علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هشت، آبان ماه ۹۹

# بررسی اثرات فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات کادمیوم، کبالت و کروم در خاک

**علی شهبازی**[۱]
Ali.Shahbazi.iut@gmail.com
**علیرضا سفیانیان**[۲]
**نوراله میرغفاری**[۲]

**تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۳** **تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۱**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** مقادیر زیادی مواد شیمیایی نظیر کودهای شیمیایی و حشره‌کش‌ها و همچنین لجن فاضلاب سالیانه در خاک‌های کشاورزی به کار برده می‌شود، چنین کاربردی ممکن است سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک شود. هدف از این مطالعه، تعیین اثر فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین کادمیم، کبالت و کروم و تعیین روند تجمع این فلزات در خاک بوده است.

**روش بررسی:** جهت انجام مطالعه، تعداد ۹۷ نمونه خاک به روش سیستماتیک از زمین‌های کشاورزی با قدمت متفاوت در استان همدان واقع در غرب ایران در اواخر شهریورماه ۱۳۸۹، برداشت شد. آزمون تجزیه واریانس برای مقایسه غلظت فلزات در مزارع مختلف مورد استفاده قرار گرفت، با توجه به قدمت کشت‌ها و میانگین غلظت فلزات در هر کشت، روند تجمع فلزات سنگین مشخص شد. علاوه بر این، از شاخص فاکتور آلودگی برای مقایسه خطر آلودگی در کشت های مختلف استفاده شد.

**یافته ها:** میانگین غلظت در کشت ۲۰، ۳۵ و ۶۵ ساله برای فلز کادمیوم به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۹، برای فلز کبالت به ترتیب ۱۷/۹۴، ۱۸/۰۵ و ۲۰/۷۹ و برای فلز کروم به ترتیب ۵۸/۸۹، ۷۲/۹۹ و ۸۸/۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد، طول مدت کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین تاثیر داشته است. همچنین روند تجمع برای فلزات کادمیم کبالت و کروم نمایی بدست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به این که خاک‌های کشاورزی از مسیرهای مهم انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان می‌باشند، پایش خاک‌هایی که بالقوه در معرض ورود فلزات سمی هستند ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات زمانی، آزمون ANOVA ، فاکتور آلودگی، استان همدان.

۱- دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.*(مسوول مکاتبات)
۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

*J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.8, October, 2020*

# Investigation of the effects of agricultural activities on the accumulation of cadmium, cobalt and chromium in soil

**Ali Shahbazi[1]*** 

*Ali.Shahbazi.iut@gmail.com*

**AliReza Soffianian[2]**

**Norolah Mirghaffari[3]**

Admission Date:May 10, 2016 Date Received: April 11, 2016

**Abstract**

**Background and Objective**: Every year a great deal of chemical fertilizers, pesticides and sewage sludge used in agriculture soils; this may cause the increase in concentration of Soil heavy metals. The purpose of this study was to investigate the effects of assessment of agriculture activities on accumulation of Cadmium, Cobalt and Chromium; and determines the trend of heavy metal accumulation in soil.

**Method:** To achieve this purpose 97 soil samples were taken from different agriculture fields with different cultivation archaism in Hamedan province in western IRAN by systematic approach. ANOVA test has been used to compare the concentration of heavy metals in different farms, the trend of accumulation heavy metals obtained in regards to cultivation archaism and the mean of metals concentration in different cultivations. Moreover, contamination Factor Index has been used for comparison of contamination risk in cultivations with various archaisms.

**Findings:** Mean concentrations in 20-, 35- and 65-year-old cultures for cadmium metal were 0.14, 0.16 and 0.19, respectively, for cobalt metal, 17/94, 18/05 and 79/20, respectively and for chromium metal 58.89, 72.99 and 88.09 mg / kg, respectively. The results showed that the longevity of cultivation affected on heavy metal accumulation in soil. The trend of Cd, Co and Cr accumulation in soil was exponential.

**Discussion and Conclusion:** Due to the fact that agricultural soils are one of the important routes for the transfer of heavy metals to the human food chain, it is necessary to monitor soils that are potentially exposed to toxic metals.

**Keywords**: Temporal Changes, ANOVA test, Contamination Factor, Hamedan.

1- Ph.D. Student of Environmental Science and Engineering, University of Tehran, Iran*(Corresponding author)

2- Associate Professor, Environmental Science, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfehan, Iran

3- Associate Professor of Environmental Science, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfehan, Iran

**مقدمه**

مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند، از این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱). تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد خاک مادری و منابع انسانی باشد (۲)، اگر چه عملیات کشاورزی عموماً باعث غنی شدن این عناصر می‌شود (۳). در اکوسیستم-های کشاورزی جایی که پرورش حیوانات و عملیات کشاورزی مرتبط با آن شدید است، به دلیل استفاده از کودهای جامد و مایع (دیگر مشتقات آن ، کمپوست یا لجن) یا کودهای غیر آلی، فلزات سنگین به خاک راه پیدا می‌کنند، این عملیات به عنوان منبع مهم فلزات سنگین به ویژه کادمیوم، مس و روی می‌باشد (۴) و باعث تجمع این فلزات در خاک می‌شود (۱). کاربرد کودهای شیمیایی فسفره در زمین‌های کشاورزی می‌تواند باعث افزایش سطوح کادمیم، آرسنیک، کروم و سرب در خاک و کاهش pH خاک شود، همچنین باعث جداسازی فلزات سنگین از ماتریس خاک می‌شود (۵). آلووی بیان کرد که آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین نتیجه کاربرد کودهای شیمیایی فسفره دلیلی برای نگرانی در برخی کشورها بوده است (۶).

