فصلنامه علمی علوم زمین، زمستان ۱۴۰۱، دوره سی‌و دوم، شماره ۴، پیاپی ۱۲۶، صفحه ۳۳۷ تا ۳۵۴

مقاله پژوهشی

پیوند صفحه نخست: www.gsjournal.ir

مطالعات ژئوشیمی و ژئوبیوشیمی زیست‌محیطی بر روی خاک کشاورزی و گیاه برنج در شهرستان ساری

فرح رحمانی[۱]، عبدالرضا جعفریان[۱*]، راضیه لک[۲] و جواد اسماعیلی[۱]

[۱] دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد شاهرود، شاهرود، ایران

[۲] پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

فلزات سنگین

خاک

برنج

کود شیمیایی

سلامت

شهرستان ساری

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در محصول برنج شالیزارهای شهرستان ساری است. در این پژوهش از ۳۲ ایستگاه از بخش دانه خوراکی برنج (Seed) نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس جهت بررسی ارتباط خاک - گیاه در ۶ ایستگاه از خاک پای گیاه برنج و دیگر بخش‌های گیاه مانند ریشه، ساقه، برگ و سبوس نیز نمونه برداشت شد. نمونه‌های خاک پس از آماده‌سازی به روش استاندارد توسط دستگاه ICP-OES و نمونه‌های گیاه نیز پس از آماده‌سازی به روش استاندارد توسط دستگاه ICP-MS مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های برنج نشان داد که میزان جیوه به طور معمول حدود ۰/۰۷ پی‌پی‌ام است و در برخی مناطق به صورت نقطه‌ای (۳۰ درصد نمونه‌ها) غلظت تا حدود ۰/۰۹ پی‌پی‌ام می‌رسد. میزان غلظت عنصر سرب به طور میانگین ۰/۹۱ پی‌پی‌ام است که این حد نزدیک به حد مجاز است. عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و روی نیز در تعداد محدودی از نمونه‌ها انحراف از میزان معمول غلظت را نشان می‌دهند. نتایج بررسی‌ها منشأ عنصر سرب را ناشی از مصرف کودشیمیایی روی در مزارع و شالیزارهای برنج تأیید می‌نماید. میزان غلظت آرسنیک در منطقه عیسی‌خندق انحراف از میزان معمول بالایی نشان می‌دهد. غلظت در عیس‌خندق ۱/۱۵ پی‌پی‌ام است که انحراف بالایی را از سطح طبیعی معرفی می‌کند. افزون بر این، غلظت عناصر کمیاب در محصولات برنج در مناطق مختلف شهرستان ساری در مقایسه با محصولات برنج در برخی از شهرهای کشورهای خارجی، همبستگی بالایی برای کروم (Cr)، کبالت (Co)، آرسنیک (As)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn)، سدیم (Na)، و روی (Zn) نشان می‌دهد.

۱- پیش‌نوشتار

امروزه آلودگی خاک کشاورزی به فلزات سنگین و شبه فلزات سمی مانند کروم، سرب، کادمیم، جیوه، آرسنیک، مس، روی و نیکل نگرانی جدی در سطح جهان ایجاد کرده است (Hu et al., 2017; Zhao et al., 2014). حضور فلزات سنگین در محیط زیست با دو منشأ طبیعی حاصل از تجزیه شیمیایی و فیزیکی مواد مادری خاک و از جنبه دیگر، فعالیت‌های انسان‌زاد همچون تولید ضایعات صنعتی، آبیاری مناطق تحت کشت با فاضلاب شهری، معدن‌کاری، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات نباتی منبع اصلی فلزات سنگین در خاک کشاورزی است (Chakraborti et al., 2002; Fei et al., 2020; Nael et al., 2009).

تجمع فلزات سنگین در گیاهان به عوامل متعددی از جمله نوع گیاه، ویژگی‌های خاک، نوع فلز سنگین و غیره بستگی دارد (Aktaruzzaman et al., 2014) و اصطلاح "تجمع زیستی" برای نشان دادن غلظت فلزات سنگین خاک در گیاه به‌کار می‌رود (Miclean et al., 2019). انسان از راه رژیم غذایی و استنشاق در معرض مواجهه با فلزات سنگین بوده و این موضوع سبب نگرانی عمومی در سطح جهان شده است (Cadar et al., 2015). همچنین قرارگیری طولانی مدت انسان در برابر غلظت‌های ناچیز فلزات سنگین و شبه‌فلزات سمی هم می‌تواند مشکلات بهداشتی جدی برای سلامت ایجاد نماید (Cadar et al., 2015).

منشأ آلودگی‌های فلزی در زمین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌های شیمیایی و در برخی مناطق استفاده از لجن فاضلاب است (Djemba, 2004; Stehouwer et al., 2000; Dai et al., 2004).

مقادیر زیاد فلزات سنگین و شبه‌فلزات موجب کاهش رشد گیاهان شده (Logan et al., 1997; Lai and Chen, 2004) و بر فعالیت موجودات میکروسکوپی خاک تأثیر منفی داشته و بر فرایندهای زیست‌شناسی مهم مانند تثبیت نیتروژن (Smith, 1997) و فعالیت آنزیمی خاک (Naseby and Lynch, 1997; Kuperman and Carrierro, 1997) و تولید زی‌توده‌های میکروبی نیز تأثیر وارون دارد (Rost et al., 2001; Insam et al., 1996; Pascual et al., 1999).

زیست‌فراهمی فلزی در محیط‌های خشکی تحت‌تأثیر عواملی مانند pH، نوع خاک، پتانسیل اکسیداسیون و احیا، میزان رطوبت، نوع فلز و مقدار ماده آلی خاک است. رفتار فلزات سنگین و فرایندهای تحرک و جابه‌جایی آنها نیز توسط pH خاک

* نویسنده مسئول: عبدالرضا جعفریان؛ E-mail: r.jafarian@gmail.com

doi: 10.22071/GSJ.2022.316756.1959

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.13.9

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

کنترل می‌شود. تحت شرایط pH قلیایی بسیاری از فلزات رسوب‌گذاری کرده و زیست‌فراهمی آنها کاهش یافته و متعاقباً برای موجودات میکروسکوپی خاک ایجاد مسمومیت می‌کند (Babich and Stotzky, 1983).

بنابراین برای آگاهی از غلظت فلزات سنگین و شبه‌فلزات سمی در محیط زیست و همچنین پایش، کنترل و پیشگیری از خطرات و بیماری‌های منتج‌شده از آنها در انسان، مقایسه غلظت این قبیل آلاینده با استانداردهای بین‌المللی و داخلی تدوین شده ضروری است. نتایج حاصل از تحقیقات در زمینه منشأ فلزات سنگین در خاک سطحی، فعالیت‌های صنعتی، مصرف غیراصولی کودهای شیمیایی و سیستم‌های حمل و نقل با استفاده از سوخت‌های فسیلی است (Wu et al., 2015; Zhao et al., 2014; Olawoyin et al., 2012; Esmaeili et al., 2014; Karimi Nezhad et al., 2015).

فلزات سنگین در خاک‌های سطحی از سه مسیر تنفس، بلع و جذب پوستی به انسان منتقل شده و در بافت چربی؛ بافت عصبی و سیستم غدد درون‌ریز تجمع‌یافته و موجب کاهش سیستم ایمنی بدن شده و اختلالاتی در متابولیسم سلولی ایجاد می‌نماید (Zhao et al., 2014; Olawoyin et al., 2012; Wu et al., 2015). فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌آید (Nyarko et al., 2008). این فلزات با بروز عوارضی همچون کاهش رشد جسمی کودکان، بیمارهای کلیوی، سرطان‌زایی و دیگر آثار نامطلوب بیشترین سهم را در تهدید سلامت دارند (Saeedi and Salmanzadeh, 2012).

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که میزان توسعه صنعتی مناطق می‌تواند نقش مؤثری در میزان فلزات سنگین با منشأ انسان‌زاد در منابع خاک، آب‌های زیرزمینی و گیاهان داشته و این مطلب خود نشان‌دهنده این است که غالب فلزات سنگین منشأ صنعتی و بشرزاد دارند (Stehouwer et al., 2000).

دیگر منشأ مهم فلزات سنگین ناشی از ویژگی‌های زمین‌شناختی مناطق و تأثیر ترکیب شیمیایی سنگ و کانی‌های متشکله آن است که در ترکیب شیمیایی خود دارای فلزات سنگین و سمی بوده و بر اکوسیستم طبیعی خاک اثر نامطلوب داشته و آلودگی‌هایی با منشأ طبیعی یا ژئوژن را به چرخه حیاتی تحمیل می‌نماید. در مطالعات ژئوشیمی زیست‌محیطی شهری و کشاورزی نمونه‌برداری از خاک، آب، گیاه، کودها و سموم دفع آفات نباتی شیمیایی اهمیت خاصی دارد.

