

## مطالعه تأثیر آبیاری با فاضلاب‌های شهری بر غلظت فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی جنوب شهر هرسین، کرمانشاه

یونس خسروی<sup>۱\*</sup>، عباسعلی زمانی<sup>۲</sup>، عبدالحسین پری زنگنه<sup>۳</sup>، فردین نوری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۸

### چکیده

آلودگی خاک به فلزهای سنگین به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات محیط زیستی عصر حاضر به‌شمار می‌آید. نقش فاضلاب‌های شهری در بین منابع ورود فلزهای سنگین در بروز این نوع از آلودگی برجسته است. در کار حاضر آلودگی خاک به فلزهای سنگین در زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب در هرسین - کرمانشاه بررسی شده است. بدین منظور ۳۷ نمونه خاک از دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از خاک‌های سطحی جنوب شهر هرسین جمع‌آوری شد. از این تعداد ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری در زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب و ۲۲ ایستگاه دیگر در زمین‌های آبیاری نشده با فاضلاب قرار دارند. همچنین نوع بافت خاک، درصد اجزای شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری تعیین گردید. میزان کل فلزهای سنگین کروم، منگنز، آهن، کبالت، مس، روی، کادمیم، سرب و آرسنیک با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی - اسپکتروسکوپی نشر نوری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پراکنش مقدار کل فلزهای سنگین مورد مطالعه در خاک در دو عمق نمونه‌برداری اختلاف چشم‌گیری دارد. همچنین مشخص گردید آبیاری با فاضلاب بر ویژگی‌های خاک، مقدار کل فلزهای سنگین تأثیر داشته است. بر اساس تحلیل‌های آماری دو عامل آبیاری با فاضلاب و زمین‌شیمی منطقه به عنوان عامل‌های موثر بر افزایش مقدار فلزهای سنگین تشخیص داده شدند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلز سنگین، فاضلاب‌های شهری، هرسین

### مقدمه

رشد روزافزون جمعیت همگام و هم‌سو با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یک سو و خشکسالی‌های پی‌درپی در بیش‌تر کشورهای واقع در کمربند منطقه‌های خشک از سوی دیگر سبب شده است که در این سال‌ها تقاضا برای مصرف آب افزایش یابد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد گردد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). مدیریت نادرست منابع آبی در برخی کشورها مانند ایران دلیل ورشکستگی آبی معرفی شده است (Madani., 2014). همین موضوع سبب شده است تا استفاده اصولی از آب‌های غیرمتعارف مانند آب‌های شور، پساب‌های شهری و صنعتی مورد توجه قرار گیرد. استفاده صحیح از پساب‌های شهری در بخش کشاورزی، علاوه بر گسترش سطح زیر کشت و افزایش تولید محصول‌های زراعی از

آلودگی محیط زیست نیز جلوگیری می‌کند (جلالی و همکاران، ۱۳۸۲؛ Moretti et al., 2019; Kapungwe., 2013). از طرفی استفاده از پساب سبب افزایش غلظت فلزهای سنگین در خاک و گیاهان آبیاری شده می‌شود که این افزایش بستگی به نوع و ویژگی‌های پساب مصرف شده دارد (بیگی و بنی طالبی، ۱۳۹۲؛ Ahmad al., 2019). بنابراین ضروری است تا در زمان کاربرد پساب در آبیاری، به سلامت خاک و گیاه توجه ویژه‌ای شود.

استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری زمین‌های کشاورزی حومه‌ی شهر در بسیاری از نقاط جهان امری معمول و شناخته‌شده است (Singh and Agrawal., 2010). آبیاری خاک کشاورزی با فاضلاب آن را در معرض خطر قابل توجه تجمع فلزهای سنگین قرار می‌دهد که بر کشاورزی و سلامت انسان نیز تأثیر می‌گذارد (Flores-Magdaleno et al., 2011). استفاده طولانی مدت از فاضلاب در آبیاری سبب تجمع فلزهای سنگین در خاک‌های کشاورزی و گیاهان می‌شود (Zeid et al., 2013). نوع و مقدار فلزهای سنگین فاضلاب از مکانی به مکان دیگر، در طول زمان متفاوت است (Rattan et al., 2005). گرچه ترکیب واقعی فاضلاب ممکن است از یک جامعه به جامعه دیگر متفاوت باشد، اما تمام

۱- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۲- دانشیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۳- استاد گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۴- کارشناس ارشد علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

(Email: khosravi@znu.ac.ir)

\* - نویسنده مسئول:

موکویسی<sup>۳</sup> در حراره زیمبابوه که آبیاری شده با فاضلاب در ۱۰ سال را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از فاضلاب در باغبانی سبب غنی شدن خاک از فلزهای سنگین شده است و خطرهای بالقوه محیط زیستی و بهداشتی در بلند مدت خواهد داشت (Mapanda et al., 2005). مالدونادو و همکاران (۲۰۰۸) خاک آبیاری شده (۱۰۹۴ هکتار) با فاضلاب (در حدود ۱۲ سال آبیاری غرقابی، کشت سبزیجات، غلات و در حال حاضر علوفه برای گاو) در منطقه‌ای با کاربری کشاورزی نزدیک شهر چی‌هواها<sup>۴</sup> در مکزیک را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از زیاد بودن غلظت عناصر پتاسیم، سرب و مس از حد مجاز جهانی در خاک‌های مورد مطالعه بوده است (Maldonado et al., 2008). البانا و همکاران (۲۰۱۳) توزیع فضایی انباشتگی فلزهای سنگین Cu, Cd, Pb و Ni در نتیجه آبیاری طولانی مدت با فاضلاب خانگی (در حدود ۱۰ سال آبیاری غرقابی) را در مزرعه‌های الگال الاسفار<sup>۵</sup> (خاک‌های ماسه‌ای با کشت غلات) در کشور مصر مورد ارزیابی قرار دادند. روند گستردگی تحرک و خطر بالقوه برای آلودگی خاک به فلزهای سنگین به ترتیب  $Cu < Ni < Cd$  است (Elbana et al., 2013). کاپنگو<sup>۶</sup> (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی آلودگی فلزهای سنگین در آب، خاک و محصول‌های کشاورزی در مزرعه‌هایی در منطقه موفولیرا<sup>۷</sup> و باغ‌هایی در منطقه چیلومبا<sup>۸</sup> در زامبیا (با پوشش گیاهی جنگل‌های میمبو، درختان عجیب و غریب در مسکونی، مناطق پوشش گیاهی آبی مانند نی‌ها در کنار هم در طول رودخانه، گونه تهاجمی سنبل آبی در استخرهای تثبیت و نهرها) به این نتیجه رسیدند که فلزهای سنگین موجود در آب، خاک (آکریول ها / روغنهای فلوسیزول در رسوب‌های آبرفتی بین تپه‌ها و دشت‌های سیلاب، لپتیزول‌ها در تپه‌ها در شمال شرقی) و محصول‌های کشاورزی (کلم چینی، گوجه فرنگی، لوبیای سوئیس، کدو تنبل، سیب زمینی شیرین، تجاوز، ذرت و نیشکر) در دو منطقه‌ی مورد مطالعه بیش از حد قابل قبول است (Kapungwe., 2013). قریشی و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی غلظت فلزهای سنگین در سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده پرداختند. خاک منطقه‌ی آزمایش شده کربناتیکی، هیپرترمیک معمولی است که دارای سطح قابل توجهی از شوری خاک ذاتی است. بر اساس نتایج مشخص گردید غلظت فلزهای سنگین در تمامی سبزیجات مورد بررسی پایین‌تر از معیارهای ایمنی مواد غذایی سازمان بهداشت جهانی (WHO) و اتحادیه اروپا

فاضلاب‌های شهری شامل مواد آلی و معدنی شیمیایی، مواد مغذی (نیترژن، فسفر، پتاسیم)، ماده معدنی (مواد معدنی حل شده و عناصر سنگین) و پاتوژن‌های سمی هستند. در میان آلاینده‌های خاک، فلزهای سنگین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. مطالعه توزیع زمین‌شیمیایی و رفتار فلزهای سنگین برای برنامه‌ریزی و پایش محیط زیستی در منطقه‌های مختلف برای تعیین مخاطرات و پیشنهاد دادن راه‌های بهبود و نیز بهره‌برداری‌های جدید و مناسب از محیط الزامی است (Atteia et al., 1994).

اندازه‌گیری مقدار فلزهای سنگین در تمام خاک یک منطقه بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. جهت جبران این مشکل، استفاده از روش‌های مناسب جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط پیشنهاد می‌گردد. یکی از این روش‌های پرکاربرد، استفاده از روش میان‌یابی برای ترسیم شبکه و تهیه نقشه‌های موردنیاز است (Webster and Oliver, 2007). پایش تغییرات مکانی داده‌های محیطی جهت برنامه‌ریزی‌های صحیح و اصولی، چه در سطح ملی و چه در سطح منطقه‌ای موضوعی ضروری به شمار می‌آید. توجه به اصول اساسی نظیر چگونگی توزیع، ترتیب قرارگیری، الگوی رفتاری متغیرها و ارتباط بین آن‌ها در رسیدن به این مهم ضروری است. روش‌های مختلف و قابل اعتمادی برای بررسی چگونگی رفتار و نوع الگوی توزیع این داده‌ها وجود دارد. امروزه با پیدایش یکی از مهم‌ترین علوم در پایش تغییرات مکانی و تخمین داده‌های محیطی یعنی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) قابلیت تصمیم‌گیری در سطح اطمینان بیش‌تر محقق شده است. با توجه به کاربردهای متنوع و ویژه GIS در تهیه و ترسیم نقشه‌های موضوعی، می‌توان تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و مدل‌سازی‌های محیطی را به عنوان یکی از ویژگی‌های برتر آن دانست (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵). در ارتباط با تأثیر فاضلاب‌های شهری بر غلظت فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. لیو و همکاران (نمونه‌های خاک و گیاه را برای ارزیابی مقدار آلودگی فلزهای سنگین در مزرعه‌های کشاورزی (خاک کمی قلیایی با  $pH=7/2-8$  و جنس fluvaquents) آبیاری شده با فاضلاب در پکن جمع‌آوری کردند. نتایج این پژوهش حاکی از رخداد آلودگی فلزهای سنگین در منطقه مورد پژوهش بوده است. هم‌چنین در این پژوهش مشخص گردید روند تجمعی فلزهای سنگین در زمان آبیاری (در حدود ۴۰ سال آبیاری غرقابی، محصول‌های برنج، گندم، ذرت و سبزیجات) در مقایسه با مقدار موجود در زمین‌های دیگر در چین و متوسط جهانی افزایش یافته است (Liu et al., 2005). ماپاندا و همکاران (۲۰۰۵) بارگذاری سالانه غلظت فلزهای سنگین Ni, Cu, Cr, Zn و Pb در سه منطقه‌ی پنیسون<sup>۱</sup>، کروبروگ<sup>۲</sup> و