علاوه بر این، امروزه به علت محدودیت دسترسی به آب پاک برای آبیاری، آب زائد مخصوصا آب فاضلاب برای آبیاری زمین-های کشاورزی استفاده می‌شود، مطالعات مختلفی تائید کرده‌اند که کاربرد آب فاضلاب در منابع آب آبیاری می‌تواند مفید باشد (۷). کاربرد فاضلاب خصوصیات فیزیکو شیمیایی و وضعیت مواد غذایی خاک و تولیدات غذایی را بهبود می‌دهد، همچنین به کارگیری نیتروژن، فسفر و پتاسیم و مواد مغذی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد (۸). از طرف دیگر، استفاده از آب فاضلاب در کشاورزی با ریسک همراه است زیرا حضور میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا (۹)، آلودگی‌های فلزات مانند مس، نیکل، کادمیم، کرم، روی (۱۰) و مواد پلی کلرید (۱۱) را افزایش می‌دهد. مک گراس و لن گزارش کردند که بیش از ۸۰ درصد منبع فلزات سمی اضافه شده در لایه سطحی خاک بعد از ۲۵ سال در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب است (۱۲).

خاک‌های کشاورزی به طور مستقیم و غیر مستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید غذا تأثیر می‌گذارند، بنابراین حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن حائز اهمیت می-باشد. پیشرفت سریع صنعت و افزایش رهاسازی مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی به محیط زیست منجر به افزایش نگرانی‌ها در مورد پتانسیل تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی شده است (۱۳). مستقل از منشأ منبع، فلزات سنگین می‌توانند در محصولات کشاورزی یا گیاهان تجمع یابند و ممکن است منجر به آسیب و تغییرات در عملکرد فیزیولوژیکی انسان و حیوان از طریق زنجیره غذایی شوند (۱۴). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که بشر در معرض خطر تجمع فلزات سنگین و در نتیجه تجمع آنها دربافت‌های چربی بدن انسان و تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی است و یا فلزات سنگین ممکن است درسیستم چرخه بسته‌ای مستقر شده وعملکرد عادی اعضای داخلی بدن را مختل کنند (۱۵). با توجه به نگرانی در مورد اثرات فلزات سنگین در باروری خاک و امکان انتقال بالقوه فلزات اصلی به رژیم‌های غذایی انسان، کمی سازی ورودی‌های فلزی به خاک‌های کشاورزی و ارزیابی آلودگی خاک ضروری است.

سان و همکاران (۱۶) توزیع مکانی و تغییرات زمانی آلودگی کادمیم در منطقه شانگهای ژانگری چین را مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های خاک را در دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ در دو دوره زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۰۴ جمع آوری کردند. توزیع مکانی و تغییرات زمانی کادمیم در خاک با استفاده از روش کرجینگ مدل سازی شد. نقشه های کریجینگ نشان داد که در نتیجه کاربرد طولانی مدت فاضلاب برای آبیاری در منطقه مطالعه شده، آلودگی جدی کادمیم در خاک سطحی و عمقی ایجاد شده است. در سال ۲۰۰۴ غلظت متوسط و حداکثر کادمیم برای عمق و سطح ۱/۵ برابر در مقایسه با سال ۱۹۹۰ افزایش داشته است. چن و همکاران (۱۷) تغییرات مکانی-زمانی آلودگی

فلزات سنگین را مورد بررسی قرار دادند. تعداد ۳۳۰ نمونه رسوب در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۴ جمع آوری و غلظت فلزات سنگین را اندازه گیری کردند. نتایج مقایسه غلظت فلزات سنگین در زمان‌های مختلف نشان از افزایش غلظت حداکثر فلزات در سال ۲۰۰۴ در مقایسه با سال ۱۹۸۹ به ترتیب ۹، ۴، ۴/۶، ۱,۵، ۵/۹، ۶/۳ و ۵/۶ برابر برای آرسنیک، جیوه، کادمیم، کروم، روی، مس و سرب بود. نتایج نشان دهنده افزایش وسعت و دامنه آلودگی در سال ۲۰۰۴ نسبت به سال ۱۹۸۹ بود.

استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی در کشور ایران و رشد روز افزون مصرف آن (۲۱/۵ درصد افزایش میزان مصرف کود شیمیایی در سال ۲۰۰۳ نسبت به سال ۲۰۰۲ (۱۸))، همچنین استفاده مستقیم از آب فاضلاب جهت مصارف کشاورزی به دلیل کمبود آب برای آبیاری (۱۹) و نداشتن سیستم تصفیه فاضلاب در بسیاری از شهرها (۱۹)، باعث انتقال فلزات سنگین به خاک های کشاورزی شده است. با توجه به روند تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی در مطالعات کمی بررسی شده است، هدف از این مطالعه مقایسه غلظت فلزات کادمیم، کبالت و کروم در مناطق کشاورزی با قدمت متفاوت و بررسی روند تجمع این فلزات در خاک‌های کشاورزی و تعیین میزان فاکتور آلودگی برای هر کدام از فلزات در کشت‌های مختلف بوده است.