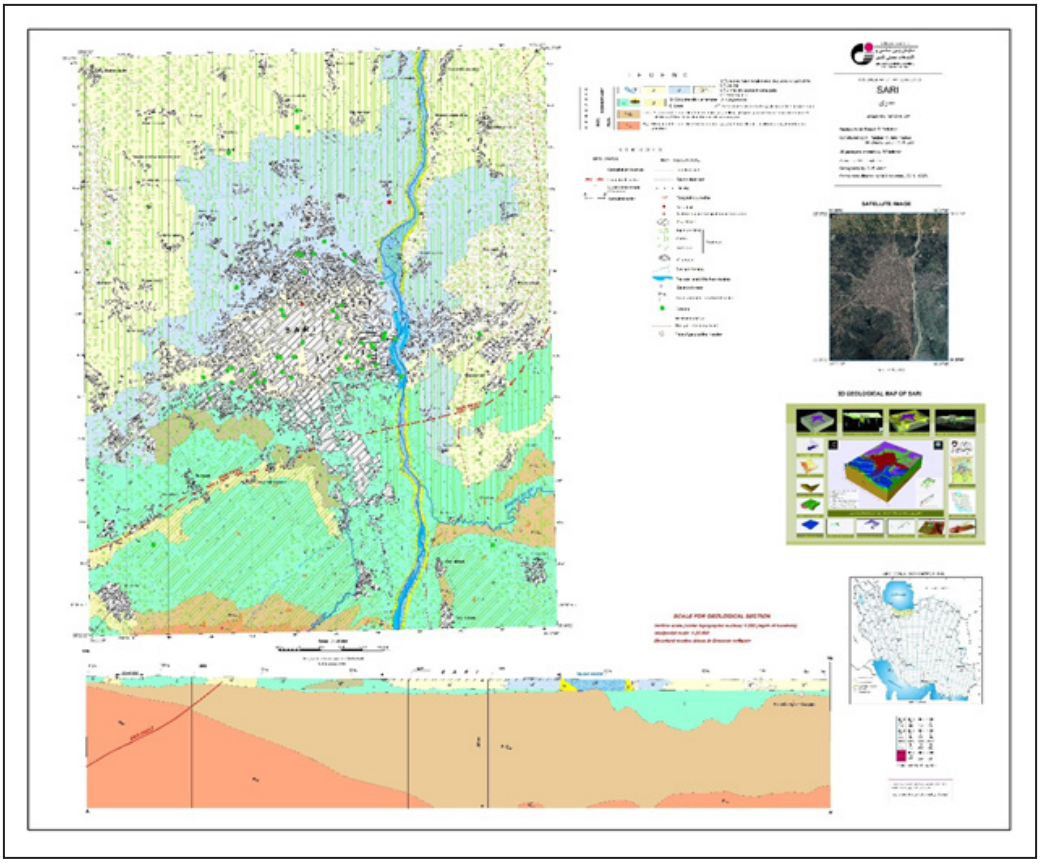
امروزه تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک شهری و کشاورزی و همچنین محصولات کشاورزی، مطالعات وسیعی را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است (Shao et al., 2021; Zhang et al., 2015; Esmaeili et al., 2014; Karimi Nezhad et al., 2015) و با توسعه شهرنشینی و صنعتی‌شدن در ایران نیز نگرانی قابل ملاحظه‌ای در مورد آلودگی خاک و محصولات کشاورزی با فلزات سنگین وجود دارد. برنج همواره یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و قوت اصلی بسیاری از مردم در کشورهای آسیایی است (Proshad et al., 2019) و تحرک و تجمع عناصر سمی بالقوه از خاک به گیاه برنج دارای سیستم پیچیده‌ای از آزادسازی، انحلال و تجمع زیستی این عناصر در گیاه برنج را شامل می‌شود. فلزات سنگین سمی دارای قابلیت تجمع زیستی و مقاوم به تخریب بیوشیمیایی هستند و به عنوان خطر جدی برای سلامت انسان محسوب می‌شوند (Wei and Yang, 2010). بر همین اساس حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف‌شده بین‌المللی و ملی موجب بروز عوارض زیست‌محیطی بر اکوسیستم شده و برخی از اثرات فلزات سنگین بر سلامت انسان شامل ناهنجاری‌های عصبی، سرطان‌زایی، اختلالات ژنتیکی و عوارض ناقص‌الخلقه‌زایی است (Lai and Chen, 2004). در ایران نیز مانند دیگر کشورهای آسیایی مصرف برنج قوت غالب بسیاری از مردم بوده و مصرف سرانه ۴۰ کیلوگرم برنج در کشور اعلام شده است (کریمی‌تفرشی ، ۱۳۹۶). این در حالی است که در سه دهه گذشته، این میزان ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم بوده است (کریمی‌تفرشی، ۱۳۹۶). با توجه به اهمیت کشت برنج در مناطق مختلف کشور و به‌ویژه در استان‌های شمالی بررسی میزان غلظت عناصر کمیاب و فلزات سنگین در گیاه برنج امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. استان مازندران به دلیل دارا بودن آب و هوای مناسب و خاک‌های حاصل‌خیز یکی از استان‌های با اولویت اقتصادی در کشاورزی بوده و این امر یکی از مؤلفه‌های اصلی در رسیدن به توسعه پایدار در این استان به‌شمار می‌آید و سند چشم‌انداز توسعه استانی نیز بر این مبنا تدوین شده است. استان مازندران و منطقه کشاورزی شهرستان ساری به عنوان یکی از مهمترین مناطق کشت برنج یکی از مناطق کشت که با داشتن شرایط آب و هوایی، درجه حرارت مناسب، منابع آبی در دسترس و همچنین خاک مرغوب موجب رونق کشاورزی شده و شهرستان ساری با داشتن سطح زیر کشتی معادل ۵۵۱۳۷ هکتار معادل با ۱۲/۶۶ پس از شهرستان‌های بابل و آمل سومین مقام سطح زیر کشت استان مازندران را به خود اختصاص داده است. محصولات عمده کشاورزی این شهرستان برنج، گندم، جو، پنبه، کلزا، ذرت، تره‌بار و مرکبات است (گزارش عملکرد جهاد کشاورزی استان مازندران، ۱۳۹۶). این شهر در کنار اهمیت کشاورزی و تولید محصولات استراتژیک مانند برنج با چالش‌هایی چون کم‌آبی و تنش حاصل از آن، استفاده بی‌رویه از کودها و سموم کشاورزی شیمیایی، عوامل آلوده‌ساز خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی روبه‌رو است. وجود کارخانجات و صنایعی همچون صنایع چوب و کاغذ مازندران، معادن ذغال‌سنگ، سنگ‌های ساختمانی، ذخایر آهک، فلورین، باریت، پوکه معدنی، گرانیت، مرمریت و تراورتن و همچنین دیگر مواد معدنی (گزارش عملکرد و برنامه‌های سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مازندران، ۱۳۹۹) موجب ورود پساب‌های انسانی، صنعتی و معدنی به اراضی کشاورزی و شالیزاری شده و تهدیدی جدی در سلامت منابع آب، خاک و گیاهان تولیدی در این شهرستان است و ارزیابی میزان تجمع فلزات سنگین در محصول برنج که شامل دانه، سبوس، ساقه، برگ و ریشه گیاه است هدف اصلی این پژوهش می‌باشد.

۲- روش پژوهش

۲-۱ - زمین‌شناسی و جغرافیای منطقه مورد مطالعه

شهرستان ساری به عنوان مهمترین مرکز جمعیتی در برگه ۱:۲۵۰۰۰ ساری قرار دارد. ارتفاع شهر از سطح دریاهای آزاد ۱۸/۵متر و فاصله آن تا ساحل دریای خزر ۲۴ کیلومتر می‌باشد (فنودی و همکاران، ۱۴۰۰) (شکل ۱). منابع آبی منطقه از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. از رودخانه‌های مهم منطقه می‌توان به تجن، لاجیم، زارم‌رود، گرماب‌رود و شیرین‌رود اشاره کرد. از نقطه‌نظر زمین‌شناسی محدوده شهرستان ساری در پهنه‌بندی زون‌های ساختاری ایران در زون البرز جای گرفته و غالباً از سنگ‌های پلیوسن و کواترنری تشکیل شده است. این تشکیلات از قدیم به جدید شامل سازند آقچه‌گیل و آپشرون و سنگ‌های تخریبی کنگلومرایی و کفه‌های سیلتی، سیلتی- ماسه‌ای و رسی کواترنری است. بخش‌های جلگه‌ای و دشت شامل رسوبات مربوط به دوران سوم، دوره نئوژن و کواترنری است. رخنمون‌های سنگی و واحدهای رسوبی محدوده مورد مطالعه (فنودی وهمکاران، ۱۴۰۰) (شکل ۱) شامل:

- **واحد Pl^{ack}:** این واحد که معادل سازند آقچه‌گیل است از لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ تشکیل شده که به صورت محلی توسط میان‌لایه‌های کنگلومرا قطع شده است.
- **واحد Pl^{Qap}:** این واحد معادل سازند آپشرون بوده و از لایه‌های مارنی همراه با نهشته‌های ماسه‌ای سخت نشده تشکیل شده است.
- **واحد $Q2^{fg}$**: مخروط افکنه‌های آبرفتی شامل قطعات دانه درشت گراول، گراول و ماسه‌های سخت نشده است.
- **واحد $Q2^{ag}$:** مخروط‌افکنه‌های آبرفتی شامل قطعات دانه درشت گراول، گراول و ماسه دانه درشت به همراه رسوبات دانه‌ریز.
- **واحد Q2l:** نهشته‌های لسی زرد رنگ.
- **واحد Q2cb:** نهشته‌های رسوبی کانال از جنس گراول و ماسه است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ ساری (فنودی و همکاران، ۱۴۰۰) سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

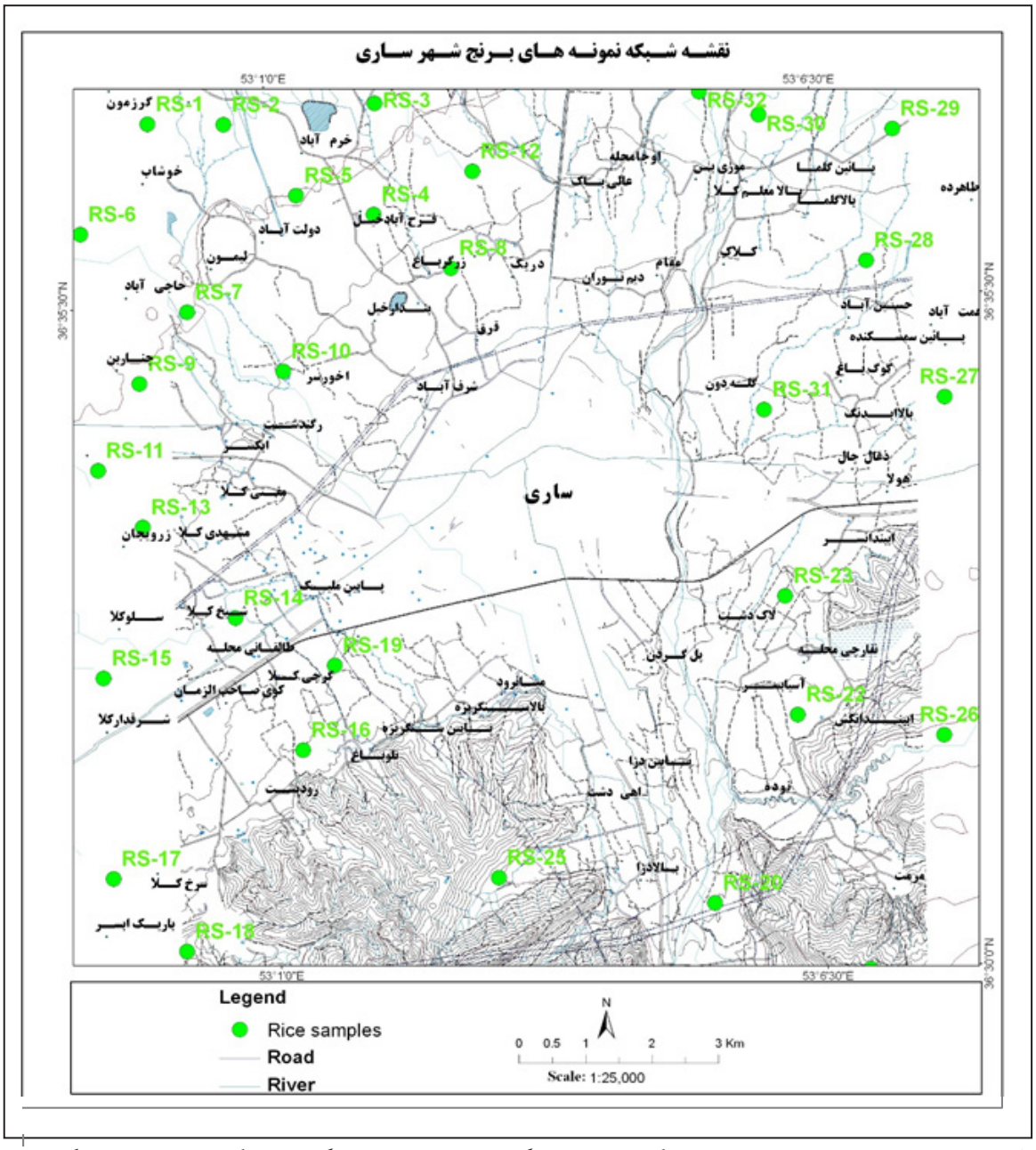
۲-۲ – روش نمونه‌برداری نمونه‌های خاک و برنج

ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌گونه‌ای تعیین شد که برای بررسی میزان توزیع، تحرک و توانایی انتقال عناصر و فلزات بالقوه سنگین سمی به گیاه برنج در تمامی ایستگاه‌هایی که نمونه گیاه برداشت شد، حتماً نمونه خاک نیز برداشت شده باشد. ژرفای نمونه‌برداری انتخاب شده در این پژوهش برای تعیین ترکیب طبیعی خاک سطحی حدود۰- ۲۵ سانتی‌متر تعیین شد. اما براساس استانداردهای نمونه‌برداری در بررسی‌های ژئوشیمیایی GSUE (Geochemical Surveys of Urban Environments, 2008) ژرفای ۵۰- ۲۵ سانتی‌متر نیز برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و مقادیر حد زمینه‌ای منطقه خطر و احتمال مهاجرت عناصر و ترکیبات آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شد. دلیل اصلی استفاده از استاندارد GSUE (Geochemical Surveys of Urban Environments, 2008) نبود مرز قابل تشخیصی بین مناطق کشاورزی و شهری بوده و از این رو در هر کیلومتر مربع و در هر ایستگاه نمونه‌برداری از دو افق سطحی ۰-۲۵ سانتی‌متری و ژرفایی ۲۵-۵۰ سانتی‌متری نمونه خاک برداشت شد. تعداد ۳۲ نمونه خاک برداشت شده ابتدا در هوای محیط آزاد خشک و سپس ذرات دانه درشت همانند قلوه‌های سنگ، شن و ریگ با استفاده از الک ۱۰ مش جدا شد و سپس جهت آماده‌سازی و انجام آنالیز در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و به شرکت دانش بنیان آریاشیمی شریف ارسال شد. همچنین جهت بررسی عناصر ریزمغذی طبق پروتکل (Crop Sampling Protocols for Micronutrient Analysis, 2008) ۳۲ نمونه از دانه خوراکی برنج (Seed) برداشت گردید (شکل ۲، جدول ۱). برای بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در دیگر اندام‌های گیاهی نیز از ۶ ایستگاه برداشت نمونه، افزون بر بخش دانه خوراکی برنج (Seed) از سبوس (Bran)، ساقه و برگ (Stem) و ریشه (Root) گیاه نیز نمونه اخذ شد و همزمان از دو ژرفای یاد شده نیز نمونه خاک برداشت گردید (شکل ۲، جدول ۲).

