

## پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه

مهران هودجی<sup>۱</sup> و احمد جلالیان<sup>۲</sup>

### چکیده

آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی در مناطق صنعتی یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌نماید. هدف از این پژوهش بررسی پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه اطراف مجتمع فولاد مبارکه بوده است. در این بررسی بر اساس نقشه‌های رده‌بندی و قابلیت خاک و با در نظر گرفتن جهت باد غالب در منطقه (جنوب غربی-شمال شرقی)، ۵۰ منطقه مجزا گردید. در هر منطقه از ۴ عمق (۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری) نمونه برداری گردید و در مجموع تعداد ۲۰۰ نمونه خاک تهیه شد. غلظت نیکل، منگنز و کادمیوم قابل استخراج با *DTPA* در نمونه‌های خاک، اندازه‌گیری شد. هم‌چنین غلظت کل نیکل، منگنز و کادمیوم در اندام‌های هوایی ۳۶ نمونه از هجده نوع محصول کشاورزی عمده در این مناطق اندازه‌گیری شد.

نتایج نشان داد که، حداکثر غلظت نیکل و منگنز قابل استخراج با *DTPA* در شمال شرق منطقه و در لایه ۰-۵ سانتی‌متری خاک بوده است (به ترتیب ۴/۲ و ۳۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک). غلظت این دو عنصر در لایه‌های ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری خاک کاهش یافته است (به ترتیب ۲/۷، ۲/۷، ۲/۱، ۲۰۰، ۲۱۲، ۱۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک). غلظت نیکل و کادمیوم در اندام‌های هوایی محصولات کشاورزی منطقه در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود ولی غلظت منگنز در اندام هوایی برنج ۷۱۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی بود که در مقایسه با استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (حدود ۱۰۰-۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی) بالا بوده است (۲۴).

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، نیکل، منگنز، کادمیوم، فرم قابل استخراج با *DTPA*، مجتمع فولاد مبارکه

### مقدمه

محصولات کشاورزی از نظر جنبه‌های زیست محیطی و سلامت انسان بسیار حائز اهمیت است. مهم‌ترین نتیجه آلوده شدن منابع خاک و آب با فلزات سنگین از طریق صنعت

آلوده شدن منابع خاک و آب به دلیل ارتباط نزدیک این دو با تغذیه موجودات زنده و به دلیل دخالت مستقیم آنها در تولید

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

فولاد، آلودگی محصولات کشاورزی است. خروج این عناصر به صورت گرد و غبار یا به همراه پساب از واحدهای مختلف تولید مهم‌ترین راه ورود این عناصر به خاک، آب و گیاهان منطقه می‌باشد. به این ترتیب تجمع فلزات سنگین جذب شده در اندام گیاه در غلظت‌هایی بیش از حد استاندارد، ضمن فراهم آوردن موجبات کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، آلوده شدن زنجیره غذایی و به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی را به همراه دارد (۱، ۲، ۳ و ۴).

میزان فلزات سنگین خاک به دلیل ورود انواع پس مانده‌های صنعتی و ضایعات کارخانجات رو به افزایش است (۱۳). در برخی از کشورها حداکثر غلظت قابل قبول (Maximum acceptable concentration) فلزات سنگین را با فرض آثار سمی آنها بر گیاهان در خاک‌های کشاورزی تعیین نموده‌اند (۱۹). میزان مجاز ورود و تجمع فلزات سنگین به ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (Cation exchange capacity) وابسته است. میزان ورود فلزات در خاک با افزایش CEC خاک افزایش می‌یابد. تجمع برخی از فلزات سنگین براساس CEC خاک به وسیله لوگان و چینی (۲۰) تعیین گردیده است. این محققین نشان دادند که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی میزان فلزات سنگین اضافه شده به خاک در واحد سطح افزایش می‌یابد. هم‌چنین حدود مجاز ورود فلزات سنگین به خاک بر اساس گونه‌های گیاهی تعیین می‌گردد زیرا تحمل گیاهان به انواع فلزات سنگین متفاوت است (۲۰). بنابراین نوع و گونه گیاه عامل مهم دیگری است که در رابطه با تعیین میزان آلاینده‌های فلزات سنگین اهمیت دارد. گونه‌های شیمیایی فلزات سنگین در طبیعت بسیار متفاوت‌اند ولی عموماً گونه‌های موجود در خاک و آب، میزان سمیت عنصر را تعیین می‌کند. غلظت اولیه فلزات سنگین در محیط زیست، میزان سمیت آنها را مشخص می‌نماید (۷ و ۱۹). محلول خاک اطراف ریشه اولین منبع ورود فلزات سنگین به بافت‌های گیاهی است. عموماً هرچه غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش یابد، مقدار قابل دسترس آنها برای گیاه افزایش می‌یابد، علاوه بر این عوامل

دیگری در خاک مانند pH، درصد مواد آلی و بافت خاک نیز در تعیین غلظت قابل جذب فلزات سنگین توسط گیاهان تأثیر فراوانی دارند (۱۵). غلظت برخی از این عناصر با نوع محصول و پتانسیل ورود آنها به زنجیره غذایی ارتباط دارد (۱۱ و ۱۲). سیلانیا و جانسون (۲۵) گزارش کردند که بین سطوح Se، Cd، Pb و Co موجود در خاک‌ها با غلظت این عناصر در دانه ذرت و گندم ارتباط وجود دارد. در این پژوهش نمونه‌های خاک به همراه بافت گیاهی ذرت و گندم از ۳۰ کشور مختلف جمع آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این پژوهش، اطلاعات مفیدی را در رابطه با اثر نوع گیاه بر میزان جذب فلزات سنگین، دامنه غلظت فلزات در خاک و رابطه بین سطوح فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در خاک با غلظت این عناصر در گیاه ارائه نموده است (۲۵). فلزات سنگین از نظر قابلیت جذب گیاه، مشخصات یکسانی ندارند (۸). کبتا و پندیاس (۱۹) اعتقاد دارند که مقدار بسیار کمی از فلزات سنگین موجود در خاک به وسیله اکثر گیاهان زراعی جذب می‌شوند.

