



## بررسی آلودگی آب، خاک و گندم منطقه بیجار به آرسنیک

ناصر کریمی<sup>۱\*</sup>، محمد پرمهر<sup>۲</sup> و حمید رضا قاسم‌پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه  
<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۹

### Contamination Study of Water, Soil and Wheat to Arsenic of the Bijar Region

Naser Karimi,<sup>1\*</sup> Mohammad Pormehr<sup>2</sup>  
& Hamaid Reza Ghasempour<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Razi, Kermanshah

<sup>2</sup> MSc. of Plant Physiology, Faculty of Sciences, University of Razi, Kermanshah

<sup>3</sup> Associate professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Razi, Kermanshah

#### Abstract

Arsenic is a naturally occurring element which pose a potential risk to groundwater quality, as well as food safety through As transportation in soil-water-plant systems. Therefore, plants such as cereal are the main way of As transportation to the food chain. In this study, to evaluate the arsenic transfer rate in agricultural products and the risk of its poisoning, surface water, soil and wheat samples were collected from the Bijar County, which has a history of naturally occurring arsenic pollution. The As concentration of surface water and soil samples are in ranged of 0.52-484.64 µg/L and 138.2 to 1775.2 mg/kg respectively. Also some physico-chemical parameters of water and soil which had direct effects on As pollution were estimated. The As concentration of wheat shoot samples were between 1.79-30.58 mg/kg and As concentration of wheat seed samples were 0.003-0.08 mg/kg. Based on these results, arsenic levels in waters and soils were significantly correlated, but arsenic accumulation in wheat samples were not correlated significantly with soil arsenic concentration.

**Keywords:** Arsenic, Chemical parameters, Environmental pollutants, Food chain, Physical parameters, Wheat.

#### چکیده

آرسنیک یک آلاینده محیطی است و می‌توان از طریق آب و خاک آلوده به گیاهان منتقل شود. بر این اساس گیاهان (به‌ویژه غلات) یکی از راه‌های ورود آرسنیک به زنجیره‌ غذایی انسان محسوب می‌شوند. در این مطالعه انتقال آرسنیک به محصولات کشاورزی و ریسک انتقال آن به انسان در آب‌های سطحی، خاک و گندم ناحیه آلوده به آرسنیک بیجار مورد بررسی قرار گرفت. غلظت آرسنیک آب ۰/۵۲ تا ۴۸۴/۶۴ میکروگرم بر لیتر و غلظت آرسنیک خاک ۱۳۸/۲ تا ۱۷۷۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین برخی از متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب و خاک که بر روی آلودگی آرسنیک مؤثر است اندازه‌گیری شدند. غلظت آرسنیک بخش هوایی نمونه‌های گندم ۱/۷۹ تا ۳۰/۵۸ و غلظت آرسنیک دانه‌های گندم ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بر پایه این نتایج، غلظت آرسنیک در آب و خاک رابطه معنی‌داری را نشان داد اما همبستگی غلظت آرسنیک خاک با مقدار تجمع آن در گندم معنی‌دار نبود.

**کلمات کلیدی:** آرسنیک، آلاینده محیطی، زنجیره‌ غذایی، گندم، متغیرهای شیمیایی، متغیرهای فیزیکی.

\* Corresponding Author. E-mail Address: nkarimie@yahoo.com

## ۱- مقدمه

آرسنیک به عنوان یک عنصر سمی در منابع آب، خاک، گیاهان و هوا یافت می‌شود [۱]. سمیت آرسنیک وابسته به وضعیت اکسیداسیون آن است و به دو شکل آلی و معدنی می‌باشد که به طور طبیعی و یا در اثر فعالیت‌های صنعتی، غلظت آن در محیط افزایش می‌یابد [۲]. شکل معدنی آرسنیک به دلیل انتقال آن از منابع آب، خاک و گیاهان به انسان بیشتر حائز اهمیت است [۳]. مطالعات انجام شده نقش آرسنیک معدنی را در بروز سرطان در انسان نشان می‌دهد که می‌توان به سرطان مثانه، روده، پوست، کلیه و کبد اشاره کرد [۴]. یکی از راه‌های شایع آلودگی آرسنیک نوشیدن آب‌های آلوده است که در خیلی از نقاط جهان مانند چین، بنگلادش، تایوان، ویتنام، هند، شیلی، آرژانتین و آمریکا گزارش شده، اما از آنجایی که آب‌های زیرزمینی و جاری در این مناطق برای آبیاری مزارع نیز استفاده می‌شود، لذا خطر انتقال آرسنیک از آب و خاک آلوده به گیاه و نیز ورود آن به زنجیره غذایی انسان وجود دارد [۵]. چنان‌که در مناطق بزرگی از بنگلادش، غرب بنگال و هند، از آب‌های سطحی آلوده به آرسنیک برای آبیاری مزارع برنج استفاده می‌شود [۶]. بر اساس مطالعات صورت گرفته احتمالاً برنج این نواحی یک منبع غذایی آلوده به آرسنیک باشد [۷]. آلودگی آرسنیک در ایران هم سابقه‌ای چند ساله دارد که در این رابطه می‌توان به آلودگی مناطقی از استان خراسان و کردستان اشاره کرد [۸ و ۹]. آلودگی آرسنیک، اکوسیستم و موجودات زنده را در این مناطق تحت تأثیر قرار داده و عوارض سمیت آن در بین مردم این مناطق شایع است [۱۰].

از آنجایی که جذب آرسنیک توسط گیاهان و ورود آن به زنجیره غذایی یکی از راه‌های انتقال آرسنیک به انسان است، لذا غلات به عنوان کشت غالب مناطق آلوده به آرسنیک در جهان نقش مهمی در این زمینه دارند. به طوری که بعد از غذاهای دریایی بیشترین غلظت آرسنیک در برنج مشاهده شده است، که غذای اصلی مردم جنوب شرقی آسیا می‌باشد و این مناطق دارای بالاترین غلظت آرسنیک در منابع آب و خاک هستند [۱۱]. علاوه بر غلظت

