وضعیت روی و کادمیم در خاک‌های شالیزاری و برنج استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان و تأثیر آنها بر امنیت غذایی

مهناز پیرزاده[۱*]، مجید افیونی[۲] و امیرحسین خوشگفتارمنش[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۰)

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی غلظت روی و کادمیم در خاک‌های شالیزاری و دانهٔ برنج تولید شده در مرکز و جنوب غربی ایران در ارتباط با ویژگی‌های خاک و گیاه انجام شد و مقدار روی و کادمیم وارد شده از طریق مصرف این برنج به سبد غذایی افراد نیز محاسبه گردید. تعداد ۱۳۶ نمونه گیاه و خاک سطحی زیر کشت (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) از مزارع برنج در استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان برداشت شد. نتایج نشان داد که با وجود بالا بودن مقدار کل روی خاک، در بیشتر از ۵۰ درصد خاک‌های شالیزاری، غلظت روی قابل عصاره‌گیری با DTPA کمتر از حد کفایت (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. در ۵۴ درصد از دانه‌های برنج نیز غلظت روی کمتر از حد بحرانی آن در دانهٔ برنج (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. اندازه‌گیری غلظت کادمیم در خاک‌های شالیزاری و بخش خوراکی برنج نیز نشان داد که در ۱۲ درصد از نمونه‌های استان اصفهان، غلظت کادمیم بیشتر از حد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی بود. با در نظر گرفتن مصرف روزانه ۱۱۰ گرم برنج برای هر ایرانی، حدود ۱۰ درصد نیاز مردم به روی با مصرف برنج تولید شده در این استان‌ها تأمین می‌شود. هم‌چنین محاسبهٔ جذب روزانه کادمیم به بدن افراد، هیچ گونه خطرپذیری ناشی از مصرف برنج را زمانی که میانگین غلظت کادمیم ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود نشان نداد اما جذب روزانه کادمیم از طریق مصرف برنج‌های آلوده، بالاتر از حد مجاز بود.

واژه‌های کلیدی: خاک شالیزاری، برنج، روی، کادمیم، اصفهان، فارس، خوزستان

۱. عضو مرکز پژوهشی کشت بدون خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. به‌ترتیب استاد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahnaz.pirzadeh@gmail.com

مقدمه

بیش از ۴۰ درصد از مردم دنیا دچار کمبود عناصر کم‌مصرف، یا به اصطلاح گرسنگی پنهان(Hidden hunger) هستند (۳۰). در زمین‌های زیر کشت غلات، کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف به‌ویژه روی، گسترش جهانی دارد. گراهام و ولچ(۱۱) گزارش کردند که حدود ۵۰ درصد از خاک‌هایی که برای کشت غلات در جهان استفاده می‌شوند، دچار کمبود روی هستند. آنها هم‌چنین بیان کردند که بسیاری از جمعیت جهان از فقر روی رنج می‌برند و دلیل اصلی این کمبود در انسان را مصرف زیاد غلات دارای کمبود روی در جیرهٔ غذایی دانستند. امروزه کمبود روی به‌عنوان یکی از مشکلات جدی سوء تغذیه انسان در عرصهٔ جهانی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که رژیم غذایی آنها غنی از غلات و فقیر از نظر پروتئین حیوانی است، شناخته شده است (۱۵ و ۳۱). رابطه بین مقدار کم روی در خاک و گیاه و کمبود آن در انسان به تازگی مورد توجه قرار گرفته و اهمیت آن تأیید شده است (۲۶). سوننداا و همکاران (۲۶) گزارش کردند که کمبود روی خاک منجر به غلظت کم روی در برنج و در پی آن کاهش غلظت روی در سرم خون جمعیت محلی ساکن در منطقه مورد مطالعه (آندراپرادش) در مدت زمانی که تغذیه کافی از دیگر منابع پروتئین در رژیم غذایی نداشتند، شد. کک مک و همکاران (۷) نشان دادند که بین وضعیت کمبود روی در خاک‌های مرکزی آناتولی ترکیه با کمبود روی در گندم و سوء تغذیه روی در دانش‌آموزان منطقه، یک ارتباط معنی‌دار برقرار بود. چن (۸) در پژوهشی نشان داد، حدود ۶۰ درصد دانش‌آموزان دبستانی در چین دارای غلظت پایین روی در مو و سرم خون بودند. علت کمبود روی در این افراد، جذب ناکافی روی از برنج مورد مصرف که غذای اصلی مردم چین است، گزارش شده است.

در حال حاضر، سطح وسیعی از شالیزارهای دنیا دچار کمبود روی می‌باشند، به‌طوری‌که در آسیا ۲ میلیون هکتار از خاک‌های شالیزاری دچار کمبود روی هستند (۲۲). بخش عمده‌ای از اراضی مرکزی ایران نیز با مشکل کمبود روی مواجه است و در بسیاری از شالیزارهای این مناطق نیز کمبود روی گسترش دارد. کم بودن درصد ماده آلی، pH قلیایی و کربنات‌کلسیم زیاد از عوامل کمبود روی در این مناطق است (۱۴). اغلب خاک‌های زیر کشت برنج در استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان آهکی بوده و طی سال‌های گذشته مقادیر زیاد کودهای فسفاته به این اراضی اضافه شده است. با توجه به این‌که کودهای فسفاته اغلب دارای غلظت‌های بالای کادمیم هستند، استفاده از این کودها باعث افزایش غلظت کادمیم خاک شده است. از طرفی غرقاب کردن خاک و آهکی بودن آن توأماً در کاهش قابلیت استفاده روی و افزایش کادمیم نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۰). در این خاک‌ها به دلیل شرایط غرقابی، غلظت کادمیم محلول خاک نیز افزایش یافته و به دلیل وجود رابطهٔ ضدیتی(Antagonistic relationship) بین کادمیم و روی، احتمال کمبود روی و انباشته شدن غلظت بالای کادمیم در گیاه تشدید می‌شود و بر خلاف روی که یک عنصر مهم و حیاتی است، کادمیم سمی بوده و برای سلامت مصرف‌کنندگان خطرناک است (۲۸).