## روش بررسی

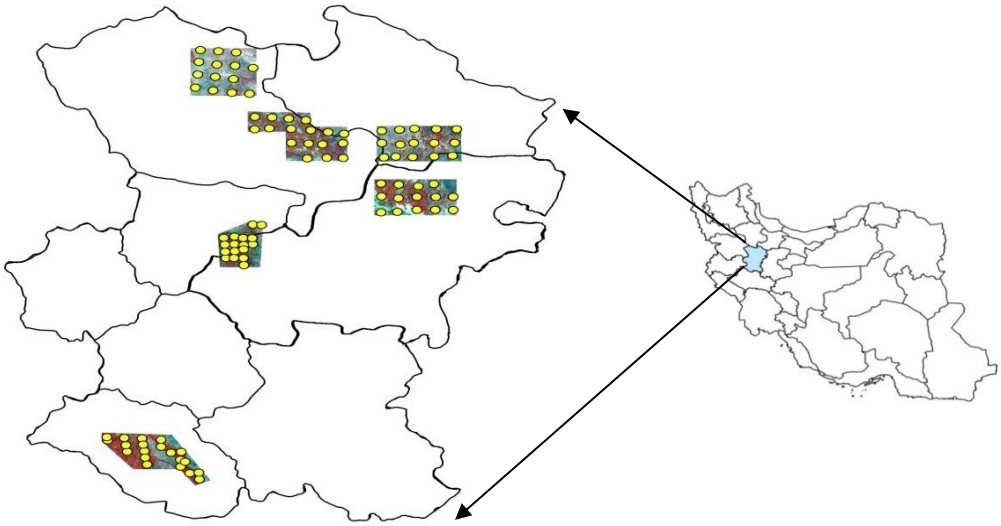
### منطقه مورد مطالعه

استان همدان جزو استان‌های غربی کشور ایران با مساحت ۱۹۵۴۷ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱۷۰۳۲۶۷ نفر می-باشد. این استان بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. سازندهای زمین شناسی غالب در منطقه شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری، تشکیلات آهک اوربیتالین، شیل و مارن مربوط به اواخر دوره کرتاسه، ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه‌های آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوزن و اواخر پالئوزن می باشد. خاک‌های منطقه، خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار سبک تا متوسط بافت همراه با تجمع مقداری مواد آهکی می‌باشد. بافت خاک نیز به طور عمده لومی رسی و لومی است (۲۰). مجموع اراضی کشاورزی استان حدود ۱۰۰۵ هزار هکتار برآورد شده که حدود ۷۱۹ هزار هکتار از اراضی، زیر کشت و بقیه به صورت آیش می‌باشند. از کل اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی، ۴۳ درصد آبی و بقیه به صورت دیم و باغ و قلمستان است. از جمله محصولات عمده آن می توان به گندم و جو، یونجه، سیب زمینی و ذرت اشاره کرد.

### نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

برای رسیدن به هدف مطالعه لازم بود مناطقی با سابقه کشت متفاوت مشخص شوند، بنابراین تعیین مناطق نمونه برداری یکی از مهمترین مراحل کار می‌باشد. به همین منظور با کمک تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مختلف و بررسی پوشش گیاهی در هر تصویر مناطقی که از نظر قدمت کشت متفاوت بودند، انتخاب شدند. با مراجعه به مناطق مشخص شده و تکمیل پرسشنامه توسط کشاورزان محلی مدت زمان کشت در هر منطقه مشخص شد. نمونه برداری در ۶ منطقه انجام شد، دو منطقه (نهاوند و همدان)، دو منطقه (کبودر آهنگ و فامنین) و ۲ منطقه (رزن و شیرین سو) که به ترتیب تقریبا از ۶۵ ، ۳۵ و ۲۰ سال قبل کشاورزی در این مناطق شروع شده است. تعداد ۳۷ نمونه در مناطق ۶۵ ساله، ۳۱ نمونه در مناطق ۳۵ ساله، ۲۹ نمونه در مناطق ۲۰ ساله، همچنین ۱۲ نمونه خاک از مناطقی که بکر بودند و هیچگونه فعالیتی در آنجا انجام نمی‌شد به عنوان نقاط کنترلی در اواخر شهریورماه ۱۳۸۹برداشت شد. نمونه برداری در اواخر شهریور ماه بعد از برداشت محصول انجام شد، روش نمونه برداری بر اساس روش سیستماتیک و همه نمونه ها از عمق ۲۰-۰ سانتی متر جمع آوری شدند (شکل ۱).

نمونه‌های خاک پس از خشک شدن، مخلوط و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. از محلول aqua regia ($HNO_3$، HCL، $H_2O_2$ ) برای هضم نمونه‌های خاک استفاده شد (۲۱)، سپس غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی مدل AAnalyst 700 در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه صنعتی اصفهان تعیین شد.



**شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری**

Figure 1. Location of Hamadan province in Iran and sampling sites

**آنالیز آماری و روند تجمع فلزات سنگین**

آماره‌های توصیفی برای فلزات سنگین مورد مطالعه با استفاده از نرم افزارSPSS 15.0 انجام گرفت. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌های به دست آمده، از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. به منظور مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطقی که از نظر قدمت کشت متفاوت بودند، از آزمون ANOVA استفاده گردید. جهت تعیین وجود روند در غلظت فلزات از آزمون کندال و اسپیرمن استفاده شد. به دلیل وجود روند افزایشی غلظت فلزات از نقاط کنترلی به کشت ۶۵ ساله اقدام به بررسی بیشتر این روند طی این بازه زمانی گردید. با توجه به قدمت کشاورزی و میانگین غلظت فلزات در هر کشت، روند تجمع فلزات تعیین شد.