آرسنیک در دانه غلات میزان تجمع آن در بخش‌های هوایی نیز دارای اهمیت است به دلیل آن‌که از کاه و کلس به جا مانده در زمین‌های کشاورزی مناطق آلوده برای تغذیه دام استفاده می‌شود که این موضوع باعث ورود آرسنیک به شکل دیگر به زنجیره غذایی انسان می‌شود [۱۲]. گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی ایران و جهان است که کشت غالب (مناطق آلوده به آرسنیک) استان کردستان را تشکیل می‌دهد [۱۳]. لذا در این پژوهش علاوه بر بررسی آب و خاک ناحیه آلوده از نظر غلظت آرسنیک و متغیرهای مربوطه، میزان تجمع آرسنیک در بخش‌های مختلف گندم اندازه‌گیری و ارتباط آن با غلظت آرسنیک آب‌های جاری و خاک ناحیه آلوده به منظور مطالعه چرخه انتقال آرسنیک از آب، خاک و گیاه به انسان بررسی شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان کردستان واقع در غرب ایران و در همسایگی کشور عراق قرار دارد. این منطقه ۱/۷ درصد خاک ایران را تشکیل می‌دهد. در شمال شرقی این استان و در شهرستان بیجار منطقه‌ای با مساحت ۵۸۰ کیلومتر مربع وجود دارد که دارای آلودگی طبیعی آرسنیک در منابع آب و خاک است [۱۴]. قرارگیری شهرستان بیجار بر روی زون آتشفشانی سندج-سیرجان، فعالیت آتشفشان‌های جوان، فرسایش سنگ‌های بستر و فعالیت چشمه‌های تراورتنی منجر به آلودگی آرسنیک به شکل طبیعی در این منطقه شده است [۱۵]. در پژوهش حاضر شش روستا از این ناحیه آلوده انتخاب شد (نجف‌آباد، باشوکی، ابراهیم‌آباد، بابانظر، گوندک، علی‌آباد) که بر اساس مطالعات گذشته آلودگی آرسنیک در آن‌ها تایید شده [۱۰] و در تابستان سال ۱۳۹۰ نمونه‌برداری از آب، خاک و گندم این ناحیه صورت گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

## ۲-۲- نمونه برداری و تجزیه آب‌های سطحی

نمونه برداری از چشمه‌های کم عمق و آب‌های سطحی که برای شرب و آبیاری مزارع استفاده می‌شوند صورت گرفت. نمونه‌های آب در ظروف پلی‌اتیلنی که از قبل به مدت یک شب در اسید نیتریک ده درصد قرار داشتند جمع‌آوری و در آزمایشگاه برای جلوگیری از هرگونه تغییری، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند. متغیرهای کیفی آب شامل: pH، سختی، هدایت الکتریکی، میزان کل ذرات جامد حل شده به ترتیب با استفاده از (pH متر WPA) (model CD-100، تیتراسیون با اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، هدایت‌سنج و TDS متر WPA model CMD-200) و بر اساس روش‌های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب اندازه‌گیری شد [۱۶]. هم‌چنین غلظت آرسنیک آب توسط طیف‌سنجی جذب اتمی (Shimadzu, 6200) به همراه دستگاه تولید هیدرید (FIG 100) تعیین شد. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری آرسنیک تا ۰/۲ میکروگرم بر لیتر بود.

## ۳-۲- نمونه برداری و تجزیه خاک‌های سطحی

نمونه برداری از خاک مناطق آلوده با سه شیوه متفاوت انجام شد (۱۸ نمونه خاک برای هر منطقه). ابتدا نمونه‌های خاک با فاصله‌های معینی (۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ متر) از چشمه‌های آلوده که نمونه برداری از آب آن‌ها به عمل آمده بود جمع‌آوری شدند. در روش دوم نمونه‌های خاک از عمق‌های متفاوت (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر) برداشت شدند. در

روش سوم به منظور اندازه‌گیری عامل تجمع زیستی، نمونه برداری از خاک اطراف ریشه گیاهان به عمل آمد. سپس در آزمایشگاه برخی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد [۱۷]، ماده آلی خاک به روش احتراق خشک [۱۸]، pH پس از تهیه عصاره خاک با pH متر اندازه‌گیری شد. پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم خاک به ترتیب به روش فلیم فتومتری (Corning, 410)، روش اولسن<sup>۱</sup> [۱۹]، روش تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین آرسنیک خاک به وسیله طیف‌سنج جذب اتمی (Shimadzu, 6200) به همراه دستگاه تولید هیدرید (FIG 100) و با روش زنده سلیمی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌گیری شد [۱۰]. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری آرسنیک تا ۰/۲ میکروگرم بر لیتر بود.

## ۴-۲- سنجش فسفر خاک

اندازه‌گیری غلظت فسفر خاک بر اساس روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) انجام شد [۱۹]. در این روش ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ به ۲ به خاک اضافه و توسط همزن شیشه‌ای مخلوط شد. پس از صاف کردن، محلول به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و با استفاده از آب مقطر به حجم رسید. از محلول فوق ۲۵ میلی‌لیتر برداشته به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و pH آن روی ۱/۵ تا ۲ تنظیم شد. سپس ۱۵ میلی‌لیتر معرف آمونیوم وانادات به نمونه‌ها اضافه شد که با فسفر کمپلکس رنگی تشکیل داد. در ادامه محلول با آب مقطر به حجم رسیده و یکنواخت شد.

نهایتاً در طول موج ۴۵۰ نانومتر جذب نمونه‌ها توسط اسپکتروفوتومتر (Tomas, 302) قرائت شده و غلظت فسفر با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

## ۲-۵- سنجش آرسنیک در نمونه‌های گیاهی

برای اندازه‌گیری آرسنیک کل در نمونه‌های گیاهی به روش مهارگ و جاردين<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) عمل شد: ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه‌ها به لوله‌های کجدال منتقل و با ۲ میلی لیتر اسید نیتريك غلیظ مخلوط شد. پس از نگهداری مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق، ۲ میلی لیتر آب اکسیژنه به هر نمونه اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در هر یک از دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حمام شنی قرار گرفتند. پس از سرد شدن نمونه‌ها و صاف کردن آن‌ها، نمونه‌ها در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند. برای تجزیه نمونه‌ها، ۱ میلی‌لیتر از محلول صاف شده را با مخلوط اسید کلریدیک ۱۰ درصد، یدید پتاسیم ۵درصد و اسید آسکوربیک ۵درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و در نهایت غلظت آرسنیک آن‌ها به وسیله دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی (Shimadzu, 6200) به همراه دستگاه تولید هیدرید (FIG 100) اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری آرسنیک تا ۰/۲ میکروگرم بر لیتر می‌باشد [۲۰].