راه‌کارهای مختلفی برای حل مشکل کمبود روی در انسان ارائه شده است که از جملهٔ آنها می‌توان به غنی‌سازی خاک با به کاربردن کودهای مختلف و اصلاح خاک، استفاده از قرص‌های مکمل در رژیم غذایی و نیز ترکیبی از این روش‌ها با یکدیگر اشاره نمود. ولی به نظر می‌رسد، همان‌طورکه ولچ و گراهام بیان کرده‌اند، راه‌حل پایدار برای بر طرف کردن این مشکل، مبتنی بر اصلاحات و تغییراتی در سیستم کشاورزی است(۳۱). برای رسیدن به این هدف، آگاهی از وضعیت روی و کادمیم در خاک و بخش خوراکی گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. با این حال اطلاعات کافی در مورد وضعیت روی و کادمیم در برنج و اراضی زیر کشت برنج در مناطق خشک و نیمه‌خشک در دسترس نبوده و تاکنون تحقیقی به منظور تعیین میزان ورود روی و کادمیم از طریق مصرف برنج در ایران انجام نگرفته است. از طرفی با توجه به سرانهٔ مصرف برنج در ایران (۴۰ کیلوگرم در سال) (۲)، این محصول زراعی بخش قابل

ملاحظه‌ای از سبد غذایی افراد جامعه را تشکیل می‌دهد و خود می‌تواند به عنوان معیاری از مقدار ورود روی و کادمیم از طریق خاک و گیاه به زنجیره غذایی انسان باشد. پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت کل و قابل استفاده روی و کادمیم در خاک‌های زیر کشت برنج و هم‌چنین غلظت در کاه و کلش، پوسته و دانهٔ برنج در استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان انجام شد. هم‌چنین مقدار ورود روی و کادمیم از طریق مصرف برنج به سبد غذایی افراد جامعه (Total Intake) محاسبه شد و با استانداردهای جهانی مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان انجام شد. این سه استان در مجموع ۱۸ درصد سطح زیر کشت و ۱۹ درصد تولید برنج کشور را به خود اختصاص داده‌اند. سطح زیر کشت برنج در این استان‌ها، ۷۸۲۴۸ هکتار و مقدار تولید این محصول، ۳۲۷۷۰۴ تن در سال می‌باشد (۱). میانگین بارندگی سالانه و دما به ترتیب در اصفهان، فارس و خوزستان ۱۴۰ میلی‌متر و ۱۴/۵ درجه سلسیوس، ۲۲۰ میلی‌متر و ۱۶/۸ درجه سلسیوس و ۲۰۰ میلی‌متر و ۲۸ درجه سلسیوس می‌باشد. نوع خاک غالب در استان‌های مورد مطالعه، اریدی‌سل در گروه بزرگ کلسی آرجید، هاپلوکمبید، هاپلوجیپسید و هاپلوسالید است. مناطق مورد مطالعه برحسب سطح زیر کشت و مقدار تولید برنج تقسیم‌بندی شده و از هر بخش جداگانه نمونه‌برداری انجام گرفت. از شالیزارهای هر یک از استان‌های اصفهان و فارس ۵۰ نمونه و در استان خوزستان ۳۶ نمونه جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری در هر مزرعه از خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. هم‌چنین نمونه‌هایی از کاه و کلش، دانه و پوستهٔ برنج آمادهٔ برداشت (۱۳۶ نمونه) شد. نمونه‌برداری از خاک و گیاه هم‌زمان و در موقع برداشت برنج انجام گرفت. نمونه‌برداری در استان‌های اصفهان و فارس اواخر شهریور تا اوایل مهر و در استان خوزستان در آبان‌ماه انجام گرفت. پس از آماده کردن نمونه‌ها (خشک شدن در هوا، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری) بعضی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک نظیر بافت به روش هیدرومتری، pH در گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۲۳)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی توسط اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۲۱)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر به کمک بی کرومات اندازه‌گیری شدند (۱۹) و فسفر کل خاک‌ها از روش ساندرز و ویلیام اصلاح شده توسط والکر و آدامز اندازه‌گیری شد (۲۹). روی و کادمیم کل خاک با عصاره‌گیر HNO_3 ۵ مولار و مقدار قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA استخراج شد (۳۳). هم‌چنین نمونه‌های گیاهی با اسید کلریدریک ۲ مولار عصاره‌گیری شدند (۳۳). سپس غلظت روی و کادمیم در عصاره‌های به‌دست آمده توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ قرائت شد. مقدار ورود روی و کادمیم به زنجیرهٔ غذائی با در نظرگرفتن میانگین غلظت این عناصر در دانهٔ برنج و میانگین برنج مصرفی توسط افراد جامعه، تخمین زده شد (۲۸) و با استانداردهای جهانی مقایسه گردید. هم‌چنین جذب روزانه کادمیم از طریق مصرف برنج، توسط فرمول زیر محاسبه شد:

$$DI = F_{IR}C$$

DI: جذب روزانه (میلی‌گرم بر شخص در روز)

F_{IR}: مصرف برنج (گرم بر شخص در روز)

C: میانگین غلظت کادمیم در برنج (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی خاک‌ها

