







دانشگاه کردستان  
دانشکده منابع طبیعی  
گروه محیط زیست

عنوان:

مطالعه رابطه میان شدت آبشویی و تحرک آرسنیک در خاک‌های آهکی دشت  
قروه، استان کردستان

پژوهشگر:  
بهاره گوران

استاد راهنما:  
دکتر بابک سوری

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش محیط زیست

اسفند ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مرتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه کردستان است.

## \*\*\*تعهد نامه\*\*\*

اینجانب بهاره گوران دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش محیط زیست دانشگاه کردستان، دانشکده منابع طبیعی گروه محیط زیست تعهد می نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

بهاره گوران

۱۳۹۱/۱۲/۱



دانشگاه کردستان  
دانشکده منابع طبیعی  
گروه محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش محیط زیست

عنوان:

مطالعه رابطه میان شدت آبشویی و تحرک آرسنیک در خاک‌های آهکی دشت  
قروه، استان کردستان

پژوهشگر:

بهاره گوران

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۱ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

<u>امضاء</u>	<u>مرتبۀ علمی</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>هیات داوران</u>
	استادیار	دکتر بابک سوری	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر هادی امین رسولی	۲- استاد داور خارجی
	استادیار	دکتر کمال نبی اللهی	۳- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

مهر و امضاء گروه

تقدیرم به

آنانکه به من آمد و رفتند

تقدیرم به مادرم

که اروه صبر است و بهر تصویب و بر نه شهاش

در ذہنم نشد کبری یانیت نریشود

تقدیرم به روح پاک پدرم

و تقدیرم به برادرانم که همیشه یار و یاورم بوده اند

تا ایش خدای رب العالمین فرست که که وت بهتی را بر اندام آفرینش پوشانید، او که تمامیتنا ایشگران از بتایش او عاجزند قدامن

جساگبران از شکر نعت های اونا توان

خداوند را شاکرم که بفرموده و متواضعی عطا زندگی ام را با انسان های فریخته سپری نمایم و از رهگذر این مصاحبت به ربط  
رینش مبتنی بر یاد که میریم یاری رسانم از حد و رتایش خداوند متعال، بر خود لازم من دانم نکلا تذکره و ارجمند جناب آقای دکتر  
بایک رووسی که مدتی است راهنمای این ابروی پیاکی فتنه اند و در تمام مراحل تحقیق، من را در هر دو راهنمای های عامه و  
لطف صد و رانه خود قرار داد و گفتی خواهی از دانش کرب نزد و ده ام حاصل زحمات ایشان است عیان شکر و قدر دانی  
نمایم.

مجال از بهر این معان و ارتادان دوره تحصیلم، زحمات تمام اساتید گروه محیط زیست به ویژه قادیار جند جناب آقای دکتر  
که دودن دور و کارشناسی، ترم آزمایشگاه جناب آقای مهندس کیلیت شکر من نمایم. همبند جلاله و بولین محترم، مراکز  
طالع رسانی و سایر عزیزانی که در جمع آوری و تحلیل داده های آماری و تنظیم و آماده سازی پایان نامه بر خصه و ص خانم مهندس  
ماجدی که در یاری نزد و فد صیه مانه شکر من نمایم.