## ۲-۶- نمونه‌برداری و تجزیه گیاهان ناحیه آلوده

نمونه‌برداری از گندم ناحیه آلوده هم‌زمان با نمونه‌برداری از خاک و در مکان‌های یکسانی انجام شد. در هنگام نمونه‌گیری تنها بخش هوایی نمونه‌ها شامل ساقه، برگ‌ها و خوشه جمع‌آوری شد. نمونه‌های گندم از طریق هرباریوم مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمانشاه تعیین رقم شدند (رقم سرداری). پس از شناسایی نمونه‌های مناطق مختلف و شست‌وشوی آن‌ها با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفته تا خشک شوند. سپس آرسنیک کل در نمونه‌ها با روش مهارگ و جاردين<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) اندازه‌گیری شد.

## ۲-۷- تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 18 و رسم نمودارها با Excel 2010 انجام شد. داده‌ها تحت تجزیه واریانس یک‌طرفه قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال  $p < 0/05$  انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب‌های سطحی ناحیه آلوده

نتایج تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب ناحیه آلوده (جدول ۱) اختلاف معنی‌داری را در متغیرهای غلظت آرسنیک، هدایت الکتریکی و مواد جامد کل نشان داد (در سطح ۵ درصد). بر اساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت (۱۹۹۹) غلظت مجاز آرسنیک برای آب‌های شرب ۱۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد [۲۱]. اما نتایج مقایسه میانگین غلظت آرسنیک نمونه‌های آب در شش روستای مورد مطالعه نشان داد که، (جدول ۲) به غیر از روستای نجف آباد، در سایر مناطق، غلظت آرسنیک نمونه‌های آب بالاتر از استاندارد مجاز بوده و اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بین مناطق آلوده از لحاظ غلظت آرسنیک آب وجود دارد. بیشترین و کمترین غلظت آرسنیک در نمونه‌برداری صورت گرفته در روستاهای ابراهیم‌آباد و نجف‌آباد به ترتیب با ۴۸۴/۶۴ و ۰/۵۲ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. همچنین متغیرهای هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد کل در نمونه‌های آب به ترتیب با میانگین ۴۴۰/۰۵ تا ۸۳۲/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۵۱/۷۳ تا ۵۶۸/۵۱ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد بین مناطق آلوده نشان دادند (جدول ۲). بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در روستاهای علی‌آباد و ابراهیم‌آباد اندازه‌گیری شد و کمترین مقدار هدایت الکتریکی در روستای نجف‌آباد مشاهده شد. در حالی که روستاهای علی‌آباد و نجف‌آباد نیز بیشترین و کمترین غلظت مواد جامد کل را نشان دادند. همچنین در روستاهای باشوکی، بابانظر و گوندک اختلاف معنی‌داری در این متغیرها مشاهده نشد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد، در متغیرهای pH و سختی نمونه‌های آب نشان نداد. میانگین pH نمونه‌های آب در هر یک از مناطق آلوده خنثی بود و بر اساس اندازه‌گیری غلظت کربنات کلسیم، جزء آب‌های سخت دسته‌بندی شدند (جدول ۲). همچنین بر اساس نتایج همبستگی متغیرهای اندازه‌گیری شده (جدول ۳)، بین متغیرهای هدایت الکتریکی و غلظت مواد جامد کل با مقدار آرسنیک نمونه‌های آب رابطه معنی‌داری مشاهده شد (در سطح ۵ درصد).

جدول ۱- تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب در شش روستای ناحیه آلوده

منابع تغییرات	درجه آزادی	آرسنیک	pH	هدایت الکتریکی	مواد جامد کل	سختی
مکان	۵	۶۲/۷۲*	۰/۳۰۷ns	۳۷/۱۶*	۱۲۸/۲*	۰/۸۶۷ ns
خطا	۱۲					
کل	۱۸					

\* وجود اختلاف معنی‌دار و ns: عدم اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪)

جدول ۲- مقایسه میانگین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب در شش روستای ناحیه آلوده

مکان	آرسنیک ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	pH	هدایت الکتریکی ( $\text{ds m}^{-1}$ )	مواد جامد کل ( $\text{mg l}^{-1}$ )	سختی ( $\text{mg l}^{-1}$ )
نجف‌آباد	۰/۵۲ <sup>d</sup> ± ۰/۰۷	۷/۱۵ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲	۴۴۰/۰۵ <sup>d</sup> ± ۱۰	۲۵۱/۷۳ <sup>d</sup> ± ۱۰	۱۵۹/۲۱ <sup>a</sup> ± ۱۴
باشوکی	۱۷۲/۹ <sup>c</sup> ± ۸۱	۷/۱۷ <sup>a</sup> ± ۰/۰۳	۵۵۰/۱۱ <sup>c</sup> ± ۱۰	۳۱۱/۲۴ <sup>cd</sup> ± ۱۱	۱۶۸/۱۱ <sup>a</sup> ± ۹
ابراهیم‌آباد	۴۸۴/۶۴ <sup>a</sup> ± ۲۵	۷/۱۴ <sup>a</sup> ± ۰/۰۰۵	۸۰۱/۳۲ <sup>a</sup> ± ۱۰۰	۴۵۱/۱۷ <sup>b</sup> ± ۲۰	۱۷۱/۲۲ <sup>a</sup> ± ۹
بابانظر	۶۷/۳۷ <sup>d</sup> ± ۲۳	۷/۱۶ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲	۶۱۱/۰۹ <sup>b</sup> ± ۱۱	۳۵۸/۵۱ <sup>c</sup> ± ۲۰	۱۶۱/۴۵ <sup>a</sup> ± ۲۰
گوندک	۱۶۶/۳ <sup>c</sup> ± ۱۹	۷/۱۵ <sup>a</sup> ± ۰/۰۴	۶۵۲/۱۷ <sup>b</sup> ± ۲۰	۳۶۹/۴۱ <sup>c</sup> ± ۹	۱۶۰/۱۰ <sup>a</sup> ± ۹
علی‌آباد	۳۵۸/۱۵ <sup>b</sup> ± ۳۴	۷/۱۶ <sup>a</sup> ± ۰/۰۱	۸۳۲/۴۳ <sup>a</sup> ± ۱۰	۵۶۸/۵۱ <sup>a</sup> ± ۲۰	۱۷۵/۱۳ <sup>a</sup> ± ۲

میانگین ± انحراف معیار. میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵٪ نشان می‌دهند.

جدول ۳- ضریب‌های همبستگی بین غلظت آرسنیک آب و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب ناحیه آلوده

متغیر	آرسنیک	pH	هدایت الکتریکی	مواد جامد کل	سختی
آرسنیک	۱/۰۰				
pH	-۰/۰۲	۱/۰۰			
هدایت الکتریکی	۰/۸۶*	۰/۰۲	۱/۰۰		
مواد جامد کل	۰/۸۵*	۰/۰۵	۰/۹۱*	۱/۰۰	
سختی	۰/۳۷	۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۴۲	۱/۰۰

\* نشان دهنده وجود همبستگی در سطح ۵٪ می‌باشد.