نتایج توصیف آماری ویژگی‌های شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده‌است. در هر سه استان، pH خاک بالا بوده با میانگین ۷/۶ که از مشخصات خاک‌های مناطق خشک می‌باشد. تقریباً همه خاک‌های منطقهٔ مورد مطالعه آهکی بوده و بیش از ۹۵ درصد نمونه‌ها دارای بیش از ۲۰ درصد آهک بودند. مقدار ماده آلی در نمونه‌های هر سه استان کم بوده و در ۷۶ درصد

جدول ۱. توصیف آماری برخی ویژگی‌های خاک در منطقه مطالعاتی به تفکیک هر استان

متغیر	استان	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
pH	اصفهان	۷/۷	۷/۷	۰/۲	۷/۲	۸/۳
	فارس	۷/۶	۷/۶	۰/۲	۶/۹	۸/۱
	خوزستان	۷/۵	۷/۵	۰/۱	۷/۱	۷/۸
	کل	۷/۶	۷/۶	۰/۲	۶/۹	۸/۳
قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m)	اصفهان	۳/۳	۲/۹	۱/۹	۰/۹	۹/۳
	فارس	۱/۲	۱/۱	۰/۶	۰/۲	۲/۹
	خوزستان	۴/۰	۳/۷	۱/۴	۱/۳	۷/۱
	کل	۲/۷	۲/۲	۱/۸	۰/۲	۹/۳
ماده آلی (درصد)	اصفهان	۱/۷	۱/۷	۰/۶	۰/۲	۴/۱
	فارس	۱/۶	۱/۵	۰/۷	۰/۵	۳/۵
	خوزستان	۱/۳	۱/۳	۰/۵	۰/۵	۲/۸
	کل	۱/۶	۱/۵	۰/۶	۰/۲	۴/۱
آهک (درصد)	اصفهان	۳۱/۳	۳۰/۰	۷/۲	۱۳/۵	۵۹/۰
	فارس	۳۷/۹	۴۰/۰	۱۱/۳	۱۰/۰	۵۵/۰
	خوزستان	۴۵/۹	۴۲/۰	۹/۳	۳۶/۰	۷۱/۵
	کل	۳۷/۵	۳۷/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۷۱/۵
فسفر کل (درصد)	اصفهان	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳
	فارس	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲
	خوزستان	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۱
	کل	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳

خاک‌های نمونه‌برداری شده کمتر از ۲ درصد بود. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی خاک ۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر است. خاک شالیزارهای استان فارس دارای شوری کمتر و استان خوزستان دارای بیشترین میانگین قابلیت هدایت الکتریکی بود. حد آستانه شوری برای کشت برنج ۴ دسی‌زیمنس بر متر است (۶) و بنابراین در ۳۰ درصد شالیزارهای برنج در استان اصفهان و ۴۲ درصد مزارع برنج خوزستان، شوری خاک عامل محدودکننده برای رشد برنج بود. این در حالی است که در خاک‌های مورد مطالعه استان فارس شوری عامل محدودکنندهٔ برای رشد برنج نبود. دامنه غلظت فسفر کل خاک‌ها در استان‌های مورد مطالعه ۰/۰۲ تا ۰/۳ درصد بود. فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و یکی از مهم‌ترین عناصر در تولید محصول به شمار می‌آید. غلظت فسفر در خاک‌های زراعی از ۰/۱ تا ۳ گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند (۲).

غلظت کل و قابل جذب روی و کادمیم در خاک

بیش از ۵۲ درصد خاک‌های مناطق مورد مطالعه دارای غلظت کمتر از حد بحرانی روی قابل استفاده گیاه در شالیزارها (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۱۰) هستند (جدول ۲). این امر علاوه بر منشأ مواد مادری و تأثیر ویژگی‌های خاک بر کاهش روی قابل جذب، می‌تواند به دلیل مدیریت متفاوت کشاورزان در مناطق مورد مطالعه باشد. روی قابل استفاده گیاه

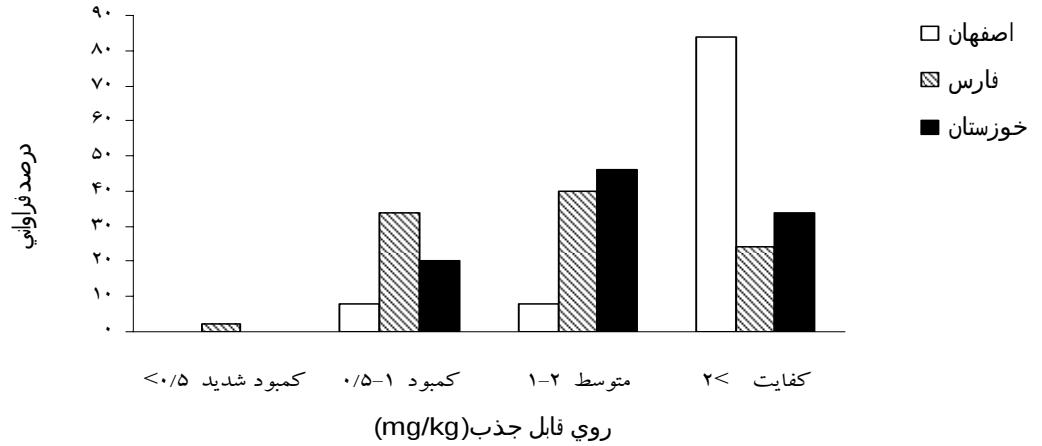
جدول ۲. توصیف آماری غلظت کل و قابل جذب روی خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کل منطقه مورد مطالعه به تفکیک هر استان