۲-۳- روش آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک و برنج

نمونه‌های خاک توسط دستگاه‌های ICP-OES و نمونه‌های برنج توسط دستگاه ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول‌های ۳، ۴ و ۵). در این روش مقداری از نمونه پودر شده در پلاسمای آرگونی القاشده با بسامد بالا و درجه حرارت ۱۰۰۰۰ درجه کلوین به صورت ابر وارد می‌شود. نمونه‌ها تحت‌تأثیر این درجه حرارت تحریک شده و از خود نور ساطع می‌کنند که هر عنصری طیف مشخصی از نور را تولید می‌کند که شدت نور ساطع شده با مقدار و غلظت عنصر موجود در نمونه متناسب است. جهت اندازه‌گیری عناصر کمیاب و فلزات سنگین نمونه‌های خاک، ابتدا حدود نیم گرم از نمونه خاک را توزین کرده و به آن ۱۰ تا ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک التراپیور (۶۵ درصد) و اسید کلریدریک (۳۷ درصد) اضافه می‌شود (سه بخش اسیدنیتریک و یک بخش اسید کلریدریک). سپس محلول به مدت ۵ دقیقه حرارت داده می‌شود و ۶ سی‌سی اسید مخلوط پرکلریک (۲ سی‌سی) و فلوئوریدریک (۴ سی‌سی) اضافه شده، محلول را حرارت داده تا دود سفید رنگ از آن خارج شود. پس از حل شدن کامل نمونه محلول را با کاغذ واتمن ۴۵ صاف کرده و با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده و توسط دستگاه ICP -OES مدل SPECTRO ACROS اندازه‌گیری غلظت عناصر کمیاب و فلزات سنگین انجام شد. جهت اندازه‌گیری عناصر کمیاب و فلزات سنگین نمونه‌های برنج، نیم گرم از نمونه برنج را برداشته و با ۱۰ الی ۱۵ سی‌سی اسید نیتریک التراپیور (۶۵ درصد) با گرید ازمایشگاهی حرارت داده و سپس محلول را با کاغذ واتمن ۴۵ آزمایشگاهی صاف کرده و به آن یک سی‌سی هیدروژن پراکسید افزوده و با آب مقطر دوبار

تقطیر التراپیور به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده و توسط دستگاه ICP MASS مدل AGILENT 7500 سنجش‌های لازم انجام شد. برای بررسی دقت داده‌ها، ۱۰ درصد نمونه تکراری در نمونه‌ها قرار داده شد. نمونه‌برداری از بافت گیاه برنج طبق دستورالعمل (Rice Grain Quality Methods and Protocols, 2019) که شامل انتخاب بافت‌های مناسب برای نمونه‌برداری، مقدار و زمان مناسب نمونه‌برداری، نحوه برداشت، شستشو و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه بود، نمونه‌های برنج گیاه آماده شدند (شکل ۳). به‌طور کلی با توجه به این‌که مقدار و غلظت برخی از عناصر در گیاه در زمان‌های مختلف روز تغییر می‌کند نمونه‌های گیاهی پیش از ساعت ۱۰ صبح برداشت شدند (Piot et al., 2020). نمونه‌برداری از گیاهان تا دو ماه پس از استفاده از کود و آفت‌کش‌ها، نتیجه واقعی نداشته از این رو نمونه‌برداری از محصول برنج در این پژوهش در شهریور ماه صورت گرفت که اثر آلودگی ناشی از کود و آفت‌کش‌ها حداقل باشد. نتایج حاصل از تجزیه کودهای شیمیایی منطقه مورد مطالعه که در جدول ۱۲ ارائه شده است، غلظت فلزات سنگین را جهت مقایسه و تشخیص منشأ فلزات سنگین در خاک و گیاه برنج نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقاط نمونه‌برداری از خاک سطحی، ژرفایی و دانه گیاه برنج و شش ایستگاه منتخب نمونه‌برداری برای دیگر بخش‌های گیاه برنج (سبوس، ساقه، برگ و ریشه) در منطقه مورد مطالعه.

شکل ۳ - نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف گیاه برنج و نمونه‌های خشک و بسته‌بندی شده برای ارسال به آزمایشگاه شرکت دانش بنیان آریاشیمی شریف .

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی نمونه های برنج برداشت شده از سطح شهرستان ساری ومیزان اسیدیته خاک (pH).

شماره نمونه	طول جغرافیایی بر حسب (UTM)	عرض جغرافیایی بر حسب (UTM)	اسیدیته	شماره نمونه	طول جغرافیایی بر حسب (UTM)	عرض جغرافیایی بر حسب (UTM)	اسیدیته
RS-1	678587	4054223	6.65	RS-17	678076	4042807	7.01
RS-2	679731	4054218	5.98	RS-18	679185	4041709	6.68
RS-3	682003	4054540	6.85	RS-19	681404	4046033	6.86
RS-4	681986	4052858	6.22	RS-20	687121	4042442	6.36
RS-5	680821	4053146	6.15	RS-21	689475	4041447	6.38
RS-6	677554	4052581	6.18	RS-22	688369	4045296	6.15
RS-7	679181	4051383	7.05	RS-23	688180	4047090	6.56
RS-8	683152	4052048	6.68	RS-24	677687	4041197	6.37
RS-9	678466	4050295	6.19	RS-25	683871	4042826	7.1
RS-10	680627	4050484	6.45	RS-26	690574	4044986	6.86
RS-11	677841	4048980	6.53	RS-27	690576	4050103	6.58
RS-12	683472	4053517	6.68	RS-28	689394	4052166	6.15
RS-13	678518	4048124	6.57	RS-29	689787	4054165	6.56
RS-14	679911	4046756	6.45	RS-30	687778	4054372	6.39
RS-15	677927	4045841	6.13	RS-31	687862	4049908	6.52
RS-16	680925	4044751	5.68	RS-32	686881	4054722	6.17

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی و نقاط نمونه‌برداری بخش‌های مختلف گیاه برنج.

ایستگاه	دانه برنج	سبوس	ساقه	ریشه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)
ایستگاه ۱	RS-18	SS-5	Sa-5	Ri-5	679185	4041709
ایستگاه ۲	RS-21	SS-11	Sa-5	Ri-5	689475	4041447
ایستگاه ۳	RS-23	SS-7	Sa-3	Ri-3	688180	4047090
ایستگاه ۴	RS-9	SS-1	Sa-4	Ri-4	678466	4050295
ایستگاه ۵	RS-11	SS-6	Sa-2	Ri-2	677841	4048980
ایستگاه ۶	RS-14	SS-2	Sa-1	Ri-1	679911	4046756

جدول ۳- نتایج آماری تجزیه شیمیایی برخی از عناصر در نمونه‌های دانه برنج ساری برحسب ppm (WHO/FAO, 2008).

عناصر	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
حداقل	۰/۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۱۸/۶۱
حداکثر	۱/۱۵	۰/۱۴	۵/۱۷	۳/۹۵	۱/۱۰	۰/۹۱	۱۷۲/۷۶
انحراف معیار	۰/۱۸	۰/۰۳	۱/۰۲	۰/۸۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۳۲/۷۷
میانگین	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۵۴	۲/۴۹	۰/۲۵	۰/۶۰	۳۰/۶۵
WHO/FAO (2008)	۰/۲۰	۰/۱	۱۰	۲۰	۱,۰۰	۰/۲	۶۰

جدول ۴ - نتایج آماری تجزیه شیمیایی برخی از عناصر در نمونه‌های خاک پای گیاه برنج ساری برحسب ppm بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای خاک‌های کشاورزی با اسیدیته کمتر از ۷.

عناصر در خاک پای گیاه	آرسنیک	کادمیم	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
حداقل	۶	۰/۱	۱۲	۴۰	۲۲	۲۵	۹	۵۷
حداکثر	۱۹	۰/۴	۱۸	۸۵	۴۱	۵۳	۵۲	۱۳۵
انحراف معیار	۳	۰/۱	۲	۱۴	۶	۱۱	۱۱	۲۵
میانگین	۱۱	۰/۲	۱۵	۶۰	۲۹	۳۸	۱۸	۸۵
حد مجاز بر حسب ppm سازمان حفاظت محیط زیست ایران	۱۸	۱	۴۰	۱۱۰	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۵۰

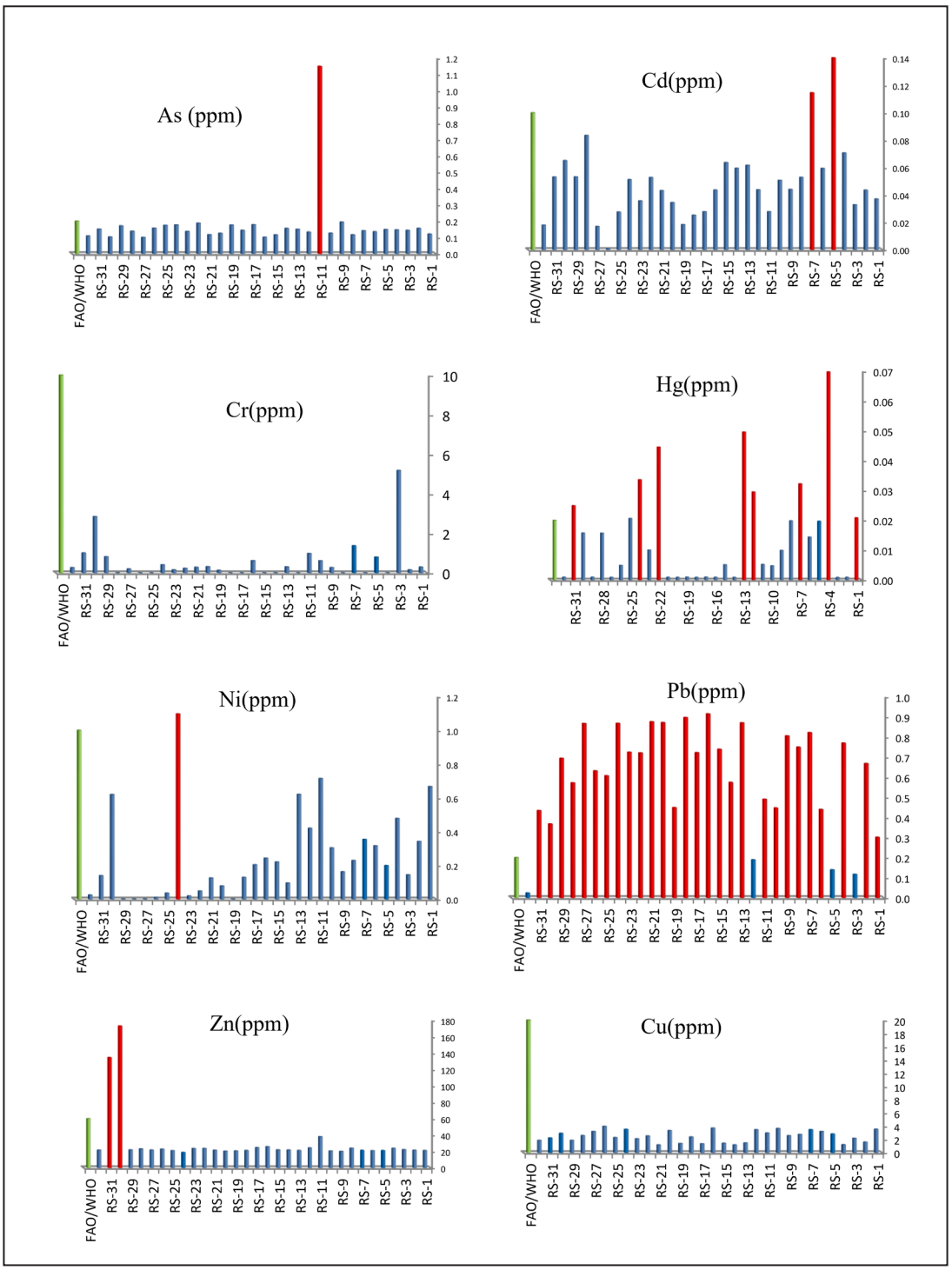
جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی برخی از عناصر در نمونه های برنج ساری نتایج بر حسب (ppm).