### ۲-۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی ناحیه آلوده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک ناحیه آلوده (جدول ۴) اختلاف معنی‌داری در متغیرهای بافت خاک (لومی- شنی و لومی- سیلتی)، غلظت آرسنیک، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر مشاهده شد (در سطح ۵ درصد). استانداردهای کیفی خاک که توسط بانک اطلاعات محیط‌زیست ایران برای عنصر آرسنیک تعریف شده، اشاره دارد که حد مناسب آرسنیک در خاک ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد مجاز برای سلامتی انسان و محیط ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد [۲۲]. این در حالی است که میانگین غلظت آرسنیک خاک در تمام نمونه‌ها بالاتر از ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (جدول ۵). بر این اساس خاک این ناحیه از نظر

زیست‌محیطی آلودگی بالایی دارد. روستاهای ابراهیم‌آباد، علی‌آباد، گوندک و باشوکی بالاترین غلظت آرسنیک خاک را داشتند و فاقد اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) با هم بودند. کمترین غلظت آرسنیک خاک نیز در روستای نجف‌آباد اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس بافت خاک مناطق آلوده (جدول ۴) اختلاف معنی‌داری را در بافت لومی- شنی و بافت لومی- سیلتی نشان داد اما در بافت لومی- رسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (در سطح ۵ درصد). نتایج مقایسه میانگین درصد بافت لومی- شنی در خاک مناطق آلوده (جدول ۵) اختلاف معنی‌داری برای روستای باشوکی با روستاهای نجف‌آباد، ابراهیم‌آباد و گوندک نشان داد در حالی که به غیر از روستای باشوکی سایر روستاها از نظر بافت لومی- شنی اختلاف معنی‌داری با هم نشان ندادند. هم‌چنین در نتایج مقایسه میانگین درصد بافت

ابراهیم‌آباد و علی‌آباد با ۳/۵ و ۳/۹ و روستاهای بابانظر و گوندک با ۱/۶ و ۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر خاک نیز با میانگین ۱۱۴/۵ تا ۱۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری را در مناطق مورد مطالعه نشان داد (در سطح ۵ درصد). بیشترین غلظت فسفر در روستای علی‌آباد و کمترین غلظت آن نیز در روستاهای نجف‌آباد و بابانظر مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک ناحیه آلوده (جدول ۴) اختلاف معنی‌داری را در متغیرهای pH و ماده آلی نشان داد. خاک این مناطق از لحاظ مقدار pH جزء خاک‌های قلیایی (۸ تا ۹) و قلیایی ضعیف (۷ تا ۸) دسته‌بندی شد و غلظت ماده آلی خاک نیز ۰/۷۹ تا ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (جدول ۵). از میان متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک، تنها غلظت فسفر همبستگی معنی‌داری را با غلظت آرسنیک خاک نشان داد و سایر متغیرها فاقد رابطه معنی‌داری بودند (جدول ۶).

لومی- سیلنتی خاک مناطق آلوده برای روستای ابراهیم‌آباد با روستاهای نجف‌آباد و بابانظر اختلاف معنی‌داری مشاهده شد اما سایر مناطق اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (در سطح ۵ درصد). میانگین رس در خاک مناطق آلوده ۱۴/۴ تا ۲۶/۷ درصد اندازه‌گیری شد و بر این اساس جزء خاک‌های میان بافت دسته‌بندی شدند (خاک‌هایی با بیش از ۱۰ و کمتر از ۳۵ درصد رس) [۲۳]. از سوی دیگر بر اساس میانگین غلظت پتاسیم خاک (جدول ۵) بیشتر مناطق مورد مطالعه دارای خاک‌های غنی از پتاسیم بودند (خاک‌هایی با بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم) [۲۳]. بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم خاک با ۵۰۳/۷ و ۲۰۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در روستاهای باشوکی و گوندک اندازه‌گیری شد. همچنین روستاهای ابراهیم‌آباد و گوندک با ۵/۶ و ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و روستاهای نجف‌آباد، بابانظر و علی‌آباد با ۲/۵، ۲/۷ و ۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت کلسیم را نشان دادند. علاوه بر این بیشترین و کمترین غلظت منیزیم نیز در روستاهای

جدول ۴- تجزیه واریانس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در شش روستای ناحیه آلوده

منابع تغییرات	درجه آزادی	آرسنیک	شن	سیلنت	رس	pH	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	فسفر	ماده آلی
مکان	۵	۶۲/۵*	۳/۲*	۲/۴*	۱/۴ <sup>ns</sup>	۰/۳۵ <sup>ns</sup>	۶۹۰*	۴۰/۶*	۵۰/۵*	۸۷/۶*	۱/۳ <sup>ns</sup>
خطا	۱۲										
کل	۱۸										

\*: وجود اختلاف معنی‌دار و ns: عدم اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵٪).

جدول ۵- مقایسه میانگین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در شش روستای ناحیه آلوده