2- Crowborough  
3- Mukuvisi  
4- Chihuahua  
5- Elgabal Elasar  
6- Mufulira  
7- Chilumba  
8- Kafue

1- Pension

به سبب حاصلخیزی خوب تحت کشت پیاز، گندم، ذرت، سبزی، جو، کلزا و صیفی جات قرار می گیرد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

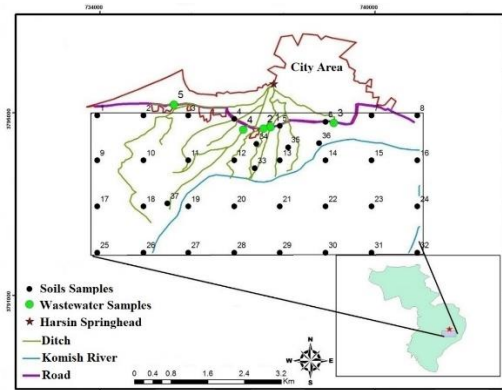
منطقه مورد مطالعه در شهرستان هرسین در استان کرمانشاه قرار دارد. شهر هرسین دارای طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی نسبت به نصف النهار گرینویچ می باشد (شکل ۱). وسعت این شهرستان ۱۰۲۴ کیلومتر مربع می باشد و مرکز شهرستان (شهر هرسین) با کرمانشاه ۴۵ کیلومتر فاصله دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۵۸۲ متر است که ۱۷۲ متر از کرمانشاه مرتفع تر است. این شهرستان از دو بخش مرکزی (به مرکزیت شهر هرسین) و بیستون (به مرکزیت شهر بیستون) تشکیل شده است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان هرسین ۷۸۳۵۰ نفر می باشد. شهرستان هرسین از نظر موقعیت زمین شناسی در محدوده زون کوهزایی زاگرس واقع شده است که مشتمل بر واحدهای سنگی گوناگونی از زون های سندج سیرجان و زاگرس چین خورده و رانده شده می باشد. این واحدها به طور عمده نابرجا و از نظر رخساره باگستره های مجاور خود متفاوت می باشند. آب و هوای این شهرستان تحت تاثیر رژیم مرطوب مدیترانه ای قرار داشته و دارای میانگین بارندگی ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر می باشد.

در شهرستان هرسین سراب های (چشمه بزرگ با دبی بالا) متعددی وجود دارد که معروف ترین آن ها سراب هرسین است که آب جهت آبیاری زمین های کشاورزی و باغ های هرسین و آشامیدن از آن تامین می شود. سراب هرسین در مرکز این شهر و در دامنه کوه دیوانگاه واقع شده است. چشمه هرسین با آبدی سالانه ۳۷ میلیون متر مکعب و متوسط آبدی ۶۳۵ لیتر در ثانیه در ارتفاع ۱۵۷۵ متر از سطح دریا واقع شده است. آب سراب هرسین از طریق ۴ نهر از دهانه های سراب به شاخه های کوچک تر تقسیم شده و به زمین های جنوب هرسین می رسد. در طی سال های گذشته و با رشد و گسترش شهرنشینی، زمین های پیرامون سراب به منطقه مسکونی تبدیل شده است. فاضلاب خانگی و روان آب حاصل از شهر به نهرهایی که آب سراب را به زمین های جنوب شهر می رساند، تخلیه می گردد و آب مورد استفاده جهت آبیاری زمین های کشاورزی را آلوده می کند. با توجه به کارگاه های کوچک صنعتی داخل شهر می توان گفت پساب ها و فاضلاب های ورودی به نهرهای جاری به سمت منطقه کشاورزی هرسین شامل فاضلاب شهری، فاضلاب خام خانگی، روان آب سطحی و فاضلاب صنعتی است. با توجه به این موضوع، مخلوط شدن آب سراب هرسین با فاضلاب شهری سبب می شود که مقدار

است. مدت زمان آبیاری یک دوره ی کشت و برداشت سبزیجات خانگی در بلوک های آزمایشی بود (Qureshi et al., 2016). هم چنین بر اساس فاکتورهای زیستی (BAF) روند غلظت فلزهای سنگین مطالعه شده به ترتیب  $Cu < Zn < Fe$  است. در تحقیقی دیگر طباطبائی (۱۳۹۳) به تأثیر درازمدت روش های مختلف آبیاری درختان شامل آبیاری سطحی (FI)، آبیاری قطره ای سطحی (SDI)، آبیاری قطره ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی متر (SDI<sub>30</sub>)، آبیاری قطره ای زیرسطحی در عمق ۶۰ سانتی متر (SDI<sub>60</sub>) و روش آبیاری بابلر (BI) با پساب بر تجمع فلزهای سنگین به مدت ۳ سال بر خاک های محدوده فضای سبز شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند غلظت فلزهای سنگین در پساب شهری و صنعتی در طول مدت آزمایش در محدوده مجاز قرار داشت. نوع درختان کاشت شده عبارت از کاج، سرو نقره ای و درخت انگور بودند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳). به تأثیرات بلند مدت (۲۳ ساله) آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزهای سنگین در خاک های منطقه ی طاقانک شهر کرد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد آبیاری با پساب در یکی از مزرعه های مورد مطالعه سبب افزایش غلظت روی، مس، کروم و نیکل و افزایش شاخص انباشت آن ها و کاهش غلظت و شاخص انباشت کادمیوم و سرب در گیاهان گندم و ذرت شده است. این منطقه دارای اقلیم نیمه معتدل با میانگین درجه حرارت و بارش سالانه به ترتیب ۱۱/۵ درجه ی سلسیوس و ۲۵۰ میلی متر بوده و در ارتفاع ۲۰۳۰ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد. این مزرعه ها از نظر بافت خاک و توپوگرافی مشابه ولی از لحاظ تاریخچه ی آبیاری با پساب متفاوت بودند. مزرعه ی ۱ فقط با آب چاه و مزرعه ی ۲ در مدت ۲۳ سال اخیر فقط با پساب شهری آبیاری شده اند (بیگی هرچگانی و بنی طالبی، ۱۳۹۳). تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر میزان و الگوی تجمع برخی از فلزهای سنگین در نیمرخ خاک زیر کشت ذرت و گوجه فرنگی توسط کریمی و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده شهری به طور معنی داری مقدار بیش تری از فلزهای سنگین مورد مطالعه را در مقایسه با آب معمولی است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت پایش فلزهای سنگین، در این مطالعه ضمن اندازه گیری مقدار فلزهای سنگین در خاک های آبیاری شده توسط پساب های شهری در منطقه ی کشاورزی شهرستان هرسین کرمانشاه به وسعت ۲۱ کیلومتر مربع (۳×۷ کیلومتر مربع)، تأثیر فاضلاب های شهری در آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به فلزهای سنگین مورد بررسی قرار داده شده است. با توجه به گسترش شهر و افزایش فاضلاب های ورودی به نهرها و مسیل های ورود آب چشمه ی بزرگ هرسین (سراب) می توان گفت زمین های کشاورزی بیش از ۲۰ سال با آب های فاضلاب آبیاری غرقابی شده اند. بیش ترین کاربری این زمین ها کشاورزی است که

از شهر به نهرهایی که آب سراب را به زمین‌های جنوب شهر می‌رساند، تخلیه می‌گردد و آب مورد استفاده جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی را آلوده می‌کند. در ماه‌های نمونه‌برداری نمونه‌برداری از فاضلاب می‌تواند ارزیابی مناسبی برای مطالعه‌ی کیفیت فاضلاب در اختیار قرار دهد. هرچند بایست خاطر نشان شد که آبیاری انجام شده در زمان‌های طولانی‌تری انجام شده و کیفیت فاضلاب ورودی در زمان‌های پیشین وجود نداشته است. کیفیت پساب ورودی به زمین‌های کشاورزی به دلیل این که بسته به ساعت، زمان، فصل و سال نمونه‌برداری متفاوت است و به‌عنوان یک شاخص مناسب جهت قضاوت در نظر گرفته نمی‌شود. با این حال اثر تجمعی فلزهای سنگین در خاک همواره مد نظر بوده چون هدف نهایی مطالعه بررسی وضعیت آلودگی خاک است و استفاده طولانی‌مدت از فاضلاب در آبیاری سبب تجمع فلزهای سنگین در خاک‌های کشاورزی و گیاهان می‌شود. به منظور هضم نمونه‌های فاضلاب، ۵۰ میلی‌لیتر از آن‌ها به‌اضافه ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ در زیر هود، حرارت داده شد تا حجم به حدود ۵۰ میلی‌لیتر رسید. سپس نمونه حاوی رسوب را صاف کرده و محلول زیر صافی به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

در مجموع تعداد کل ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ۳۷ ایستگاه برای نمونه‌برداری خاک و ۵ ایستگاه نمونه‌برداری از فاضلاب است. نقشه ۲ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۳-۴-۵-۶-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۸-۱۹-۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷ با فاضلاب آبیاری می‌شوند و ایستگاه‌های ۱-۲-۷-۸-۹-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹-۳۰-۳۱-۳۲ با فاضلاب آبیاری نشده یا به‌صورت دیم کاشت می‌شوند.



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان هرسین

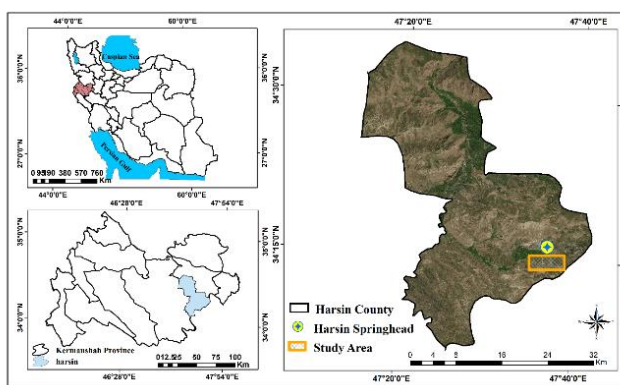
میلی‌لیتری منتقل گردید و به آن چند قطره آب مقطر اضافه شد، سپس ۲۸ میلی‌لیتر مخلوطی از ۷ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۲۱ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ به آن اضافه کرده و پس از ۲۴

فلزهای سنگین در این منبع آبی افزایش یابد. در شکل ۱ و ۲ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری از خاک و فاضلاب نشان داده شده است.