عنصر	استان	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
روی کل	اصفهان	۴۷/۲	۴۶/۷	۱۰/۶	۱۸/۷	۶۹/۵
	فارس	۳۵/۹	۳۲/۵	۱۶/۰	۱۷/۵	۱۱۶/۵
	خوزستان	۳۸/۳	۳۹/۹	۸/۰	۱۴/۱	۴۹/۶
	کل	۴۰/۷	۴۰/۲	۱۳/۳	۱۴/۱	۱۱۶/۵
روی قابل جذب	اصفهان	۴/۱	۳/۷	۲/۸	۰/۷	۱۴/۵
	فارس	۱/۷	۱/۱	۲/۰	۰/۴	۱۳/۰
	خوزستان	۱/۹	۱/۷	۱/۲	۰/۵	۶/۶
	کل	۲/۷	۱/۹	۲/۴	۰/۴	۱۴/۵
کادمیم	اصفهان	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۲	۵/۵
	فارس	۰/۳	۰/۳	۰/۰	۰/۲	۰/۵
	خوزستان	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۱/۰
	کل	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۵/۵

در استان اصفهان نسبت به دو استان فارس و خوزستان بیشتر بود، به‌طوری‌که میانگین روی قابل جذب در استان اصفهان ۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و فقط ۱۶ درصد ازشالیزارهای استان اصفهان دارای میانگین روی کمتر از حد بحرانی بودند. در استان‌های فارس و خوزستان به ترتیب ۷۶ و ۶۳ درصد از شالیزارها، دارای روی کمتر از حد بحرانی بودند (شکل۱). علی‌رغم مقدار بالای روی کل در استان‌های فارس و خوزستان، مقدار روی قابل جذب کم است که نشان می‌دهد مقدار روی کل بالا به تنهایی نمی‌تواند بیانگر مقدار روی قابل جذب خاک باشد و عوامل دیگری بر میزان قابل جذب بودن عناصر اثر می‌گذارند (۱۵ و ۱۶). خاک‌های ماندابی شده با pH بالا و آهن کل بالا، دچار کمبود شدید روی قابل جذب هستند (۱۰ و ۱۲). میانگین غلظت کل کادمیم خاک در منطقه ۰/۴۵ و دامنه تغییرات آن از ۰/۱۸ تا ۵/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. دامنهٔ تغییرات کادمیم در اصفهان بالا (۰/۱ تا ۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود، به‌طوری‌که در بعضی شالیزارهای این استان، مقدار کادمیم کل تا ۵/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم نیز به دست آمد. میانگین غلظت کادمیم در شالیزارهای خوزستان ۰/۴ و بیشترین غلظت کادمیم ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین کادمیم در استان فارس ۰/۳ و دامنهٔ تغییرات غلظت کادمیم ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. حداکثر مجاز غلظت کادمیم کل در خاک‌های کشاورزی کشورهای مختلف، متفاوت بوده به ترتیب در سوئیس ۰/۸، آمریکا ۱/۶، انگلستان و آلمان ۳، لهستان ۱ تا ۳ و در استرالیا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۱۳). براساس نتایج مطالعه حاضر غلظت کل کادمیم در شالیزارهای مورد مطالعه در استان فارس و خوزستان کمتر از حد مجاز بود. حدود ۱۲ درصد از شالیزارها در استان اصفهان دارای غلظت کادمیم بیشتر از ۰/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم استاندارد کشور سوئیس بودند. کادمیم قابل جذب (DTPA-Cd) در بیشتر خاک‌های مورد مطالعه کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، بنابراین نتایج آن ارائه نشد.

تأثیر ویژگی‌های خاک بر غلظت روی و کادمیم خاک

غلظت روی کل و قابل جذب با غلظت کل و قابل جذب آهن، منگنز، مس و کادمیم دارای همبستگی (پیرسون) به نسبت بالایی بود (جدول ۳). بیشترین همبستگی بین غلظت کل مس و



شکل۱. درصد فراوانی روی قابل جذب به تفکیک هر استان

جدول۳. همبستگی غلظت روی کل و قابل جذب با غلظت کل و قابل جذب آهن، منگنز، مس و کادمیوم در کل منطقه

غلظت کل (mg/kg)				غلظت قابل جذب (mg/kg)			
آهن	منگنز	مس	کادمیوم	آهن	منگنز	مس	کادمیوم
۰/۴**	۰/۴**	۰/۷**	۰/۳**	۰/۲**	۰/۱**	۰/۵**	۰/۱**

* و **: به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد

n.s: همبستگی غیرمعنی‌دار

روی مشاهده شد. اکسیدهای آبدار نقش قابل توجهی در کنترل غلظت مس و روی محلول خاک دارند. با توجه به همراه بودن مس و روی در لایه‌های هشت وجهی رس‌ها، همبستگی بالای غلظت کل این عناصر در خاک‌ها قابل توجیه است (۲۵). همبستگی بالای بین این عناصر در شالیزارهای مورد مطالعه می‌تواند ناشی از ورود آنها از طریق منابع مشترک مانند فعالیت‌های کشاورزی و مواد اصلاح‌کننده خاک و یا از طریق مواد مادری به خاک باشد. به عنوان مثال کادمیم با روی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان داد. بین مقدار آهک خاک با غلظت روی قابل جذب، همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده شد. نتایج مطالعات قبلی نشان داده که روی و سایر عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک‌های آهکی رسوب کرده و قابلیت استفاده آنها کم می‌شود (۷). نتایج این پژوهش‌ها نشان داده که انتقال روی از محلول خاک به سمت ریشه تحت‌تأثیر پدیدهٔ پخشیدگی بوده و در خاک‌های آهکی با pH بالا(مانند خاک‌های منطقه مورد مطالعه در این پژوهش)، ضریب پخشیدگی ۵۰ بار کمتر از خاک اسیدی است. بنابراین پویایی روی در این خاک‌ها کاهش یافته و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد (۲۴). در بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، مقدار فسفر کل خاک بیشترین تأثیر را برمقدار روی و کادمیم در کل منطقه مورد مطالعه داشت. نتایج تحقیقات امینی و همکاران در ایران نشان داد که کودهای فسفاته حاوی عناصر کم‌مصرف نظیر روی و کادمیم هستند. با توجه به مصرف بی‌رویهٔ کودهای فسفاتی توسط شالیکاران، می‌توان

همبستگی بالای بین غلظت روی و کادمیم با فسفر خاک را به این کودها مربوط دانست (۴).