مکان	آرسنیک	شن	سیلنت	رس	pH	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	فسفر	ماده آلی
	Mg kg-1	%	%	%		Mg kg-1	Mg kg-1	Mg kg-1	Mg kg-1	Mg kg-1
نجف‌آباد	c1۳۸/۲	b۵۰/۶	b۲۰/۹	a۲۶/۷	a۸	d۲۵۶/۸	c۲/۵	b۳/۱	d۱۱۴/۵	a۰/۹۵
	± ۱۳	± ۱/۳	± ۲/۱	± ۴/۳	± ۰/۱۲	± ۷/۸	± ۰/۱۱	± ۰/۲۰	± ۳/۱	± ۰/۲۲
بابانظر	b۵۷۷/۷	ab۵۳/۸	b۲۲/۷	a۲۳/۶	a۷/۹	c۳۶۷	c۲/۷	d۱/۷	d۱۱۴/۵	a۰/۷۹
	± ۱۲۷	± ۲/۹	± ۳/۹	± ۶/۶	± ۰/۴۱	± ۷/۶	± ۰/۲۵	± ۰/۲۶	± ۳/۷	± ۰/۱۳
گوندک	a۱۶۶۵/۲	b۴۹/۳	ab۲۴/۵	a۲۵/۵	a۸/۱	e۲۰۳/۳	a۶	d۱/۶	c۱۲۵/۱	a۰/۸۵
	± ۱۲۸	± ۱/۹	± ۵/۱	± ۳/۷	± ۰/۴۱	± ۴	± ۰/۳	± ۰/۱۷	± ۲/۶	± ۰/۰۷
باشوکی	a۱۵۷۹/۶	a۵۶/۹	ab۲۸/۸	a۱۴/۴	a۸	a۵۰۳/۷	b۳/۶	c۲/۴	b۱۵۴/۱	a۱/۱
	± ۱۵۶	± ۱/۲	± ۳/۹	± ۴/۴	± ۰/۰۹	± ۵	± ۰/۳۵	± ۰/۲۵	± ۷/۹	± ۰/۲
علی‌آباد	a۱۷۴۷/۳	ab۵۳/۷	ab۲۵/۴	a۲۱	a۷/۹	b۴۶۰/۲	c۲/۸	a۳/۹	a۱۷۱	a۱
	± ۲۶۹	± ۴/۷	± ۸/۶	± ۱۳/۱	± ۰/۳۳	± ۶/۲	± ۰/۴	± ۰/۲۵	± ۴/۶	± ۰/۲۵
ابراهیم‌آباد	a۱۷۷۵/۲	b۵۰/۲	a۳۴/۸	a۱۵/۷	a۷/۹	d۲۵۸/۶	a۵/۶	a۳/۵	b۱۵۵/۲	a۰/۹۴
	± ۱۱۱	± ۱/۳	± ۶/۹	± ۷/۵	± ۰/۲۱	± ۱۳/۲	± ۰/۷۶	± ۰/۲۵	± ۲	± ۰/۱۶

میانگین ± انحراف معیار. میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵٪ نشان می‌دهند.

جدول ۶- ضریب های همبستگی بین غلظت آرسنیک خاک و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک ناحیه آلوده

متغیر	آرسنیک	شن	سیلت	رس	pH	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	ماده آلی
آرسنیک	۱/۰۰									
شن	-۰/۱۳	۱/۰۰								
سیلت	۰/۴۳	۰/۲۱	۱/۰۰							
رس	-۰/۳۱	-۰/۶۰	-۰/۹۰	۱/۰۰						
pH	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۲۵	-۰/۳۲	۱/۰۰					
فسفر	۰/۱۸۶*	۰/۲۲	۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۱۴	۱/۰۰				
پتاسیم	۰/۱۸	۰/۷۰	۰/۰۶	-۰/۳۴	-۰/۱۱	۰/۵۴	۱/۰۰			
کلسیم	۰/۶۱	-۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۱۱	-۰/۵۵	۱/۰۰		
منیزیم	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۲۵	-۰/۱۹	-۰/۲۴	۰/۶۶	۰/۲۳	-۰/۲۰	۱/۰۰	
ماده آلی	۰/۲۶	-۰/۱۰	-۰/۱۸	۰/۲۴	-۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۳۹	-۰/۰۷	۰/۴۴	۱/۰۰

\* نشان دهنده وجود همبستگی در سطح ۵٪ می باشد.

## ۳-۳- آرسنیک نمونه های گیاهی ناحیه آلوده

نتایج تجزیه واریانس غلظت آرسنیک در گندم (جدول ۷) اختلاف معنی داری را در سطح ۵ درصد بین نمونه های شش روستای مورد مطالعه نشان داد. در این مرحله علاوه بر آرسنیک بخش هوایی نمونه های گندم، آرسنیک دانه ها نیز اندازه گیری شد. بر اساس استانداردهای تعریف شده غلظت مجاز آرسنیک در بخش هوایی گیاهان ۴ میلی گرم بر کیلوگرم (وزن خشک) می باشد، این در حالی است که غلظت مجاز آرسنیک در دانه گندم ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم تعریف شده است [۲۴]. با توجه به نتایج مقایسه میانگین غلظت آرسنیک گندم (جدول ۸) بیشترین مقدار آرسنیک با ۳۰/۵۸ و ۲۴/۸ میلی گرم بر کیلوگرم در بخش هوایی نمونه های روستاهای علی آباد و ابراهیم آباد اندازه گیری شد و چنان که قبلاً اشاره شد این مناطق بیشترین غلظت

آرسنیک را در آب و خاک داشتند. کمترین غلظت آرسنیک با ۱/۷۹ و ۱/۹۱ میلی گرم بر کیلوگرم در نمونه های گندم روستاهای نجف آباد و بابانظر به دست آمد. به غیر از روستاهای نجف آباد و بابانظر در سایر مناطق غلظت آرسنیک بخش هوایی نمونه های گندم بالاتر از حد استاندارد تعریف شده بود (۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۸) غلظت آرسنیک در دانه های گندم ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد، که این مقدار پایین تر از حد استاندارد تعریف شده بود. هم چنین اختلاف معنی داری در روستاهای علی آباد، باشوکی و ابراهیم آباد با روستاهای نجف آباد، بابانظر و گوندک از لحاظ محتوای آرسنیک دانه مشاهده شد (در سطح ۵ درصد).

جدول ۷- تجزیه واریانس غلظت آرسنیک نمونه های گیاهی در شش روستای ناحیه آلوده

منابع تغییرات	درجه آزادی	آرسنیک بخش هوایی	آرسنیک دانه
مکان	۵	۱۶/۵۸*	۹/۵۳*
خطا	۱۲		
کل	۱۸		

\* وجود اختلاف معنی دار (در سطح ۵٪)

جدول ۸- مقایسه میانگین غلظت آرسنیک نمونه های گیاهی در شش روستای ناحیه آلوده

مکان	آرسنیک بخش هوایی گندم (Mg kg <sup>-1</sup> )	آرسنیک دانه گندم (Mg kg <sup>-1</sup> )
نجف آباد	۱/۷۹ <sup>c</sup> ± ۲	۰/۰۳ <sup>bc</sup> ± ۰/۰۲
باشوکی	۵/۹۹ <sup>bc</sup> ± ۱	۰/۰۸ <sup>a</sup> ± ۰/۰۲
ابراهیم آباد	۲۴/۸ <sup>a</sup> ± ۱۳	۰/۰۷ <sup>a</sup> ± ۰/۰۱
بابانظر	۱/۹۱ <sup>c</sup> ± ۳	۰/۰۰۵ <sup>c</sup> ± ۰/۰۰۲
گوندک	۱۴/۸۷ <sup>b</sup> ± ۱۱	۰/۰۰۳ <sup>c</sup> ± ۰/۰۰۳
علی آباد	۳۰/۵۸ <sup>a</sup> ± ۲۳	۰/۰۵ <sup>ab</sup> ± ۰/۰۳

میانگین ± انحراف معیار. میانگین های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی داری را در سطح ۵٪ نشان می دهند.