## مواد و روش‌ها

### روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

نمونه‌برداری از خاک‌های سطحی جنوب شهر هرسین در مستطیلی به طول ۷ کیلومتر و عرض ۳ کیلومتر به صورت شبکه‌ای به ابعاد یک کیلومتر در یک کیلومتر نمونه‌های و از محل تقاطع اضلاع شبکه‌ها از دو عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری منطقه مورد مطالعه انجام شد. با توجه به بازدید محلی در برخی از ناحیه‌ها نیز تعداد ۵ نمونه نیز به صورت تصادفی از زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب برداشته شد. در مجموع مشتمل بر ۷۴ نمونه (۵×۴×۸) از دو عمق خاک برداشت شد. در هر ایستگاه نمونه‌برداری با رسم یک مربع یک در یک متر مربع از ضلع‌ها و مرکز مربع نمونه مخلوط برداشت شد. یعنی از ۵ نقطه‌ی ضلع‌ها و مرکز ۵ نمونه‌ی یک کیلویی برداشت گردید و پس از مخلوط کردن کامل آن‌ها یک نمونه‌ی یک کیلویی برای آزمایشگاه در نظر گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری فلزهای سنگین در فاضلاب از ۵ ایستگاه اصلی ورودی به زمین‌های کشاورزی در سه تکرار در ماه‌های اسفند، فروردین و خرداد نمونه‌برداری فاضلاب انجام شد. آب سراب (چشمه بزرگ با دبی بالا) هرسین از طریق ۴ نهر از دهانه‌ی سراب به شاخه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و به زمین‌های جنوب هرسین می‌رسد. در طی سال‌های گذشته و با رشد و گسترش شهرنشینی زمین‌های پیرامون سراب به منطقه مسکونی تبدیل شده است. فاضلاب خانگی و روان‌آب حاصل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان هرسین

پس از نمونه‌برداری و هوا خشک کردن نمونه‌های خاک، نمونه‌های خاک برای آماده‌سازی از یک الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سه گرم خاک الک شده توزین و به ظرف شیشه‌ای درب‌دار ۱۰۰

فیزیکی شیمیایی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متر) و خاک عمقی (۲۰-۴۰ سانتی‌متر) در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. بر اساس داده‌های این جدول مشخص می‌گردد مقدار تمامی پراسنجه‌ها به جز pH در خاک سطحی بیش‌تر از خاک عمقی می‌باشد. به طوری که میانگین EC به میزان ۹۲/۸۹ واحد، میانگین فسفر به میزان ۱۰/۵۶ واحد، میانگین درصد کربن آلی به میزان ۰/۶۹، میانگین پتاسیم قابل جذب به میزان ۱۵۵/۳۸ واحد بیش‌تر از خاک عمقی و میانگین pH در لایه سطحی ۰/۱۵ واحد کم‌تر از لایه عمقی است.

#### توزیع مکانی فلزهای سنگین در نمونه‌های خاک

در جدول ۲ چکیده آماری مقدار کل فلزهای سنگین خاک سطحی ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری آورده شده است. تمام فلزهای سنگین مورد مطالعه در همه نمونه‌های برداشت شده در خاک سطحی حضور دارند اما میانگین غلظت نیکل، مس، کادمیم، سرب و آرسنیک در محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از میانگین پوسته‌ای آن‌ها است و غلظت کبالت، روی، آهن، منگنز و کروم از میانگین جهانی آن کم‌تر است. مقایسه مقدار میانگین فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی محدوده‌ی مورد مطالعه با مقدارهای میانگین آن در پوسته نشان می‌دهد که مقدار کادمیم ۵۱ برابر، آرسنیک ۳۶ برابر، سرب ۷/۹ برابر و مس ۱/۶ برابر و در خاک‌های عمقی منطقه مقدار مس ۱/۶۵ برابر، سرب ۷/۷ برابر، آرسنیک ۳۵/۵ برابر و کادمیم ۴۷/۸ برابر بیش‌تر از مقدار میانگین پوسته زمین می‌باشد.

ساعت که این مخلوط در ظرف درب بسته قرار گرفت. محتوی ظرف به بالن تقطیر ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و به مدت ۲ ساعت رفلاکس شد. پس از سرد شدن محلول، با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ این نمونه‌ها صاف شد. سپس توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزهای سنگین نمونه‌های فاضلاب از دستگاه ICP-OES استفاده شد.

ترسیم نقشه‌های پراکنش فلزهای سنگین به کمک نرم افزار ArcGIS 10.3 و روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد. کریجینگ، تخمین‌گری است نارایب، فاقد خطای سیستماتیک و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد که به این دلیل از این روش برای پهنه‌بندی نقشه‌ها استفاده شده است (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵). نرم‌افزار SPSS و آزمون آماری کروסקال والیس و t جهت برآورد توزیع آماری و مقایسه میانگین‌ها استفاده شده است. مقدار سطح اطمینان ۹۵ درصد در رد یا قبول فرض صفر در نظر گرفته شد.

#### نتایج و بحث

##### ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری خاک سطحی و عمقی منطقه مورد مطالعه

طبق بررسی‌های محلی در محدوده مورد مطالعه شخم و جابه‌جایی به‌طور متوسط تا ۲۰ سانتی‌متر صورت می‌پذیرد بنابراین بیش‌تر از عمق ۲۰ سانتی‌متر از عملیات زراعی و شخم به دور است. افق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر به‌عنوان یک لایه مجزا (و به عنوان خاک زیر سطحی) و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر به‌عنوان یک لایه دیگر خاک (و به عنوان خاک عمقی) در نظر گرفته شد. خلاصه آماری ویژگی‌های

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه

EC ( $\frac{\mu S}{Cm}$ ) ۱:۲/۵	pH ۱:۵	پتاسیم قابل جذب ppm	درصد نیتروژن کل	درصد کربن آلی	فسفر قابل جذب ppm	کمیت آماری
۷۶۲	۸/۱	۱۶۲۰	۰/۲۶	۳/۴	۵۷/۴	بیشینه
۱۷۲	۷/۲	۱۸۰	۰/۰۵	۰/۶	۵/۲	کمینه
۳۱۱/۷	۷/۸	۵۰۷/۲۱	۰/۱۲	۱/۵	۱۷/۸	میانگین
۲۳۲	۷/۸	۴۷۰	۰/۱۲	۱/۵	۱۳/۸	میانه
۱۳۹	۰/۱۴	۲۷۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۶۴	۱۱/۵	انحراف معیار
۵۸۰	۸/۳	۵۲۰	۰/۱۱	۱/۳	۱۸	بیشینه
۱۲۴	۷/۷	۱۵۲	۰	۰	۲	کمینه
۲۱۸/۸	۷/۹	۳۵۱/۸	۰/۰۷	۰/۸۸	۷/۲	میانگین
۱۹۲	۸	۳۵۴	۰/۰۸	۰/۹	۷	میانه
۹۰/۵	۰/۱	۱۰۳/۱	۰/۰۲	۰/۲	۳/۳	انحراف معیار

مقدار فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از خاک‌های عمقی است، بنابراین احتمال غنی‌شدگی خاک توسط فعالیت‌های انسانی وجود دارد. آزمون کروسکال والیس نشان داد که تمام

مقدار فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از خاک‌های عمقی است، بنابراین احتمال غنی‌شدگی خاک توسط فعالیت‌های انسانی وجود دارد. آزمون کروسکال والیس نشان داد که تمام

بیش تری است که نشان می‌دهد دلیل آلودگی خاک در بخش سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی است و نبودن اختلاف معنی‌دار در مقدار فلزهای کروم، منگنز، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک می‌تواند دلیلی بر این باشد که فعالیت‌های انسانی بر پراکنش آلودگی بی‌تأثیر یا کم‌تأثیر بوده است.

مقایسه‌ی آماری (آزمون t) میانگین غلظت‌ها در دو عمق نمونه‌برداری نشان می‌دهد که مقدار آهن و روی به طور معنی‌داری در دو عمق خاک تفاوت معنی‌داری دارد اگر چه مقدار بیش‌تر عنصرها در خاک سطحی بیش‌تر از خاک عمقی است. از نتیجه این آزمون می‌توان پی‌برد که مقدار فلزهای سنگین، آهن و روی، به طور معنی‌داری در دو عمق خاک متفاوت است و در خاک سطحی دارای میانگین مقدار

جدول ۲ - چکیده آماری مقدار کل عنصرهای اندازه‌گیری شده در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

پارامترهای آماری	عمق نمونه سانی متری	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	سرب	کادمیوم	آرسنیک
	۲۰-۰	۱۹۰/۴۲	۶۷۷/۶۵	۳۹۴۶/۲۵	۲۰/۰۲	۲۲۹	۲۳۸/۴۳	۹۵/۶۳	۱۳۲/۳۷	۱۴/۶۷	۹۱/۰۸
بیشینه	۴۰-۲۰	۱۸۵/۶۷	۶۵/۹۳	۳۹۳۸/۵	۲۳/۱۳	۲۲۸/۶	۲۳۰/۵۲	۶۰/۹۳	۱۴۷/۴۷	۱۶/۱۵	۷۳/۳۲
کمینه	۲۰-۰	۵۲/۸۳	۲۰۷/۳	۱۴۷۸/۳۳	۷/۳۵	۳۹/۶۳	۵۵/۰۲	۲۵/۵۳	۷۸/۹۵	۷/۵۵	۵۲/۵۳
	۴۰-۲۰	۲۱/۶۸	۷۵/۹۵	۳۹/۵۸	۴/۸۳	۷/۱۸	۵/۴۷	۸/۰۵	۶۲/۳۵	۴	۴۶/۰۲
	۲۰-۰	۹۱/۵۳	۴۳۲/۰۱	۲۵۲۸/۶۱	۱۲/۲۸	۷۹/۵۸	۹۳/۸۵	۵۴/۹۷	۱۰۳/۹۷	۱۰/۲۶	۶۵/۴۵
میانگین	۴۰-۲۰	۸۳/۰۷	۴۰/۸۲	۳۲۱۱/۳۳	۱۲/۲۱	۷۵/۸۳	۹۰/۸۱	۴۱/۴۳	۱۰۰/۴	۹/۵۷	۶۴/۰۹
	۲۰-۰	۹۰/۱	۴۲۱/۰۶	۳۳۷۷/۱۶	۱۱/۷۸	۷۰/۰۶	۸۴/۱۳	۵۰/۶۱	۱۰۲/۸۸	۱۰/۸۸	۶۳/۷۸
میانه	۴۰-۲۰	۷۸/۷۶	۳۸۶/۶	۲۳۳۱/۸۳	۱۱/۵۱	۶۶/۷۸	۸۱/۱۸	۴۳/۲	۹۸/۱۳	۹/۵۵	۶۳/۹۳
	۲۰-۰	۲۶	۱۲۵/۱۹	۶۵۰/۶۸	۲/۹۸	۴۱/۱۲	۳۱/۸۸	۱۳/۷۲	۱۲/۳۳	۱/۷۲	۷/۹
انحراف معیار	۴۰-۲۰	۳۰/۰۳	۱۴۹/۹	۶۸۴/۷	۳/۹۴	۴۰/۹۸	۳۸/۷	۱۰/۰۱	۱۵/۹	۲/۰۱	۶/۰۳
	۲۰-۰	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
تعداد	۴۰-۲۰	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷
	میانگین پوسته‌ای	۱۰۰	۹۰۰	۵۰۰۰۰	۲۵	۷۵	۵۵	۷۰	۱۳	۰/۳	۱/۸