**ارزیابی آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه**

برای تعیین ارزیابی ریسک آلودگی خاک از رابطه شماره ۱ در تعیین فاکتور آلودگی استفاده گردید (۲۱). بر اساس این رابطه فاکتور آلودگی برای هر آلاینده عبارت است از: غلظت هر فلز در خاک به مقدار زمینه آن فلز. سطوح آلودگی را می توان بر اساس شدت آلودگی بین ۰ تا ۶ تقسیم بندی کرد (جدول۱).

$$CF = [C]\ \text{heavy metal} / [C]\text{background} \quad (۱)$$

**جدول۱- طبقه بندی مقادیر فاکتورآلودگی (۷)**

Table 1. Classification levels of contamination factor (7)

| درجه آلودگی | فاکتور آلودگی |
|---|---|
| بدون آلودگی | ۰ |
| بدون آلودگی تا آلودگی متوسط | ۱ |
| آلودگی متوسط | ۲ |
| آلودگی متوسط تا قوی | ۳ |
| آلودگی قوی | ۴ |
| آلودگی قوی تا خیلی قوی | ۵ |
| آلودگی خیلی قوی | ۶ |

**نتایج و بحث**

**غلظت فلزات سنگین در زمین های کشاورزی و نقاط کنترلی**

جدول دو آمار توصیفی میانگین، میانه، حداقل، حداکثر و آماره کلموگروف- اسمیرنوف (k-s) داده‌ها را نشان می‌دهد. غلظت فلزات کادمیم، کبالت و کروم در خاک در مزارع بعد از ۶۵ سال کشاورزی از مقدار زمینه غلظت در نقاط کنترل با غلظت ۰/۱۳، ۱۶/۲ و ۴۹/۹ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای فلزات مذکور تجاوز یافته بود. همچنین برای مزارع با ۳۵ و ۲۰ سال سابقه کشاورزی، غلظت فلزات از مقدار زمینه غلظت در نقاط کنترل تجاوز یافته بود. مقایسه کشت‌های مختلف نشان داد، غلظت فلزات در کشت ۶۵ ساله بیشتر از کشت ۳۵ ساله است و در کشت ۳۵ ساله بیشتر از کشت ۲۰ ساله می باشد که این موضوع می‌تواند نشان دهنده اثر طول مدت فعالیت کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین در خاک باشد. علاوه بر این، غلظت فلز کروم با ۴۳/۳ درصد، افزایش بیشتری نسبت به سایر فلزات طی مدت ۶۵ سال نشان داد. دلایل این موضوع می‌تواند وجود مقایر بالای غلظت فلزت مذکور در کودهای شیمیایی از جمله کود فسفات (۶) و فاضلاب مصرفی جهت آبیاری (۱۲) در زمین‌های کشاورزی باشد.

**جدول۲- آمار توصیفی فلزات سنگین در مناطق مختلف کشاورزی (میلی گرم بر کیلو گرم)**

Table 2. Descriptive statistics of heavy metals concentration (mg/kg) in agricultural soils

| سابقه کشت | | کادمیم | کبالت | کروم |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰ سال | میانگین | ۰/۱۴ | ۱۷/۹۴ | ۵۸/۸۹ |
| | حداقل | ۰/۰۹ | ۸/۱ | ۲۴/۰۸ |
| | حداکثر | ۰/۳۳ | ۲۶/۵۴ | ۱۱۰ |
| | میانه | ۰/۱۱ | ۱۷/۶ | ۶۰ |
| | k-s | ۰/۰۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۹ |
| ۳۵ سال | میانگین | ۰/۱۶ | ۱۸/۰۵ | ۷۲/۹۹ |
| | حداقل | ۰/۰۹ | ۸/۹ | ۲۸/۴۹ |
| | حداکثر | ۰/۳۳ | ۲۲ | ۱۱۰ |
| | میانه | ۰/۱۴ | ۱۸ | ۷۵ |
| | k-s | ۰/۱۱ | ۰/۳۳ | ۰/۵۲ |
| ۶۵ سال | میانگین | ۰/۱۹ | ۲۰/۷۹ | ۸۸/۰۹ |
| | حداقل | ۰/۰۹ | ۱۱ | ۴۳/۶۴ |
| | حداکثر | ۰/۵۱ | ۳۲/۰۵ | ۱۶۰ |
| | میانه | ۰/۱۷ | ۲۰ | ۷۸ |
| | k-s | ۰/۱۹ | ۰/۶۶ | ۰/۲۹ |

برای مقایسه میانگین فلزات در ۳ کشت ۶۵ ساله، ۳۵ ساله، ۲۰ ساله و نقاط کنترلی از آزمون ANOVA استفاده شد، همان-طور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده، داده‌های فلزات سنگین برای همه عناصر دارای توزیع نرمال بودند، اما برای عناصر کادمیم و کروم واریانس نمونه‌ها همگن نبودند، به همین دلیل از تبدیل لگاریتمی برای کروم و تبدیل باکس کاکس برای کادمیم استفاده شد تا واریانس‌ها همگن شود. نتایج آزمون ANOVA نشان دهنده اختلاف معنی دار بین کشت ۶۵ ساله

و نقاط کنترلی برای همه فلزات بود، همچنین برای فلز کروم بین کشت ۳۵ ساله و نقاط کنترلی اختلاف معنی‌دار دیده شد (جدول۳). در نتیجه می توان گفت که طول مدت کشاورزی در تجمع فلزات سنگین در خاک موثر بوده است که باعث اختلاف معنی دار بین کشت ۶۵ ساله با نقاط کنترلی شده، اما برای کشت جدید مدت زمان کشت به اندازه‌ای نبوده که اختلاف معنی‌داری با نقاط کنترلی ایجاد شود. احتمالا افزایش غلظت فلزات سنگین در کشت‌هایی با قدمت بیشتر می تواند به دلیل افزایش مدت آبیاری و حضور عناصر موجود در فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری (۲۲) و همچنین استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی بیش از حد و کودهای آلی (۲۳) باشد.