### ۳-۴- ارتباط بین غلظت آرسنیک خاک‌های

#### سطحی با آب‌های سطحی در ناحیه آلوده

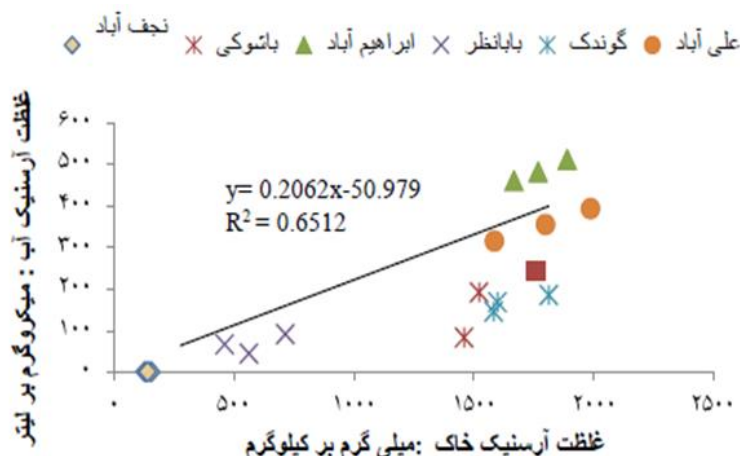
غلظت آرسنیک نمونه‌های آب ۰/۵۲ تا ۴۸۴/۶۴ میکروگرم بر لیتر و غلظت آرسنیک خاک نیز ۱۳۸/۲ تا ۱۷۷۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در این ناحیه احتمالاً آلودگی شدید آب‌های سطحی به آرسنیک یکی از دلایل اصلی افزایش غلظت آرسنیک خاک می‌باشد [۲۲]. بر اساس نتایج ضریب همبستگی غلظت آرسنیک در آب و خاک نواحی آلوده (جدول ۹)، روستاهای ابراهیم‌آباد و علی‌آباد با ضریب رگرسیون ۰/۹۹ و ۰/۹۴ رابطه خطی و معنی‌داری در

$P < 0.05$  نشان دادند. این در حالی است که هر یک از مناطق نجف‌آباد، باشوکی، بابانظر و گوندک به ترتیب با ضریب رگرسیون ۰/۷۵، ۰/۳۷ و ۰/۷۴ رابطه خطی و معنی‌داری بین غلظت آرسنیک خاک‌های سطحی با غلظت آرسنیک آب‌های سطحی نشان ندادند (شکل ۲). نتایج حاصل از غلظت آرسنیک نمونه‌های آب و خاک مناطق آلوده با یافته‌های مسافری و همکاران (۲۰۰۳) و نیز زندسلیمی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشته و آلودگی شدید آرسنیک در این مناطق را تایید می‌کند [۸ و ۱۰].

جدول ۹- ضریب‌های همبستگی بین غلظت آرسنیک آب و غلظت آرسنیک خاک در هر یک از روستاهای ناحیه آلوده

مکان	آرسنیک آب	آرسنیک آب	آرسنیک آب	آرسنیک آب	آرسنیک آب	آرسنیک آب
	نجف‌آباد	باشوکی	ابراهیم‌آباد	بابانظر	گوندک	علی‌آباد
آرسنیک خاک	۰/۵۲					
نجف‌آباد						
آرسنیک خاک		۰/۷۵				
باشوکی	-۱/۰۰					
آرسنیک خاک			۰/۹۹*			
ابراهیم‌آباد	-۰/۳۶	۰/۳۶				
آرسنیک خاک				۰/۹۹*		
بابانظر	-۰/۹۵	۰/۹۵*		۰/۳۷		
آرسنیک خاک					۰/۷۴	
گوندک	-۱/۷۰	۰/۷۰	۰/۹۳*	-۰/۹۰		
آرسنیک خاک						۰/۹۴*
علی‌آباد	۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۹۷	

\*: نشان دهنده وجود همبستگی در سطح ۵٪ می‌باشد.



شکل ۲- ارتباط بین آرسنیک آب‌های سطحی با غلظت آرسنیک خاک در شش روستای ناحیه آلوده

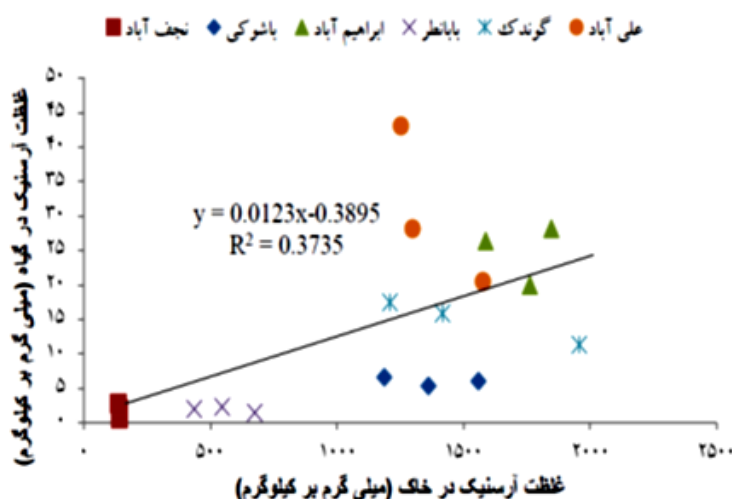


## ۳-۵- ارتباط بین غلظت آرسنیک بخش هوایی

## نمونه‌های گیاهی با خاک ناحیه آلوده

غلظت آرسنیک بخش هوایی نمونه‌های گیاهی با مقدار آرسنیک خاک در مناطق آلوده یک رابطه خطی معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۳) و ضریب رگرسیون در  $P < 0.05$  برای نمونه‌های مناطق نجف‌آباد، باشوکی، ابراهیم‌آباد، بابانظر، گوندک و علی‌آباد به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۶۶، ۰/۹۸، ۰/۷۷، ۰/۷۳- و ۰/۶۹ محاسبه شد و چنان‌که از ضریب همبستگی هر یک از روستاهای ناحیه آلوده مشخص است هیچ رابطه معنی‌داری بین غلظت آرسنیک خاک با غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم مشاهده نشد (جدول ۱۰). میانگین غلظت آرسنیک خاک این مناطق ۱۳۸/۲ تا ۱۷۷۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و تمامی نمونه‌ها غلظت بالاتر از ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم که مقدار مجاز آرسنیک خاک‌های کشاورزی است را نشان دادند [۲۵]. تجمع آرسنیک در گیاهان و دسترسی زیستی آن در خاک به عوامل مختلفی بستگی دارد اما این عوامل از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است [۲۶]. ضریب انتقال آرسنیک از خاک به گیاه ۰/۰۱ تا ۰/۱ می‌باشد و به‌طور قابل ملاحظه‌ای از سایر عناصر کمتر است. ضریب انتقال آرسنیک<sup>۴</sup> برای گیاهان از تقسیم مقدار آرسنیک بخش هوایی به مقدار آرسنیک کل در خاک به دست می‌آید [۱۰]. بر این اساس ضریب انتقال