## چکیده

موضوع آلودگی خاک توسط شبه فلز آرسنیک باعث افزایش نگرانی‌هایی در مورد محیط زیست شده است. آبشویی فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی و حرکت این مواد در خاک، مشکلات زیادی را برای آلودگی ماتریکس خاک، محلول خاک و آب زیرزمینی بوجود می‌آورد. هدف این مطالعه بررسی تعیین شدت آبشویی با استفاده از شاخص پارکر و بررسی رابطه آن با توزیع میزان غلظت آرسنیک در طول پروفیل خاکهای آهکی می‌باشد. برای انجام این مطالعه تعداد ۱۰۷ نقطه در دو عمق ۰-۱۰ و ۴۰-۵۰ سانتی‌متری خاک به روش شبکه بندی منظم و به فاصله‌های ۹۰۰ متری مورد نمونه برداری قرار گرفت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها از قبیل ماده آلی، اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، میزان اکسیدهای آزاد آهن و منگنز، کربنات کلسیم به عنوان متغیرهای اصلی موثر بر غلظت و حلالیت آرسنیک و فلزات قلیایی و قلیایی خاکی به عنوان پارامترهای اصلی شاخص پارکر مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل نتایج با استفاده از آزمون همبستگی بر روی نمونه‌های خاک نشان داد که بین شدت آبشویی و غلظت آرسنیک در طول پروفیل خاک رابطه منفی و معنادار وجود دارد. براین اساس بیشترین تجمع آرسنیک در سطح الارض خاک (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری) مشاهده گردید بطوریکه میزان اکسیدهای آزاد آهن و درصد رس از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر توزیع غلظت آرسنیک در امتداد نیمرخ خاک‌های مورد مطالعه ارزیابی شدند. همچنین نقشه آبشویی تهیه شده نشان دهنده جابجایی و تحرک و پراکندگی فلزات قلیایی و قلیایی خاکی در سطح ناحیه مورد مطالعه و نشان دهنده قابلیت ارزیابی توان پتانسیل و خطرات مرتبط با فلز آرسنیک را نشان می‌دهد. علاوه بر این مطالعه نشان داد که با استفاده از اطلاعات رنگ خاک (پارامتر  $L^*$  در سیستم رنگی CIE) میتوان کمیت مقادیر شاخص پارکر در خاکهای مورد مطالعه را تخمین زد و ازاینرو میتوان اندازه گیری پارامتر  $L^*$  رنگ خاک را با توجه به آسانی و کم هزینه بودن آن جایگزین اندازه گیری مقادیر  $Ca$ ،  $K$ ،  $Na$  و  $Mg$  برای محاسبه کمیت شاخص پارکر نمود.

## کلمات کلیدی:

توزیع غلظت آرسنیک، آبشویی پروفیلی، خاک‌های آهکی، دشت قروه

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول (مقدمه و کلیات تحقیق) .....
۱-۱-۱	مقدمه .....
۲-۱	آرسنیک .....
۱-۲-۱	خصوصیات شیمیایی آرسنیک .....
۳-۱	منابع آرسنیک در محیط .....
۴-۱	فراوانی آرسنیک در محیط .....
۱-۴-۱	فراوانی آرسنیک در خاک .....
۲-۴-۱	فراوانی آرسنیک در آب .....
۳-۴-۱	فراوانی آرسنیک در اتمسفر .....
۴-۴-۱	فراوانی آرسنیک در موجودات زنده .....
۵-۱	کاربردهای آرسنیک .....
۱-۵-۱	محافظ چوب .....
۲-۵-۱	پزشکی .....
۳-۵-۱	مواد رنگی .....
۴-۵-۱	مصارف نظامی .....
۵-۵-۱	مصارف کشاورزی .....
۶-۱	عوارض بهداشتی آرسنیک .....
۱-۶-۱	مواجهه انسان با آرسنیک .....
۲-۶-۱	اثرات آرسنیک بر انسان .....
۱-۲-۶-۱	اثرات تولید مثلی .....
۲-۲-۶-۱	اثرات عصبی .....
۳-۲-۶-۱	اثرات خونی .....
۴-۲-۶-۱	اثرات قلبی و عروقی .....
۵-۲-۶-۱	اثرات کلیوی .....
۶-۲-۶-۱	اثرات گوارشی .....
۷-۱	متابولیسم آرسنیک .....

