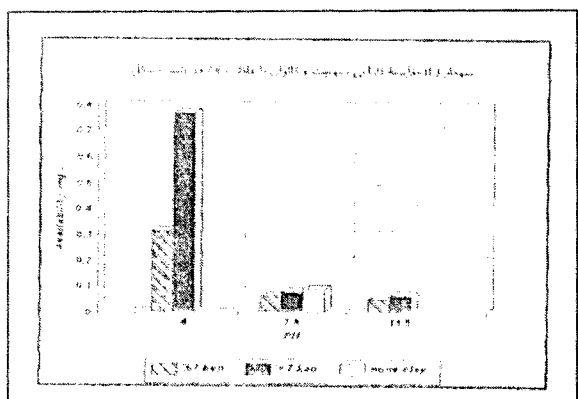
شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۳/۴۵۳
۲	۱۱/۵	۳/۳۳۲
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲



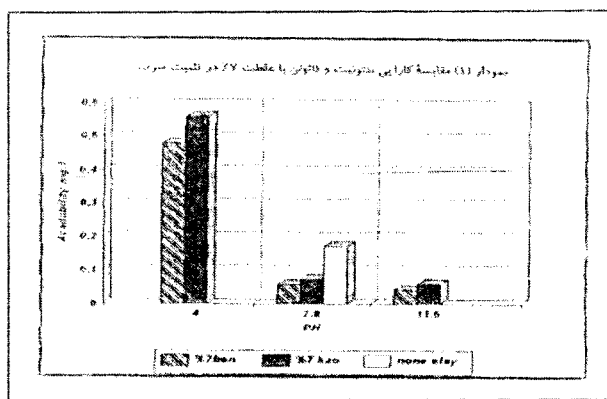
نمودار شماره ۳: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۲۲٪ در تثبیت سرب

جدول شماره ۱۲: مقدار نیکل قابل دسترس گیاه در خاک آلوده و حاوی ۲۲٪ کائولن

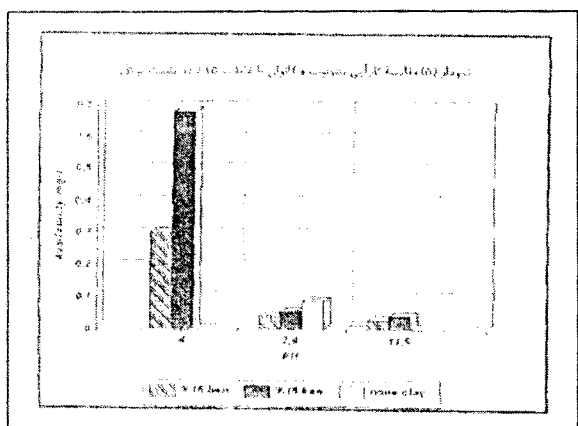
شماره نمونه	PH	مقدار نیکل قابل دسترس گیاه ppm
۱	۷/۸	۲/۹۴۵
۲	۱۱/۵	۲/۷۳۲
*۳	۷/۸	۱۲۶/۵۲



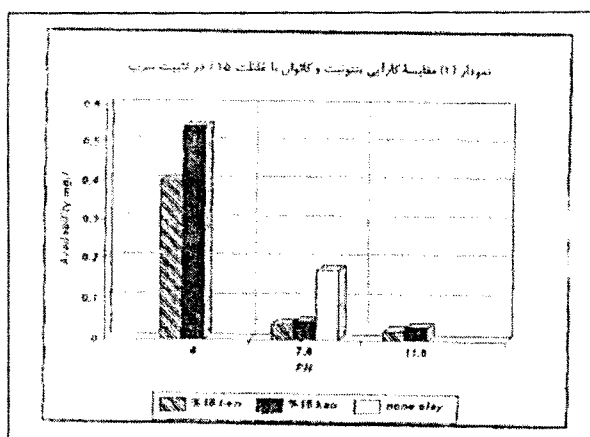
نمودار شماره ۴: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۷٪ در تثبیت نیکل