خداکرمی (۲۰) غلظت ۱۴ فلزات سنگین در بخشی از استان همدان را بررسی کرد، نتایج مطالعه نشان داد که عامل اصلی موثر بر افزایش غلظت عناصر کادمیم، کبالت و کروم در منطقه مورد مطالعه، ساختار زمین شناسی می‌باشد، اما مصرف غیر اصولی کود در زمین‌های کشاورزی به دلیل وجود فلزات سنگین در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس نیز می‌تواند باعث افزایش غلظت این فلزات در خاک شده باشد.

**جدول۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین ها در سطح ۰/۰۵ در کشت‌های مختلف**

Table 3. ANOVA test results in agricultural regions

| فلزات / قدمت کشت | کادمیم | کبالت | کروم |
|---|---|---|---|
| کشت۶۵ ساله | ۰/۱۹$^{a}$ | ۲۰/۷۹$^{a}$ | ۸۸/۰۹$^{a}$ |
| کشت ۳۵ ساله | ۰/۱۶$^{ab}$ | ۱۸/۰۵$^{b}$ | ۷۲/۹۹$^{b}$ |
| کشت ۲۰ ساله | ۰/۱۴$^{ab}$ | ۱۷/۹۴$^{b}$ | ۵۸/۸۹$^{c}$ |
| نقاط کنترلی | ۰/۱۳$^{b}$ | ۱۶/۲۲$^{b}$ | ۴۹/۹۵$^{c}$ |

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار است.