- ۱۸-۱-۸- فرم های شیمیایی آرسنیک در محیط ..... ۱۸
- ۱۹-۱-۹- جذب آرسنیک در خاک ..... ۱۹
- ۱۹-۱-۹-۱- جذب آرسنیک توسط اکسید / هیدروکسیدهای آهن ..... ۱۹
- ۲۰-۱-۹-۲- جذب آرسنیک توسط مینرال های رس ..... ۲۰
- ۲۱-۱-۹-۳- اثر یون های رقیب ..... ۲۱
- ۲۱-۱-۹-۴- pH خاک ..... ۲۱
- ۲۱-۱-۹-۵- ماده آلی ..... ۲۱
- ۲۲-۱-۹-۶- پتانسیل های اکسیداسیون و احیاء ..... ۲۲
- ۲۳-۱-۱۰- آبشویی آرسنیک ..... ۲۳
- ۲۴-۱-۱۱- هوادیدگی و ترکیبات مینرالوژیکی خاک ها ..... ۲۴
- ۲۴-۱-۱۱-۱- هوادیدگی یا واکنش سنگ ها و کانی ها در یک محیط جدید ..... ۲۴
- ۲۵-۱-۱۲- شاخص پارکر ..... ۲۵
- ۲۵-۱-۱۳- فلزات قلیایی و قلیایی خاکی ..... ۲۵
- ۲۶-۱-۱۴- مبانی نظری رنگ ..... ۲۶
- ۲۶-۱-۱۴-۱- رنگ خاک ..... ۲۶
- ۲۷-۱-۱۴-۲- علل ایجاد رنگ خاک ..... ۲۷
- ۲۷-۱-۱۴-۳- تعیین رنگ نمونه های خاک ..... ۲۷
- ۲۸-۱-۱۵- ضرورت انجام تحقیق ..... ۲۸
- ۲۹-۱-۱۶- هدف انجام تحقیق ..... ۲۹
- ۳۰-۱-۱۷- سابقه انجام تحقیق ..... ۳۰
- ۳۴- فصل دوم (مواد و روش ها) ..... ۳۴
- ۳۴-۱-۲- محدوده مورد مطالعه ..... ۳۴
- ۳۴-۱-۲-۱- موقعیت و محدوده دشت قروه ..... ۳۴
- ۳۵-۱-۲-۲- زمین شناسی ..... ۳۵
- ۳۶-۱-۲-۱-۱- ساختار زمین شناسی ..... ۳۶
- ۳۶-۱-۲-۲-۱-۲- چینه شناسی و سنگ شناسی ..... ۳۶
- ۳۷-۱-۲-۳-۱-۲- زمین شناسی ساختمانی ..... ۳۷
- ۳۸-۱-۲-۳- خاک شناسی و طبقه بندی اراضی ..... ۳۸

۴۰	..... ۱-۳-۱-۲- کاربرد اراضی
۴۱	..... ۴-۱-۲- هیدرولوژی
۴۱	..... ۱-۴-۱-۲- رودخانه
۴۱	..... ۲-۴-۱-۲- چاه‌های آب
۴۲	..... ۳-۴-۱-۲- چشمه‌ها
۴۲	..... ۵-۱-۲- هوا و اقلیم
۴۳	..... ۶-۱-۲- مراکز جمعیتی حوزه آبخیز دشت قروه
۴۳	..... ۷-۱-۲- فعالیت های اقتصادی و اجتماعی
۴۴	..... ۸-۱-۲- شبکه ارتباطی دشت قروه
۴۴	..... ۲-۲- روش انجام تحقیق
۴۴	..... ۱-۲-۲- روش اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی خاک
۴۴	..... ۱-۱-۲-۲- اندازه‌گیری مقدار کل فلزات قلیایی و قلیایی خاکی
۴۶	..... ۲-۱-۲-۲- اندازه گیری آرسنیک
۴۸	..... ۳-۱-۲-۲- pH خاک
۴۸	..... ۴-۱-۲-۲- EC خاک
۴۹	..... ۵-۱-۲-۲- اندازه‌گیری کربنات
۴۹	..... ۶-۱-۲-۲- تعیین اکسیدهای آزاد آهن و منگنز کل
۵۰	..... ۷-۱-۲-۲- تعیین اکسیدهای آزاد آهن و منگنز بی شکل
۵۱	..... ۸-۱-۲-۲- کربن آلی
۵۲	..... ۲-۲-۲- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک
۵۲	..... ۱-۲-۲-۲- تعیین رنگ خاک
۵۲	..... ۲-۲-۲-۲- تعیین بافت خاک
۵۴	..... ۳-۲-۲- آماده سازی نقشه‌ها
۵۴	..... ۱-۳-۲-۲- تهیه لایه اطلاعاتی
۵۵	..... ۳-۲- نقشه شدت آبخویی
۵۵	..... ۴-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها
۵۷	..... فصل سوم (نتایج)
۵۷	..... ۱-۳- نتایج آنالیز نمونه‌های خاک

۲-۳- ارتباط و همبستگی میان شاخص پارکر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک .....	۶۱
۳-۳- ارتباط و همبستگی میان آرسنیک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک .....	۶۱
<b>فصل چهارم (بحث و نتیجه گیری) .....</b>	<b>۷۴</b>
۱-۴- بحث .....	۷۴
۲-۴- نتیجه گیری .....	۸۲
۳-۴- پیشنهادات .....	۸۳
منابع و ماخذ .....	۸۴