غلظت روی و کادمیم در گیاه

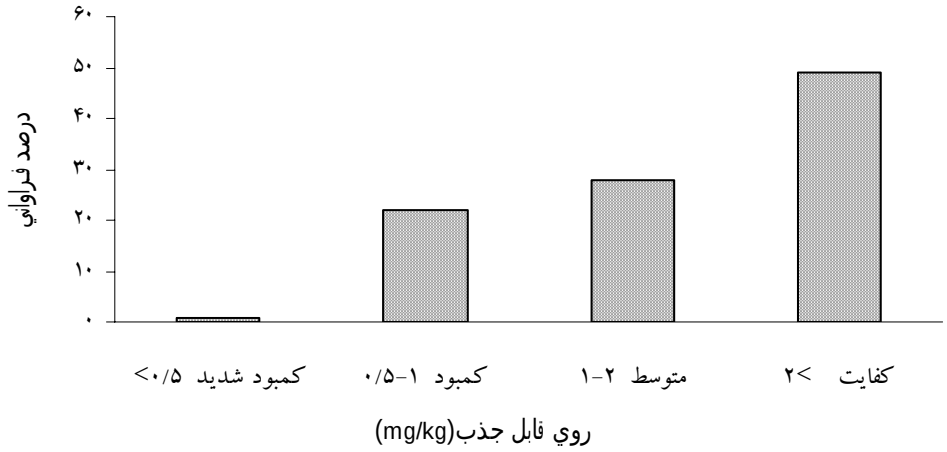
جدول ۴ غلظت روی را در کاه و کلش، پوسته و دانه برنج نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بین میانگین غلظت روی دانه، کاه و کلش و پوسته وجود دارد. تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین غلظت روی کاه و کلش، پوسته و دانه استان اصفهان نسبت به دو استان دیگر وجود داشت. حدود ۳۳ و ۶۰ درصد از برنج در اصفهان و فارس دارای روی کمتر از حد بحرانی (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود(شکل ۲). بالاترین درصد فراوانی روی در دانه برنج (۴۵ درصد) در استان فارس مربوط به غلظت ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در استان خوزستان نیز ۶۶ درصد از دانه برنج دارای غلظت روی کمتر از حد بحرانی بود. در این استان نیز بالاترین درصد فراوانی (۵۰ درصد) مربوط به غلظت ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود(شکل ۳). یوشیدا و همکاران (۳۲)، برنج‌هایی با غلظت روی ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با احتمال زیاد دچار کمبود روی هستند و دانه‌های با غلظت‌های کمتر از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با اطمینان دچار کمبود روی هستند. تاندون و همکاران (۲۷) نشان دادند که سطح کفایت روی در برنج ۲۰ تا ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بر این اساس، در مجموع احتمال کمبود روی در حدود ۴۰ درصد از برنج تولیدی در استان‌های مورد مطالعه وجود داشته و ۱۵ درصد از محصول برنج نیز با اطمینان با کمبود روی مواجه است (شکل ۴). غلظت روی در۹۰ درصد نمونه‌های کاه و کلش و پوسته گیاه کمتر از حد بحرانی بود (۱۰). تنها ۳ درصد نمونه‌های مورد مطالعه دارای کمبود شدید هستند و نیمی از نمونه‌ها در وضعیت کمبود خفیف و بینابین می‌باشند که می‌توان با مدیریت بهتر و رعایت اصول صحیح کوددهی، این کمبود روی را جبران کرد. غلظت بحرانی روی در گیاه بستگی به مرحلهٔ رشد و سن برگ دارد. غلظت بحرانی روی در برگ‌ها و یا کل اندام هوایی گیاه، در بین غلات و نیز رقم‌های یک جنس مشخص گیاهی، متفاوت است. براساس بررسی‌های مزرعه‌ای و گلخانه‌ای انجام شده در ایران، حد بحرانی غلظت روی در برنج ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده‌است (۳). با این وجود در تعیین سطح بحرانی عناصر در برنج، باید زمان نمونه‌گیری و رقم برنج در نظر گرفته شود. ولی‌نژاد و همکاران (۳)، غلظت مطلوب روی را در ساقه و برگ برنج ۴۰ و در دانه شلتوک ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آوردند. غلظت کادمیم در بخش خوراکی برنج (دانه سفید) کشت شده در این استان‌ها بین ۰/۰۱ تا ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین غلظت کادمیم در دانه برنج در ۱۱ درصد برنج تولید شده در این مناطق، بیشتر از حد مجاز کادمیم در غلات (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (۹). در استان فارس، ۴ درصد و در استان اصفهان در حدود ۱۲ درصد از دانه‌های برنج دارای غلظت بیشتر از حد مجاز کادمیم بودند. علت این امر را می‌توان به مصرف بالای لجن فاضلاب و کمپوست و هم‌چنین مصرف بیش از حد کودهای فسفره مربوط دانست. امینی و همکاران (۵) میانگین ورود سالیانه کادمیم به زمین‌های کشاورزی در استان اصفهان را در اثر استفاده از کودهای حیوانی ۱/۲ تا ۳/۵ گرم در هکتار در سال، از طریق کودهای فسفاته ۱/۴ تا ۱۵ گرم در هکتار در سال و از طریق لجن فاضلاب ۰/۱۲ تا ۱/۳۵ گرم در هکتار در سال به دست آوردند.