در جدول ۳ و ۴ چکیده آماری فلزهای سنگین زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داده شده است. همان‌طور که داده‌های جدول ۳ و ۴ نشان می‌دهد، تمام فلزهای سنگین مورد مطالعه در همه نمونه‌های برداشت شده در خاک زمین‌هایی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند حضور دارند اما میانگین غلظت مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک در محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از میانگین پوسته‌ای آن‌ها است و غلظت کبالت، نیکل، روی، آهن، منگنز و کروم از میانگین جهانی آن کم‌تر است. مطابق داده‌های جدول ۳ در زمین‌های که با فاضلاب آبیاری می‌شوند به‌جز دو فلز نیکل و کبالت، میانگین مقدار کل فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از خاک‌های عمقی‌تر است و این نشان می‌دهد اگرچه این فلزها با منبع طبیعی در محدوده مورد مطالعه وجود دارند اما فعالیت‌های انسانی در افزایش مقدار آن‌ها در خاک‌های سطحی نقش دارند. مطابق داده‌های جدول ۴ نیز در زمین‌هایی که با فاضلاب آبیاری نمی‌شوند به‌جز فلز سرب میانگین مقدار فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از غلظت آن در خاک‌های عمقی‌تر است و این نشان می‌دهد که به غیر از منبع طبیعی، فعالیت‌های انسانی نیز سبب افزایش مقدار فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی شده است. مقدار کل فلزهای روی و سرب به طور معنی‌داری در دو عمق خاک

زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب منطقه مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌دار است و در خاک سطحی دارای میانگین مقدار بیش‌تری است که نشان می‌دهد دلیل افزایش روی خاک در بخش سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی و آبیاری با فاضلاب می‌باشد. نبودن اختلاف معنی‌دار در مقدار فلزهای کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم و آرسنیک می‌تواند دلیلی بر این باشد که فعالیت‌های انسانی و آبیاری بر پراکنش آلودگی بی‌تأثیر بوده است. مقدار کل فلزهای سنگین، روی و آهن به طور معنی‌داری در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در خاک سطحی با خاک عمقی در زمین‌هایی که با فاضلاب آبیاری نمی‌شوند نیز در منطقه مورد مطالعه متفاوت است و در خاک سطحی دارای میانگین غلظت بیش‌تری است که نشان می‌دهد دلیل آلودگی خاک به این فلزها در بخش سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی است. مقدار کل فلزهای سنگین کبالت، منگنز، آهن، مس و کادمیوم در زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب در مقایسه با زمین‌های آبیاری نشده با فاضلاب به طور معنی‌داری کم‌تر است. درحالی‌که آرسنیک، کروم، سرب و نیکل دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند. هم‌چنین مقدار روی در زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب در خاک سطحی در مقایسه با زمین‌های آبیاری نشده با فاضلاب افزایش نشان می‌دهد دلیل آلودگی روی در بخش خاک سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی و

فلزهای قابل حل در آبهای کمی اسیدی را حین هضم افزایش می‌دهد. نبودن اختلاف معنی‌دار در مقدار فلزهای آرسنیک، کروم، سرب و نیکل می‌تواند دلیلی بر این باشد که فعالیت‌های انسانی و آبیاری با فاضلاب بر پراکنش آلودگی آن‌ها بی‌تاثیر بوده است.

آبیاری با فاضلاب است. احتمال افزایش ممکن است به سبب استفاده از منابع آبی چاه‌هایی باشد که به صورت غیر مجاز وجود دارد. هم‌چنین آزاد شدن عناصر از ساختار کانی و تبدیل شدن به خاک به علت عملیات هوازگی یا عملیات خاک‌ورزی و شخم که میزان

جدول ۳ - مقدار عنصرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمین‌های کشاورزی آبیاری شده با فاضلاب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

پارامترهای آماری	عمق نمونه سانتی‌متری	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	سرب	کادمیوم	آرسنیک
بیشینه	۲۰-۴۰	۱۰۸/۶۳	۴۶۵/۵	۲۹۷۸/۵۸	۱۳/۷۸	۱۲۳/۷۸	۹۶/۳۷	۹۵/۶۳	۱۳۲/۳۷	۱۰/۹۸	۷۶/۴۳
کمینه	۲۰-۴۰	۶۷/۴	۲۲۹/۱۳	۱۴۷۸/۳۳	۷/۳۵	۳۹/۶۳	۶۳/۲۰	۴۸/۷۷	۹۶/۷۳	۷/۶۰	۹۶/۷۳
میانگین	۲۰-۴۰	۹۲/۳۱	۳۵۴/۳۳	۲۱۷۴/۴۷	۱۰/۸۶	۷۲/۴۳	۸۱/۰۱	۶۳/۲۲	۱۰۷/۲۲	۹/۵	۶۴/۶۶
میان	۲۰-۴۰	۸۳/۳۳	۳۳۰/۲۲	۲۰۲۴/۰۱	۱۱/۱	۷۴/۹۱	۷۹/۳۲	۴۷/۷۹	۹۸/۰۸	۹/۰۱	۶۴/۰۲
انحراف معیار	۲۰-۴۰	۹۶/۱	۳۶۰	۲۱۶۰	۱۰/۹۳	۷۰/۰۶	۸۲/۱۳	۵۹/۲۳	۱۰۳/۹۵	۹/۵۸	۶۳/۷۸
تعداد	۲۰-۴۰	۷۹/۳۳	۳۴۴/۴	۲۱۳۲/۶۶	۱۱/۶۶	۷۵	۷۵	۴۴/۹	۹۶/۳۳	۹/۱۸	۶۳/۹۳
	۲۰-۴۰	۱۲/۰۳	۷۱/۷۰	۳۶۵/۰۸	۱/۸۹	۲۴/۰۲	۹/۱۹	۱۴/۳۴	۱۰/۸۲	۷/۶	۵/۰۱
	۲۰-۴۰	۲۱/۵	۷۸/۶۲	۶۸۷/۹۸	۲/۵۶	۲۸/۷۳	۱۵/۱۳	۷/۳۶	۱۰/۰۵	۱/۱۹	۵/۳۶
	۲۰-۴۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
	۲۰-۴۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
میانگین پوسته‌ای		۱۰۰	۹۰۰	۵۰۰۰۰	۲۵	۷۵	۵۵	۷۰	۱۳	۰/۲	۱/۸

جدول ۴ - مقدار عنصرهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمین‌های کشاورزی آبیاری نشده با فاضلاب بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

پارامترهای آماری	عمق نمونه سانتی‌متری	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	سرب	کادمیوم	آرسنیک
بیشینه	۲۰-۴۰	۱۹۰/۴۲	۶۷۷/۶۵	۳۹۴۶/۲۵	۲۰/۰۲	۲۲۹	۲۳۸/۴۳	۷۰/۴۳	۱۲۹/۹۲	۱۴/۶۷	۹۱/۰۸
کمینه	۲۰-۴۰	۲۱/۶۸	۷۵/۹۵	۹۰۶/۴۲	۴/۸۳	۱۷/۱۸	۲۵/۴۷	۸/۰۵	۶۲/۳۵	۴	۴۶/۰۲
میانگین	۲۰-۴۰	۸۲/۹	۴۴۸/۹۷	۲۳۳۹/۰۵	۱۲/۹۷	۷۶/۴۶	۹۸/۶۵	۴۰/۵۱	۱۰۱/۹۹	۹/۹۵	۶۴/۱۳
میان	۲۰-۴۰	۸۷/۷۳	۴۶۸/۵۱	۲۷۱۵/۲۵	۱۲/۹۹	۷۰/۳۳	۹۷/۶۴	۵۰/۰۲	۱۰۲/۵	۱۰/۵۲	۶۳/۷۹
انحراف معیار	۲۰-۴۰	۷۷/۹۳	۴۰۷/۶۴	۲۳۶۹/۰۴	۱۱/۸	۶۴/۶۵	۸۵/۲۳	۴۲/۹۶	۱۰۰/۳	۹/۹۰	۶۴/۱۱
تعداد	۲۰-۴۰	۳۲/۵۸	۱۲۷/۲۵	۶۹۷/۳۴	۳/۲۳	۴۹/۵۲	۳۸/۵۷	۱۰/۲۸	۱۳/۰۳	۱/۸۸	۹/۴۶
	۲۰-۴۰	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
	۲۰-۴۰	۲۱/۵	۳۵/۱۸	۱۶۸/۵۶	۶۶۷/۸۱	۴/۵۵	۴۸/۲۴	۴۷/۵	۱۱/۵۶	۱۸/۹۶	۲/۳۸
	۲۰-۴۰	۱۵	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
میانگین پوسته‌ای		۱۰۰	۹۰۰	۵۰۰۰۰	۲۵	۷۵	۵۵	۷۰	۱۳	۰/۲	۱/۸

هر فلز برای آبیاری مطابق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران بر حسب میلی‌گرم در لیتر آورده شده است. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود میانگین غلظت فلز کبالت در هر سه ماه، کادمیوم در ماه اسفند و مس در خردادماه از مقدار مجاز برای آبیاری بیش‌تر است.