سالانه حدود ۳۸۰۰۰ تن کادمیوم و تقریباً یک میلیون تن سرب به خاک‌های جهان اضافه می‌شود که مقادیر زیادی از آنها مربوط به غبارهای جوی، پراکنش خاکسترها و ضایعات شهری است و غلظت‌های کم آن مربوط به مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب است (۲۲). منابع اصلی ورود غیر طبیعی فلزات سنگین به جو بیشتر شامل کارخانه‌های ذوب و تصفیه فلزات، کوره‌های احتراق زغال سنگ و زباله‌هاست که منجر به آلودگی منابع خاک و آب در منطقه تأثیرپذیر از این کارخانه‌ها می‌گردد (۱۶، ۲۳ و ۲۹). جذب فلزات سنگین از اراضی آلوده به وسیله گیاهان و بخصوص محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین راه‌های ورود این عناصر به زنجیره غذایی است (۱۴). در رابطه با Cd این واقعیت مطرح است که این عنصر به سهولت به وسیله گیاهان جذب شده و در غلظت‌هایی که برای گیاهان سمی نیست در محصولات کشاورزی تجمع می‌یابد که مصرف این محصولات آثار زیان آوری در جوامع انسانی به همراه دارد

در جدول ۱ ارائه شده است. هر تحت گروه دارای چندین نوع طبقه‌بندی اراضی بوده است که بر این اساس ۵۰ نوع خاک با مشخصات طبقه‌بندی اراضی متفاوت در منطقه شناسایی گردید. به این ترتیب باندری‌ها جدا و در داخل آنها محل‌های نمونه‌برداری از شماره ۱ تا ۵۰ روی نقشه جغرافیایی علامت‌گذاری شدند. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری خاک در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. در نقاط تعیین شده از عمق‌های ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و در نهایت تعداد ۲۰۰ نمونه خاک برای تعیین غلظت قابل استخراج با DTPA (۱۰ و ۲۷) فلزات سنگین مورد نظر تهیه شد. محل‌های نمونه‌برداری در مناطق مختلف به گونه‌ای انتخاب شدند که عمدتاً در اراضی کشاورزی قرار گرفته و سعی بر آن بود که محصولات کشاورزی اصلی منطقه را تحت پوشش قرار دهد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مورد نظر در اندام‌های هوایی محصولات کشاورزی منطقه، از ۱۸ محصول عمده منطقه در محل‌هایی که در شکل (۱-ب) نشان داده شده، تعداد ۳۶ نمونه گیاهی تهیه شد.

نمونه‌های خاک در برابر هوا خشک و به کمک چکش پلاستیکی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. از خاک جمع‌آوری شده در زیر الک برای انجام تجزیه‌های شیمیایی استفاده شد (۱۷). برای اندازه‌گیری غلظت قابل جذب فلزات سنگین در خاک از عصاره‌گیر DTPA به همراه کلرید کلسیم و تری اتانول آمین (Triethanol amine) استفاده شد و pH محلول عصاره‌گیر در حدود ۷/۳ تنظیم گردید (۹). سپس غلظت فلزات سنگین به وسیله دستگاه جذب اتمی (Atomic absorption spectrophotometer) اندازه‌گیری شد (۹). برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان، نمونه‌ها در آون تهویه‌دار و به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. نمونه‌های خشک شده به وسیله آسیاب برقی پودر و برای عصاره‌گیری از روش هضم با اسید نیتریک ۴ مولار در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. پس از صاف نمودن عصاره‌ها، غلظت

(۱۸). عواملی که برای تعیین مقدار فلز سنگین جذب شده به وسیله گیاه، اهمیت زیادی دارند شامل شکل شیمیایی عنصر، غلظت فلز سنگین، pH خاک و گونه گیاهی است (۲۰). اخیراً محققین بیان نموده‌اند که غلظت‌های قابل جذب فلزات سنگین بخصوص Cd با مقدار و نوع مواد آلی در خاک ارتباط دارد به طوری که تجزیه گونه‌های آلی فلزات سنگین باعث آزاد شدن این عناصر به شکل گونه‌های قابل دسترس زیستی (Bioavailable forms) می‌شود که این گونه‌ها ممکن است برای محصولات کشاورزی سمی باشند (۱۸ و ۲۱). بنابراین فلزات سنگین که به هر نحو به خاک‌های کشاورزی وارد می‌شوند باید در سطوحی نگهداری شوند که حداقل زیان را به گیاهان وارد نموده و کمترین خطر مصرف را از طریق ورود به زنجیره غذایی داشته باشند (۲۶).

هدف از انجام این پژوهش بررسی پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه تأثیرپذیر از فرآیندهای تولید در مجتمع فولاد مبارکه و تعیین میزان آلودگی احتمالی این عناصر بوده است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه اطراف مجتمع فولاد مبارکه بین طول‌های جغرافیایی ۵۱° و ۵۱° تا ۴۵° و ۵۱° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲° تا ۲۲° و ۳۲° شمالی انجام شد. برای بررسی و ارزیابی غلظت نیکل، منگنز و کادمیوم در اراضی کشاورزی در منطقه تأثیرپذیر از فرآیندهای تولید مجتمع فولاد مبارکه، منطقه مورد بررسی با در نظر گرفتن شیب منطقه، جهت باد غالب (جنوب غربی - شمال شرقی) و امکان تداخل منابع آلودگی مربوط به سایر مراکز صنعتی انتخاب گردید. سپس با استفاده از مطالعات خاک‌شناسی انجام شده در منطقه و نقشه‌های ارزیابی قابلیت اراضی و رده‌بندی خاک که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب استان اصفهان تهیه شده بود خاک‌ها با مشخصات طبقه‌بندی اراضی متفاوت در منطقه شناسایی گردید (۵ و ۶). مشخصات رده‌بندی خاک‌های منطقه تا حد تحت گروه بزرگ