کیفیت غذایی دانه برنج از نظر غلظت روی و کادمیم

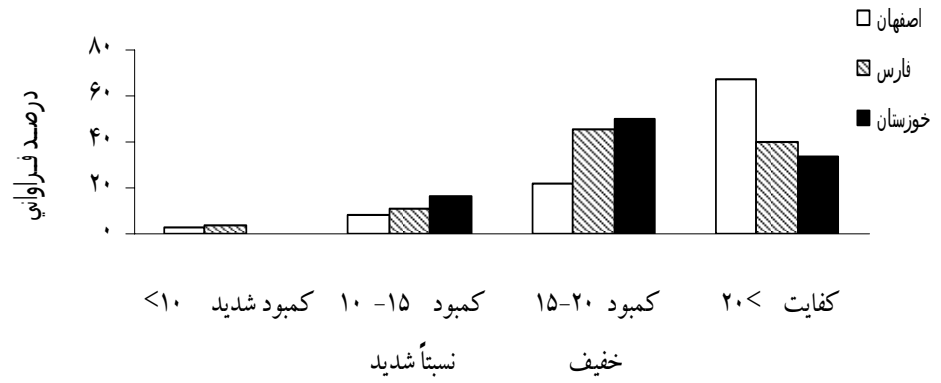
برنج بعد از گندم غذای اصلی مردم ایران می‌باشد. آگاهی از عناصر معدنی موجود در آن برای ارتقاء سلامتی جامعه و رفع عوارض ناشی از سوء تغذیه اهمیت ویژه‌ای دارد. مؤسسهٔ تحقیقات برنج سرانه مصرف برنج برای هر ایرانی را ۴۰ کیلوگرم در سال ۱۳۸۶ اعلام کرد. به این ترتیب به‌طور میانگین هر فرد روزی ۱۱۰ گرم برنج مصرف می‌کند. نیاز روزانه افراد بالغ به روی، برای مردان ۱۱ میلی‌گرم در روز و برای زنان ۸ میلی‌گرم در روز است (۱۷). بنابراین در صورتی‌که فرض شود

جدول ۴. خلاصه آماری غلظت روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در اندام هوایی برنج

منطقه مورد مطالعه	میانگین			میانه			انحراف معیار			کمینه			بیشینه		
	کاه و کلش	پوسته	دانه	کاه و کلش	پوسته	دانه	کاه و کلش	پوسته	دانه	کاه و کلش	پوسته	دانه	کاه و کلش	پوسته	دانه
اصفهان	۳۷/۲	۱۷/۸	۲۶/۴	۳۵/۰	۱۴/۰	۲۲/۲	۱۶/۰	۱۰/۸	۱۵/۷	۱۱/۰	۱/۰	۹/۵	۹۳/۰	۶۲/۸	۹۶/۵
فارس	۱۷/۷	۱۲/۹	۱۹/۲	۱۶/۰	۱۳/۱	۱۹/۰	۹/۴	۳/۸	۴/۳	۷/۰	۲/۰	۱۰/۰	۵۹/۰	۲۱/۰	۲۹/۰
خوزستان	۲۷/۸	۱۲/۱	۱۸/۶	۲۵/۰	۱۲/۰	۱۸/۶	۲۲/۱	۳/۹	۳/۵	۶/۲	۵/۵	۱۱/۵	۱۳۶/۲	۲۸/۵	۲۷/۷
کل	۲۷/۵	۱۴/۵	۲۱/۹	۲۴/۰	۱۲/۵	۱۹/۷	۱۷/۹	۷/۶	۱۰/۹	۷/۰	۱/۰	۹/۵	۱۳۶/۲	۶۲/۸	۹۶/۵

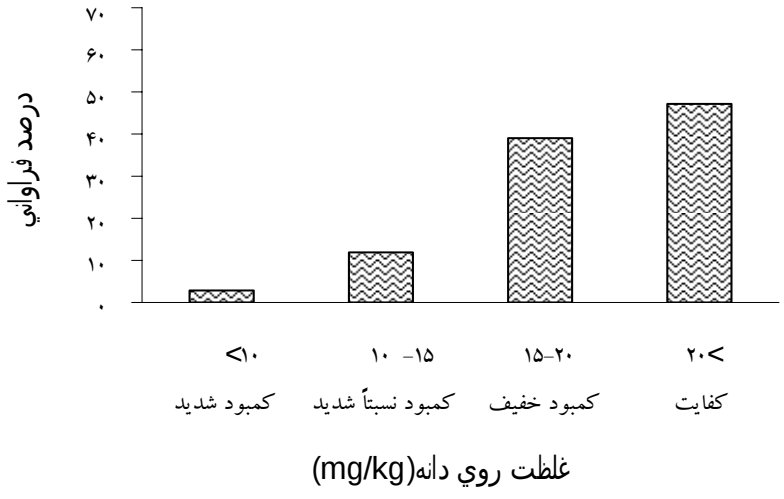


شکل۲. درصد فراوانی روی قابل جذب در کل منطقه



شکل۳. درصد فراوانی روی در دانه برنج به تفکیک هر استان

تمام برنج مصرفی در استان اصفهان از برنج تولیدی در خود استان است ۲۶ درصد از نیاز مردان و ۳۶ درصد نیاز زنان به روی از طریق مصرف برنج تأمین می‌شود. در استان فارس، میانگین غلظت روی در دانه برنج ۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است به این ترتیب ۱۹ درصد از نیاز مردان و ۲۶/۵ درصد از نیاز زنان در استان فارس از طریق مصرف برنج داخلی تأمین می‌شود. استان خوزستان با میانگین غلظت روی ۱۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، قادر به برطرف کردن ۱۸ درصد از نیاز مردان و ۲۵/۵ درصد از نیاز زنان به روی است. در کل با فرض این که افراد ساکن در این استان‌ها فقط از برنج تولیدی خود استان مصرف کنند، ۲۲ درصد نیاز مردان و ۳۰ درصد نیاز زنان به روی تأمین می‌شود. با توجه به میانگین مصرف برنج در ایران،



