

## برآورد غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک منطقه لنجان با استفاده از

### اندازه‌گیری زمینی و تصاویر ماهواره‌ای

امیرمنصور انصاری<sup>۱\*</sup>، ایتین راهنورد<sup>۲</sup>، فرزاد سواد کوهی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۳- دانش‌آموخته علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، خوراسگان.

\* ایمیل نویسنده مسئول: amiransary73@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۵

#### چکیده

فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده بیشتر مورد توجه هستند. در این مطالعه به منظور بررسی آلودگی خاک اطراف ذوب آهن و نیز بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای در برآورد غلظت فلزات سنگین انجام گرفت. نمونه برداری خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی متری به صورت مرکب انجام گرفت. از دستگاه جذب اتمی جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین، از نرم‌افزار SPSS 23 جهت آنالیزهای آماری و از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و نرم‌افزار ArcGIS 10.5 جهت سنجش و پهنه‌بندی کادمیوم و سرب در خاک منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد بین غلظت سرب و باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک همبستگی منفی وجود دارد ولی بین غلظت کادمیوم و ارزش رقمی باندها همبستگی مشاهده نشد. از بین ۲۰ منطقه‌ی مورد بررسی، بیشترین میزان آلودگی سرب و کادمیوم خاک در ایستگاه ۱ واقع در نزدیکی کارخانه ذوب آهن مشاهده شد.

#### کلمات کلیدی

"سرب"، "لنجان"، "کادمیوم"، "لندست ۸"، "آلودگی خاک"

## Estimation of Pb and Cadmium Heavy Metals Concentrations in Lenjan Soil Using Ground Measurement and Satellite Imaging

AmirMasor Ansari<sup>1,\*</sup>, Aptin Rahnvard<sup>2</sup>, Farzad Savadkouhi<sup>2</sup>

1. PhD Student, Faculty of Environment, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Environment, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Iran

3. Graduate Faculty of Environment, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Iran

\*Email Address: amiransary73@yahoo.com

#### Abstract

Among the various environmental pollutants, heavy metals are the most important due to their non-degradability and physiological effects on living organisms. In this study, in order to investigate the soil contamination around Zobahan and also to evaluate the efficiency of satellite images in estimating the concentration of heavy metals. Soil sampling was performed from a depth of 0-20 cm in a combined manner. Atomic absorption spectrometer was used to measure heavy metals, SPSS 23 software was used for statistical analysis and Landsat 8 satellite OLI sensor images and ArcGIS 10.5 software were used to measure and zoning cadmium and lead in the study area. The results showed that there was a negative correlation between the concentration of lead and visible and infrared bands, but no correlation was observed between the concentration of cadmium and the digital value of the bands. Among the 20 areas studied, the highest amount of lead and cadmium contamination was observed in station 1 located near the steel plant.

#### Keywords

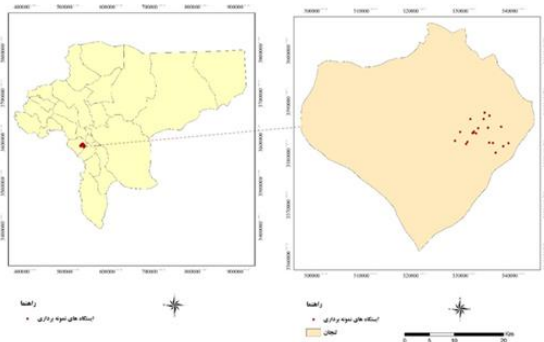
"lead", "Lenjan", "cadmium", "Landsat 8", "Soil pollution"