شماره نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
RS-1	0.120	0.037	0.291	3.540	0.021	0.667	0.300	21.095
RS-2	0.156	0.043	0.153	1.592	0.001	0.342	0.667	21.422
RS-3	0.143	0.033	5.174	2.168	0.001	0.144	0.116	22.069
RS-4	0.145	0.071	0.001	1.196	0.070	0.479	0.769	23.695
RS-5	0.148	0.140	0.790	2.814	0.020	0.200	0.139	21.079
RS-6	0.135	0.059	0.001	3.174	0.014	0.316	0.439	20.903
RS-7	0.141	0.115	1.367	3.477	0.032	0.354	0.820	21.223
RS-8	0.116	0.053	0.001	2.752	0.020	0.229	0.749	23.804
RS-9	0.194	0.044	0.271	2.553	0.010	0.162	0.804	19.986
RS-10	0.125	0.051	0.604	3.653	0.005	0.304	0.447	20.653
RS-11	1.147	0.028	0.980	2.972	0.005	0.715	0.490	37.921
RS-12	0.133	0.044	0.001	3.471	0.030	0.421	0.189	24.101
RS-13	0.150	0.062	0.302	1.457	0.050	0.622	0.869	21.183
RS-14	0.155	0.060	0.001	1.168	0.001	0.095	0.574	21.671
RS-15	0.115	0.064	0.001	1.405	0.005	0.220	0.738	21.853
RS-16	0.102	0.044	0.611	3.699	0.001	0.243	0.913	25.764
RS-17	0.178	0.028	0.001	1.327	0.001	0.204	0.721	24.540
RS-18	0.143	0.025	0.001	2.366	0.001	0.130	0.895	21.128
RS-19	0.175	0.018	0.123	1.366	0.001	0.001	0.449	20.718
RS-20	0.125	0.034	0.311	3.338	0.001	0.078	0.870	20.330
RS-21	0.116	0.043	0.282	1.167	0.001	0.125	0.874	21.409
RS-22	0.187	0.053	0.234	2.512	0.045	0.048	0.720	23.470
RS-23	0.136	0.036	0.151	2.091	0.010	0.019	0.723	23.433
RS-24	0.176	0.051	0.408	3.516	0.034	1.096	0.867	18.607
RS-25	0.173	0.027	0.001	2.279	0.021	0.036	0.607	20.934
RS-26	0.156	0.001	0.001	3.953	0.005	0.011	0.631	22.660
RS-27	0.100	0.017	0.195	3.170	0.001	0.001	0.866	21.673
RS-28	0.138	0.083	0.010	2.578	0.016	0.001	0.572	23.011
RS-29	0.170	0.053	0.815	1.844	0.001	0.001	0.693	21.801
RS-30	0.103	0.065	2.841	2.916	0.016	0.620	0.367	172.758
RS-31	0.151	0.053	1.002	2.215	0.025	0.139	0.434	134.423
RS-32	0.109	0.018	0.268	1.850	0.001	0.024	0.024	21.526
M±St	0.142±0.025	0.111±0.26	0.537±1.02	2.482±0.86	0.014±0.017	0.251±0.26	0.59±0.25	30.65±32.77

۳- داده‌ها و اطلاعات

یافته‌های حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی خاک سطحی، خاک ژرفایی و همچنین دانه‌های برنج در ۳۲ ایستگاه نمونه‌برداری و دانه، ساقه، ریشه، سبوس برنج و خاک پای گیاه در ۶ ایستگاه نمونه‌برداری در جدول‌های ۶ تا ۱۲ ارائه شده است. باید توجه داشت کمینه pH اندازه‌گیری شده در ۳۲ ایستگاه ۵/۶۸ و بیشینه ۷/۰ نمایانگر اسیدی بودن خاک منطقه است. براساس نتایج توصیف آماری عناصر تشکیل‌دهنده خاک کشاورزی میزان کمترین غلظت آرسنیک ۶ و بیشترین آن ۱۹ پی‌پی‌ام است. میزان آرسنیک در توصیف آماری کمترین غلظت فلزات سنگین در دانه برنج ۰/۱ و بیشترین ۱/۱۵ پی‌پی‌ام را ارائه می‌کند. کمترین میزان غلظت کادمیم در خاک ۰/۱ و بیشترین ۰/۴ پی‌پی‌ام است. کمترین غلظت کادمیم در دانه برنج ۰/۰۰۱ و بیشترین آن ۰/۱۴ پی‌پی‌ام است. کمترین غلظت سرب در خاک منطقه مورد مطالعه ۹ و بیشترین آن ۵۲ پی‌پی‌ام است. میانگین غلظت عناصر در دانه برنج شامل آرسنیک (۰/۱۷)، کادمیم (۰/۰۵)، کروم (۰/۵۴)، مس (۲/۴۹)، جیوه (۰/۰۱)، نیکل (۰/۲۵)، سرب (۰/۶) و روی (۳۰/۶۵) میلی‌گرم برکیلوگرم است. جهت تعیین حد مجاز فلزات سنگین در دانه برنج کلیه غلظت‌ها با استاندارد WHO/FAO (2008) مقایسه و نتایج آن در جدول ۳ و شکل ۴ ارائه شده است. همچنین جهت تعیین حد مجاز فلزات سنگین در خاک پای گیاه برنج از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای خاک‌های با pH کمتر از ۷ استفاده شده است (جدول ۴، شکل ۴). میانگین غلظت‌های عناصر در خاک پای برنج شامل آرسنیک (۱۱)، کادمیم (۰/۲)، کبالت (۱۵)، کروم (۶۰)، مس (۲۹)، نیکل (۳۸)، سرب (۱۸) و روی (۸۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به هدف مطالعه که مقایسه غلظت فلزات سنگین در

خاک شاورزی و تجمع آن در دانه، ساقه، ریشه و سبوس گیاه برنج است، در جدول مقایسه‌ای ۱۳ حد مجاز فلزات سنگین مختلف در خاک کشاورزی در برخی از کشورها بر حسب mg/kg (Matthews, 1996) و حد مجاز فلزات سنگین در خاک کشاورزی ایران (سازمان حفاظت محیط زیست ایران برحسب mg/kg) برای خاک‌های با اسیدیته کمتر از ۷ ارائه شده است. همچنین در جدول مقایسه‌ای ۱۵ نیز غلظت عناصر به ppm در برنج‌های برخی از مناطق دنیا در مقایسه با برنج‌های منطقه مورد مطالعه (Jayasekera, 2005) ارائه شده است (جدول‌های ۱۳ و ۱۵).



شکل ۴- بررسی غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، جیوه، نیکل، سرب، روی و مس در برنج‌های شهرستان ساری در مقایسه با استاندارد (WHO/FAO, 2008).

جدول ۶- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۱.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۱	RS-18	دانه برنج	0.143	0.025	0.001	2.366	0.001	0.130	0.895	21.128
	SS-5	سبوس برنج	2.103	0.151	2.577	2.128	0.001	1.041	36.989	42.572
	SA-5	ساقه برنج	1.489	0.074	2.974	2.819	0.047	0.991	3.532	163.936
	RI-5	ریشه برنج	6.782	0.086	30.059	3.760	0.019	8.042	20.801	49.623
	SD-184	خاک ژرفایی	18.7	0.3	53.7	34.8	-	33.8	14.7	103.1
	St-184	خاک سطحی	11.7	0.1	64.2	34.8	-	30.5	16.7	77.8

جدول ۷- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۲.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۲	RS-18	دانه برنج	0.116	0.043	0.282	1.167	0.001	0.125	0.874	21.409
	SS-5	سبوس برنج	0.731	0.060	2.066	2.092	0.015	0.333	1.249	27.762
	SA-5	ساقه برنج	3.588	0.036	2.106	3.813	0.010	0.701	7.175	40.276
	RI-5	ریشه برنج	5.396	0.090	9.147	1.927	0.010	2.906	8.385	156.911
	SD-184	خاک ژرفایی	16.6	0.2	85.4	27.6	-	31.9	15.6	56.8
	St-184	خاک سطحی	10.3	0.1	63.7	31.4	-	32.8	21.5	65.5

جدول ۸- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۳.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۳	RS-18	دانه برنج	0.136	0.036	0.151	2.091	0.010	0.019	0.723	23.433
	SS-5	سبوس برنج	0.892	0.077	1.134	3.985	0.019	0.762	1.343	117.597
	SA-5	ساقه برنج	0.899	0.116	15.945	2.121	0.015	0.884	7.651	155.846
	RI-5	ریشه برنج	3.561	0.205	21.279	1.271	0.001	1.892	9.534	47.700
	SD-184	خاک ژرفایی	11.0	0.3	73.8	41.0	-	45.0	52.0	135.4
	St-184	خاک سطحی	12.6	0.3	50.1	30.1	-	52.8	8.8	121.9

جدول ۹- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۴.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۴	RS-18	دانه برنج	0.194	0.044	0.271	2.553	0.010	0.162	0.804	19.986
	SS-5	سبوس برنج	0.402	0.100	0.517	2.713	0.001	0.194	2.436	27.853
	SA-5	ساقه برنج	1.451	0.130	5.927	1.940	0.024	1.211	3.664	144.553
	RI-5	ریشه برنج	4.166	0.077	13.322	2.342	0.005	3.724	10.286	43.951
	SD-184	خاک ژرفایی	6.3	0.3	41.9	28.1	-	25.2	16.6	75.5
	St-184	خاک سطحی	10.8	0.3	60.8	24.3	-	51.6	10.7	63.9

جدول ۱۰- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۵.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۵	RS-18	دانه برنج	1.147	0.028	0.980	2.972	0.005	0.715	0.490	37.921
	SS-5	سبوس برنج	0.559	0.089	1.969	1.245	0.015	0.718	1.995	26.737
	SA-5	ساقه برنج	2.594	0.081	8.577	3.713	0.020	1.479	8.638	130.531
	RI-5	ریشه برنج	5.785	0.191	18.286	2.546	0.039	7.418	30.032	274.362
	SD-184	خاک ژرفایی	10.4	0.2	40.3	23.1	-	25.2	14.2	69.5
	St-184	خاک سطحی	7.8	0.1	78.5	21.7	-	49.2	10.0	71.8

جدول ۱۱- نتایج آنالیز شیمیایی برحسب (ppm) در ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۶.