## جدول ۱. مشخصات رده بندی خاکها در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه

| رده بندی خاک تا حد تحت گروه                   |
|---|
| Typic Calcigypsis                             |
| Typic Haplocalcids                            |
| Typic Haplogypsis                             |
| Lithic Xeric Haplocalcids                     |
| Typic Torriorthents                           |
| Typic Calcixerepts                            |
| Typic Torriorthents Thaplo Typic Haplocalcids |

این محل برابر ۴/۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک بوده است. حداکثر غلظت نیکل قابل استخراج با DTPA در عمق‌های ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری خاک به ترتیب برابر ۲/۷، ۲/۷ و ۲/۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک بوده است که مربوط به محل شماره ۲۷ نمونه برداری خاک بوده است. این ناحیه در جهت باد غالب منطقه (جنوب غربی - شمال شرقی) قرار گرفته است و پراکنندگی ذرات و غبارهای حاوی نیکل از طریق باد از محل تخلیه سنگ آهن، دپوی ضایعات و دودکش‌ها و رسوب آن در شمال شرق منطقه دلیل افزایش غلظت نیکل در لایه سطحی خاک در این ناحیه است.

مقدار کل نیکل در خاک ۱ تا ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و به طور متوسط ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم است (۲۴). سمیت این عنصر در خاک به طور معمول ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک است (۲۴). بنابراین امکان آلوده شدن لایه سطحی (۰-۵ سانتی متری) خاک در ناحیه شمال شرق منطقه به نیکل طی سال‌های آینده وجود دارد. البته با توجه به pH خاک منطقه (۷/۸) و وجود بیش از ۴۰ درصد آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) در خاک، هم‌چنین میزان کم بارندگی منطقه (حدود ۱۴۰ میلی متر براساس متوسط ۱۰ ساله)، احتمال انتقال نیکل به لایه‌های زیرین خاک کم بوده و این عنصر بیشتر در لایه سطحی خاک تجمع یافته است.

غلظت نیکل در محصولات کشاورزی منطقه در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود. میزان معمول این عنصر در گیاهان ۱ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک و حد مسموم کننده آن ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است (۲۴). در گیاهان مرتعی نیکل به میزان ۰/۳-۳/۵ میلی گرم در کیلوگرم

فلزات سنگین به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۷ و ۲۸). محاسبات آماری با نرم افزار Excel و ویرایش ۲۰۰۰ انجام شد و برای رسم منحنی‌های هم غلظت از نرم افزار Surfer و ویرایش ۷ استفاده شد.

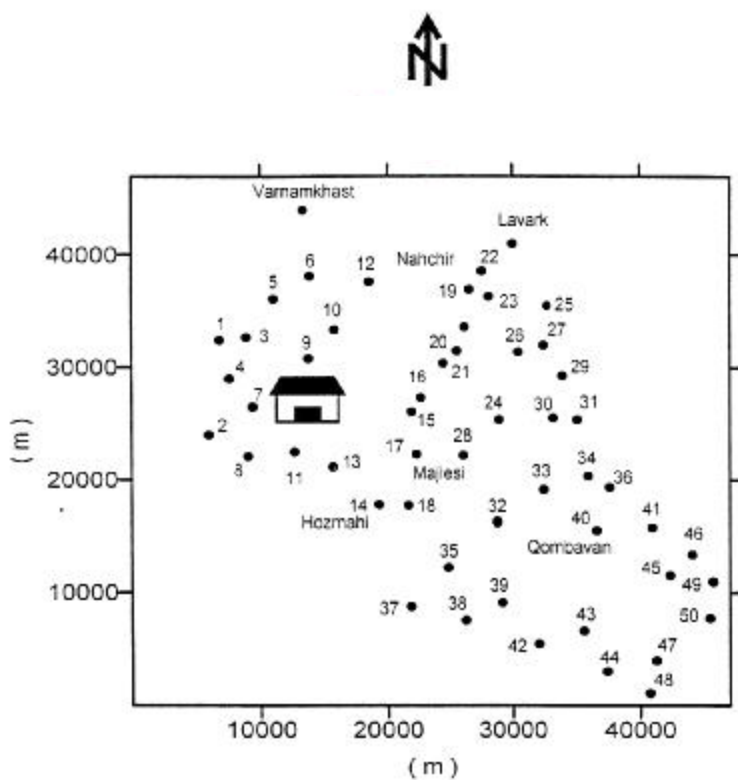
## نتایج و بحث

میانگین (Mean)، انحراف معیار (Standard deviation) و ضریب تغییر (Coefficient of variability) غلظت قابل استخراج با DTPA فلزات سنگین مورد نظر در عمق‌های مختلف خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. هم‌چنین میانگین غلظت منگنز در محصولات کشاورزی در جدول ۳ ارائه شده است.