تعیین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مختلف خاک مانند میزان رطوبت، مواد آلی و معدنی کاربرد دارند که میتوانند به صورت مؤثری در بررسی آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین نیز سودمند واقع شوند (Gannouni et al. 2012). برای نظارت بر آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم اطلاعات دقیق و در مقیاس بزرگ مورد نیاز است، از این رو می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده استفاده کرد داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند مشاهدات سینوپتیک موقت و فضایی فرایندهای کشاورزی و اکوسیستمی را فراهم کند (Liu et al. 2018). کوئسترا و همکاران امکان استفاده از امواج مرئی و مادون قرمز را برای بررسی آلودگی فلزات سنگین در دشتهای سیالی مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعه آنها نشان داد امواج منعکس شده از این نواحی در تعیین غلظت عناصر سنگین بسیار کارآمد بوده است. آنها نتیجه گرفتند استفاده از مدل‌های آماری و طیف سنجی میتواند روشی مؤثر برای تعیین ویژگی های خاک باشد و در جهت تعیین غلظت عناصر سنگین توصیه نمودند (Kooistra et al. 2001). از آنجا که، شهر لنجان دارای صنایع متعددی از قبیل ذوب آهن است، در نتیجه آلودگی صنعتی و آلودگی فلزات سنگین بالایی را دارا می‌باشد. هدف کلی از انجام این تحقیق برآورد غلظت عناصر سنگین در خاک منطقه لنجان با استفاده از نمونه برداری زمینی، اندازه‌گیری آزمایشگاهی، تکنولوژی RS و GIS، زمین آمار، و ارزیابی همبستگی داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیری زمینی دنبال میگردد.

## ۲- روش انجام تحقیق

### • محدوده مورد مطالعه

شهرستان لنجان در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان و در دره‌ی زاینده رود واقع شده است. این شهرستان با مساحت ۱۱۷۲ کیلومتر مربع بین ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع نسبی آن از سطح دریا ۲۲۷۰ متر است و دارای آب و هوایی متغیر که همواره تحت تأثیر ناحیه نیمه خشک مرکزی و نیمه مرطوب چهارمحال و بختیاری قرار می‌گیرد. کارخانه ذوب آهن از بزرگ‌ترین صنایع این شهرستان است. کارخانه صنایع دفاع، کارخانه نوید منگنز، کارخانه سیمان سپاهان دیزپچه و زرین خودرو از جمله صنایع این منطقه‌اند.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