	مشخصات نمونه	نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
ایستگاه ۶	RS-18	دانه برنج	0.155	0.060	0.001	1.168	0.001	0.095	0.574	21.671
	SS-5	سبوس برنج	0.901	0.083	1.849	1.332	0.005	0.224	0.882	21.662
	SA-5	ساقه برنج	2.194	0.402	12.383	2.843	0.005	3.775	6.099	1821.077
	RI-5	ریشه برنج	3.742	0.156	15.134	3.802	0.009	4.734	16.830	59.054
	SD-184	خاک ژرفایی	9.2	0.3	46.5	25.0	-	28.6	13.8	76.9
	St-184	خاک سطحی	11.2	0.4	60.0	26.8	-	49.8	17.6	98.3

جدول ۱۲- نتایج آنالیز کود شیمیایی مصرفی برحسب ppm در شالیزارهای برنج منطقه مورد مطالعه.

نوع نمونه	آرسنیک	کادمیم	کروم	مس	جیوه	نیکل	سرب	روی
کود روی	2.268	3.279	3.960	36.565	0.001	69.602	3.994	10000<
کود نیتروژن	0.192	0.132	0.500	20.244	0.010	11.572	0.196	4.117

جدول ۱۳ - حدود مجاز فلزات سنگین مختلف در خاک کشاورزی در کشورهای مختلف mg/kg (Matthews, 1996) و حد مجاز فلزات سنگین در خاک کشاورزی ایران (سازمان حفاظت محیط زیست ایران بر حسب mg/kg.

	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	As	B
شاخص کلی	–	۱۵	۱۰	۴۰	۰/۱	۲۰	۰/۰۱	–	–
استرالیا	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۰۰	۱	۱۵۰	۱	۲۰	–
بلژیک (خاک شنی)	۱۰۰	۳۰	۵۰	۱۵۰	۱	۵۰	۱	–	–
بلژیک (خاک‌های رسی)	۱۵۰	۷۵	۱۴۰	۳۰۰	۳	۳۰۰	۰/۱	–	–
چین (اسیدی)	۶۰۰	۱۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۵	۳۰۰	۵	۷۵	۱۵۰
چین (بازی)	۱۰۰۰	۲۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰	۱۰۰۰	۱۵	۷۵	۱۵۰
هلند	۷۵	۳۰	۷۵	۳۰	۱/۲۵	۱۰۰	۰/۷۵	۱۵	–
آفریقای جنوبی	۸۰	۱۵	۱۰۰	۱۸۵	۲	۵۶	۰/۵	۲	۱۰
انگلیس	۴۰۰	۷۵	۱۳۵	۳۰۰	۳-۵/۵	۳۰۰	–	–	–
ایالات متحده	۱۲۰۰	۴۲۰	۵۰۰	۲۸۰۰	۳۹	۳۰۰	–	–	–
سوئد	۳۰	۳۰	۴۰	۷۵	۰/۴	۴۰	۰/۳	–	–
زلاند نو	–	۳۵	۱۴۰	۳۰۰					
سازمان حفاظت محیط زیست ایران	۱۱۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۱	۵۰	۵	۱۸	–

۴- بحث

نقش عوامل تشکیل‌دهنده خاک همچون فرایندهای فیزیولوژیکی - مولکولی در مدیریت عناصر کمیاب درگیاهان و به‌ویژه دانه برنج به عنوان نقش نظارتی چرخه‌های مغذی سزاوار توجه بوده و این عوامل میزان دسترسی عناصر کمیاب گیاهان را تعیین می‌نماید (Sessitsch et al., 2013). عامل بعدی در تعیین ترکیب فیزیکی و شیمیایی خاک کشاورزی، منابع آب در آبیاری زمین است و بیش از ۹۰٪ برنج در شرایط اراضی کشت می‌شود که خاک به طور متناوب در معرض دوره‌های خشک و مرطوب قرار گرفته و تأمین آب از منابع متفاوت به‌ویژه در مزارع تغذیه شده با منابع آب فصلی باعث تغییرات موقتی در غلظت و تحرک عناصر کمیاب می‌شود (Kögel-Knabner et al., 2010). تغییرات فصلی آب به‌ویژه در مزارع تغذیه شده با آب باران موجب نوسانات زیاد در چرخه مواد مغذی شده و به عنوان مثال دوره‌های جاری شدن سیل در مزارع برنج باعث شستشوی کاتیون‌ها و تغییر ترکیب شیمیایی خاک خواهد شد (Tsheboeng et al., 2014). با توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی و جلگه‌ای بودن منطقه تحت کشت ساری و احتمال انتقال و تجمع فلزات سنگین در اثر شستشوی رسوبات ارتفاعات مشرف به منطقه کشاورزی تعیین دو ژرفا برای نمونه‌برداری از خاک اطلاعات دقیق‌تری را در این مطالعه نمایان ساخته است. اسیدیته خاک تأثیر بالقوه‌ای بر میزان تحرک فلزات سنگین و دسترسی زیستی ریزمغذی‌ها برای گیاهان دارد (Mico et al., 2006) و معمولا" در خاک‌های اسیدی دسترسی زیستی و تحرک عناصر و فلزات سنگین قابل توجه است (McCauley and Jacobsen, 2015). با توجه به اسیدیته نمونه‌های خاک که کمترین اسیدیته آن ۵/۶۸ و بیشترین ۷/۰۵ در ۳۲ ایستگاه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است و میانگین اسیدیته خاک کشاورزی منطقه که ۶/۳ است خاک اسیدی بوده و از این رو در این پژوهش برای مقایسه از استاندارد خاک کشاورزی سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای خاک با اسیدیته کمتر از ۷ استفاده شده است (جدول‌های ۱، ۳ و ۴).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان آرسنیک همواره روندی کاهشی از خاک به گیاه داشته و میزان آرسنیک در خاک ژرفایی نسبت به خاک سطحی بیشتر است. همچنین میزان غلظت آرسنیک از ریشه به سمت ساقه، سبوس و دانه کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. غلظت آرسنیک در کود روی مصرفی ۲/۲۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و تجمع میزان آرسنیک در ریشه گیاه برنج نیز می‌تواند ناشی از مصرف کود شیمیایی با نام روی در منطقه باشد. غلظت کادمیم نیز از خاک به گیاه روندی کاهشی نشان می‌دهد. مقادیر غلظت عناصر کروم و نیکل از خاک به گیاه و نیز در بخش‌های مختلف گیاه به ترتیب از ریشه به ساقه، سبوس و در نهایت دانه کاهش یکنواخت و ملایمی را نشان می‌دهد. تغییرات عنصر سرب (Pb) نشان‌دهنده این نکته است که در بخش‌های مختلف گیاه تغییرات غلظت این عنصر الگوی یکنواختی دارد و به‌ترتیب از ریشه به ساقه و سبوس و نهایتا" دانه برنج کاهش نشان می‌دهد. تغییرات عنصر روی (Zn) نشان‌دهنده این نکته است که غلظت روی در گیاه به میزان غلظت آن در خاک نزدیک بوده و در بخش‌های مختلف گیاه بیشترین تمرکز عنصر روی (Zn) در ساقه گیاه برنج است. در ضمن بررسی تغییرات در خاک سطحی و ژرفایی نشان‌دهنده تمرکز بیشتر روی (Zn) در خاک ژرفایی است. مقادیر غلظت مس (Cu) نیز در بخش‌های مختلف گیاه دارای تغییرات متفاوتی است و از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند. انتقال و تجمع زیستی فلزات سنگین از خاک به برنج دارای سیستم پیچیده‌ای شامل تجزیه، انحلال و تجمع در بخش‌های مختلف گیاه است (Chen et al., 2015) و برای شناسایی رابطه فلزات سنگین در خاک و برنج پژوهش‌های زیادی انجام شده است (Zhang et al., 2021). بر همین اساس در دسترس بودن عناصر کمیاب برای گیاه در خاک شالیزارهای برنج به شکل‌های یونی که توسط عناصر کمیاب تشکیل می‌شود بستگی مستقیم دارد (Hayat, 2005) و همچنین میزان غلظت فلزات سنگین در گیاه برنج به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و همچنین غلظت فلزات سنگین در خاک بستگی کامل دارد (Hu et al., 2019). میزان جذب فلزات از خاک به گیاه و همچنین به ویژگی‌هایی از گیاه مانند نوع، گونه، سن گیاه و ویژگی‌های فلزسنگین و نوع اندام گیاهی تجمع‌دهنده گیاه بستگی کامل دارد (Du et al., 2018). از دیگر عوامل مهم و مؤثر در ترکیب شیمیایی خاک شالیزارها فرایندهای اکسیداسیون و احیا و تبادل کاتیونی، فرایندهای زیستی و مصرف کودها و غنی‌سازها است (Hayat, 2005). باتوجه به این‌که برنج منبع اصلی رژیم غذایی برای تأمین عناصر کمیاب در کشورهای آسیایی است و میزان غلظت عناصر ریز مغذی برنج نسبت به دیگر غلات نسبتاً کم است، تعیین راه‌حل‌های مناسب غنی‌سازی دانه برنج یکی از راه‌حل‌های جلوگیری از اختلالات کمبود ریزمغذی‌ها در میان جمعیت مصرف‌کننده می‌باشد (Bashir et al., 2013). ضمنا" باتوجه به این‌که دیگر بخش‌های گیاه برنج نیز مصرف خورکی برای دام و طیور داشته، شناسایی آلودگی فلزات سنگین در دیگر اندام‌های گیاه برنج جهت تأمین سلامت حیوانات، دام، طیور و همچنین سلامت چرخه غذایی حائز اهمیت بوده و با شناسایی بیش‌بودها و کمبودهای عناصر مغذی و سمی کمک مؤثری به سلامت انسان در چرخه مواد غذایی خواهد شد (Selinus, 2005). بنابراین بیش‌بود عناصر کمیاب (Trace Element) و سمی (Toxic) و تأثیر آنها بر سلامت انسان عامل مهم بیماری‌زایی بوده و شناسایی منشأ فلزات سنگین و شبه فلزات سمی از اهمیت خاصی در سلامت محیط زیست و انسان برخوردار است (جدول ۱۴).

۴-۱- فرایند اکسیداسیون و احیا (Redox Proces)

فرایند احیا در خاک شالیزار باعث کاهش اکسیداسیون عناصری مانند آهن و باعث تشکیل Fe^{2+} بیشتر از Fe^{3+} می‌شود که به مهاجرت آهن به مناطق مغنی از اکسیژن منجر شده که این امر سبب تشکیل پوشش‌هایی از دانه‌های با رنگ‌های متضاد می‌شود (Greipsson, 1995). بسیاری از کاتیون‌های عناصر کمیاب نیز در خاک بی‌حرکت بوده ومیزان ماده آلی خاک و کربنات‌ها نیز در بی‌حرکتی عناصر کمیاب نقش دارند.