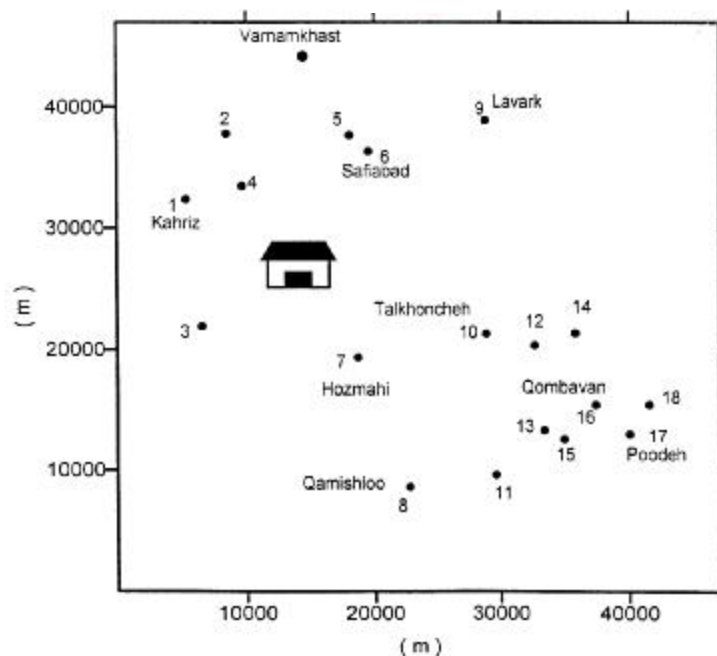
براساس این نتایج پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه و امکان آلودگی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی به شرح زیر است:

## ۱. پراکنش نیکل در خاک و محصولات کشاورزی

شکل ۲ پراکنش غلظت نیکل قابل استخراج با DTPA را در عمق‌های ۰-۵، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری خاک نشان می‌دهد. حداکثر غلظت نیکل قابل استخراج با DTPA در عمق ۰-۵ سانتی متری خاک مربوط به محل شماره ۲۷ نمونه برداری خاک بوده است (برای تطابق نقاط نمونه برداری با منحنی ای هم غلظت به شکل (۱-الف) مراجعه شود). این محل تقریباً در فاصله ۱۴ کیلومتری شمال شرق محل کارخانه فولاد مبارکه قرار دارد. غلظت نیکل قابل استخراج با DTPA در



(الف)



(ب)

شکل ۱- الف) موقعیت مجتمع فولاد مبارکه و محل های نمونه برداری از خاک (ب) محصولات کشاورزی

جدول ۲. میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییر غلظت قابل استخراج با DTPA (mg/kg.soil) فلزات سنگین در خاک

| Cd      |              |                | Mn      |              |                | Ni      |              |                | عمق خاک (cm) |
|---------|--------------|----------------|---------|--------------|----------------|---------|--------------|----------------|--------------|
| میانگین | انحراف معیار | ضریب تغییر (%) | میانگین | انحراف معیار | ضریب تغییر (%) | میانگین | انحراف معیار | ضریب تغییر (%) |              |
| ۰/۰۵    | ۰/۰۴         | ۷۴/۵           | ۶۹/۹    | ۶۵/۱         | ۹۳/۲           | ۷۴/۱    | ۰/۹          | ۱/۲            | ۰_۵          |
| ۰/۰۵    | ۰/۰۳         | ۶۴/۷           | ۷۴      | ۵۰/۳         | ۶۸             | ۷۶/۶    | ۰/۷          | ۱              | ۵_۱۰         |
| ۰/۱۵    | ۰/۶۵         | ۴۲۳/۴          | ۸۴      | ۴۱/۳         | ۴۹/۲           | ۷۷/۴    | ۰/۶          | ۰/۸            | ۱۰_۲۰        |
| ۰/۰۸    | ۰/۴۱         | ۴۶۲/۹          | ۷۲/۷    | ۳۰/۵         | ۴۲             | ۶۵/۱    | ۰/۶          | ۰/۹            | ۲۰_۴۰        |

جدول ۳. میانگین غلظت منگنز (mg/kg.DM) در اندام هوایی محصولات کشاورزی

| نوع محصول                            | نوع محصول | نوع محصول                                |
|--------------------------------------|-----------|--|
| ۵۳/۳<br><i>(Hordeum vulgare)</i>     | جو        | ۱۲۶/۷<br><i>(Panicum miliaceum)</i>      |
| ۱۰۰<br><i>(Carthamus sp.)</i>        | گلرنگ     | ۷۱۶/۶<br><i>(Oryza sativa)</i>           |
| n.d *<br><i>(Citrullus vulgaris)</i> | هندوانه   | ۱۳۸/۹<br><i>(Triticum vulgare)</i>       |
| ۱۸۳/۳<br><i>(Gossypium spp.)</i>     | پنبه      | ۲۴۱/۶<br><i>(Phaseolus vulgaris)</i>     |
| ۷۳/۳<br><i>(Capsicum annum)</i>      | فلفل قلمی | ۸۱/۱<br><i>(Helianthus annus)</i>        |
| ۵۶/۷<br><i>(Solunum melongena)</i>   | بادمجان   | ۹۶/۶<br><i>(Ocimum basilicum)</i>        |
|                                      |           | ۱۰۰<br><i>(Vitis vinifera)</i>           |
|                                      |           | ۶۴/۲<br><i>(Medicago sativa)</i>         |
|                                      |           | ۸۰<br><i>(Trifolium resupinatum)</i>     |
|                                      |           | ۶۰<br><i>(Cannabis sp.)</i>              |
|                                      |           | ۷۶/۷<br><i>(Lycopersicon esculentum)</i> |
|                                      |           | ۷۶/۷<br><i>(Saturia hortensis)</i>       |