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

۵.....	جدول ۱-۱: خواص فیزیکو شیمیایی ترکیبات آرسنیک
۷.....	جدول ۱-۲: مواد معدنی حاوی آرسنیک در طبیعت
۸.....	جدول ۱-۳: گسیل آرسنیک به درون جو
۱۱.....	جدول ۱-۴: غلظت آرسنیک در زیست محیط
۱۵.....	جدول ۱-۵: انواع بیماری ناشی از آرسنیک
۳۸.....	جدول ۲-۱: ویژگی سازندهای تشکیل دهنده حوزه آبریز قروه
۳۹.....	جدول ۲-۲: واحدهای اراضی استان کردستان
۴۱.....	جدول ۲-۳: وضعیت کاربری های عمده اراضی استان کردستان و شهرستان قروه
۵۸.....	جدول ۳-۱: خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک های مورد مطالعه عمق (۰-۱۰) سانتی متری
۵۹.....	جدول ۳-۲: خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک های مورد مطالعه عمق (۴۰-۵۰) سانتی متری
۶۲.....	جدول ۳-۳: ضرایب همبستگی میان پارامترهای فیزیکو شیمیایی خاک، شاخص پارکرو آرسنیک عمق (۰-۱۰)
۶۳.....	جدول ۳-۴: ضرایب همبستگی میان پارامترهای فیزیکو شیمیایی خاک، شاخص پارکرو آرسنیک عمق (۴۰-۵۰)
۶۴.....	جدول ۳-۵: ضرایب همبستگی میان شدت آبشویی و پارامترهای فیزیکو شیمیایی خاک
۶۴.....	جدول ۳-۶: ضرایب همبستگی میان پارامتر $L^*$ با پارامترهای فیزیکو شیمیایی خاک عمق (۰-۱۰) سانتی متری
۶۵.....	جدول ۳-۷: ضرایب همبستگی میان پارامتر $L^*$ با پارامترهای فیزیکو شیمیایی خاک عمق (۴۰-۵۰) سانتی متری

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۵.....	شکل ۱-۱: بیماری‌های ناشی از آرسنیک
۱۷.....	شکل ۲-۱: انواع متیلاسیون آرسنیک
۱۹.....	شکل ۳-۱: دیاگرام پایداری انواع آرسنیک با توجه به مقادیر (Eh,pH)
۲۰.....	شکل ۴-۱: دامنه pH جهت ماکزیمم جذب آرسنات و آرسنیت در اکسیدهای آهن و آلومینیوم
۲۱.....	شکل ۵-۱: دامنه pH جهت ماکزیمم جذب آرسنات و آرسنیت در کانی‌های رسی
۲۳.....	شکل ۶-۱: توزیع کلی بار در کلوئیدهای خاک
۲۸.....	شکل ۷-۱: فضای سه بعدی سیستم استاندارد بین‌المللی CIE
۳۵.....	شکل ۱-۲: موقعیت زیر حوزه آبخیز دشت قروه و محل‌های نمونه برداری
۴۶.....	شکل ۲-۲: منحنی‌های استاندارد منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم
۴۷.....	شکل ۳-۲: منحنی استاندارد آرسنیک
۵۱.....	شکل ۴-۲: منحنی‌های استاندارد آهن و منگنز
۵۴.....	شکل ۵-۲: مثلث بافت خاک
۵۶.....	شکل ۶-۲: نقشه شدت آبخویی
۶۳.....	شکل ۱-۳: رابطه بین شاخص پارکر با کربنات کلسیم عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر
۶۳.....	شکل ۲-۳: رابطه بین شاخص پارکر با اکسیدهای آزاد آهن بی‌شکل در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر
۶۴.....	شکل ۳-۳: رابطه بین شاخص پارکر با اکسیدهای آزاد منگنز بی‌شکل در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر
۶۴.....	شکل ۴-۳: رابطه بین درصد شن با شاخص پارکر در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر
۶۵.....	شکل ۵-۳: رابطه بین شاخص پارکر با pH در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۵.....	شکل ۶-۳: رابطه بین شاخص پارکر با کربنات کلسیم در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۶.....	شکل ۷-۳: رابطه بین شاخص پارکر با ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۶.....	شکل ۸-۳: رابطه بین شاخص پارکر با درصد شن در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۷.....	شکل ۹-۳: رابطه بین شاخص پارکر با درصد رس در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۷.....	شکل ۱۰-۳: رابطه بین شاخص پارکر با اکسید آزاد آهن کل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۸.....	شکل ۱۱-۳: رابطه بین شاخص پارکر با اکسید آزاد آهن بی‌شکل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۸.....	شکل ۱۲-۳: رابطه بین شاخص پارکر با آرسنیک کل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر
۶۹.....	شکل ۱۳-۳: رابطه بین شاخص پارکر با آرسنات در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر

- شکل ۳-۱۴: رابطه بین شاخص پارکر با نسبت (آرسنات به آرسنیک) کل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر ..... ۶۹
- شکل ۳-۱۵: رابطه بین تفاضل شاخص پارکر دو عمق با تفاضل آرسنیک کل دو عمق ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۶: رابطه بین تفاضل شاخص پارکر دو عمق با تفاضل آرسنات دو عمق ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۷: رابطه بین میزان آرسنیک با اکسیدهای آزاد آهن کل در عمق ۱۰-۰ سانتی متر ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۸: رابطه بین میزان آرسنیک با اکسیدهای آزاد آهن بی شکل در عمق ۱۰-۰ سانتی متر ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۹: رابطه بین میزان آرسنیک با درصد رس در عمق ۱۰-۰ سانتی متر ..... ۷۲
- شکل ۳-۲۰: رابطه بین میزان آرسنیک با اکسیدهای آزاد آهن کل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر ..... ۷۲
- شکل ۳-۲۱: رابطه بین میزان آرسنیک با اکسیدهای آزاد آهن بی شکل در عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر ..... ۷۳
- شکل ۳-۲۲: رابطه بین میزان آرسنیک با درصد رس در عمق ۵۰-۴۰ سانتی متر ..... ۷۳



## فصل اول

### مقدمه و کلیات تحقیق

۱-۱ - مقدمه

یکی از مهمترین مسائل دنیای امروزی، آلودگی محیط زیست به فلزات سمی و خطرناک می باشد (Arupk et al., 1999). استخراج فلزات از معادن و کاربرد گسترده فلزات سنگین در صنایع باعث شده که غلظت این فلزات در خاک، آب، فاضلاب و هوا بیشتر از مقادیر زمینه‌ای افزایش پیدا کند. مکانیزم اثر سمیت فلزات سنگین ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به گوگرد و بدین طریق مختل کردن فعالیت آنزیم‌های حیاتی در موجودات زنده می باشد (Sarioglu, 2004). یکی از عناصر بسیار سمی که در برخی از نقاط جهان مشکلات زیست محیطی و بهداشتی زیادی را بوجود آورده است عنصر آرسنیک (As) است (Matschullat, 2000). آرسنیک یک عنصر گوگرد دوست، که با غلظت کم در محیط وجود دارد و اغلب به صورت ترکیب با گوگرد در کانی‌هایی مانند آرسینوپیریت  $FeAsS$  یافت می‌شود. آب‌های طبیعی دارای غلظت پایینی از آرسنیک به شکل  $As(III)$  به صورت  $As(OH)_3$  و به شکل  $As(V)$  به صورت  $H_2AsO_4$  هستند. آرسنیک در رنگدانه‌ها، داروها و سم‌ها به کار برده می‌شود اگرچه بسیاری از این کاربردها به دلیل سمی بودن آن کنار گذاشته شده ولی استفاده از برخی از آنها تا سده بیستم ادامه داشت. امروزه یکی از کاربردهای اصلی آن در ترکیب‌های آلی آرسنیک برای آفت کش‌ها و مواد محافظ چوب است. همچنین آرسنیک یک سازای آرسینو گالیم  $GaAs$  است که یک نیمه رسانای مهم می‌باشد. در تولید  $GaAs$  گاز بسیار سمی آرسین ( $AsH_3$ ) تولید