۴-۲- اسیدیته خاک pH

میزان اسیدیته خاک بر حلالیت و تحرک عناصر کمیاب تأثیر می‌گذارد. کاهش pH خاک باعث افزایش حلالیت عناصر کمیاب می‌شود. تغییرات پتانسیل اکسیداسیون و احیا (Redox Proces) با تغییر در pH خاک همراه است (Hayat, 2005) گیاه برنجی که در خاک‌های اسیدی به صورت غرقابی رشد می‌کنند، غالباً با افزایش مسمومیت عناصر کمیاب روبه‌رو می‌شود (Sahrawat and Sika, 2002) آلومینیم، منگنز و آهن عناصر اصلی ایجادکننده سمیت فلز در خاک‌های اسیدی هستند. نوع فلز سمی به ترکیب ماده والد که خاک‌های شالیزار از آن تشکیل شده و نیز ترکیب شیمیایی کودهای مصرفی بستگی دارد. گیاهان برنجی که در خاک اسیدی رشد می‌کنند با کمبود عناصر مغذی (N، P، K، Mg، Ca) و عناصر ریز مغذی (Mo و B) به دلیل شستشو با آب و همچنین اسیدی بودن خاک مواجه بوده و این وضعیت سبب می‌شود عناصر آلومینیم، آهن، منگنز، مس، کادمیم، سرب و کربن بیشتر در دسترس گیاه باشد جدا از همه عوامل یاد شده در بالا، کودهای نیتروژن نیز به اسیدی شدن خاک در خاک شالیزارها کمک کرده از این رو اقدامات اصلاحی pH خاک در مدیریت جذب هر دونوع عناصر کمیاب ضروری و سمی توسط گیاه نقش اساسی دارد. ترکیبات حاوی S که در خاک وجود دارد باعث کاهش سطح pH خاک شده و از این رو تحرک عناصر کمیاب را افزایش می‌دهد. در عوض گازهای دیگری چون سولفید هیدروژن (H_2S) که در هنگام تخریب میکروبی آزاد می‌شوند و نیز سولفید کربن (CS2)، سولفید کربنیل (COS) و متیل مرکاپتان (SH3CH) می‌توانند با عناصر کمیاب واکنش نشان داده و سبب نهشت عناصر کمیاب در خاک شود (Kanda et al., 1992). عنصر پتاسیم نیز معمولا" مستعد شستشو و مستعد تغییر pH

خاک به سمت اسیدیته بیشتر شده و موجب می‌شود که عناصر کمیاب ضروری و عناصر کمیاب‌های سمی را تحرک‌پذیرتر نماید. جدای از این، خاک اسیدی تمایل دارد که مانع از جذب پتاسیم در گیاه شود و از این رو گیاه با کمبود بیشتر پتاسیم روبه‌رو شده و موجب تسریع جذب عناصر کمیاب سمی در گیاه می‌شود (Brennan et al., 2004). عناصرکلسیم و منیزیم نیز مستعد انحلال هستند، از این‌رو استفاده از خاک حاوی آهک و دولومیت در خاکی که در آن کشت برنج کشت می‌شود نه تنها pH خاک را افزایش می‌دهد بلکه به عنوان منبع بالقوه کلسیم و منیزیم خاک نیز عمل می‌کند که می‌تواند جذب عناصر کمیاب سمی گیاه را کاهش دهد. یکی از ویژگی‌های قابل‌توجه خاک‌های کشت برنج در دوره‌های غوطه‌وری آب جریان عناصری مانند آهن و منگنز به سمت ریشه گیاه است و این عمل موجب افزایش حرکت عناصر کمیاب به سمت ژرفای خاک می‌شود (Greipsson, 1995).

جدول ۱۴- بیش بود عناصر کمیاب (Trace Element) و سمی (Toxic) و تأثیر آنها بر سلامت انسان (Li et al., 2015).

نام فلز	منبع ورود به خاک	اثرات بهداشتی فلز در انسان	استاندارد آلودگی (WHO) بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم هر فلز در خاک
کادمیم	احتراق سوخت فسیلی،کود فسفاته، سموم دفع آفات کشاورزی، آبکاری، صنایع رنگ و پیگمان (ظفرزاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ بوداغی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عمویی و همکاران، ۱۳۹۰)	سرطان ریه، سرطان سینه، فشار خون بالا، نقص جنین، اختلافات عملکرد کلیه‌ها (Karim et al., 2015)	۰/۳
سرب	احتراق بنزین دارای سرب، صنایع پتروشیمی، کودهای شیمیایی (Karim et al., 2015)	عملکرد نامطلوب سیستم ایمنی، گردش خون، اختلالات عصبی، اسکلتی و غدد درون‌ریز (Lucas et al., 2015)	۲۰
نیکل	شهرک‌های صنعتی، جاده‌ها، کودهای شیمیایی، مناطق مسکونی (Xu et al., 2014)	سرطان ریه، سرطان پوست، برونشیت مزمن، آمفیزم و آسم (Liu et al., 2013)	۶۸
روی	آبکاری، افزودنی‌های روان‌کننده و لاستیک خودروها، نساجی، کودهای شیمیایی (Zhang et al., 2015)	مصرف بیش از حد: بیماری‌های کبدی، سردرد، اختلالات عصبی، پارکینسون (Cheng and Yup, 2015)	۵۰
مس	معدن‌کاری، ذوب فلزات، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، لنت ترمز (Lucas et al., 2015)	مصرف بیش از حد: بیماری‌های کبدی، سردرد، اختلالات عصبی، پارکینسون (Cheng and Yup, 2015)	۴۵

۴-۳- ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)

ظرفیت تبادل کاتیون نقش مهمی در تحرک عناصر کمیاب در محلول خاک دارد (Deumlich et al,. 2015). خاک‌های مناطق کشت برنج معمولا" ظرفیت تبادل کاتیون بالاتری دارند و برنج در حضور کاتیون‌های عناصر کمیاب بیشتری رشد می‌کند و این در حالی است که عکس این قضیه در خاک‌های شالیزاری با مقدار رس بالاتر رخ می‌دهد و هیدروکسیدهای موجود در خاک رس به حفظ مواد مغذی و عناصر کمیاب در خاک کمک می‌کند و جذب عناصر کمیاب در رس به عنوان مانعی برای تبادل کاتیون‌ها عمل می‌کند (Anda et al., 2015).

۴-۴- فرایندهای بیولوژیکی (زیست‌شناختی)

فرایندهای زیستی گیاهان و جانوران نیز در خاک در تجمع عناصر کمیاب در گیاه برنج نقش دارند (Hayat, 2005). فعالیت‌های زیستی تغییراتی را در تحرک مواد مغذی ایجاد می‌کند و بیشتر اوقات این تغییرات عناصر کمیاب موجود در گیاه را افزایش می‌دهد. بیشترین فعالیت زیستی خاک معمولا" در اطراف ریشه گیاه برنج انجام می‌شود. ترشحات ریزوسفر مانند اسیدهای آلی به عنوان منابع انرژی برای موجودات میکروسکوپی خاک عمل می‌کند. این وضعیت فعالیت میکروبی خاک را افزایش داده و نه تنها باعث تغییر در ویژگی‌های شیمیایی عناصر کمیاب می‌شود بلکه بر انحلال‌پذیری این عناصر نیز تأثیر می‌گذارد. همچنین وجود کرم‌های خاکی در خاک موجب تجزیه مواد آلی شده و نقش قابل توجهی در آزادسازی عناصر کمیاب از کودهای آلی برعهده دارد (Hayat, 2005).

۴-۵- کودها و حاصل‌خیزکننده‌ها

برای غنی‌سازی مواد مغذی، خاک مزارع کشت برنج اغلب با کود تغذیه می‌شوند (Zhang et al., 2012). بسیاری از کودها حاوی مواد مغذی معدنی هستند اما استفاده از روش‌های مدیریت کاربرد مواد مغذی و کنترل عناصر کمیاب مورد نیاز اهمیت بالایی دارد (Dobermann et al., 2002). ریزمغذی‌ها مواد مغذی اصلی مورد نیاز برای رشد گیاه هستند و تغییر pH خاک بر دسترس بودن عناصر کمیاب و واکنش‌های نهشت و رسوب‌گذاری تأثیر می‌گذارد. کاربرد کودهای مبتنی بر آمونیم در مزارع برنج برای تأمین نیتروژن خاک رایج است و در دسترس بودن عناصر کمیاب برای گیاه در خاک شالیزارهای برنج به شکل‌های یونی که عناصر کمیاب تشکیل می‌دهند بستگی دارد. افزون بر موارد یاد شده، میزان جذب فلزات از خاک به غیر از ویژگی‌های خاک، به ویژگی‌هایی از گیاه مانند نوع، گونه، نوع اندام گیاهی تجمع‌دهنده، سن گونه و نوع فلز نیز بستگی دارد. به عنوان مثال استفاده نادرست کود نیتراته نه تنها کمبود عناصر را در خاک برنج جبران نمی‌کند بلکه با کمبود فسفر رشد گیاه را به تأخیر می‌اندازد. در ضمن کاربرد کود به شکل نمک‌های

معدنی اغلب دارای عوارض جانبی است (Eriksson, 1990). کودهای کشاورزی که باعث افزایش رشد محصول برنج می‌شوند، غالبا" دارای عناصر P، N و K هستند، کاربرد چنین کودهایی اغلب عناصر کمیاب مفید را کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از کمبود عناصر کمیاب مفید، استفاده از کودهای کشاورزی ارگانیک با ریزمغذی‌ها می‌تواند یک راه حل عملی باشد (Dobermann et al., 2002). استفاده از کود ورمی کمپوست باعث افزایش تخلخل خاک در شالیزار شده و از این رو از رشد ریشه پشتیبانی می‌کند (Sebastian and Prasad, 2014) و استفاده از کودهای سبز در مقایسه با کمپوست منبع مطمئن‌تری از مواد مغذی برای گیاه هستند (Kumpiene et al., 2015). خاک‌های شالیزارهای غنی از مواد آلی غالبا" با کمبود مس، روی و منگنز مواجه بوده و گیاهان برنج رشد یافته در شرایط کوهستان از ریشه‌های ژرف‌تری نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط دشت برخوردار بوده و شانس تجمع عناصر کمیاب در ریشه و دیگر اندام‌های برنج مناطق مرتفع بیشتر از برنج در دشت‌ها است و تجمع عناصر سمی مانند کادمیم نیز در این نوع کشت بیشتر است (Czarnecki and Düring, 2015).

۴-۶- مقایسه ترکیب عناصر کمیاب در برنج‌های شهرستان ساری با برنج دیگر مناطق دنیا

بسیاری از عناصر معدنی در سیستم‌های زنده در مقادیر کمیاب وجود دارند. از میان ۹۰ عنصر طبیعی، فقط ۱۷ عنصر (Cu، K، Mg، Ca، S، P، N، O، H، C) برای حیات گیاه ضروری هستند. در حالی که برای حیات و سلامت انسان ۲۵ عنصر (Zn، B، Fe، Mo، Cl، Mn، Ni، C, H, N, O, S, P, K, Mg, Ca, Cl, Na, F, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Sn, I) ضروری شناخته شده است (Geldmacher et al., 1994).

برخی از عناصر اصلی برای ادامه حیات ضروری بوده و بیش‌بود و کمبود آنها می‌تواند اثرات منفی بر سلامتی داشته باشند. در ضمن لیست عناصر کمیاب مورد نیاز و اساسی برای تغذیه انسان و حیوان همچنان رو به رشد است. به همین ترتیب، ترکیب شیمیایی عناصر کمیاب بر سازوکار جذب در سیستم‌های زیستی تأثیر داشته و ورود عمده این عناصر کمیاب به بدن از طریق رژیم‌های غذایی است (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). برنج یکی از اصلی‌ترین رژیم‌های غذایی بسیاری از افراد در کشورهای آسیایی بوده و بخش عمده‌ای از کل دریافت روزانه عناصر کمیاب عمده از این ماده غذایی تأمین می‌شود (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). بهره‌گیری از فناوری‌های مدرن در کشاورزی بر غلظت عناصر کمیاب مواد غذایی نهایی تأثیر داشته و این موضوع به دلیل به کاربردن مواد شیمیایی در طی کشت و بعد از برداشت محصول (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۶۷) است. به عنوان مثال، آب مورد استفاده برای آبیاری در زمان کشت همراه با غلظت عنصر کمیاب خاک ممکن است به طور مستقیم برغلظت عناصر کمیاب گیاه تأثیر داشته باشد. نتایج حاصل از مقایسه ترکیب شیمیایی برنج در ایران و برخی از کشورهای جهان در جدول ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۵- مقایسه غلظت عناصر به (ppm) در برنج‌های مناطق از جهان و مقایسه با منطقه مورد مطالعه (Jayasekera, 2005).