به‌منظور بررسی غلظت فلزهای سنگین در فاضلاب، از ۵ نقطه فاضلاب پیش از ورود به مزرعه‌های کشاورزی در سه نوبت نمونه‌برداری و آنالیز شد. نمونه‌ها در نیمه ماه‌های اسفند، فروردین و خرداد از همان ایستگاه‌ها برداشته و غلظت فلزهای سنگین آن سنجش شد. در جدول ۵ میانگین غلظت فلزهای سنگین فاضلاب بر حسب میلی‌گرم در لیتر هر ماه آورده شده است که در آن غلظت مجاز

جدول ۵ - میانگین غلظت فلزهای سنگین هر ماه بر حسب میلی‌گرم در لیتر

میانگین هر ماه	کروم	منگنز	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	سرب	کادمیوم	آرسنیک
اسفند	۲۵/۰	۰۵۴/۰	۸۷/۱	۳۰۳/۰	۰۴۳/۰	۰۸۲/۰	۶۲۳/۰	۰۶۸۸/۰	۱۴۷/۰	۰۵۲/۰
فروردین	۲۱/۰	۲۳/۰	۴۸/۱	۰۶۶/۰	۰۲۲/۰	۰۶۴/۰	۱۰۹۷	۰۳۵/۰	۱۱۳/۰	۰۰۱/۰
خرداد	۰۸۹/۰	۰۶۳/۰	۴۹/۱	۱۶/۰	۰۹۱/۰	۳۳۴/۰	۱۰۴/۰	۰۴/۰	۲۷/۰	۰۳۰/۰
مقدار مجاز برای آبیاری	۱(Cr <sup>6+</sup> ) ۲(Cr <sup>3+</sup> )	۱	۳	۰۵/۰	۲	۲/۰	۲	۰۵/۰	۱	۱/۰

بر اساس شکل ۳، بیش‌ترین مقدار کروم کل در نمونه‌های خاک سطحی، ۱۹۰/۴۲ و میانگین غلظت آن ۹۱/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین بیش‌ترین مقدار کروم در نمونه‌های خاک عمقی، ۱۸۵/۶۵ و میانگین غلظت آن ۸۳/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نقشه‌های هم‌غلظت ۳ و ۴ پراکنش کروم کل در دو عمق (به ترتیب ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در خاک سطحی در قسمت شمال شرق و شمال غرب مقدار کل کروم در لایه سطحی بیش‌تر است و این مقدار در جنوب شرق و جنوب غرب به کم‌ترین مقدار می‌رسد. روند کاهشی از شمال به سمت جنوب منطقه مشهود است و به نظر می‌رسد که تابع وضعیت زمین‌شناختی منطقه نباشد. در این نقشه کم‌ترین مقادیر خارج از محدوده‌ی زمین‌هایی هستند که با فاضلاب آبیاری می‌شوند. نقشه ۴ نقشه پهنه‌بندی مقدار کل کروم را در خاک عمقی نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، میزان کروم کل در شمال شرق، جنوب و جنوب غربی میزان بیش‌تری نسبت به سایر منطقه‌ها و در جنوب شرقی مقدار کم‌تری کروم وجود دارد. نقشه‌های هم‌غلظت تهیه شده برای کروم در دو عمق خاک نشان می‌دهند که بیش‌ترین غلظت کروم در قسمت شمال غربی و شمال شرقی محدوده نمونه‌برداری واقع شده است. این غلظت در قسمت جنوب شرقی به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. مقدار کروم در هر دو عمق نمونه‌برداری به طور تقریبی یکسان و مقدار آن در این محدوده از میانگین جهانی کم‌تر است و آلودگی محسوب نمی‌شود. بنابراین می‌توان قسمت بیش‌تر آن را به عامل زمین‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی وابسته دانست و طبق نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز قابل توجیه است.

نقشه‌های هم‌غلظت ۵ و ۶ پراکنش منگنز کل را در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهند. بر اساس این نقشه‌ها مشخص می‌شود که بیش‌ترین مقدار منگنز در قسمت جنوب و جنوب‌غربی محدوده مورد مطالعه واقع شده است. مقدار منگنز در هر دو عمق مشابه است و در منطقه‌های جنوبی‌تر به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد به همین دلیل می‌توان عامل اصلی آن را در زمین‌شناسی برشمرد. هرچند به نظر می‌رسد که در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند غلظت کبالت لایه سطحی کم‌تر است. به طور کلی مقدار کبالت در جنوب و غرب بیش‌تر است. نقشه‌های هم‌غلظت نیکل (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) نشان می‌دهند که بیش‌ترین مقدار نیکل لایه سطحی خاک در شمال شرق و شمال غرب محدوده مورد مطالعه واقع شده است و مقدار آن در لایه سطحی در قسمت

بر اساس شکل ۳، بیش‌ترین مقدار کروم کل در نمونه‌های خاک سطحی، ۱۹۰/۴۲ و میانگین غلظت آن ۹۱/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین بیش‌ترین مقدار کروم در نمونه‌های خاک عمقی، ۱۸۵/۶۵ و میانگین غلظت آن ۸۳/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نقشه‌های هم‌غلظت ۳ و ۴ پراکنش کروم کل در دو عمق (به ترتیب ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در خاک سطحی در قسمت شمال شرق و شمال غرب مقدار کل کروم در لایه سطحی بیش‌تر است و این مقدار در جنوب شرق و جنوب غرب به کم‌ترین مقدار می‌رسد. روند کاهشی از شمال به سمت جنوب منطقه مشهود است و به نظر می‌رسد که تابع وضعیت زمین‌شناختی منطقه نباشد. در این نقشه کم‌ترین مقادیر خارج از محدوده‌ی زمین‌هایی هستند که با فاضلاب آبیاری می‌شوند. نقشه ۴ نقشه پهنه‌بندی مقدار کل کروم را در خاک عمقی نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، میزان کروم کل در شمال شرق، جنوب و جنوب غربی میزان بیش‌تری نسبت به سایر منطقه‌ها و در جنوب شرقی مقدار کم‌تری کروم وجود دارد. نقشه‌های هم‌غلظت تهیه شده برای کروم در دو عمق خاک نشان می‌دهند که بیش‌ترین غلظت کروم در قسمت شمال غربی و شمال شرقی محدوده نمونه‌برداری واقع شده است. این غلظت در قسمت جنوب شرقی به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. مقدار کروم در هر دو عمق نمونه‌برداری به طور تقریبی یکسان و مقدار آن در این محدوده از میانگین جهانی کم‌تر است و آلودگی محسوب نمی‌شود. بنابراین می‌توان قسمت بیش‌تر آن را به عامل زمین‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی وابسته دانست و طبق نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز قابل توجیه است.

نقشه‌های هم‌غلظت ۵ و ۶ پراکنش منگنز کل را در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهند. بر اساس این نقشه‌ها مشخص می‌شود که بیش‌ترین مقدار منگنز در قسمت جنوب و جنوب‌غربی محدوده مورد مطالعه واقع شده است. مقدار منگنز در هر دو عمق مشابه است و در منطقه‌های جنوبی‌تر به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد به همین دلیل می‌توان عامل اصلی آن را در زمین‌شناسی منطقه دانست. هرچند به نظر می‌رسد که در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند غلظت منگنز لایه سطحی کم‌تر است. به طور کلی غلظت

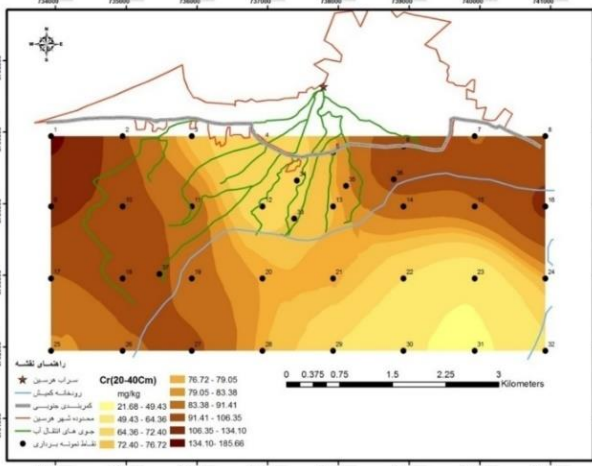


سطحی و عمقی از میانگین استاندارد جهانی بیش تر است. نقشه‌های هم‌غلظت سرب (شکل‌های ۱۹ و ۲۰) در دو عمق خاک نشان می‌دهند که بیش‌ترین سرب لایه سطحی خاک در شمال غرب و جنوب شرق محدوده مورد مطالعه واقع شده است و این مقدار در لایه سطحی در شرق منطقه مورد مطالعه به کم‌ترین غلظت خود می‌رسد. بیش‌ترین مقدار سرب در لایه عمقی خاک در جنوب غرب و غرب و کم‌ترین آن در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند غلظت سرب در لایه سطحی و عمقی خاک میانگین مقدار را دارد. میانگین مقدار سرب کل خاک در لایه سطحی و عمقی به‌طور تقریبی برابر و از میانگین استاندارد جهانی بیش‌تر است. نقشه‌های هم‌غلظت آرسنیک (شکل‌های ۲۱ و ۲۲) در دو عمق خاک نشان می‌دهند که بیش‌ترین مقدار آرسنیک لایه سطحی خاک در جنوب شرق و شمال غرب محدوده مورد مطالعه واقع شده است و این مقدار در لایه سطحی در شمال شرق و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. بیش‌ترین مقدار آرسنیک در لایه عمقی خاک در جنوب غرب و کم‌ترین غلظت در شمال شرق به صورت یک روند کاهشی از شمال شرق به جنوب غرب منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند غلظت آرسنیک در لایه سطحی و عمقی خاک میانگین مقدار را دارد. میانگین آرسنیک کل خاک در لایه سطحی و عمقی از میانگین استاندارد جهانی بیش‌تر است.