می‌شود که باید به شدت مهار شود. منابع اصلی بشر زاد آرسنیک در محیط طبیعی، منابع اتفاقی هستند که از آزاد شدن این عنصر به صورت ناخالصی از مواد گوناگون مانند کودهای فسفاته بوجود می‌آیند. ترکیب‌هایی مانند  $As_2O_3$  و سولفیدها نیز به نسبت فرازند و از راه احتراق سوخت‌های فسیلی (بویژه زغال سنگ) و در طی استخراج برخی از عناصر از کانی‌های سولفیدی، به درون اتمسفر رها می‌شوند. بیشتر آرسنیک مصرفی در صنعت به صورت یک فرآورده فرعی از استخراج مس و سرب به دست می‌آید. غلظت آرسنیک در غبارهای هوا برد مناطق صنعتی بیش از ۱۰۰۰ برابر میانگین پوسته‌ای آن بوده و این آرسنیک همراه با منابع کشاورزی می‌تواند به غلظت بالای آرسنیک در خاک بینجامد. آرسنیک بیشتر به شکل  $As(III)$  سمی است چرا که مانند دیگر عناصر گوگرد دوست با گروه‌های  $-SH$  ترکیب شده و با عمل آنزیم‌ها تداخل می‌کند. شکل اکسیده  $As(V)$  از ۴  $H_2AsO^-$  از نظر شیمیایی همانند فسفات است و ممکن است با سوخت و ساز فسفات تداخل کند که البته سمی بودن آن از  $As(III)$  کمتر است. تبدیل درونی شکل‌های شیمیایی گوناگون آرسنیک بوسیله برخی ریزاندام‌ها انجام می‌پذیرد. شکل‌های متیله شده بویژه تری متیل آرسین  $(CH_3)_3As$  به مقدار کم در اتمسفر یافت می‌شوند. مسمومیت حاد آرسنیک سبب آماس شدید معده و روده می‌شود و اثرهای دراز مدت مقادیر کم آن شامل از دست دادن مو و زخم پوست می‌شود. مشکل بتوان پاسخ داد که آیا غلظت کلی آرسنیک در محیط برای سلامتی خطر دارد. البته آلودگی گسترده به صورت غلظت بیش از غلظت محیط طبیعی، وجود دارد، ولی بیشترین آلودگی ناشی از معدنکاری و دیگر صنایعی است که چندین سده پویا بوده‌اند (مر ۱۳۸۲). تجمع آرسنیک در خاک، خطر ریسک شستشوی آرسنیک و ورود آن در آب‌های زیرزمینی و سطحی را افزایش می‌دهد (Jiang, 2001).

## ۱-۲- آرسنیک

آرسنیک که در فارسی به آن زرنیخ گفته می‌شود، عنصر شیمیایی است که در جدول تناوبی با علامت  $As$  مشخص است و شبه فلز معروفی است که به سه شکل زرد، سیاه و خاکستری یافت می‌شود. آرسنیک عنصری است سمی که جز فلزات سنگین می‌باشد (Matschullat, 2000). حد مجاز تعیین شده آرسنیک در آب آشامیدنی توسط WHO ۱۰ میکروگرم در لیتر گزارش شده است، همچنین حد مجاز آن در خاک با توجه به نوع خاک (درصد رس و ماده آلی) در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد و به طور کلی دامنه آن بین ۰-۳۰ ppm است (Cairney, 1987) راه‌های ورود آن به