آرسنیک برای این مناطق ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ اندازه‌گیری شد. با توجه به این نتایج مقدار انتقال آرسنیک از خاک به گندم خیلی پایین بوده و مستقل از آرسنیک خاک است. عواملی مانند ماده‌آلی، فسفر، pH و بافت خاک بر روی محتوای آرسنیک خاک و دسترسی زیستی آن برای گیاهان تأثیرگذارند [۱۰]. در این مطالعه به غیر از فسفر سایر عوامل اثر معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۶). غلظت بالای فسفر منجر به رهاسازی آرسنیک خاک شده و دسترسی آن را برای گیاهان بیشتر می‌کند که نتایج غلظت آرسنیک نمونه‌های گیاهی روستاهای علی‌آباد و ابراهیم‌آباد موید این مطلب است. این نتایج با یافته‌های زندسلیمی و همکاران (۲۰۱۱) در مورد آب و خاک این منطقه مطابقت دارد، اما نتایج به دست آمده برای غلظت آرسنیک بخش هوایی رابطه معنی‌داری را با غلظت آرسنیک خاک نشان نداد که این امر می‌توان به دلیل سابقه طولانی آلودگی در این منطقه و سازش گندم به آلودگی آرسنیک و اجتناب از برداشت آن باشد [۱۰]. به غیر از مناطق ابراهیم‌آباد و علی‌آباد که غلظت آرسنیک بیشتری در نمونه‌های گیاهی نشان دادند در سایر مناطق غلظت آرسنیک نمونه‌های گیاهی پایین بود که این موضوع نشان دهنده نقش جزئی گیاهان در چرخه بیوژئو-شیمیایی آرسنیک است [۲۷].



شکل ۳- ارتباط بین آرسنیک خاک با غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم در شش روستای ناحیه آلوده

جدول ۱۰- ضریب های همبستگی بین غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم و غلظت آرسنیک خاک در هر یک از روستاهای ناحیه آلوده

مکان	آرسنیک گندم نجف آباد	آرسنیک گندم باشوکی	آرسنیک گندم ابراهیم آباد	آرسنیک گندم بابانظر	آرسنیک گندم گوندک	آرسنیک گندم علی آباد
آرسنیک خاک نجف آباد	۰/۲۳					
آرسنیک خاک باشوکی	۰/۱۸۶*	۰/۶۶				
آرسنیک خاک ابراهیم آباد	۰/۹۸*	۰/۸۹*	-۰/۹۸			
آرسنیک خاک بابانظر	۰/۷۴	۰/۴۹	-۰/۷۶	-۰/۷۷		
آرسنیک خاک گوندک	۰/۹۶*	۰/۸۳*	-۰/۹۷	-۰/۵۲	-۰/۷۳	
آرسنیک خاک علی آباد	-۱/۰۰	-۰/۹۵	۰/۹۹*	۰/۷۴	۰/۹۰*	۰/۶۹

\*: نشان دهنده وجود همبستگی در سطح ۵٪ می باشد.

### ۳-۶- ارتباط بین غلظت آرسنیک بخش هوایی با دانه های گندم در ناحیه آلوده

میانگین عامل انتقال آرسنیک<sup>۵</sup> از بخش هوایی به دانه برای هر یک از مناطق نجف آباد، باشوکی، ابراهیم آباد، بابانظر، گوندک و علی آباد به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۱ بود. غلظت آرسنیک دانه برای نمونه های مناطق آلوده ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد (جدول ۸). این در حالی است که حد مجاز غلظت آرسنیک در دانه گندم ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم تعریف شده که بر این اساس غلظت آرسنیک دانه های گندم در مناطق آلوده پایین تر از حد استاندارد تعریف شده بود [۲۴]. بر اساس این نتایج و با توجه به سابقه طولانی مناطق مورد مطالعه از لحاظ آلودگی به آرسنیک، گیاهان با ایجاد مقاومت درونی و ممانعت از برداشت آرسنیک با شرایط حاکم بر محیط سازش پیدا کرده اند. نمونه بارز این موضوع در غلاتی مانند گندم مشاهده شده است [۱۰]. مقاومت بالا به آرسنیک در غلات بر پایه استراتژی اجتناب می باشد. در این روش جذب پلاسمایی آرسنیک در غشای سلول های ریشه به کمترین حد خود کاهش می یابد [۲۸]. از آنجایی که فسفات و آرسنات به وسیله ناقل های یکسانی در ریشه جذب گیاه می شوند لذا در گیاهانی که از استراتژی اجتناب استفاده می کنند سیستم با میل بالا به فسفات تحریک و جذب آرسنیک را مهار می کند. در حقیقت برای غلظت های بالای آرسنیک مقاومت از طریق توقف ناقل های همبر فسفات و آرسنات به دست می آید [۲۹]. نتایج این پژوهش با یافته های یانگ (۱۹۹۲) و لیو و همکاران (۲۰۰۸) که بر روی زمین های آلوده به آرسنیک تحت کشت گندم در چین صورت گرفته، مطابقت دارد و ممانعت از برداشت آرسنیک را در گندم تایید می کند [۲۷ و ۳۰].

### ۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش رابطه مستقیمی بین غلظت آرسنیک خاک با آب های سطحی ناحیه آلوده نشان داد. اما بین مقدار انباشت آرسنیک در گندم با محتوای آرسنیک خاک رابطه معنی داری مشاهده نشد. از میان متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک نیز تنها غلظت فسفر رابطه معنی داری با مقدار آرسنیک خاک نشان داد. بر اساس نتایج به دست آمده و با توجه به سابقه طولانی مناطق مورد مطالعه در آلودگی به آرسنیک، گندم این مناطق با ایجاد سازش-هایی مانع از برداشت آرسنیک شده اند. چنان که غلظت آرسنیک دانه گندم در تمامی مناطق آلوده پایین تر از استاندارد بود. اما مقدار انباشت آرسنیک در بخش هوایی گندم در برخی از مناطق بالاتر از استاندارد تعریف شده (۴ گرم بر کیلوگرم) اندازه گیری شد. از آنجایی که آرسنیک قابلیت انتقال به گیاهان و ورود به زنجیره غذایی را دارد و می توان باعث تهدید سلامتی انسان شود، لذا این موضوع نیاز به مطالعات بیشتری بر روی سایر غلات و سبزیجات این ناحیه دارد.