شکل۴. درصد فراوانی روی در دانه برنج در کل منطقه

چنانچه غلظت کادمیم موجود در برنج ۰/۰۴ میلی‌گرم باشد، جذب روزانه کادمیم ۰/۰۰۴ میلی‌گرم در روز و اگر میانگین غلظت کادمیم در برنج ۰/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، جذب روزانه کادمیم ۰/۰۶ میلی‌گرم در روز می‌شود. در مجموع جذب روزانه کادمیم با مصرف برنج آلوده در این مناطق، ۰/۰۶ میلی‌گرم در روز برای یک فرد ۶۰ ساله خواهد بود. سطح مجاز جذب روزانهٔ کامیم که توسط سازمان بهداشت جهانی تعیین شده‌است، ۱۷/۳ میکروگرم در روز می‌باشد (۲۰). بنابراین جذب روزانهٔ کادمیم از طریق مصرف برنج‌های آلوده، بالاتر از حد مجاز خواهد بود.

نتیجه‌گیری

با وجود بالا بودن مقدار کل روی خاک، روی قابل جذب در ۱۶ درصد شالیزارهای استان اصفهان، ۶۶ درصد شالیزارهای استان فارس و ۷۵ درصد شالیزارهای استان خوزستان کمتر از حد بحرانی این عنصر بود. در مجموع حدود ۳۳، ۶۰ و ۶۶ درصد دانه برنج تولید شده در استان‌های اصفهان، فارس وخوزستان به ترتیب از نظر روی دچار کمبود بودند. مقدار کادمیم کل خاک در شالیزارهای مورد مطالعه در استان فارس و خوزستان کمتر از حد مجاز بود. در استان اصفهان در حدود ۱۲ درصد از شالیزارها دارای غلظت کادمیم بیشتر از ۰/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم بود.افزایش میزان آهن خاک در شرایط ماندابی، pH و EC بالا، آهکی بودن خاک‌های منطقه به همراه پایین بودن مادهٔ آلی خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر کاهش غلظت روی در برنج است. بیشترین عامل مؤثر بر مقدار قابل جذب روی و کادمیم در خاک و غلظت آن در گیاه، فسفر کل خاک بود. بین مقدار قابل جذب روی و کادمیم، همبستگی مثبت مشاهده شد که احتمالاً دلیل آن منشأ یکسان ورود این عناصر (کودهای فسفاته و لجن فاضلاب) به خاک است. با توجه به مصرف روزانه ۱۱۰ گرم برنج برای هر ایرانی، برنج تولید شده در این مناطق در تأمین نیاز روزانه افراد به روی، نقش مهمی دارد و در واقع با مصرف این برنج توسط افراد منطقه، فقط حدود ۱۰ درصد نیاز به روی برآورده می‌شود. با توجه به این‌که بیشتر جیرهٔ غذایی مردم در این مناطق را گندم و برنج تشکیل می‌دهد، این مقدار روی در مقایسه با استانداردهای جهانی کم بوده و

نمی‌تواند منجر به تأمین روی مورد نیاز مردم شود. هم‌چنین با توجه به سطح مجاز جذب روزانهٔ کادمیم که توسط سازمان بهداشت جهانی تعیین شده‌است (۱۷/۳ میکروگرم در روز)، بنابراین جذب روزانهٔ کادمیم از طریق مصرف برنج‌های آلوده، بالاتر از حد مجاز خواهد بود.

منابع مورد استفاده

۱. اداره کل آمار و اطلاعات. ۱۳۸۳. *آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۸۲-۸۱*. معاون برنامه‌ریزی و بودجه وزارت کشاورزی. تهران.

۲. سالاردینی. ع. ۱۳۸۳. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. ولی‌نژاد، م.، م. ج، ملکوتی، م. ح. داوودی، ن. سعادتی، م. ر. رمضانپور، م. محمودی و م. محمدیان، ۱۳۸۰. تعیین حد بحرانی روی و بررسی پاسخ برنج به سولفات روی در اراضی شالیزاری مازندران، ویژه‌نامه مصرف بهینه کود. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۴:۷۱-۶۳.