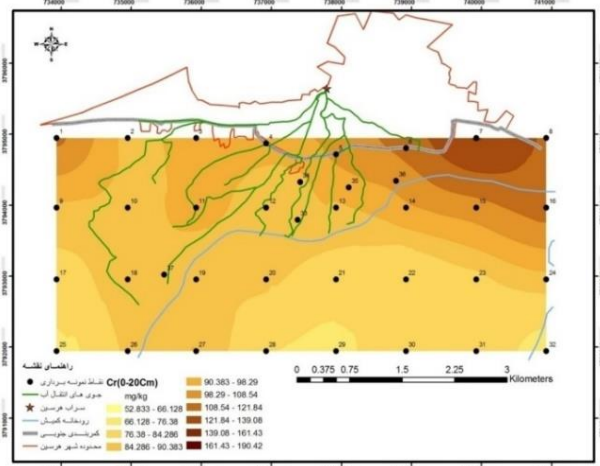
### نتیجه‌گیری

بررسی میانگین مقدار فلزهای سنگین نشان داد که تمام فلزهای سنگین مورد مطالعه در همه نمونه‌های برداشت شده حضور دارند. در خاک زمین‌هایی که با فاضلاب آبیاری نمی‌شوند میانگین مقدار نیکل، مس، کادمیم، سرب و آرسنیک بیش‌تر از میانگین پوستانه‌ای آن‌ها است و مقدار کبالت، روی، آهن، منگنز و کروم از میانگین جهانی آن کم‌تر است. این درحالی‌است که در خاک زمین‌هایی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند میانگین مس، کادمیم، سرب و آرسنیک در محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از میانگین پوستانه‌ای آن‌ها است و مقدار کبالت، نیکل، روی، آهن، منگنز و کروم از مقدار میانگین جهانی کم‌تر است. در مقایسه خاک سطحی ۰-۲۰ سانتی متری با خاک عمقی ۲۰-۴۰ سانتی متری منطقه مورد مطالعه میانگین مقدار کل فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از مقدار آن در خاک‌های عمقی تر است و این نشان می‌دهد که اگرچه این فلزها با منشاء طبیعی در محدوده مورد مطالعه وجود دارند اما فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت آن‌ها در خاک‌های سطحی نقش دارند.

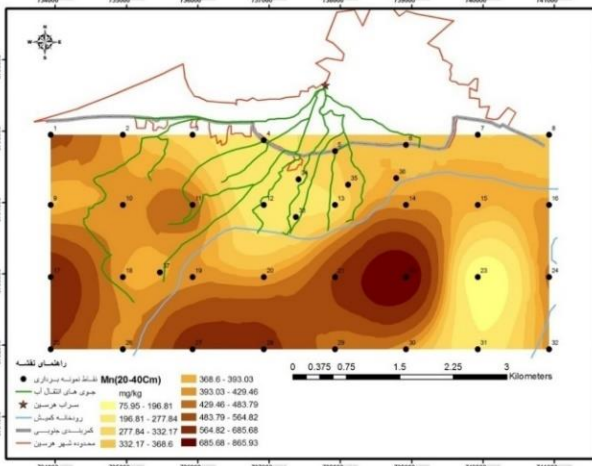
شمال و جنوب شرق به کم‌ترین غلظت خود می‌رسد. در لایه عمقی علاوه بر شمال منطقه در جنوب شرق نیز این کاهش مشاهده می‌شود. در لایه عمقی خاک بیش‌ترین مقدار نیکل در غرب و شمال شرق منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. هم‌چنین با توجه به این‌که مقدار نیکل در هر دو عمق مشابه است می‌توان منبع اصلی آن را زمین شناسی برشمرد. هرچند در لایه سطحی خاک نیکل کل از میانگین استاندارد جهانی اندکی بیش‌تر است. در لایه عمقی میانگین مقدار نیکل از میانگین جهانی بیش‌تر است. بیش‌ترین غلظت مس لایه سطحی خاک در جنوب محدوده مورد مطالعه واقع شده است و این غلظت در لایه سطحی در قسمت شمال و شمال شرق به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). در لایه عمقی علاوه بر شمال منطقه در شرق نیز این کاهش مشاهده می‌شود. بیش‌ترین مقدار مس در لایه عمقی خاک در غرب و جنوب غرب قابل مشاهده است. در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند مقدار مس در هر دو لایه خاک کم‌تر به نظر می‌رسد. هم‌چنین مقدار مس نیز در هر دو عمق مشابه است و مانند فلزهای مورد بررسی دیگر در منطقه‌های جنوبی تر به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد و می‌توان منبع اصلی آن را زمین شناسی برشمرد. هرچند در لایه سطحی و عمقی خاک میزان مس کل از میانگین استاندارد جهانی بیش‌تر است. نقشه‌های هم‌غلظت روی در خاک (شکل‌های ۱۵ و ۱۶) نشان می‌دهند که بیش‌ترین غلظت روی لایه سطحی خاک در شمال محدوده مورد مطالعه واقع شده است و این غلظت در لایه سطحی در شرق و شمال شرق به کم‌ترین مقدار می‌رسد. در لایه عمقی روند افزایشی غلظت روی کل خاک از شرق به غرب قابل مشاهده است. بیش‌ترین مقدار روی در لایه عمقی خاک در جنوب غرب و کم‌ترین مقدار آن در شرق منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند غلظت روی در لایه سطحی خاک بیش‌تر است. هم‌چنین با توجه به این‌که مقدار روی در لایه سطحی بیش‌تر از لایه عمقی خاک می‌باشد می‌توان دلیل آن را آلودگی از طریق منابع انسانی دانست. هرچند میانگین غلظت روی کل خاک در لایه سطحی و عمقی از میانگین استاندارد جهانی کم‌تر است. بیش‌ترین مقدار کادمیوم لایه سطحی خاک در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه واقع شده است و این غلظت در لایه سطحی در مرکز به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). در لایه عمقی روند افزایشی و کاهش غلظت کادمیوم کل خاک به‌طور تقریبی از لایه سطحی پیروی می‌کند. بیش‌ترین مقدار کادمیوم در لایه عمقی خاک در جنوب غرب و کم‌ترین آن در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در زمین‌های کشاورزی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند مقدار کادمیوم در لایه سطحی و عمقی خاک اندکی کم‌تر است. میانگین مقدار کادمیوم کل خاک در لایه



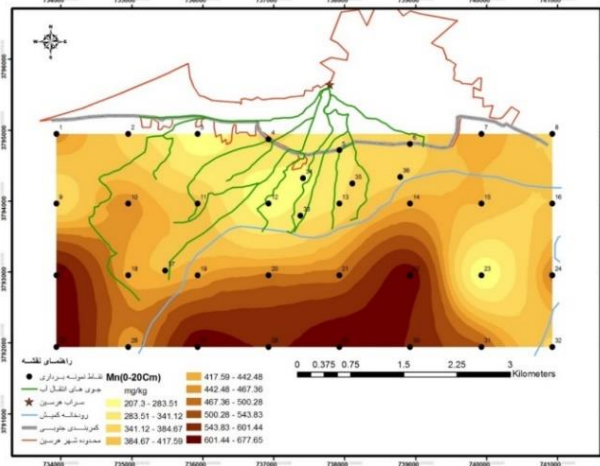
شکل ۴- نقشه هم غلظت کروم کل در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



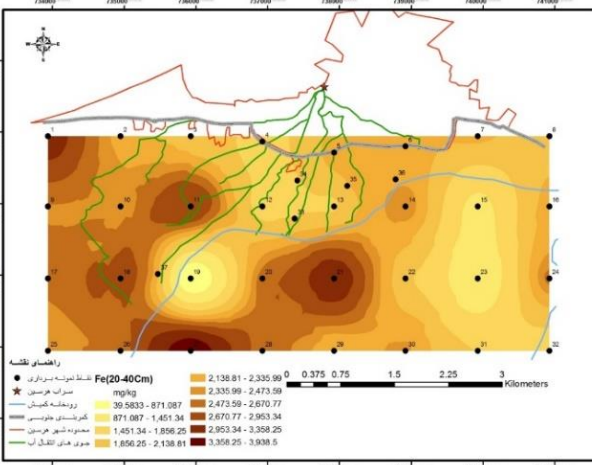
شکل ۳- نقشه هم غلظت کروم کل در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



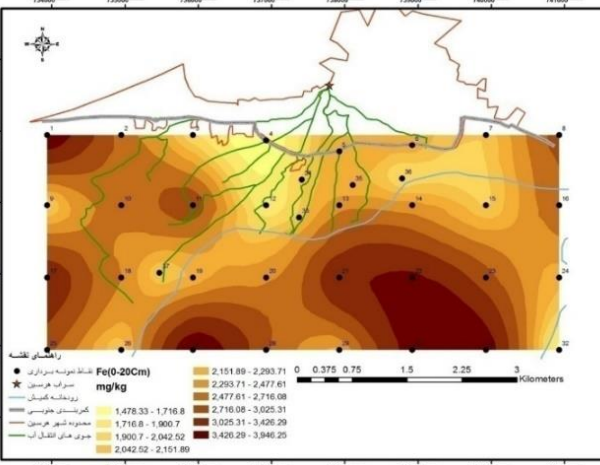
شکل ۶- نقشه هم غلظت منگنز کل در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



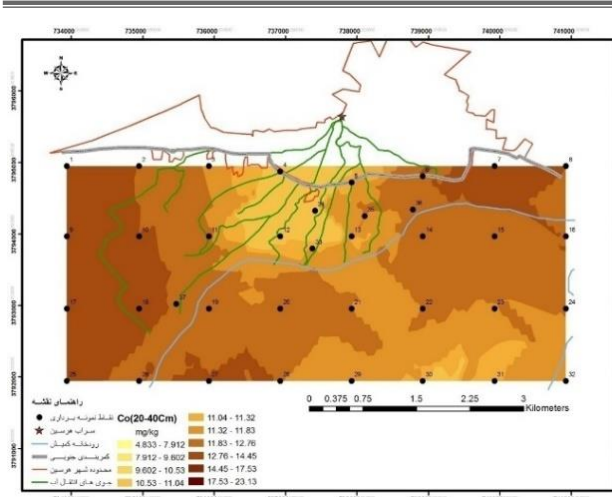
شکل ۵- نقشه هم غلظت منگنز کل در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



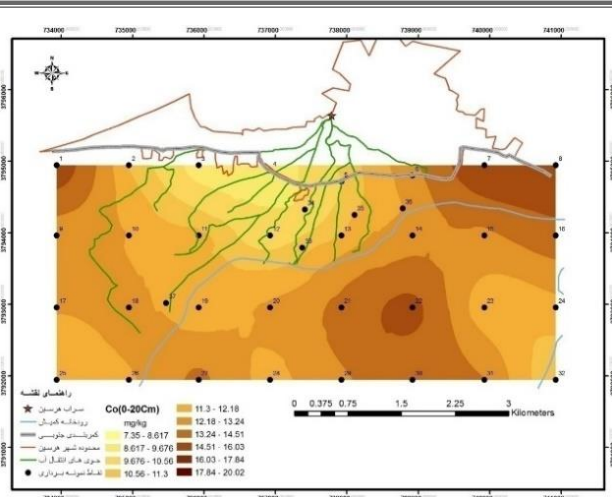
شکل ۸- نقشه هم غلظت آهن کل در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