### پی نوشت

<sup>1</sup> Olsen Method

<sup>2</sup> Zandsalimi Method

<sup>3</sup> Meharg and Jardine Method

<sup>4</sup> Arsenic transfer coefficient (AsTC)

<sup>5</sup> Translocated factor (TF)

### منابع

- [1] Mahzuz H M A, Alam R, Alam N M, Basak R, Islam S M. Use of arsenic contaminated sludge in making ornamental bricks. Int. J. Environ. Sci. Tech.; 2009; 6(2): 291- 298.

- [13] Kazemi-Arbat H. Morphology and Anatomy of Cereal Crops. Tabriz, Iran, Tabriz University publishing; 2008. P. 553. [In Persian].
- [14] Mosaferi M, Yunesian M, Mesdaghinia A R, Nasser S, Mahvi A H, Nadim H. Correlation between arsenic concentration of drinking water and hair. Iran J. Environ. Health Sci. Eng; 2005; 2: 11-23.
- [15] Fathi-hafeshjani Z, Lotfi M, Sayyareh A R. Arsenic contamination of ground mine in West Bijar. The 30<sup>th</sup> National Earth Science Conference, Geological Survey of Iran. 2011. [In Persian].
- [16] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and the Water Environment Federation. Washington DC., USA; 1992.
- [17] Bouyoucos G H. A Recalibration of the Hydrometer for making Mechanical Analysis of Soils. Agronomy; 1951; 43: 438.
- [18] Storer D A. A simple high sample volumeashing procedure for determining soil organicmatter. Comm. Soil Sci. Plant Anal; 1984; 15: 759-772.
- [19] Olsen S R, Cole C V, Watanabe F S, Dean L A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, US: Department of Agriculture; 1954. P. 939.
- [20] Meharg A A, Jardine L. Arsenite transport into paddy rice (*Oryza sativa*) roots. New Phytol; 2003; 157: 39-44.
- [21] World Health Organization. Arsenic in drinking water. Fact sheet No. 210, <http://www.who.in/inffsl/en/fact210>. (assessed: June 17, 1999).
- [22] Ghadimi S, Tale-Fazel A, Moghimi H, Najmi Z. Element distribution of arsenic in the sediment of Divandareh county by surfur software; The 29<sup>th</sup> National Earth Science Conference, Geological Survey of Iran. 2010. [In Persian].
- [23] Mohamadi M. Soil Science. Tehran, Iran, Sepehr publishing; 2005. P. 245. [In Persian].
- [24] Zhang W D, Tian J C, He F L. Toxicity and accumulation of arsenic in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties of China. FYTON; 2009; 78: 147-154.
- [25] Sheppard S C. Summary of phytotoxic levels of soil arsenic. Water Air Soil Pollut; 1992; 64: 539-550.
- [2] Villa-Lojo M C, Rodriguez E, Mahia P L, Mnuiategui M S, Rodriguez D P. Coupled high performance liquid chromatography–microwave digestion–hydride generation–atomic absorption spectrometry for inorganic and organic arsenic speciation in fish tissue. Talanta.; 2002; 57: 741-775.
- [3] Babel S, Opiso E M. Removal of Cr from synthetic wastewater by sorption into volcanic ash soil. Int. J. Environ.Sci. Tech.; 2007; 4: 99-108..
- [4] Smith A H, Hopenhayn-Rich C, Bates M N, Goeden H M, Hertz-Picciotto I, Dagga H M, Woo R, Kosett M J, Smith M T. Cancer Risks from Arsenic in drinking water. J. Environmental Health Properties; 1992; 97: 259-267.
- [5] Jack C N, Wang J, Shraim A A. Global health problem caused by arsenic from natural sources. Chemosphere; 2003; 52: 1353-1359.
- [6] Abedin M J, Feldmann J, Meharg A A. Uptake kinetics of arsenic species in rice (*Oryza sativa* L.) plants. Plant Physiol; 2002; 128: 1120-1128.
- [7] Williams P N, Price A H, Raab A, Hossain S A, Feldmann J, Meharg A A. Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. Environmental Science & Technology; 2005; 39: 5531–5540.
- [8] Mosaferi M, Yunesian M, Mesdaghinia A R, Nadim A, Nasser S, Mahvi A H. Occurrence of arsenic in Kurdistan Province of Iran. In BUET-UNU international symposium, international training network center. Dhaka, Bangladesh, Tokyo; 2003.
- [9] Ghassemzadeh F, Arbab-Zavar M H, Hosein M, Geoffrey M. Arsenic and Antimony in Drinking water in Kohsorkh Area, Northeast Iran Possible Risks for the public Health. Journal of Applied Sciences; 2006; 6(13): 2705-2714.
- [10] Zandsalimi S, Karimeh N, Kohandel A. Arsenic in soil, vegetation and water of a contaminated region. International Journal of Environmental Science and Technology; 2011; 8: 331-338.
- [11] Wang L, Duan G. Effect of external and internal phosphate status on arsenic toxicity and accumulation in rice seedlings. Journal of Environmental Sciences; 2009; 21: 345-351.
- [12] Pigna M, Cozzolino V, Violante A, Meharg A A. Influence of Phosphate on the Arsenic Uptake by Wheat (*Triticum durum* L.) Irrigated with Arsenic Solutions at Three Different Concentrations. Water Air Soil Pollut; 2008; 197: 371–380.

- [26] Davis A, Sherwin D, Ditmars R, Hoenke K A. An analysis of soil arsenic records of decision. Environ. Sci.Tech.; 2001; 35: 2401-2406.
- [27] Yang, Q. Effect of arsenic on growth of wheat. Journal of Environmental Sciences. 1992; 2: 23-25.
- [28] Meharg A A, Hartley-Whitaker J. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. New Phytol; 2002; 154: 29-1879.
- [29] Meharg A A, McNair M R. The mechanisms of arsenate tolerance in *Drschampsia cespitosa* (L.) Beauv. and *Agrostis capillaris* L.; new Phytol; 1991; 119: 291-298.
- [30] Liu Q, Hu C, Tan Q, Sun X, Su J, Liang Y. Effects of As on As uptake, speciation, and nutrient uptake by winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under hydroponic conditions. Journal of Environmental Sciences; 2008; 20: 326-331.