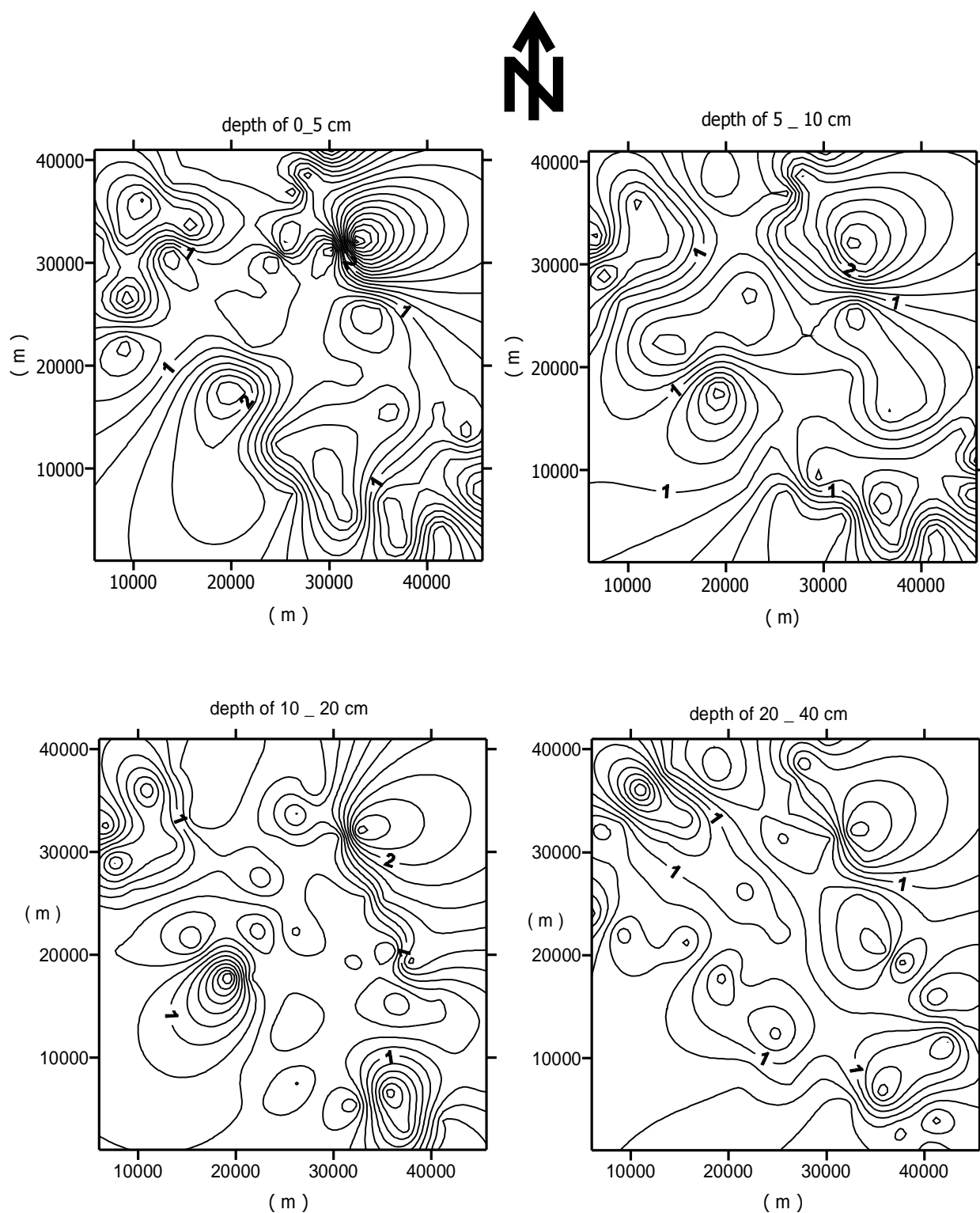
\* not detected (غیر قابل تشخیص)

خاک بوده است. این محل تقریباً در ۱۴ کیلومتری شمال شرق مجتمع فولاد مبارکه قرار دارد. غلظت منگنز قابل استخراج با DTPA در این محل برابر ۳۱۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک بوده است. این ناحیه در جهت باد غالب منطقه (جنوب غربی - شمال شرقی) قرار گرفته است و پراکندگی ذرات و غبارهای حاوی منگنز توسط باد از محل تخلیه سنگ آهن، دپوی ضایعات و دودکش‌ها و رسوب آن در شمال شرق منطقه دلیل افزایش غلظت منگنز در لایه سطحی خاک در این ناحیه است. مقدار کل منگنز در خاک بین ۳۰۰۰-۲۰۰ و به طور متوسط ۵۴۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (۲۳). سمیت این عنصر در خاک ۸۵۰ میلی گرم در کیلوگرم است (۲۴). در عمق‌های ۱۰-۲۰ و ۵-۱۰ سانتی متری خاک حداکثر