خاک یکی از منابع طبیعی و شاید مهم‌ترین زیربنای تمدن هر کشور است. در واقع مسیر پیشرفت هر جامعه را اصول و چگونگی بهره‌برداری از خاک تعیین می‌کند، به ویژه در منطقه آب و هوای خشک و نیمه‌خشک که در طول تاریخ فرهنگ آن وابسته به تولیدات کشاورزی بر اساس خاک حاصل‌خیز بوده است (Metternicht & Zinck 2008). خاک مهم‌ترین مخزن فلزات سنگین در اکوسیستم زمینی است و محتوای فلزات سنگین در خاک یک شاخص مهم برای کیفیت محیط است. فلزات سنگین به طور طبیعی از فرایندهایی مانند واکنش-های شیمیایی و هوا دیدگی مواد واقع در پوسته‌ی زمین ناشی می‌شوند در کنار این منابع طبیعی، فعالیت‌های انسانی شامل کاربرد مواد شیمیایی کشاورزی، کودهای حیوانی و شیمیایی، لجن فاضلاب و همچنین فعالیت‌های صنعتی از قبیل معادن و کارخانه ذوب فلز نیز می‌تواند باعث ورود فلزات سنگین به خاک شود (Y. Liu et al. 2011). آلودگی توسط فلزات سنگین باعث تجمع قابل توجه عناصر دارای پتانسیل سمیت در خاک های سطحی اطراف مکان های صنعتی شود. این عناصر در دراز مدت با افزایش غلظت در خاک جذب گیاه شده و در اندام های مختلف آن تجمع می یابند. بنابر این ممکن است از طریق جذب توسط گیاهان، سطوح بالاتر بوم سازگان خشکی در معرض فلزات سنگین قرار بگیرند (Deram et al. 2006). در بین فلزات سنگین سرب و کادمیوم از جمله فلزات سمی و از مهم‌ترین آلاینده های محیطی در طبیعت به شمار می‌روند. از ویژگی های بارز فلزات سنگین، پایداری آنهاست و مانند اغلب مواد آلی طی فرایندهای زیستی و شیمیایی تجزیه نمی‌شوند و در نتیجه با تغلیظ و تجمع این فلزات در مواد غذایی و محیط زیست باعث صدمات مهم و جبران ناپذیری می‌گردند (Mohammadnia et al. 2019). مصرف مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین می‌تواند به طور جدی برخی از مواد مغذی ضروری بدن را از بین ببرد، موجب کاهش ضایعات ایمنی بدن، اختلال در رفتار روان شناختی و سوء تغذیه و سرطان دستگاه گوارش شود (Mao et al. 2019). امروزه طیف وسیعی از روش های گوناگون برای مشخص کردن آلودگی خاک وجود دارد. در تمام این روش ها تلاش این است که بر اساس مقایسه مناطق، تحلیل های آماری و استفاده از غلظت مرجع میزان آلودگی مشخص شود. یکی از روش های تشخیص آلودگی خاک استفاده از تکنولوژی سنجش از راه دور است. تکنولوژی سنجش از دور در مقایسه با روش های اندازه گیری زمینی یکی روش موثرتر برای مطالعه ی و بررسی فلزات سنگین در خاک و زمین های کشاورزی است (Wu et al. 2009). امواج مرئی و مادون قرمز بخشی از امواج الکترومغناطیس تصاویر ماهواره ای هستند که برای تعیین ویژگی های کمی و کیفی پارامترهای مربوط به آب، خاک و گیاه استفاده می شود همچنین برای

### • انتخاب نقاط نمونه برداری

به کمک اطلاعات بدست آمده از نقشه ها، تصاویر رنگی و اطلاعات آماری از منطقه نقاط نمونه برداری انتخاب شد. نمونه برداری از خاک از ۲۰ نقطه با پراکنش مناسب در منطقه لنجان به صورت تصادفی در بهار ۱۳۹۷ انجام شد. بدین ترتیب که از خاک سطحی در عمق ۲۰-۰ سانتی متری نمونه جمع آوری گردید. سپس نمونه های خاک در کیسه های پلاستیکی جهت انتقال به آزمایشگاه ذخیره، و به آزمایشگاه منتقل شدند موقعیت هر یک از نقاط توسط دستگاه GPS ثبت شد.

### • روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

نمونه ها در آزمایشگاه ابتدا به مدت چند روز در دمای اتاق (۲۴-۲۵) درجه ی سانتی گراد قرار گرفتند پس از خشک شدن نمونه ها، خرد شده و از آلك ۲ میلی متری عبور داده شدند. در مرحله ی بعدی خاک آلك شده از مرحله ی قبل به صورت مکانیکی آسیاب شده تا ذرات خاک ریزتر شوند. یک گرم از خاک مورد نظر را وزن کرده به آن ۱۰ میلی-لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۳ به ۱ اضافه کرده سپس این مخلوط به مدت ۲۴ ساعت باقی ماند. بعد از آن نمونه ها روی هیتر در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. هضم خاک تا زمان بی رنگ شدن نمونه ها و خروج بخار قهوه ای رنگ از ظرف ادامه یافت. پس از آن نمونه ها خنک شده و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و در بالن ۵۰ میلی لیتر به حجم رسانده شدند. پس از آماده کردن نمونه ها، غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم با سه تکرار در محلول های تهیه شده با دستگاه جذب اتمی پریکن-المر مدل ۳۰۳۰ (Cabrera et al. 2008) قرائت شد.