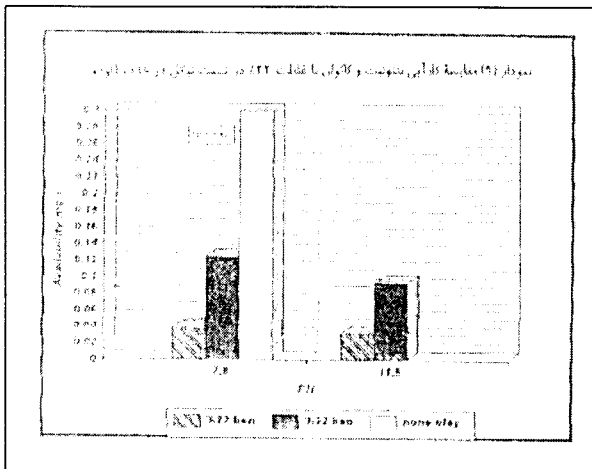
نمودار شماره ۱: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۷٪ در تثبیت سرب



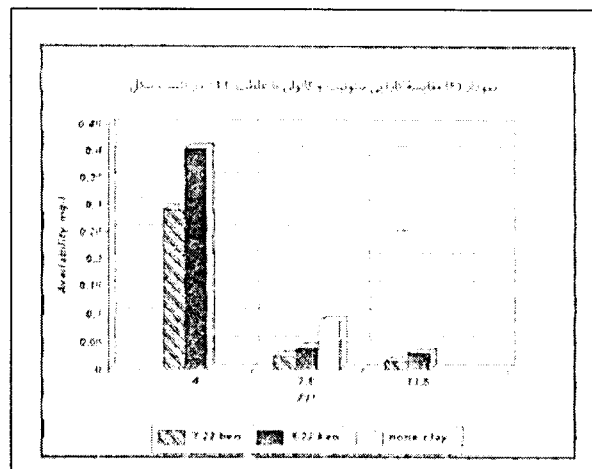
نمودار شماره ۵: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۱۵٪ در تثبیت نیکل



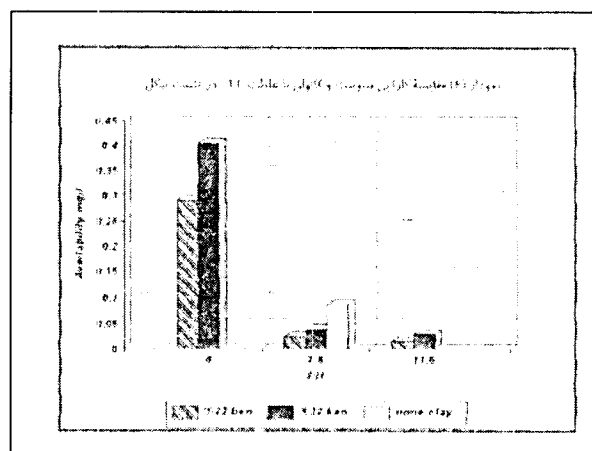
نمودار شماره ۲: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۱۵٪ در تثبیت سرب



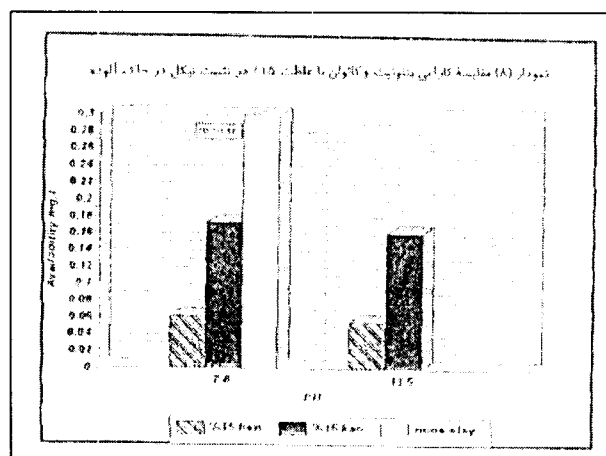
نمودار شماره ۹: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۲۲٪ در تثبیت نیکل در خاک آلوده