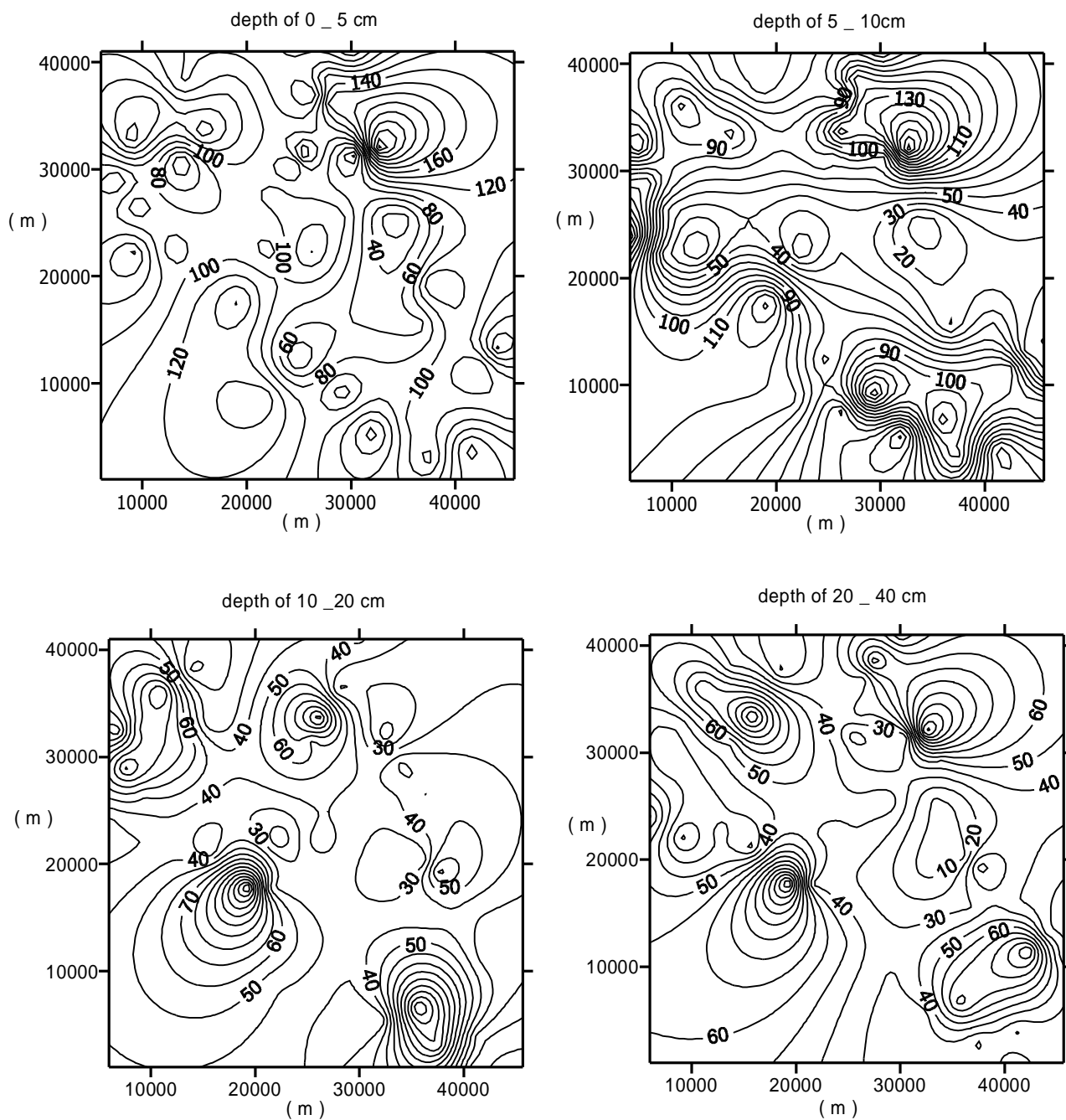
ماده خشک وجود دارد (۲۴). غلظت بحرانی این عنصر در بافت گیاه جو ۱۰۰ میکروگرم در کیلوگرم ماده خشک می‌باشد (۲۴). در محل شماره ۲۷ نمونه برداری خاک که تجمع نیکل در لایه سطحی خاک دیده می‌شود، تراکم کشت محصولات کشاورزی ناچیز بوده و امکان آلوده شدن محصولات کشاورزی به نیکل در این ناحیه کم است.

## ۲. پراکنش منگنز در خاک و محصولات کشاورزی

شکل ۳ پراکنش منگنز قابل استخراج با DTPA را در عمق‌های ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی متری خاک نشان می‌دهد. حداکثر غلظت منگنز قابل استخراج با DTPA در عمق ۰-۵ سانتی متری خاک و مربوط به محل شماره ۲۷ نمونه برداری