### • آنالیز های آماری

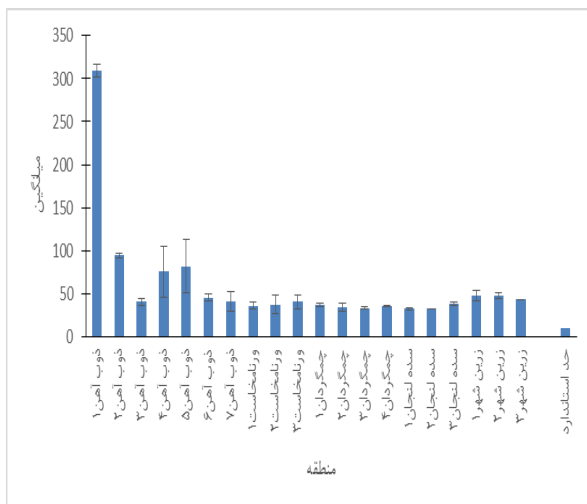
در تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزارهای اکسل و SPSS به منظور تهیه نمودارها و انجام آنالیزهای آماری استفاده شد و همچنین جهت مقایسه میانگین ها از آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد در نرم افزار SPSS استفاده گردید. رابطه همبستگی بین غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در نمونه ها با ارزش های رقومی نقاط نظیر بر روی باندهای تصویر ماهواره ای مورد بررسی قرار گرفت و مناسب ترین مدل رگرسیون برای پیش بینی غلظت فلزات سنگین به وسیله باندهای تصاویر ماهواره ای برآزش گردید. ارزش رقومی بازتاب نقاط در باندهای تصویر ماهواره ای به عنوان متغیر مستقل و غلظت فلزات سنگین به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و رابطه رگرسیونی بین این دو متغیر تعیین گردید.

### ۳- نتایج

#### غلظت سرب در خاک مناطق مختلف و مقایسه آن با حد

##### استاندارد

براساس نتایج تحقیق از بین ۲۰ منطقه ی مورد بررسی بیشترین میزان آلودگی سرب خاک مربوط به منطقه ی ذوب آهن ۱ (۳۰۹/۰۰ mg/kg) و کمترین آن مربوط به منطقه سده لنجان ۱ (۳۲/۰۰ mg/kg) بوده است. از نظر میزان آلودگی سرب میانگین مقدار مشاهده شده سرب در خاک، در تمامی مناطق بیشتر از حد استاندارد بود (شکل ۲). براساس نتایج آزمون تی تک نمونه ای میانگین مقدار سرب خاک در تمام مناطق بطور معناداری بیشتر از حد استاندارد بود.