4. Afyuni, M., A. H. Khoshgoftarmanesh, V. Dorostkar and R. Moshiri. 2007. Zinc and cadmium content in fertilizers commonly used in Iran. Proceeding of the International Conference Zinccrops. Istanbul, Turkey.
5. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. Sci Total Environ. 347: 64-77.
6. Bernstein, L. 1969. Salt Tolerance of Plants. U. S. Dep. Agric. Information Bull.
7. Cakmak, I., A. Yilmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu and H. J. Broun. 1996a. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant Soil 180:165-172.
8. Chen, C. M. 2004. Ten-Year Tracking Nutritional Status in China, Peoples Medical. Publishing House, Beijing, China.
9. CODEX Alimentrarius Commission. 1999. Report of the 33 rd Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminates. ALINORM 99/12A. Joint FAO/WHO food standards programme Food and Agric. Organ of the UN, The Hague, and the WHO. Rome, Italy.
10. Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
11. Graham, R. D. and R. M. Welch. 1996. Breeding for Staple-Food Crops with High Micronutrient Density: Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients. No. 3. International Food Policy Institute, Washington DC.
12. Herawati, N., I. F. Rivai, H. Koyama and S. Suzuki. 1998. Zinc levels in rice and in soil according to the soil type of Japan, Indonesia and China. Bull. Environ. Contam. and Toxical. 60: 402-408.
13. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace Element in Soils and Plant. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
14. Karimian, N. and G. R. Moafpouryan. 1999. Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. Commun. Soil Sci. Plant. Anal. 30: 1721–1731.
15. Khoshgoftarmanesh, A. H., M. R, Balai and Z. Khademi. 2001. The effect of $ZnSO_4$ on the growth and yield of wheat in saline-bare soils, In 7th Iranian Soil Science Congress, Univ. of Shahrekord: Shahr-e-kord, Iran, Sept. 14–21
16. Lindsay, W. L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. Adv. Agron. 24: 147-186.
17. Medical and nutrition experts from Mayo clinic, university of California Los Angeles, and Dole Food Company Inc. 2004. Nutrition books Encyclopedia of foods a guide to healthy nutrition. Academic press an imprint of Elsevier sandiego, California.
18. Moraghan, J. T. and Jr. H. J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. PP: 371-425 *In:* Mortvedi J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch (Eds.), Micronutrients in Agriculture. SSSA Book Series No. 4. Madison WI.
19. Oliver, D. P., R. Hannam, K. G. Tiller, N. S. Wilhelm, R. H. Merry and G. D. Cozens. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. J. Environ. Qual. 25: 705-711.
20. Ostapczuk, P., P. Valenta, H. Rutzel and H. W. Nurnberg. 1987. Application of differential pulse anodic stripping voltammetry to the determination of heavy metals in environmental samples. Sci. Total Environ. 60:1– 16.
21. Page, A. L., F. T. Bingham and A. C. Chang. 1981. Effect of heavy metal pollution on plants. Appl. Sci. 72: 100-109.
22. Rondhawa, N. S. and P. N. Takkar. 1975. Micronutrient research in India. Fertilizer News 20: 11-18.

23. Sakal, R., R. B. Shinha, A. P. Shing and N. S. Bhogal. 1993. Evaluation of methods and time of zinc application to rice Indian. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41(1): 195-196.
24. Sedberry, J. E., F. J. Peterson, F. E. Wilson, D. B. Mengel, P. E. Schiling and R. H. Brupbacher. 1980. Influence of soil reaction and applications of zinc on yields and zinc contents of rice plants. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 11: 283-295.
25. Shuman, L. M. 1988. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. Soil Sci. 146: 192-198.
26. Sunanda, L., S. Sumathi and V. Venkatasubbaiah. 1995. Relationship between soil zinc, dietary zinc and zinc nutritional status of humans. Plant Food Hum. Nutr. 48: 201 – 207.
27. Tandon, P. K. 1995. Micronutrient in Soils, Crops and Fertilizer. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
28. Tsukahara, T., T. Ezaki, J. Moriguchi, K. Furuki., S. Shimbo., N. Matsuda and M. Ikeda. 2003. Rice as the most influential source of cadmium intake among general Japanese population. Sci. Total Environ. 305: 41-51.
29. Walker, T. W. and A. F. R. Adams. 1985. Studies on soil organic matter: Influence of phosphorus content of parent material on accumulation of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. Soil Sci. 85: 307-318.
30. Wehch, R. M., J. J. Hart, W. A. Norvell, L. A. Sullivan and L.V. Kochian. 1990. Effect of nutrient solution zinc activity on net uptake, translocation, and root export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum aestium* L.var durum) seeding roots. Plant Soil 208: 243-250.
31. Welch, R. M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. Plant Soil. 247: 83–90.
32. Yoshida, S. and A. Tanaka. 1969. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. Soil Sci. Plant Nutr. 15: 75-80.
33. Yu Tian, R. 1981. Physicochemical equilibria of redox systems. PP: 95-105. Proceeding of the Symposium on Paddy Soils. Beijng, China.

Status of Zinc and Cadmium in Paddy Soils and Rice in Isfahan, Fars and Khuzestan Provinces and their Effect on Food Security

M. Pirzadeh[1]*, M. Afyuni[2] and A. H. Khoshgoftarmanesh[2]

(Received : Jul. 24-2010 ; Accepted : May 9-2012)

Abstract

This study was carried out to investigate zinc (Zn) and cadmium (Cd) concentration in paddy soil and rice grain produced in central and southwest Iran in relation to soil and plant factors, and their intake in peoples diet was also assessed. Rice crops and associated surface soils (0-30 cm) were collected from 136 fields in Isfahan, Fars and Khuzestan provinces. The result, showed the DTPA-Zn concentration in more than 50% of paddy soils was less than its critical deficiency concentration (2 mg kg^{-1}). The grain Zn concentration in more than 54% of the rice samples was less than 20 mg kg^{-1}. The measured Cd concentrations in paddy soils and edible part of rice exceeded the world health organization (WHO) value in more than 12% of the samples. By considering the average daily rice consumption of 110 g per capita, the Zn intake from rice consumption was estimated about 10% needed for female and male adult. Diet intake analysis did not indicate any excessive dietary intake of Cd when Cd mean of concentrations in rice grain was 0.04 mg/kg, but based on the results of risk analysis, it is more than safely level for contaminated rice.

Keywords: Paddy soil, Rice, Zinc, Cadmium, Isfahan. Fars, Khuzestan.

1. Scientific Member of Soilless Culture Res. Center, Isfahan University of Technology.
2. Prof. and Assoc. Prof. of Soil Sci., College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mahnaz.pirzadeh@gmail.com