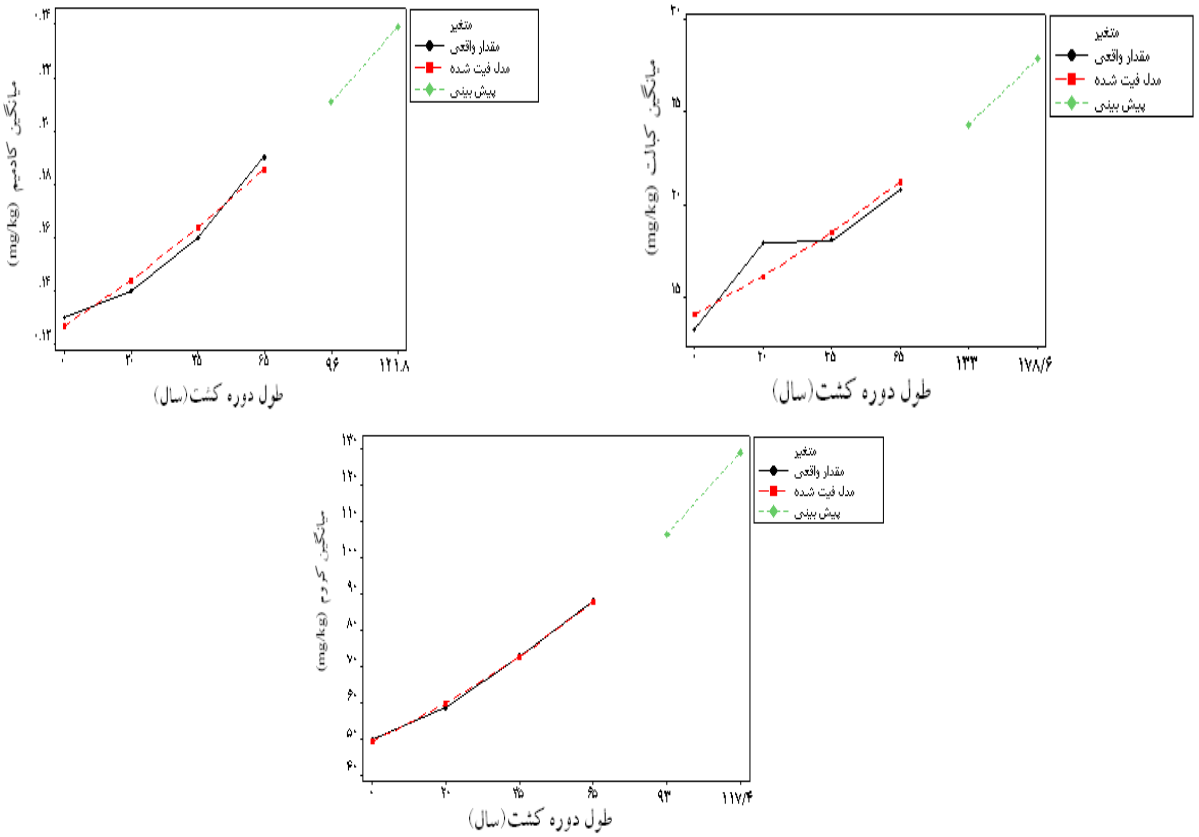
**روند تجمع فلزات**

نتایج آزمون کندال و اسپیرمن برای فلزت مختلف نشان از وجود روند در غلظت همه فلزات داشت. به دلیل وجود روند افزایشی غلظت فلزات از نقاط کنترلی به مزارع ۶۵ ساله اقدام به بررسی بیشتر این روند شد. برای درک روند تجمع فلزات سنگین در مزارع ۶۵ ساله، داشتن اطلاعاتی در مورد غلظت تاریخی فلزات سنگین ضروری است. بایگانی تاریخی قابل دسترس درباره غلظت فلزات سنگین خاک در مزارع ۶۵ ساله وجود نداشت. داده‌های آنالیز شده خاک در مزارع مختلف تنها غلظت رایج فلزات سنگین در زمین های کشاورزی که به ترتیب ۶۵، ۳۵ و ۲۰ سال فعالیت کشاورزی در آنها انجام شده است، را نشان می دهد. در غیاب داده های بایگانی مربوط، غلظت رایج فلزات در مزارع ۳۵ ساله و مزارع ۲۰ ساله به عنوان مرجع غلظت تاریخی فلزات سنگین خاک در مزارع ۶۵ ساله در نظر گرفته شد، همچنین میانگین غلظت فلزات در مناطق بکر به عنوان غلظت در سال صفر یا شروع فعالیت کشاورزی برای کشت ۶۵ ساله درنظر گرفته شد (شکل۲).

جدول شماره ۴ روند تجمع فلزات سنگین در خاک در مزارع ۶۵ ساله را نشان می دهد، روند تجمع برای فلزات کادمیوم، کبالت و کروم نمایی با مقدار $R^2$ مشخص به دست آمد، دلیل برای مدل نمایی روند تغییرات در مصرف کود از تقریبا ۵۰ سال گذشته است، که با سرعت زیادی در حال افزایش است.

لی و همکاران (۲۴) ۳ منطقه مختلف را که در زمان‌های متفاوت با فاضلاب آبیاری می‌شدند، را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ۴۱ نمونه خاک «۱۷ نقطه در مناطقی که از سال ۱۸۹۳ با فاضلاب آبیاری شدند ($LFA_{1893}$)، ۱۰ نمونه در مناطقی که از سال ۱۹۲۰($LFA_{1920}$)، ۸ نمونه در مناطقی که

از سال ۱۹۴۴($LFA_{1944}$) و ۶ نمونه کنترلی در مناطقی که اصلاً با فاضلاب آبیاری نشده‌اند (به عنوان نقاط کنترلی)» در ۲ عمق ۲۰-۰cm و ۴۰-۲۰cm برداشت شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در مناطق $LFA_{1893}$ بیشتر از مناطق $LFA_{1920}$، در مناطق $LFA_{1920}$ غلظت فلزات بیشتر از مناطق $LFA_{1944}$ بود و غلظت فلزات در هر ۳ منطقه بیشتر از نقاط کنترلی بود. همچنین برای درک الگوی تجمع زمانی فلزات سنگین در مناطق $LFA_{1893}$، در غیاب داده های بایگانی مربوطه، از غلظت رایج فلزات در $LFA_{1920}$ و $LFA_{1944}$ استفاده شد. الگوی توزیع همه فلزات در عمق ۲۰-۰ cm از مدل نمایی و در عمق ۴۰-۲۰ cm از مدل خطی پیروی می-کرد.




**شکل۲- منحنی روند تجمع فلزات سنگین در کشت ۶۵ ساله**

Figure 2. The heavy metals accumulation trend in the soil under 65 year cultivation

**جدول۴- معادله روند تجمع فلزات سنگین در کشت ۶۵ ساله**

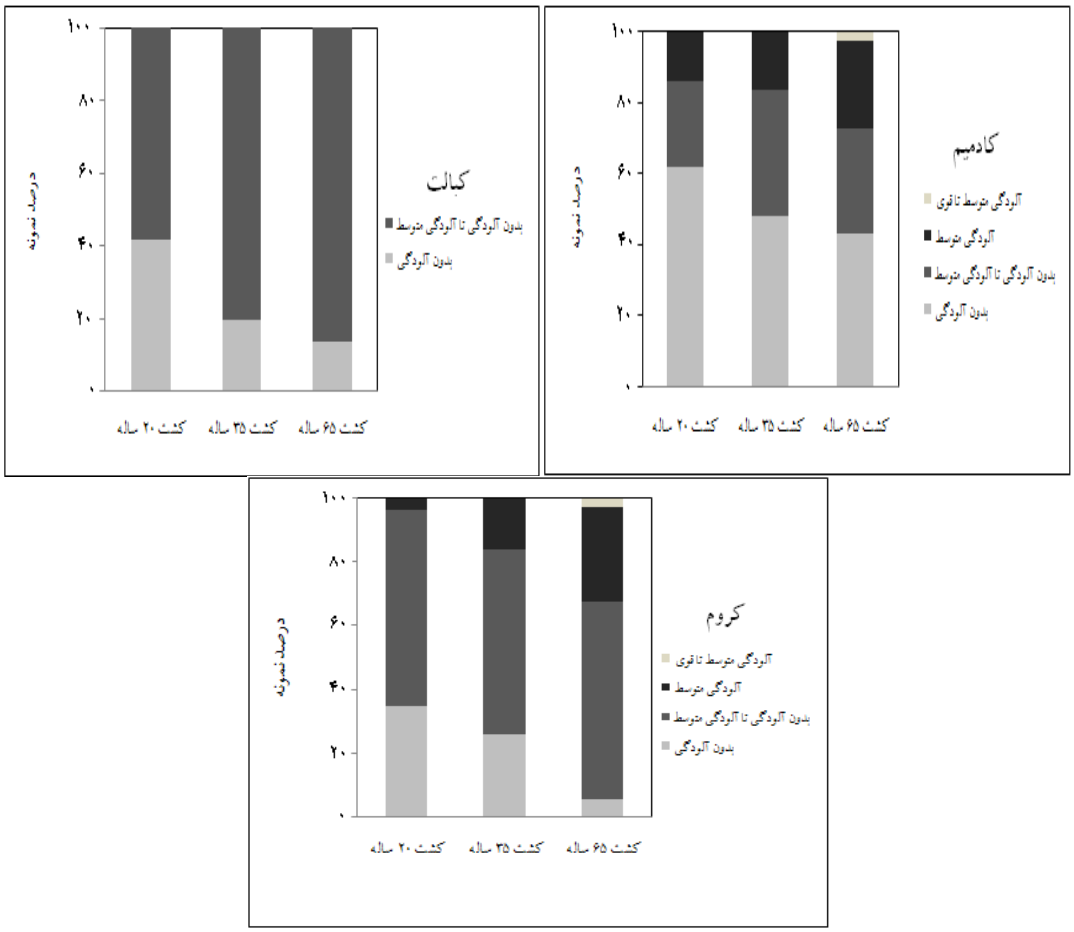
Table 4. Equations for accumulation trend of heavy metal in the soil under 65 year cultivation