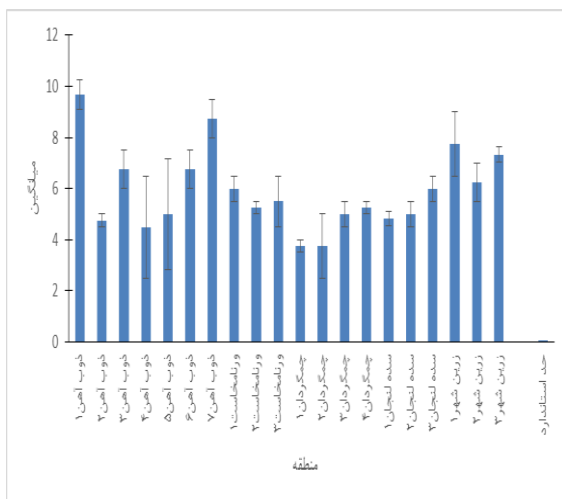


شکل ۲- میانگین مقدار فلز سنگین سرب خاک در مناطق مختلف

#### غلظت کادمیوم در خاک مناطق مختلف و مقایسه آن با حد

##### استاندارد

از بین ۲۰ منطقه ی مورد بررسی بیشترین میزان آلودگی کادمیوم خاک مربوط به منطقه ی ذوب آهن ۱ (۹/۶۷ mg/kg) و کمترین آن مربوط به منطقه چمگردان ۱ (۳/۷۵ mg/kg) بوده است. از نظر میزان آلودگی کادمیوم میانگین مقدار مشاهده شده کادمیوم در خاک در تمامی مناطق بیشتر از حد استاندارد بود. براساس نتایج آزمون تی تک نمونه ای میانگین مقدار کادمیوم خاک تنها در منطقه ذوب آهن ۴ تفاوت معناداری با حد استاندارد نداشت (p=۰/۰۶۱) و در سایر مناطق بطور معناداری بیشتر از حد استاندارد بود (شکل ۳).



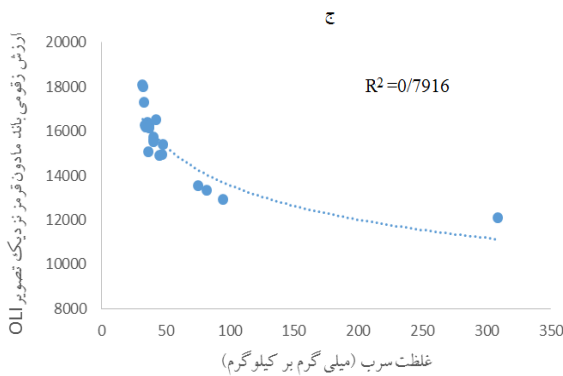
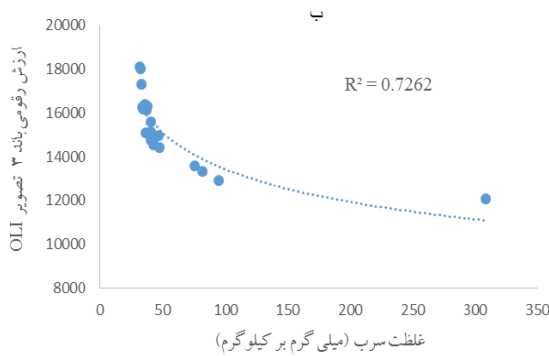
شکل ۳- میانگین مقدار فلز سنگین کادمیوم خاک در مناطق مختلف

#### مقایسه میزان فلز سنگین سرب خاک بین ایستگاه های

##### نمونه برداری مختلف

جهت مقایسه میانگین میزان فلز سنگین سرب در خاک مناطق مختلف شهر اصفهان از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد و بر اساس نتایج این آزمون اختلاف معناداری بین میانگین سرب در خاک ۲۰ منطقه ی مورد بررسی مشاهده شد (p<۰/۰۰۱).

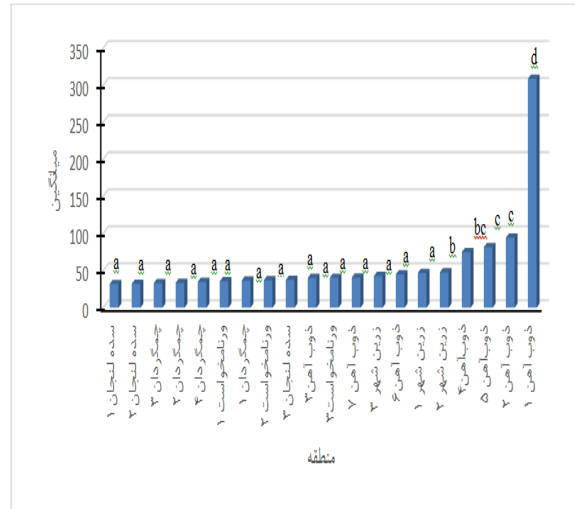
ماهواره‌های OLI در شکل‌های ۵ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین غلظت سرب و باند ۲ (باند آبی) همبستگی نسبتاً بالا با میزان  $R^2 = 0/81$  مشاهده می‌شود. باند ۳ (سبز) با غلظت سرب دارای همبستگی حدود  $R^2 = 0/73$  و باند مادون قرمز با غلظت سرب دارای همبستگی  $R^2 = 0/79$  را نشان داد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سرب، ارزش رقومی باندهای مرئی و مادون قرمز کاهش می‌یابد.