عنصر	عراق	برزیل	ژاپن	ایتالیا	ساری (ایران)
آرسنیک	0.07-0.13	0.093-0.362	0.03	-	0.1-1.15
کروم	0.05-0.18	-	-	0.35	0.001-5.17
مس	1.55-3.17	-	0.73	1.13	1.17-3.95
روی	7.12-14.7	14-17.9	19.9	11.4	15.7-172

۵- نتیجه‌گیری

غلظت آرسنیک در خاک ژرفایی بیشتر از خاک سطحی است که موجب تجمع آرسنیک در ژرفای ۲۵-۵۰ سانتی‌متری خاک شده است. این موضوع موجب می‌شود که در کشت غرقابی برنج آرسنیک بیشتری در دسترس ریشه گیاه قرار گیرد و مهاجرت عنصر آرسنیک از خاک ژرفایی به ریشه گیاه بیشترین غلظت را داشته باشد. بیشترین میزان غلظت آرسنیک در ساقه گیاه و برنج بوده و میزان آن در سبوس کم و در دانه کمتر از دیگر بخش‌های گیاه است. در نمونه‌های برنج آنالیز شده در سطح شهرستان ساری تنها در یک نمونه (RS-11) مربوط به منطقه عیسی‌خندق میزان آرسنیک انحراف از حد مجاز دارد که منشأ انسان‌زاد برای آن بسیار محتمل است. در نمونه‌های برنج آنالیز شده در سطح شهرستان ساری در دو نمونه (RS-7 و RS-5) میزان کادمیم انحراف از حد مجاز نشان می‌دهد. میزان غلظت کروم و نیکل در نمونه‌های برنج برداشت شده سطح شهرستان ساری در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد مجاز است، میزان نیکل در کود شیمیایی با نام روی دارای مقدار ppm ۶۹/۶۰۲ است که باعث افزایش غلظت آن در خاک‌های سطحی شده است. تجمع نیکل در ریشه گیاه برنج و سپس از ریشه به ساقه، سبوس و دانه برنج کاهش چشمگیری دارد. در بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها میزان سرب از مقدار استاندارد انحراف داشته و از آن‌جایی که خاک‌های کشاورزی منطقه آلودگی سرب چندانی نشان نمی‌دهد مهمترین دلیل محتمل افزایش سرب در گیاه برنج استفاده از کودهای شیمیایی حاوی سرب است و میزان سرب موجود در کودهای مصرفی در منطقه حدود ۴ پی‌پی‌ام است. در دو نمونه برنج برداشت شده میزان روی انحراف از حد استاندارد را نشان می‌دهد. فراهمی‌زیستی روی در خاک‌های اسیدی بیش از خاک قلیایی است و با افزایش pH قابلیت جذب روی کم شده که می‌توان با استفاده از کودهای سولفات روی ۳۶ % در خاک غلظت روی را در گیاه افزایش داد. ماده آلی موجود در خاک به عنوان عامل جذب عنصر مس بوده و و با افزایش ماده آلی قابلیت استفاده مس برای گیاه کاهش می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه نمونه‌های برنج برداشت شده فقیر از عنصر مس است و احتمالا" دلیل این امر بالا بودن مواد آلی در خاک منطقه است. میزان آلومینیم در برنج شهرستان ساری در مقایسه با برنج دیگر مناطق دنیا است و انحراف از حد استاندارد بالایی را نشان می‌دهد. به طور کلی اظهار نظر دقیق و قطعی در مورد میزان آلودگی و غلظت عناصر در برنج منطقه ساری، پس از انجام مطالعات دوره‌ای و فصلی بر روی خاک و کودهای مصرفی ممکن خواهد بود تا نتایج قابل استناد در اختیار پژوهشگران این حوزه قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، آقای دکتر علیرضا شهیدی؛ مدیرکل محترم اداره زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کاسپین خاوری، آقای مهندس مهرزاد قنبرزاده؛ مدیر کل محترم دفتر مخاطرات زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و مهندسی آقای دکتر رضا شهبازی و ریاست محترم گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی آقای دکتر علیرضا سیاره و همکاران محترم آقایان مهندس حسن دیداری عباس‌آباد، مهندس علی فیضی و سرکار خانم دکتر الهه رحیمی که در انجام این طرح همکاری و مساعدت ویژه مبذول فرمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

کتابنگاری

استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنمای آن، ۱۳۹۹، دفتر حفاظت و مدیریت زیست محیطی آب و خاک، سازمان حفاظت محیط زیست ایران.

بوداغی، ه.، یونسیان، م.، محوی، ا.ح.، محمدی، م.ع.، دهقانی، ن. ه. و نظم‌آرا، ش.، ۱۳۹۰، بررسی میزان آرسنیک، کادمیم و سرب در خاک و آب زیرزمینی و ارتباط با کود شیمیایی در خاک شالیزاری، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره بیست و یکم، ویژه‌نامه اسفند ماه ۱۳۹۰، صفحات ۲۰-۲۸.

سالاردینی، ع. ا. و مجتهدی، م.، ۱۳۶۷، اصول تغذیه گیاه، جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی.

ظفرزاده، ع.، مهدی‌نژاد، م. ه. و امانی‌داز، ن.، ۱۳۹۳، تجمع میزان فلزات سنگین خاک زراعی با کاربرد لجن و پساب شهر ک صنعتی آق‌قلا، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره بیست و چهارم، شماره ۱۲۱، صفحات ۲۲۶-۲۱۷.

عمویی، ع. ا.، محوی، ا. ح. و ندافی، ک.، ۱۳۹۰، مقایسه میزان سرب، کادمیم و روی در خاک مناطق صنعتی و کشاورزی بزرگراه آمل - بابل، مجله دانشگاه علوم پزشکی بابل، دوره چهاردهم، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۸۲-۷۷.

فنودی، م.، فضلی‌خانی، ت.، جعفرنژاد، م.، قنبرزاده، ه.، رنجبر، ه. و ذبیحی، ع.، ۱۴۰۰، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ساری، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کریمی‌تفرشی، م.، ۱۳۹۶، الگوی مصرف سرانه مواد غذایی در ایران و مقایسه با سایر کشورها، پایگاه خبری صنعت غذا و کشاورزی.

کریمی‌تفرشی، م.، ۱۳۹۶، مقایسه سرانه مصرف مواد غذایی در ایران با سایر کشورها، جام‌جم، شماره ۴۹۰۰.

گزارش عملکرد جهاد کشاورزی استان مازندارن، ۱۳۹۶.

گزارش عملکرد و برنامه‌های سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مازندارن، ۱۳۹۹.

ملکوتی، م. ج. و طهرانی، م. م.، ۱۳۷۹، ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تأثیر کلان)، دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۳۰۰ صفحه، https://doi.org/10.29252/jstnar.22.4.343.

References

Aktaruzzaman, M., Chowdhury, M. A. Z., Fardous, Z., Alam, M. K., Hossain, M. S., and Fakhruddin, A. N. M., 2014. Ecological risk posed by heavy metals contamination of ship breaking yards in Bangladesh. International Journal of Environmental Research . 2014;8(2):469–478.

Anda, M., Suryani, E., and Husnain Subardja, D., 2015. Strategy to reduce fertilizer application in volcanic paddy soils: Nutrient reserves approach from parent materials. Soil Till. Res, 150, 10–20, https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.005.

Babich, H., and Stotzky, G., 1983. Synergism between nickel and copper in their toxicity to microbes: mediation by pH. Ecotoxicology and Environmental Safety, 6: 577-589, https://doi.org/10.1016/0147-6513(83)90017-9.

Bashir, K., Takahash, R., Nakanishi, H., and Nishizawa, N.K., 2013. The road to micronutrient biofortification of rice: Progress and prospects. Front. Plant Sci, 4:15, doi: 10.3389/fpls.2013.00015.

Brennan, R.F., Bolland, M.D.A., and Bowden, J.W., 2004. Potassium deficiency, and molybdenum deficiency and aluminium toxicity due to soil acidification have become problems for cropping sandy soils in south-western Australia. Aust. J. Exp. Agric. 44, 1031–1039.

Cadar, O., Miclean, M., Cadar, S., Tanaselia, C., and Senila, L., 2015. Senila M. Assessment of heavy metals in cows milk in Rodnei mountains area, Romania. Environmental Engineering and ManagementJournal . 2015;14(11):2523–2 doi: 10.30638/eemj.2015.269.

Chakraborti, D., Rahman, M.M., Paul, K., Chowdhury, U.K., Sengupta, M.K., Lodh, D., Chanda, C.R., Saha, K.C., and Mukherjee, S.C., 2002. Arsenic calamity in the Indian subcontinent: what lessons have been learned? Talanta 2002, 58, 3-22. https://doi.org/10.1016/s0039-9140(02)00270-9.

Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., and Wang, J., 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. Sci Total Environ 2015; 512-513: 143-153.

Cheng, W.H., and Yap, C.K., 2015. Potential human health risks from toxic metals via mangrove snail consumption and their ecological

risk assessments in the habitat sediment from Peninsular Malaysia. Chemosphere 2015; 135: 156-165. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.013.

Crop Sampling Protocols for Micronutrient Analysis, 2008. ttps://researchnow.flinders.edu.au/en/...Crop Sampling Protocols for Micronutrient Analysis.271.pdf.

Czarnecki, S., and Düring, R.A., 2015. Influence of long-term mineral fertilization on metal contents and properties of soil samples taken from different locations in Hesse, Germany. Soil, 1:23–33. https://doi.org/10.5194/soil-1-23-2015.

Dai, J., Becquer, T., Rouller, J.H., Reversal, G., Bemhard-Reversat, F., Nahmani, J., and Lavelle, P., 2004. Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. Soil Biology and Biochemistry. 36:91-98. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.001.

Deumlich, D., Thiere, J., and Altermann, M., 2015. Characterization of cation exchange capacity (CEC) for agricultural land-use areas Arch. Agron. Soil Sci, 6: 767–784. https://doi.org/10.1080/03650340.2014.961434.

Dobermann, A., Witt, C., and Dawe, D., 2002. Performance of site-specific nutrient management in intensive rice cropping systems of Asia. Better Crops Int. 16: 25–30.

Du, F., Yang, Z.G., Liu, P., and Lin,W., 2018. Accumulation, translocation, and assessment of heavy metals in the soil-rice systems near a mine-impacted region. Environ. Sci. Pollut. Res. 2018, 25, 32221–32230. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3184-7.

Eriksson, J.E., 1990. Effects of nitrogen-containing fertilizers on solubility and plant uptake of cadmium Water Air Soil Pollut. 49: 355–368. https://doi.org/10.1007/bf00507075.

Esmaeili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., and Kermani, M., 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. Catena, 121, 88-98. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.003.

Fei, X.F., Lou, Z., Xiao, R., Ren, Z., and Lv, X.N., 2020. Contamination assessment and source apportionment of heavy metals in agricultural soil through the synthesis of PMF and GeogDetector models. Sci. Total Environ. 2020, 747, 141293. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141293.

Geldmacher-von, M., Mallinckrodt, L., and Meissner, D., 1994. General aspects of the role of metals in clinical chemistry, in Handbook on Metals in Clinical and Analytical Chemistry, H. G. Seiler, A. Sigel, and H. Sigel, eds., Marcel Dekker, New York, pp. 13-29. https://doi.org/10.1016/0039-9140(94)80002-2.

Greipsson, S., 1995. Effect of iron plaque on roots of rice on growth of plants in excess zinc and accumulation of phosphorus in plants in excess copper or nickel. J. Plant Nutr. 18:1659-1665. https://doi.org/10.1080/01904169509365011.

GSUE: urban geochemical mapping in Great Britain 2008- Halim MA, Majumder RK, Zaman MN. Paddy soil heavy metal contamination and uptake in rice plants from the adjacent area of Barapukuria. https://doi.org/10.1007/s12517-014-1480-1.

Hayat, S.J., 2005. Heavy Metal Contamination of Soil, Science Pub Inc, UK, 252 P.