| فلز سنگین | معادله | $R^2$ |
|---|---|---|
| کادمیم | $y=۰/۱۳۰e^{-۰/۰۰۵x}$ | ۰/۹۷ |
| کبالت | $y=۱۶/۲۹e^{-۰/۰۰۳x}$ | ۰/۹۶ |
| کروم | $y=۵۰/۴۴e^{-۰/۰۰۸x}$ | ۰/۹۸ |

**ارزیابی آلودگی خاک های کشاورزی**

برای به دست آوردن غلظت زمینه، از میانگین ۱۲ نمونه خاک که به طور تصادفی از مناطقی که تحت هیچ گونه فعالیت کشاورزی قرار نداشتند استفاده شد. به محتوی فلزات سنگین در خاک بدون اثر فعالیت‌های انسانی، زمینه ژئوشیمیایی گفته می‌شود (۱۲). نتایج به دست آمده از تعیین فاکتور آلودگی نشان می‌دهد اکثر نمونه‌ها در طبقه غیر آلوده و غیر آلوده تا کمی آلوده هستند. نمونه‌ها در کشت ۶۵ ساله بالاترین میزان ریسک آلودگی را برای همه فلزات نشان می‌دهند، به طوری که برای کادمیم و کروم ۲/۷ درصد از نمونه‌ها در کشت ۶۵ ساله در طبقه آلودگی متوسط تا قوی قرار داشت، همچنین ۲۴/۳۲ و ۲۹/۷۳ درصد نمونه‌ها به ترتیب برای این دو فلز در کشت ۶۵ ساله در طبقه آلودگی متوسط قرار داشت. برای کبالت ریسک آلودگی کمتر از سایر فلزات بود. ریسک آلودگی در کشت ۶۵ ساله نسبت به کشت ۲۰ و ۳۵ ساله بیشتر بود (شکل ۳)، در نتیجه می‌توان چنین گفت که به طور کلی با افزایش قدمت زمین‌های کشاورزی ریسک آلودگی به فلزات سنگین بیشتر می‌شود.

در مطالعه‌ای که لیو و همکاران (۲۵) به منظور اثرات آبیاری با فاضلاب بر آلودگی و توزیع فلزات در چین انجام دادند، تغییرات در پنج فلز کادمیوم، کروم، مس، روی و سرب در چهار خاک کشاورزی، پارک‌های صنعتی و منطقه آبیاری شده با آب غیر فاضلاب مورد بررسی قرار دادند. مقدار شاخص بار آلودگی، غنی شدگی و فاکتور آلودگی را محاسبه کردند. نتایج شاخص غنی شدگی نشان داد که غلظت هر فلز در خاک در مقایسه با سطوح زمینه روند افزایشی را داشته، شاخص فاکتور آلودگی نشان از آلودگی فلزات در ۲۰ سال گذشته داشت که برای این فلزات مشهود و آشکار شده بود.