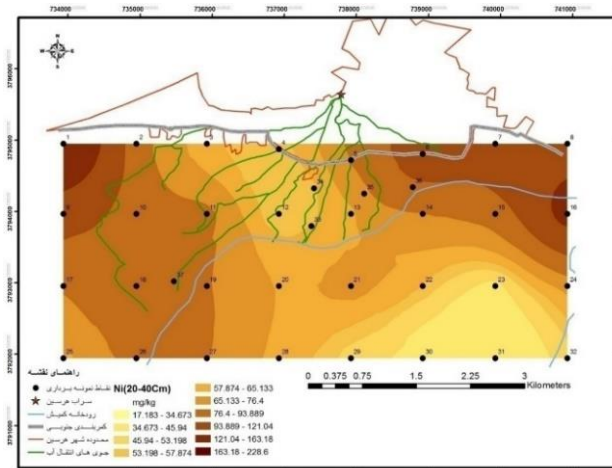
شکل ۷- نقشه هم غلظت آهن کل در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



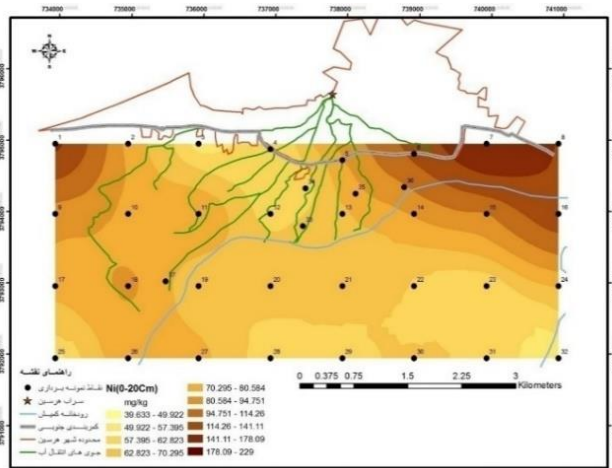
شکل ۱۰- نقشه هم غلظت کبالت کل در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



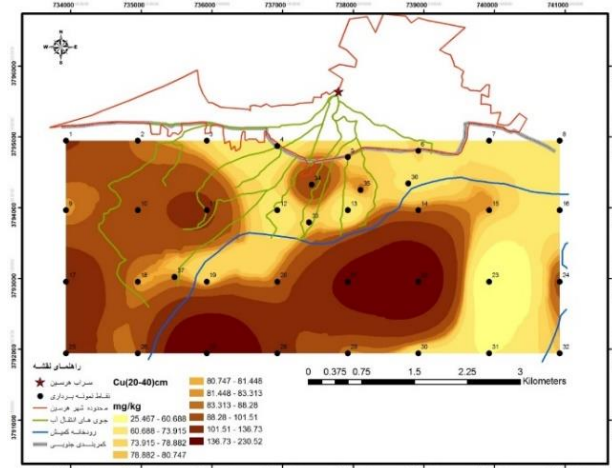
شکل ۹- نقشه هم غلظت کبالت در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



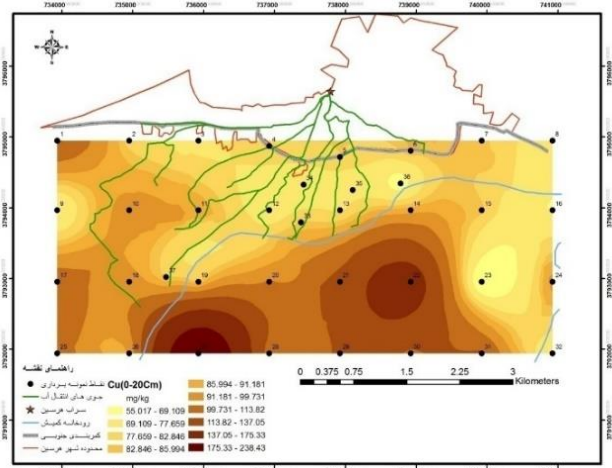
شکل ۱۲- نقشه هم غلظت نیکل در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



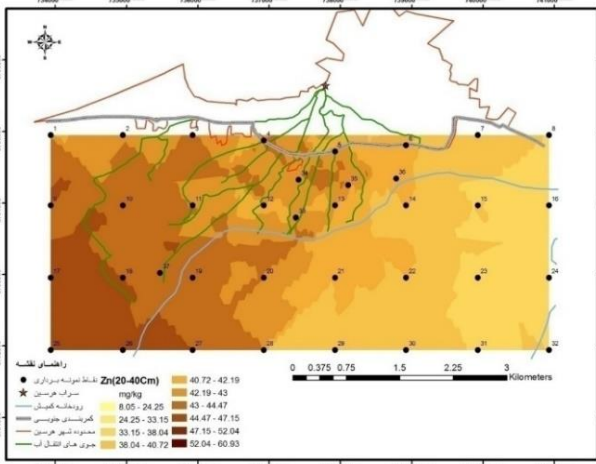
شکل ۱۱- نقشه هم غلظت نیکل در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



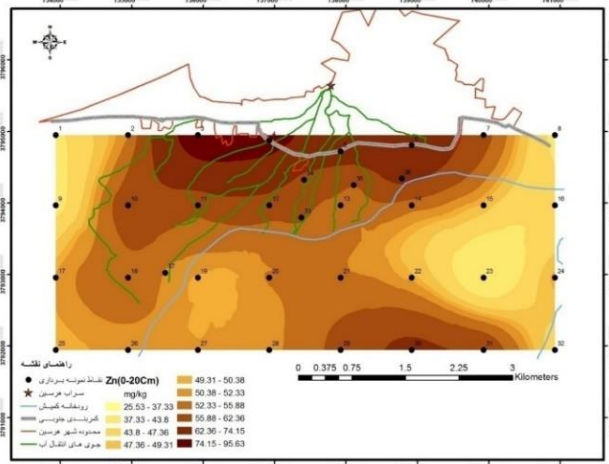
شکل ۱۴- نقشه هم غلظت مس در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



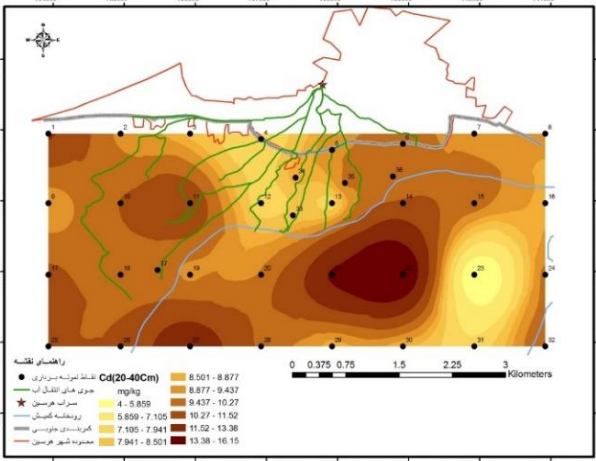
شکل ۱۳- نقشه هم غلظت مس در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



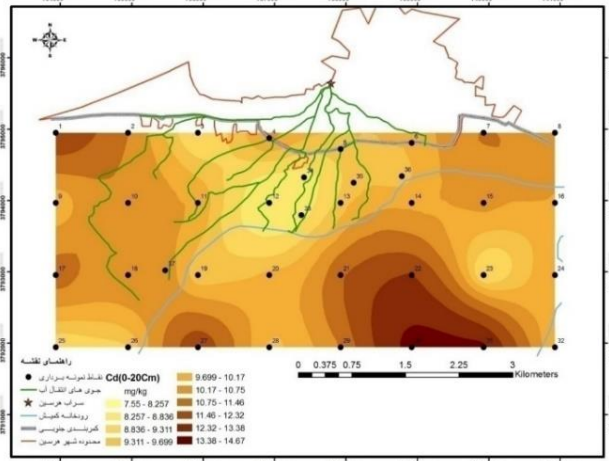
شکل ۱۶- نقشه هم غلظت روی در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



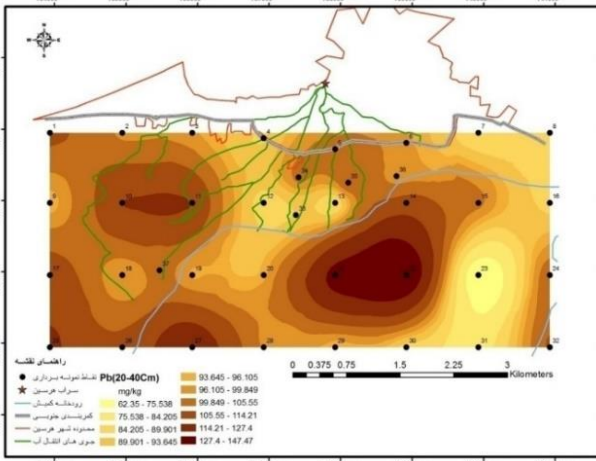
شکل ۱۵- نقشه هم غلظت روی در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



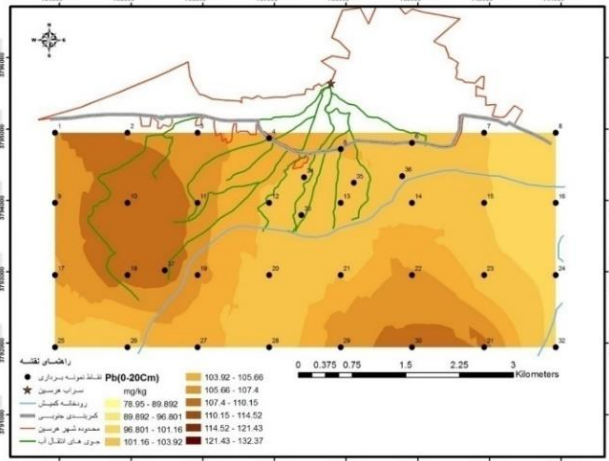
شکل ۱۸- نقشه هم غلظت کادمیوم در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



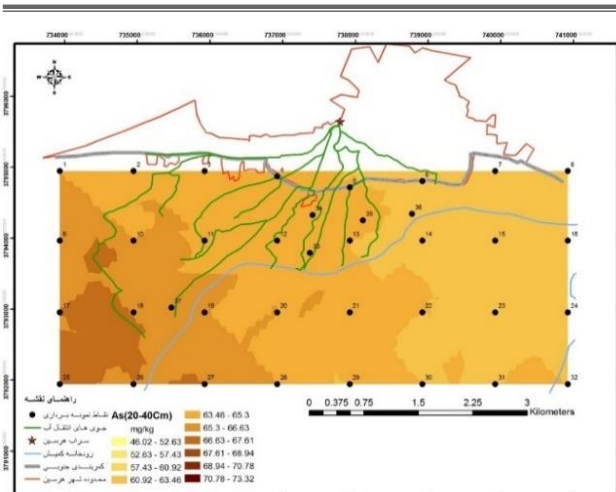
شکل ۱۷- نقشه هم غلظت کادمیوم در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