Hu, B.F., Chen, S.C., Hu, J., Xia, F., Xu, J.F., Li, Y., and Shi, Z., 2017. Application of portable XRF and VNIR sensors for rapid assessment of soil heavy metal pollution. PLoS ONE 2017, 12, e0172438. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172438.

Hu, B.F., Shao, S., Fu, Z.Y., Li, Y., Ni, H., Chen, S.C., Zhou, Y., Jin, B., and Shi, Z., 2019. Identifying heavy metal pollution hot spots in soil-rice systems: A case study in South of Yangtze River Delta, China. Sci. Total Environ. 2019, 658, 614–625. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.150.

Insam, H., Hutchinson, T.C., and Reber, H.H., 1996. Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora, oil Biology and Biochemistry 28: 691-694. https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00182-4.

Jayasekera, R., and Freitas, M.C., 2005. Concentration Levels of Major and Trace Elements in Rice from Sri Lanka as Determined by the k0 Standardization Method. Biological Trace Element Research, 103, 83-96.https://doi.org/10.1385/BTER:103:1:083.

Jjemba, P.K., 2004. Environmental Microbiology: Principles and Applications. Science. Publishers, Inc., Enfield New Hampshire.

Kanda, K., Tsuruta, H., and Minami, K., 1992. Emission of dimethyl sulfide, carbonyl sulfide and carbon disulfide from paddy fields.Soil Sci. Plant Nutr, 38:709-716. https://doi.org/10.1080/00380768.1992.10416701.

Karim, Z., Qureshi, B.A., and Mumtaz, M., 2015. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan. Ecological Indicators, 48: 358-364.16. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.032.

Karimi Nezhad, M.T., Tabatabaii, S.M., and Gholami, A., 2015. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. J Geochem Explor, 152: 91-109. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.02.005.

Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Kölbl, A., and Schloter, M., 2010. Biogeochemistry of paddy soils. Geoderma, 157:1-14. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.009.

Kumpiene, J., Lagerkvist, A., and Maurice, C., 2015. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments-A review. Waste Manag 28: 215–225. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012.

Kuperman, R.G., and Carrierro, M.M., 1997. Soil heavy metal concentrations, microbial biomass and enzyme activities in a contaminated grassland ecosystem. Soil Biology and Biochemistry 29: 179-190. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(96)00297-0.

Lai, H. Y., and Chen, Z.S., 2004. Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. Chemosphere 55: 421-430. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.009.

Li, N., Kang ,Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q., Luo, J., 2015. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. Sci Total Environ 2015; 521-522: 144-151. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081.

Liu, X., Song, Q, Tang, Y., Li, W., Xu, J., and Wu, J., 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: a multi-medium analysis. Sci Total Environ 2013; 463-464: 530-540. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064.

Logan, T.J., Lindsay, B.J., Goins, L.E., and Tyan, J.A., 1997. Field assessment of sludge metal availability to crops: sludge rate response. Journal of Environmental Quality. 26:534-550. https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600020027x.

Lucas, E., Bertrand, P., Guazzetti, S., Donna, F., Peli, M., and Jursa, T., 2015. Impact of ferromanganese alloy plants on household dust manganese levels: Implications for childhood exposure. Environ Res 2015; 138: 279-290. https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.01.019.

Matthews, P., 1996. A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. International Association on Water Quality, London.

McCauley, A., Jone, C., and Jacobsen, J., 2015. Soil pH and organic matter. In: Nutrient management module no 8. 2009. http:// landr esour ces. Monta na. edu/ nm/ docum ents/ NM8. pdf. Accessed 10 Aug 2015.

Miclean, M., Cadar, O., Levei, E. A., Roman, R., Ozunu, A., and Levei, L., 2019. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and health risk assessment through raw milk consumption from free-range cows. International Journal of Environmental Research and Public Health . 2019;16(21):p. 4064. doi: 10.3390/ijerph16214064.

Mico, C., Peris, M., Sanchez, J., and Recatala, L., 2006. Heavy metal content of agricultural soils in a Mediterranean semiarid area: the Segura River Valley (Alicante, Spain). Span J Agric Res. 4(4):363–72. https://doi.org/10.5424/sjar/2006044-213.

Nael, M.; Khademi, H.; Jalalian, A.; Schulin, R.; Kalbasi, M.; Sotohian, F; 2009- Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran. Geoderma 2009, 152, 157-170. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.001.

Naseby, D.C., and Lynch, J.M., 1997. Rhizosphere soil enzymes as indicators of perturbations caused by enzyme substrate addition and inoculation of genetically modified strain. Soil Biology and Biochemistry 29: 1353-1362. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(97)00061-8.

Nyarko, B., Dampare, S., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Adotey, D., and Adomako, D., 2008. Biomonitoring in the forest zone of Ghana: the primary results obtained using neutron activation analysisand lichens. Int J Environ Pollut, 32(4):467-476. https://doi.org/10.1504/ijep.2008.018410.

Olawoyin, R., Oyewole, S.A., and Grayson, R.L., 2012. Potential risk effect from elevated levels of soil heavy metals on human health in the Niger delta. Ecotoxicol Environ Saf 2012; 85: 120-130. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.08.004.

Pascaul, J.A., Garcia, C., and Hernandez, T., 1999. Casting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. Biology and Fertility of Soils 30: 1-6. https://doi.org/10.1007/s003740050579.

Piot, N., Smagghe, G., and Meeus, I., 2020. Network centrality as an indicator for pollinator parasite transmission via flowers. Insects 11, 872. https://doi.org/10.3390/insects11120872.

Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., and Chandra, K., 2019. Potential health risk of heavy metals via consumption of rice and vegetables grown in the industrial areas of Bangladesh. Human and Ecological Risk Assessment:.An.International.Journal . 2019a:1–23. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546114.

Rice Grain Quality Methods and Protocols: Methods and Protocol January 2019. - Crop Sampling Protocols for Micronutrient Analysis. AU - Stangoulis, James. AU - Sison, Cristina. PY - 2008. Y1 - 2008. Washington, DC.2008 127.

Rost, U., Joergensen, R.G., and Chanders, K., 2001. Effect of Zn enriched sewage-sludge on microbial activities and biomass in soil. Soil Biology and Biochemistry, 33: 633-638. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(00)00207-8.

Saeedi, M., Li, L.Y., and Salmanzadeh, M., 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. J Hazard Mate; 227-228: 9-17.

Sahrawat, K.L., and Sika, M., 2002. Comparative tolerance of Oryza sativaand Oryza glaberrimarice cultivars for iron toxicity in West Africa. Int. Rice Res, 27: 30–31.

Sebastian, A., and Prasad, M.N.V., 2014. Cadmium minimization in rice: A review. Agron. Sustain. 34: 55–173. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0152-y.

Selinus, O., 2005. Essential of Medical Geology Impact of the Natural Environment on Public Health, Elsiver Academic Press, 876 P.

Sessitsch, A., Kuffner, M., Kidd, P., Vangronsveld, J., Wenzel, W.W., Fallmann, K., and Puschenreiter, M., 2013. The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils.Soil Biol. Biochem. 60:182–194. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.012.

Shao, S., Hu, B.F., Tao, Y., You, Q.H., Huang, M.X., Zhou, L.Q., Chen, Q.X., and Shi, Z., 2021. Comprehensive source identification and apportionment analysis of five heavy metals in soils in Wenzhou City, China. Environ. Geochem. Health 2021, 1–24. https://doi.org/10.1007/s10653-021-00881-7.

Smith, S.R., 1997. Rhizobium in soils contaminated with copper and zinc following the long-term application of sewage sludge and other organic wastes. Soil Biology and Biochemistry 29: 1475-1489. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(97)00036-9.

Stehouwer, R.C., Wolf, A.M., and Doty, W.T., 2000. Chemical monitoring of sewage sludge in Pennsylvania: variability and application uncertainty. Journal of Environmental Quality 29: 1686-1695. https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900050041x.

Tsheboeng, G., Bonyongo, M., and Murray-Hudson, M., 2014. Flood variation and soil nutrient content in flood plain. https://doi.org/10.1590/sajs.2014/20130168.

Wei, B., and Yang, L., 2010. A review of heavy metal contamination in urban soil,urban road and dust and agricultural soil from China. Microchem J 2010;94(2):99-107. https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014.

WHO/FAO (World Health Organization/Food and Agriculture Organization), 2008. Joint FAO/WHO/FAO, food standard programme codex alimentarius commission 13th session. Report of the thirty-eight session of the codex committee on food hygiene, Houston, USA.https://doi.org/10.1016/s0015-6264(66)80695-8.

Wu, S., Peng, S., Zhang, X., Wu, D., Luo, W., and Zhang, T., 2015. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. J Geochem Explor 2015; 148: 71-78. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.009.

Xu, X., Zhao, Y., Zhao, X., Wang, Y., and Deng, W., 2014. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China. Ecotoxicol Environ Saf 2014; 108: 161-167. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.07.001.

Zhang, X., Yang, L., Li, Y., Li, H., Wang, W., and Ye, B., 2012. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. Environ Monit Assess 2012; 184(4): 2261-2273. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2115-6.

Zhang, H., Wang, Z., Zhang, Y., Ding, M., and Li, L., 2015. Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai–Tibet highway. Sci Total Environ, 521:160-172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.054.

Zhang, X.F., Liu, T.X., Li, F.B., Li, X.M., Du, Y.H., Yu, H.Y., Wang, X.Q., Liu, C.P., Feng, M., Liao, B., 2021. Multiple effects of nitrate amendment on the transport, transformation and bioavailability of antimony in a paddy soil-rice plant system. J. Environ. Sci.2021, 100, 90–98. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.009.

Zhao, Q., Wang, Y., Cao, Y., Chen, A., Ren, M., and Ge, Y., 2014. Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary, liver, lung and gastric cancer, in Anhui, province, Eastern China. Sci Total Environ, 470-471: 340-347. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.086.

Original Research Paper

Environmental Geochemistry and geobiochemistry studies on agricultural soil and rice plant in Sari- Mazandaran Province

Farah Rahmani[1], Abdolreza Jafarian[1]*, Razieh Lak[2] and Javad Esmaeili[1]

[1]Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University of Shahrood, Shahrood, Iran
[2]Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 2021 November 27
Accepted: 2022 March 26
Available online: 2022 December 22

Keywords:
Heavy metals
Soil
Rice
Frertilizer
Health
Sari city

ABSTRACT

The present study aims to determine the concentration of heavy metals and toxic metalloids in rice of Sari paddy fields in the Mazandaran province of Iran. In this study, sampling was performed from 32 stations of the rice seed section. The soil-plant relationship was investigated in 6 stations using samples taken from rice soil and other plant parts such as roots, stems, leaves, and bran. Soil and plant samples were prepared using ICP-OES and ICP-MS methods, respectively, and then analyzed chemically. The results of the chemical analysis of rice samples showed that the mercury (Hg) concentration is usually about 0.07 ppm. However, it reaches about 0.09 ppm in some points (30% of the samples). The mean concentration of lead (Pb) is 0.91 ppm, which is close to its allowable limit. In some samples, elements arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), and zinc (Zn) are different from normal concentrations. The study results attribute the origin of lead elements to the use of chemical zinc fertilizer in rice fields and paddy fields, as Pb concentration in areas with zinc (Zn) fertilizer consumption is about 3.99 ppm. The as concentration in Isa Khandagh is 1.15 ppm, suggesting a high deviation from the normal level. In addition, the concentration of trace elements in rice crops in different regions of Sari city compared with rice crops in some foreign cities shows a high correlation for chromium (Cr), cobalt (Co), Arsenic (As), magnesium (Mg), manganese (Mn), sodium (Na), and Zinc (Zn).

* Corresponding author: Abdolreza Jafarian; E-mail: r.jafarian@gmail.com
E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021G.S. Journal & the authors. All rights reserved.
doi: 10.22071/GSJ.2022.316756.1959 dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.13.9

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)