آب و خاک بعلت وجود معادن سنگ فلزات نظیر آهن و هم چنین در نتیجه تشکیلات آذرین متشکل از مواد مادری و یا نهشته های زیرین و یا جریان های عمقی آبی که به سطح راه می یابند و مصرف مواد ضد آفات نباتی و حشره کش های حاوی آرسنیک می باشد (Sisr et al, 2007). آرسنیک در گیاهان و موجودات آبی که اغلب جنبه غذایی برای انسان دارند ، وجود دارد که در اثر مصرف این موجودات توسط انسان خودبخود وارد بدن شده و تجمع یافته و ایجاد مسمومیت می نماید. اهمیت آرسنیک بدلیل اختلال در سنتز DNA و RNA است که سرانجام باعث سرطان می شود (Rosas et al, 1999; Tsuji, 2005). سرطان پوست ناشی از آرسنیک در اثر تماس از طریق جلدی و سرطان کبد در کارگرانی که بمدت طولانی در معرض آرسنیک قرار داشته گزارش شده است . اثر آرسنیک بر انسان از طریق پوست و بیشتر با تماس شغلی با این عنصر می باشد و از طریق تخلیه پسابها در محیط وارد چرخه های زیست محیطی می گردند (Johannesson et al 2002; Sadiq et.al, 2002). ترکیبات معدنی محلول در آب آرسنیک بیشتر از ۸۰٪ از طریق ششها و روده جذب بدن می شود اما جذب از طریق پوست مهم و قابل توجه می باشد . افزایش موارد تولد کودکان استثنائی ، تولدهای با وزن کم ، تولد کودکان ناهنجار و مرگ در اثر ترکیبات آرسنیک مشاهده شده است (Jecfa, 2003). به هر حال ترکیبات آرسنیک معدنی بوسیله آژانس بین المللی و تحقیقات سرطان شناسی به عنوان عامل سرطان زا برای پوست و شش شناخته شده است (Sadiq et al., 2002; Smith et al., 2002). آرسینوپیریت (سنگ آرسنیک) که میس پیکل Mispickel هم نامیده می شود، از سولفور آن بر اثر حرارتِ بیشترین مقدار آرسنیک جدا می شود. مهم ترین ترکیبات آرسنیک عبارت است از: (آرسنیک سفید)، (گرد حشره کش) (آرسنیت کلسیم) و آرسنیت سرب. از گرد حشره کش، آرسنیت کلسیم و آرسنیت سرب به عنوان سموم و حشره کش ها در کشاورزی استفاده می شود. این عنصر گهگاه بصورت خالص یافت می شود ولی معمولاً بصورت ترکیب با نقره، کبالت، نیکل، آهن آنتیموان یا سولفور وجود دارد. روشهای اندازه گیری آرسنیک به روش های مختلف صورت می گیرد اهم این روش ها استفاده از دستگاه جذب اتمی بصورت هیدرید. استفاده از روش یدومتری بوسیله نقره در اتیل دی تیو کاربامات به روش اسپکتروفتومتری می باشد. و حذف آن بیشتر از طریق آهک زنی و ته نشینی الکتریکی اسمز معکوس و تعویض یون صورت می گیرد .

## ۱-۲-۱- خصوصیات شیمیایی آرسنیک

آرسنیک یک ماده جامد شکننده با رنگ فلزی نقره‌ای تا خاکستری، و یک ماده کریستاله است. شعاع اتمی آن  $1,33\text{\AA}$  عدد اتمی آن ۳۳، جرم اتمی آن  $74/92$ ، نقطه ذوب آن  $817$  درجه سانتی‌گراد و نقطه تصعید آن  $613$  درجه سانتی‌گراد است. آرسنیک از نظر شیمیایی شبیه فسفر است تا حدی که در واکنش‌های بیوشیمیایی می‌تواند جایگزین آن شود از اینرو سمی است. وقتی به آن حرارت داده شود بصورت اکسید آرسنیک در می‌آید (اکسیده می‌شود) (Eisler, 2004). آرسنیک همراه با فسفر، آنتیموان و بیسموت در گروه VB جدول تناوبی عناصر قرار دارد (عابدینی، ۱۳۷۰). حالت‌های اکسیداسیون آرسنیک به صورت شبه فلز ( $As^0$ )، آرسنات ( $As^{5+}$ )، آرسنیت ( $As^{3+}$ ) و یا آرسین ( $As^{3-}$ ) است که البته آرسنیک موجود در زمین عمدتاً به فرم آرسنیت و آرسنات یافت می‌شود (Chapagain et al., 2007). ترکیبات حاوی آرسنیک از نظر سمیت بر اساس ظرفیت آرسنیک موجود در آنها طبقه بندی می‌شود. اشکال غیر آلی آرسنیک مانند گاز آرسنیک (گاز آرسین) از اشکال آلی آن مانند تری بوتیل آرسین سمی تر هستند. این فلز در سراسر پوسته زمین اغلب به شکل سولفید آرسنیک یا آرسنات‌های فلزی و آرسنیدها وجود دارد (WHO, 1996). در جدول ۱-۱ انواع ترکیبات آرسنیک همراه با خواص فیزیکی و شیمیایی آنها ارائه شده است.

جدول ۱-۱: خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیبات آرسنیک (WHO, 1996)