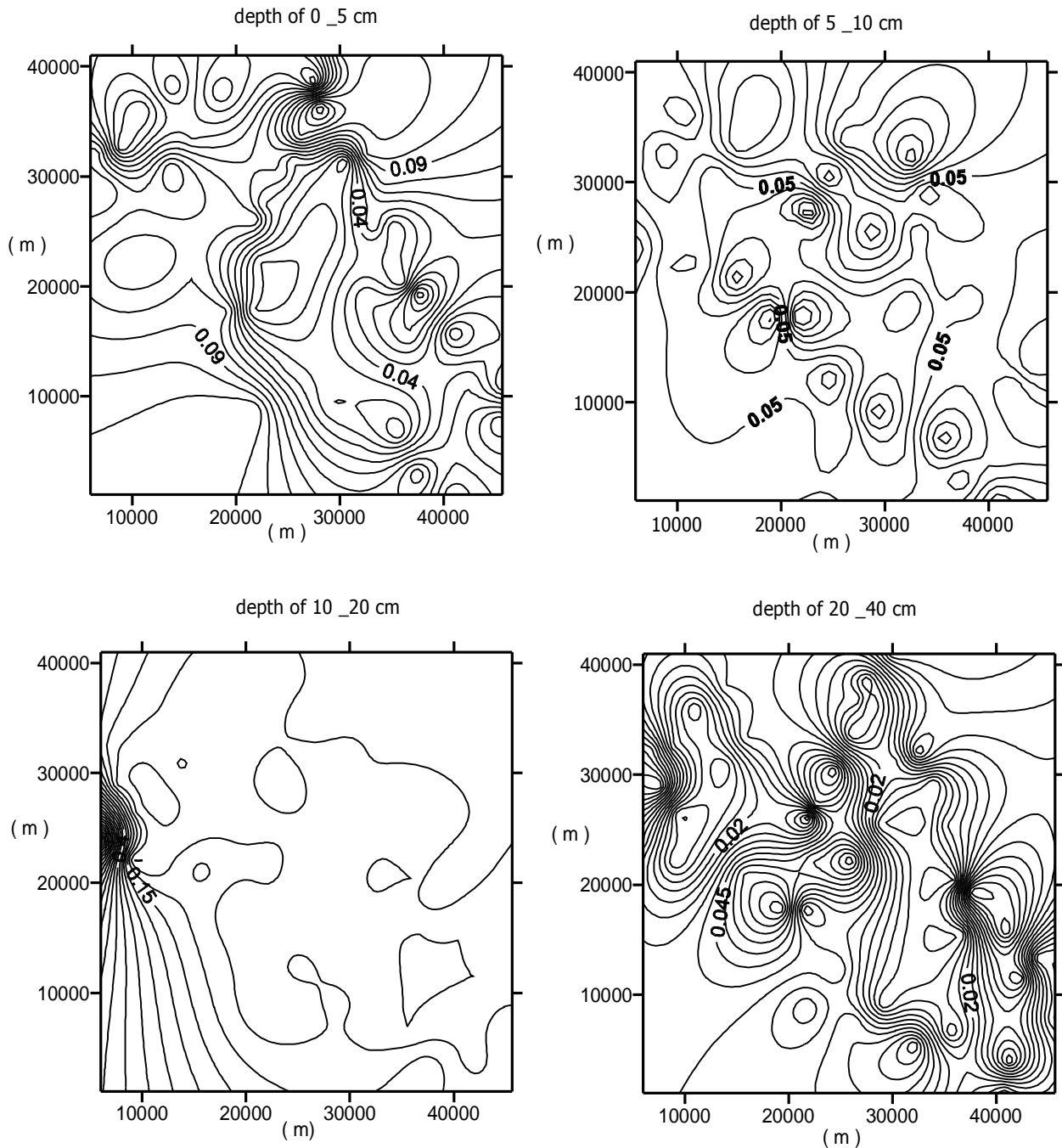


شکل ۲. پراکنش غلظت نیکل قابل استخراج با DTPA (mg/kg.soil) در عمق‌های مختلف خاک



شکل ۳. پراکنش غلظت منگنز قابل استخراج با DTPA (mg/kg.soil) در عمق‌های مختلف خاک





شکل ۴. پراکنش غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA (mg/kg.soil) در عمق‌های مختلف خاک

کادمیوم به لایه‌های زیرین خاک است. احتمالاً به علت وجود بیش از ۴۰ درصد آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) و قلیایی بودن خاک امکان آب شویی فلزات سنگین به لایه‌های زیرین خاک وجود ندارد. حداکثر غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA در اعماق ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک ۰/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که نسبت به لایه سطحی خاک (۵-۰ سانتی‌متری) کاهش یافته و پراکنش کمتری دارد.

میزان ورود مجاز کادمیوم به خاک توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ۲۰ کیلوگرم در هکتار برای خاک‌هایی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در pH معادل ۶/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار برای خاک‌های اسیدی گزارش شده است (۲۴). میزان ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از این عنصر باعث کاهش رشد گیاهان و محصولات کشاورزی خواهد شد (۲۴ و ۲۵).

غلظت کادمیوم در محصولات کشاورزی منطقه به وسیله دستگاه جذب اتمی قابل تشخیص نبوده است. میزان معمول این عنصر در گیاهان ۰/۸-۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و سطح سمیت آن کمتر از ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است (۲۴ و ۲۵).

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در شمال شرق منطقه (نقطه شماره ۲۷ نمونه برداری خاک) لایه سطحی خاک (۵-۰ سانتی‌متری) دارای غلظت‌های قابل توجهی نیکل و منگنز بوده است. غلظت نیکل و منگنز قابل استخراج با DTPA در این ناحیه به ترتیب ۴/۲ و ۳۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. ولی احتمالاً به دلیل pH خاک (۷/۸) و حضور بیش از ۴۰ درصد آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) در خاک منطقه امکان حرکت و انتقال این عناصر به لایه‌های زیرین پروفیل خاک وجود ندارد. کاهش غلظت فلزات سنگین در لایه‌های زیرین خاک نشان‌دهنده این مطلب است. غلظت نیکل و کادمیوم در اندام هوایی محصولات کشاورزی منطقه به وسیله دستگاه جذب اتمی قابل تشخیص نبوده است ولی غلظت منگنز در گیاه برنج

غلظت منگنز قابل استخراج با DTPA مربوط به محل شماره ۲۷ نمونه‌برداری خاک واقع در شمال شرق منطقه و به ترتیب برابر با ۲۰۰ و ۲۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است.

شکل ۳ نشان‌دهنده کاهش غلظت منگنز قابل استخراج با DTPA در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری و پراکندگی یک‌نواخت‌تر این عنصر نسبت به لایه‌های فوقانی خاک است. غلظت منگنز در لایه‌های سطحی خاک بالا بوده و با افزایش عمق خاک کاهش یافته است. این مطلب نشان‌دهنده آب‌شویی کند منگنز به سمت لایه‌های زیرین خاک است (۲۴).

حداکثر غلظت منگنز در اندام هوایی برنج و در محل شماره ۷ نمونه‌برداری گیاه برابر ۷۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی بوده است. غلظت معمول منگنز در گیاهان ۱۰۰-۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است ولی حد سمیت این عنصر به خوبی مشخص نشده است (۲۴). غلظت این عنصر ممکن است بدون ایجاد سمیت در برخی گیاهان به بالاتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک افزایش یابد. دامنه کفایت منگنز برای اکثر گیاهان بین ۳۰۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک است (۲۴).

### ۳. پراکنش کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی

شکل ۴ پراکنش غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA را در عمق‌های ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نشان می‌دهد. حداکثر غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک مربوط به محل شماره ۲۳ نمونه‌برداری خاک بوده است. این محل در ۱۱/۵ کیلومتری شمال شرق مجتمع فولاد مبارکه قرار دارد. غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA در این محل برابر ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است. دامنه معمول غلظت این عنصر در خاک ۷-۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد سمیت آن ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۲۴). نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عمق خاک غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA کاهش یافته است که نشان‌دهنده عدم آب‌شویی

سالانه تعیین گردد. هم‌چنین خروجی‌های مجتمع فولاد مبارکه به‌طور مستمر و دقیق اندازه‌گیری شده و امکان حضور فلزات سنگین در آنها تا حد ممکن کاهش داده شود.

### سپاسگزاری

این طرح پژوهشی به سفارش مجتمع فولاد مبارکه انجام پذیرفت که بدین وسیله از آقای مهندس حجازی مدیر بخش توسعه و تکامل منطقه‌ای، آقای دکتر ایزدی مدیر بخش تحقیق فولاد مبارکه تشکر می‌نماییم. هم‌چنین از ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان جناب آقای دکتر فروغی و کلیه همکاران در دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

در محل شماره ۷ نمونه برداری گیاه ۷۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بوده است.

بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده و در نظر گرفتن مدت زمان استقرار مجتمع فولاد مبارکه در منطقه می‌توان نتیجه گرفت که میزان آلودگی منابع خاک و محصولات کشاورزی به نیکل، منگنز و کادمیوم در منطقه تحت تأثیر فرآیندهای تولید در مجتمع فولاد مبارکه چندان زیاد نبوده و تنها در برخی از نواحی مقادیر نیکل و منگنز در خاک و محصولات کشاورزی نزدیک به مرز آلودگی است.

برای کنترل این آلودگی و جلوگیری از گسترش آن پیشنهاد می‌شود بررسی‌های زیست محیطی در خاک و محصولات کشاورزی منطقه به‌طور مستمر انجام گرفته و غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک و محصولات کشاورزی به‌طور

### منابع مورد استفاده

۱. بای بوردی، م. ۱۳۷۷. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
۲. عباسپور، م. ۱۳۷۷. مهندسی محیط زیست. جلد اول، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
۳. عرفان منش، م. و م. افیونی. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست: آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان، اصفهان.
۴. کریمیان، ن. ۱۳۷۱. شیمی خاک. جلد اول مبانی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۵. مؤسسه خاک و آب. گزارش مطالعات تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه اوشیان. مرکز تحقیقات خاک و آب، اصفهان.
۶. مؤسسه خاک و آب. گزارش مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی مناطق قمشه، طالخونچه و مهباز. مرکز تحقیقات خاک و آب، اصفهان.
7. Allen, H.E., E.M. Perdue and D. Brown. 1993. Metals in Ground Water. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
8. Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. 2<sup>nd</sup> ed. Blackie Academic and professional. London, England.
9. Baker, D.E. and M.C. Amacher. 1982. Nickel, Copper, Zinc and Cadmium. PP. 323-334. In: A.L. Page, R.H. Millers and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. 2<sup>nd</sup> ed., Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
10. Barbarick, K. A., J. A. Ippolito and D.G. Westfall. 1997. Sewage biosolids cumulative effects on extractable soil and grain elemental concentrations. J. Environ. Qual. 26:1646-1702.
11. Berrow, M.L. and J.C. Burridge. 1979. Sources and distribution of trace elements in soils and related crops. PP.206-209. International Conference Management Control, Heavy Metals Environment. London, England.
12. Bingham, F.T., F. J. Perya and W. M. Jarvell. 1986. Metal toxicity to agricultural crops. Metal. Ion Biol. Sys. 20: 119-156.
13. Chaney. R. L., J.F. Bruins, D. E. Baker, J. E. Smith and D. Cole. 1987. Transfer of Sludge-applied Trace Elements to the Food Chain. pp.67-93. In: AL. Page, T. Logan and J. Ryan. Land Application of Sludge. 9<sup>th</sup> ed., Lewis publishers, Chelsea, MI.
14. Chaney, R.L. 1990. Public health and sludge utilization. Biocycle. 31:68-73.
15. De Temmerman, L. O., H. Hoeing and P. O. Scokart. 1984. Determination of normal levels and upper limit values of trace elements in soils. Z. Pflanzen. Bodenk. 147:687-694.

16. Huang, P. M. and I. K. Iskandar. 2000. Soils and Ground Water Pollution and Remediation: Asia, Africa and Oceania. Lewis Publishers, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
17. James, D. W. and K. L. Wells. 1990. Soil sample collection and handing technique based on source and degree of field variability. PP.25-44. *In*: R.L. Westerman (Ed.), Soil Testing and Plant Analysis. 3<sup>rd</sup>.ed., Soil science society of America.
18. Jing, J., T.J. Logan. 1992. Effects of sewage sludge cadmium concentration on chemical extractability and plant uptake. *J. Environ. Qual.* 21:73-81.
19. Kabata- Pendias, A.A. and H. Pendias. 1994. Trace Elements in Soils and Plants. 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
20. Logan, T. J. and R. L Chaney. 1983. Utilization of municipal wastewater and sludge on land-metals. PP. 235-326. *In*: A. L. Page, T. L. Gleason, J. E. Smith, Jr. I. K. Iskandar and L. E. Sommers (Eds.), Workshop on Utilization of Municipal Wast Water and Sludge on Land. University of California, Riverside.
21. Mc Bride, M. B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations Protective. *J. Environ. Qual.* 24:5-18.
22. Nriagu, J.O. and J.M. Pacyna. 1988. Quantitative assessment of world –wide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature.* 333: 134-139.
23. Page, A. L., T. Logan and J. Ryan (Eds.). 1987. Land Application of Sludge. Lewis publishers, Chelsea, MI.
24. Pais, I.J., Jr. Benton Jones. 1997. The handbook of trace elements. St. Lucie press Boca Raton pub., Florida.
25. Sillanpaa, M. and H. Jansson. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plant of thirty countries. *FAO soils Bulletin* 65. Rome. Italy.
26. Smith, S. R. 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soil. 1. Nickel, Cu and Zn uptake and toxicity to ryegrass. *Environ. Pollut.* 85:321-327.
27. Sommers, L. E., A. L. Page, T. J. Logan and J. A. Ryan. 1991. optimum use of sewage sludge on agricultural land. Western Regional Resource Pub., Colorado Collin, Co.
28. Soon, Y. K. and S. Abboud. 1993. Cadmium, Chromium, Lead and Nickel. PP. 103-107. *In*: M. R. Carter (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis publishers, Chelsea, MI.
29. Tiller, K.G. 1989. Heavy metals and their environmental significance. PP. 113-142. *In*: B.A. Steward (Ed.), *Advances in Soil Science.* Vol. 4, Springer Verlage, New York.