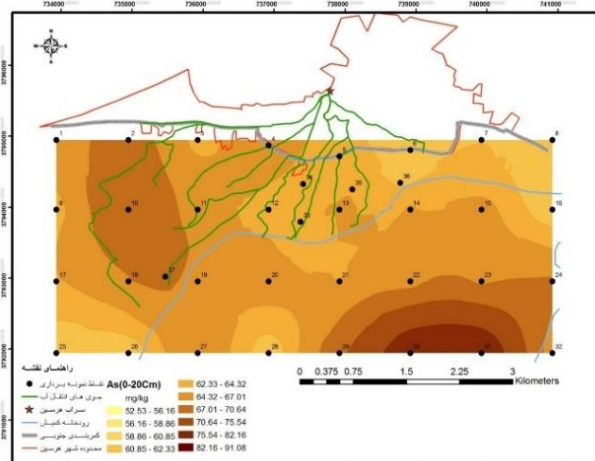
شکل ۲۰- نقشه هم غلظت روی در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



شکل ۱۹- نقشه هم غلظت روی در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)



شکل ۲۲- نقشه هم غلظت آرسنیک در خاک عمقی (۲۰ تا ۴۰)



شکل ۲۱- نقشه هم غلظت آرسنیک در خاک سطحی (۰ تا ۲۰)

در خاک، انتقال به دانه های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. مجله آب و خاک. ۲۷. ۳: ۵۷۰-۵۸۰.

بیگی هرچگانی، ح و بنی طالبی، گ. ۱۳۹۳. مقایسه‌ی روش‌های محاسبه بعد فرکتال بافت و انتخاب روش مناسب: مطالعه موردی در خاک‌های طاقانک، شهرکرد. مجله علوم آب و خاک، ۱۸. ۷۰: ۳۳۹-۳۲۷.

جلالی، ع.، گلوی، م.، قنبری، ا.، رمرودی، م و یوسف الهی، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم علفه‌ای (*Sorghum bicolor L.*). مجله علوم آب و خاک. ۱۴. ۵۲: ۱۵-۲۵.

خسروی، ی.، عباسی، اسماعیل، ۱۳۹۵. تحلیل فضایی داده‌های محیطی با زمین‌آمار، نشر آذرکلک.

کریمی، ب.، عبدی، چ.، فتحی تیلکو، ز و گوپلیان، ه. ۱۳۹۵. تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر میزان و الگوی تجمع برخی از فلزات سنگین در نیمرخ خاک زیر کشت ذرت و گوجه‌فرنگی. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰. ۱۰۳: ۸۹-۱۰۱.

طباطبائی، س.، نجفی، پ و طاهری، ه. ۱۳۹۳. تأثیر دراز مدت روش‌های مختلف آبیاری درختان با پساب بر تجمع فلزات سنگین در خاک. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. ۴. ۲۳۳: ۳-۲۴۹.

یزدانی، ع.، صفاری، م و رنجبر غ. ۱۳۹۶. اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه، مجله علوم زراعی (*Hordeum vulgare L.*) ژنوتیپ‌های جو ایران. ۱۹. ۴: ۲۸۴-۲۹۶.

Ahmad, K., Wajid, K., Khan, Z. I., Ugulu, I., Memoona, H., Sana, M., ... & Sher, M. 2019. Evaluation of

در حالی که مقایسه آماری توسط آزمون t موید این مطلب است که مقدار فلزهای سنگین، آهن و روی به طور معنی‌داری در دو عمق خاک متفاوت است و در خاک سطحی دارای میانگین غلظت بیش‌تری است که نشان می‌دهد دلیل افزایش مقدار فلزهای خاک در بخش سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی است. نبودن اختلاف معنی‌دار در مقدار فلزهای کروم، منگنز، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک می‌تواند دلیلی بر این باشد که فعالیت‌های انسانی بر پراکنش آلودگی بی‌تأثیر بوده است. مقایسه میانگین مقدار فلزهای سنگین خاک دو لایه‌ی ۰-۲۰ سانتی‌متری و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری زمین‌های آبیاری‌شده با فاضلاب نشان داد که به‌جز دو فلز نیکل و کبالت، میانگین مقدار کل فلزهای سنگین در خاک‌های سطحی بیش‌تر از خاک‌های عمقی‌تر است. درحالی‌که مقایسه آماری نشان داد که مقدار کل فلزهای سنگین، روی و سرب به طور معنی‌داری در دو عمق خاک زمین‌های آبیاری‌شده با فاضلاب دارای اختلاف معنی‌دار است و دارای میانگین مقدار بیش‌تری است. دلیل آلودگی خاک در بخش سطحی افزایش فعالیت‌های انسانی و آبیاری با فاضلاب می‌باشد. نبودن اختلاف معنی‌دار در مقدار فلزهای کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم و آرسنیک می‌تواند دلیلی بر این باشد که فعالیت‌های انسانی و آبیاری بر پراکنش آلودگی بی‌تأثیر بوده است. با توجه به داده‌های مطالعه‌ی حاضر پیشنهاد می‌گردد تا در صورت امکان از ورود فاضلاب‌های شهری به مسیل‌های آب‌سراب‌های هرسین جلوگیری شود و یا در حد امکان این پساب‌های پس از تصفیه به آب‌های سراب هرسین اضافه شود.

### منابع

بیگی هرچگانی، ح و بنی طالبی، گ. ۱۳۹۲. اثر بیست‌وسه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین

- Heavy metal content in soils under different wastewater irrigation patterns in Chihuahua, Mexico. *International journal of environmental research and public health*. 5: 441-449.
- Mapanda, F., Mangwayana, E., Nyamangara, J., Giller, K. 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 107: 151-165.
- Moretti, M., Van Passel, S., Camposeo, S., Pedrero, F., Dogot, T., Lebailly, P., & Vivaldi, G. A. 2019. Modelling environmental impacts of treated municipal wastewater reuse for tree crops irrigation in the Mediterranean coastal region. *Science of the Total Environment*, 660: 1513-1521.
- Qureshi, A.S., Hussain, M.I., Ismail, S., Khan, Q.M. 2016. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater. *Chemosphere*. 163: 54-61.
- Rattan, R., Datta, S., Chhonkar, P., Suribabu, K., Singh, A. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, ecosystems & environment*. 109, 310-322.
- Singh, A., Agrawal, M. 2010. Effects of municipal waste water irrigation on availability of heavy metals and morpho-physiological characteristics of *Beta vulgaris* L. *Journal of Environmental Biology*. 31, 727.
- Webster, R., & Oliver, M. A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons.
- Yazdani, A., Saffari, M., Ranjbar, G.H. 2017. Effects of irrigation with treated wastewater on yield and grain heavy metals content of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19.
- Zeid, I., Ghazi, S., Nabawy, D. 2013. Alleviation of heavy metals toxicity in waste water used for plant irrigation. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4: 976-983.
- potential toxic metals accumulation in wheat irrigated with wastewater. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102: 822-828.
- Atteia, O., Dubois, J.-P., Webster, R. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. *Environmental Pollution*. 86: 315-327.
- Elbana, T.A., Ramadan, M.A., Gaber, H.M., Bahnassy, M.H., Kishk, F.M., Selim, H. 2013. Heavy metals accumulation and spatial distribution in long term wastewater irrigated soils. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1: 925-933.
- Flores-Magdaleno, H., Mancilla-Villa, O.R., Mejía-Saenz, E., Olmedo-Bolantilde, M.D.C., Bautista-Olivas, A.L. 2011. Heavy metals in agricultural soils and irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. *African journal of agricultural research*. 6: 5505-5511.
- Kapungwe, E.M. 2013. Heavy metal contaminated water, soils and crops in peri urban wastewater irrigation farming in Mufulira and Kafue towns in Zambia. *Journal of Geography and Geology*. 5: 55.
- Khosravi, Y., Abbasi, E. 2016. Spatial Analysis of Environmental Data with Geostatistics, AzarKelk, Zanjan. (In Persian).
- Khosravi, Y., Zamani, A.A., Parizanganeh, A.H., Yaftian, M.R. 2018. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Regional*. 12: 10-17.
- Liu, W.-h., Zhao, J.-z., Ouyang, Z.-y., Söderlund, L., Liu, G.-h. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*. 31: 805-812.
- Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*. 4: 315-328.
- Maldonado, V., Rubio Arias, H., Quintana, R., Saucedo, R., Gutierrez, M., Ortega, J., Nevarez, G. 2008.

## Study of the Effect of Irrigation with Urban Wastewater on the Concentration of Heavy Metals in Surface Soils of the Southern Parts of Harsin, Kermanshah

Y. Khosravi<sup>\*1</sup>, A. A. Zamani<sup>2</sup>, A. Pari Zanganeh<sup>3</sup>, F. Nouri<sup>4</sup>

Recived: Jul.07, 2019

Accepted: Agu.09, 2019

### Abstract

In the present work heavy metal contamination of soil in Harsin city and its-Kermanshah was investigated. 37 soil samples were collected from two depths 0-20 and 20-40 cm from cultivated lands in southern area of Harsin city. 15 and 22 sampling stations are located in irrigated fields with sewage and fields without sewage, respectively. Also, soil texture, percentage of gravel, silt and clay components were determined by hydrometric method. Total concentration and bioavailable detection of heavy metals: chromium, manganese, iron, cobalt, copper, zinc, cadmium, lead and arsenic, in soil samples were determined by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES) method. results showed that the total content of heavy metals in soil were significantly different in the two sampling depths. Wastewater irrigation on soil properties and the amount of total and soluble heavy metals is affective. According to the statistical analysis, two irrigation factors with sewage and geochemistry of the study area were identified as essential factors on the increasing amount of heavy metals.

**Keywords:** Soil Pollution, Heavy Metals, Urban Wastewater, Harsin

1- Assistant Professor of Environmental Sciences, Faculty of Sciences. University of Zanjan

2- Associate Professor of Environmental Science, Faculty of Science. University of Zanjan

3- Professor of Environmental Science, Faculty of Science. University of Zanjan

4- Master of Environmental Science, Faculty of Science. University of Zanjan

(\*- Corresponding Author Email: Khosravi@znu.ac.ir.)