نمودار شماره ۶: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۲۲٪ در تثبیت نیکل



نمودار شماره ۷: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۷٪ در تثبیت نیکل با خاک آلوده



نمودار شماره ۸: مقایسه کارایی بنتونیت و کائولن با غلظت ۱۵٪ در تثبیت نیکل در خاک آلوده

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در جداول شماره ۱ الی ۱۲ و نمودارهای شماره ۱ الی ۹ می توان نتایج زیر را از این تحقیق استنتاج کرد:

۱. استفاده از خاک رس در عمل تثبیت فلزات سنگین در خاک با راندمان بالائی انجام می شود.
۲. راندمان تثبیت آلودگی فلزات سنگین توسط بنتونیت با ساختمان شیمیایی ۲ به ۱ و  $CEC = ۸۵$  بیشتر از کائولن با ساختمان شیمیایی ۱ به ۱ و  $CEC = ۳$  می باشد، به همین دلیل در بیشتر موارد در تصفیه آب و فاضلاب از فلزات سنگین و مواد آلی، از بنتونیت استفاده می شود.
۳. با افزایش غلظت مواد تثبیت کننده، میزان تثبیت فلزات سنگین نیز افزایش می یابد.
۴. در pH های ۷/۸ و ۱۱/۵ (قلیایی)، عمل تثبیت در حضور مواد تثبیت کننده راندمان بالائی را نشان می دهد.
۵. در محیط اسیدی خاک ( $pH = ۴/۰$ ) عمل تثبیت انجام نمی شود. در این حالت حرکت فلزات سنگین در خاک افزایش یافته و مقدار زیادی از فلزات داخل خاک آزاد شده و وارد محلول استخراج شده می شوند. مانند ورود پساب اسیدی و یا بارش بارانهای اسیدی در منطقه.
۶. با افزایش قابل توجه آلودگی فلزات سنگین، خاک رس راندمان خوبی را در تثبیت نشان می دهد و آلودگی را به میزان چشم گیری کاهش می دهد.

۷. برای عمل تثبیت توسط خاک رس در زمینهای کشاورزی بهتر است، میزان خاک رس از ۲۷٪ در یافت خاک بیشتر نباشد، زیرا در غیر اینصورت خاک منطقه بعنوان خاک سخت معرفی شده و قابل کشاورزی نخواهد بود. اما در یک محل دفن که در آن کشاورزی انجام نمی شود، می توان برای پایداری آلودگی در خاک و جلوگیری از نفوذ آن به آبهای زیرزمینی از درصدهای بیشتری در خاک استفاده کرد. نتایج تحقیق با یافته های سایر محققین (Jessling et al, 1993; Scokart et al, 1995) که در زمینه تثبیت روی و کادمیوم انجام یافت مطابقت دارد. همچنین این تحقیق اثر بنتونیت را در تثبیت نیکل و سرب بهتر از کائولن ارزیابی می نماید. نتایج تحقیق، کاربری روش تثبیت را جهت جلوگیری آلودگی فلزات سنگین و کاهش حرکت آنها در خاکهای آلوده مثبت ارزیابی می نماید.

#### منابع مورد استفاده

- احیائی، مریم. ۱۳۷۲. شرح تجزیه شیمیایی خاک. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۸۹۳. چاپ اول. ص ۱۴-۱۶.
- Allard, B. et al, 1991. A field study of diffusion controlled migration of copper, zinc and cadmium in a clay formation.
- Jessling, J. et al, 1993. Onsite engineering report for solidification / stabilization treatment testing of contaminated soils, EPA 600: SR-93[05].
- Scokart, P.O. 1993. Mobility of heavy metals in polluted soils near zinc smelters, water, air and soil pollution, 20(4). 451-463.
- Gitipour, S. M. Bowers, M.T. 1997. The use of modified bentonite for removal of aromatic organics from contaminated soil, Department of Civil Environment, University of Cincinnati, Ohio 45221.
- Yin, Y, et al, 1996. Adsorption of mercury (II) by soil: Effects of pH, chloride, and organic matter, J- Environ. Qual. 25. 837-844.