**شکل۳-مقدار فاکتور آلودگی برای برای فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی با قدمت متفاوت**

Figure 3. Contamination factor for heavy metals in agriculture lands

**نتیجه گیری**

نتایج نشان می‌دهد غلظت فلزات سنگین در کشت ۶۵ ساله اختلاف معنی دار با غلظت زمینه این فلزات دارد، برای کشت ۳۵ ساله و ۲۰ ساله هم غلظت فلزات بیشتر از غلظت زمینه در نقاط کنترلی بود و روند افزایشی در غلظت فلزات با افزایش قدمت کشت‌ها مشاهده شد. بر اساس داده‌های حاصل از این مطالعه ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در کشت ۶۵ ساله بالاترین مقدار را داشته است. این مسأله تا حدی در ارتباط با قدمت کشت و به دلیل مصرف بیشتر کودهای شیمیایی و احتمال وجود فلزات سنگین در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس، همچنین استفاده از فاضلاب برای مدت زیادتر در این کشت، قابل توجیه می‌باشد. تجمع بیشتر فلزات سنگین در کشت‌هایی با قدمت بیشتر باعث شده بود که ریسک آلودگی با افزایش قدمت کشت ها، بیشتر شود. با توجه به این که خاک‌های کشاورزی از مسیرهای مهم انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان می‌باشند، لزوم پایش خاک‌هایی که بالقوه در معرض ورود فلزات سمی چه از طریق فرایندهای طبیعی و انسانی می‌باشند بایستی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. بنابراین بایستی راهکارهای بهینه و مناسب با شرایط منطقه، جهت کنترل مناطق آلوده به این فلزات در اختیار مسئولان و تصمیم گیران قرار گیرد و همچنین در اراضی کشاورزی که غلظت این عناصر بالا می باشد از کاشت محصولاتی که دارای قابلیت جذب بالایی هستند جلوگیری شود.

**تشکر و قدردانی**

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی سازمان حفاظت محیط زیست و در قالب طرح پژوهشی توسط دانشگاه صنعتی اصفهان به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان این مقاله از همکاری های ارزشمند سازمان حفاظت محیط زیست کمال تشکر را دارند.

**Reference**

1. Yalcin, M. G., Battaloglu, R. and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Environ Geol, 53(2), 399-415.
2. De Temmerman, L., Vanongeval, L., Boon, W. and Hoenig, M. 2003. Heavy metal content of arable soil in Northern Belgium. Water, Air and Soil Pollution, 148(1-4), 61-76.
3. Mantovi, P., Bonazzi, G., Maestri, E. and Marmiroli, N. 2003. Accumulation of copper and zinc from liquid manure in agricultural soils and crop plants. Plant and Soil, 250(2), 249-257.
4. Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Simith, C.,Chambers, B.J. 2003. An inventory of heavy metal input to agricultural soil in England and Wales, Scientific registration no: 1251.
5. Alloway, B. J. 1995. Soil processes and the behavior of metals. New York: Wiley.
6. Alloway, B. J. 1990. Heavy metals in soils. New York: Wiley, 368.
7. Palese, A. M., Pasquale, V., Celano, G., Figliuolo, G., Masi, S. and Xiloyannis, C. 2009. Irrigation of olive groves in southern Italy with treated municipal waste water: Effects of microbiological quality of soil and fruits Agriculture Ecosystem and Environment, 129, 43-51.
8. Panicker, P. V. R. C. 1995. Recycling of human waste in agriculture. In: Tandon, HLS (Ed.), Recycling of waste in Agriculture. Fert. New Delhi, India, 68-90.: Dev. Consultation Org.
9. Toze, S. 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. Agric. Water Management, 80(1-3), 147-159.
10. Misra, S. G. & Mani, D. 1991. Soil pollution. Ashish Publishing House. New Delhi, India. 8/81 Punjabi Bagh.

11. Bansal, O. P. 1998. Heavy metal pollution of soils and plants due to sewage irrigation. Indian J. Environ. Hlth, 40 (1), 51-57.
12. Dudka, S., Piotrowska, M. and Chlopecka, A. 1994). Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. Water, Air, and Soil Pollution, 76(3-4), 333-341.
13. Wong, S. C., Li, X. D., Zhang, G., Qi, S. H. and Min, Y. S. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. Environmental Pollution, 119(1), 33-44.
14. McGrath, S. P. and Cunliffe, C. H. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. Journal of the Science of Food and Agriculture, 36(9), 794-798.
15. Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B. and Beyersmann, D. 2003. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology, 192(2-3), 95–117.
16. Sun, L., Zhang, Y., Sun, T., Gong, Z., Lin, X. and Li, H. 2006. Temporal-spatial distribution and variability of cadmium contamination in soils in Shenyang Zhangshi irrigation area, China. Journal enuironmental sciences, 18(6), 1241-1246.
17. Cuihua, C., Shijun, N. and Chengjiang, Z. 2007. Assessing spatial-temporal variation of heavy metals contamination of sediments using GIS 3D spatial analysis methods in Dexing mines, Jiangxi province,China, IEEE.
18. Motasadi zarandi, S., Babran, S. 2009. Environmental strategies to achieve the goals of the 20-year vision document, The Scientific Journal of Strategy, 48, 101-122. (In Persian)
19. Taleb beidokhti, T., Dehghani, M. H., Kamal, A. 2009. Evaluation of effluent quality of wastewater treatment plants in Tehran, 12th National Congress On Environmental Health. (In Persian)
20. Khodakarami, L. 2009. Evaluation of non-point sources of agricultural pollution using GIS and RS [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology. (In Persian)
21. Abrahim, G. M. S. and Parker, R. J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ Monit Assess, 136(1-3), 227–238.
22. Al- Nakshabandi, G. A., Saqqar, M. M., Shatanawi, M. R., Fayyad, M. and Al-Horani, H. 1997. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agric Water Manag, 34(1), 81– 94.
23. Huang, S. W. and Jin, J. Y. 2008. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. Environmental Monitoring and Assessment, 139(1-3), 317–327.
24. Li, P. J., Stagnitti, F., Xiong, X. and Peterson, J. 2009. Temporal and spatial distribution patterns of heavy metals in soil at a long-standing sewage farm. Environ Monit Assess, 149(1-4), 275–282.
25. Liu, W. H., Zhao, J. Z., Ouyang, Z. Y., Soderlund, L. and Liu, G. H. 2005.

Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environment International, 31(6), 805 – 812.