شکل ۵- همبستگی غلظت سرب اندازه گیری شده با ارزش رقومی باند ۲ (الف)، باند ۳ (ب) و باند مادون قرمز (ج) تصویر لندست ۸ OLI

همچنین نتایج آنالیز همبستگی بین غلظت کادمیوم حاصل از اندازه‌گیری آزمایشگاهی و ارزش رقومی باندهای تصویر ماهواره-ای OLI در شکل‌های ۶ (الف، ب و ج) نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده همبستگی پایین غلظت کادمیوم با باندهای مرئی و مادون قرمز تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ OLI است.

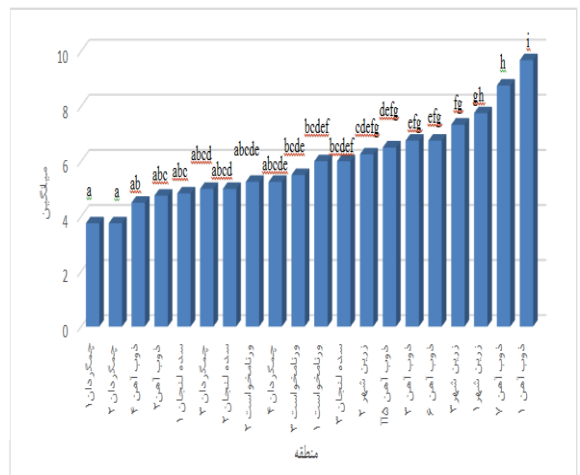
بر اساس نتایج شکل ۴، میانگین مقدار سرب در مناطق ذوب‌آهن ۱، ۲، ۴ و ۵ بطور معناداری بیشتر از سایر مناطق بود. در این نمودار، مناطقی که میزان سرب خاک در آن‌ها اختلاف معنادار دارد با حروف متفاوت و مناطق بدون تفاوت معنادار با حروف یکسان مشخص شده‌اند.



شکل ۴- مقایسه میزان فلز سنگین سرب خاک بین ایستگاه‌های مختلف

### مقایسه میزان فلز سنگین کادمیوم خاک بین ایستگاه‌های نمونه برداری مختلف

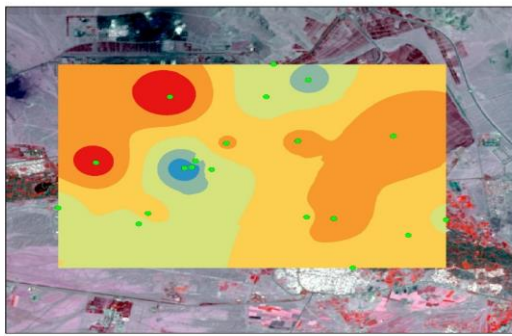
بمنظور مقایسه میانگین میزان فلز سنگین کادمیوم در خاک مناطق مختلف شهر اصفهان از آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد و بر اساس نتایج این آزمون اختلاف معناداری بین میانگین کادمیوم در خاک ۲۰ منطقه‌ی مورد بررسی مشاهده شد ( $P < 0/001$ ). بر اساس نتایج شکل ۴، میانگین مقدار کادمیوم در مناطق ذوب‌آهن ۱ و ۷ به طور معناداری بیشتر از سایر مناطق بود. در شکل ۴، مناطقی که میزان کادمیوم خاک در آن‌ها اختلاف معنادار دارد با حروف متفاوت و مناطق بدون تفاوت معنادار با حروف یکسان مشخص شده‌اند.



شکل ۴- مقایسه میزان فلز سنگین کادمیوم خاک بین ایستگاه‌های مختلف

### برآورد غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم با استفاده از تصویر ماهواره ای

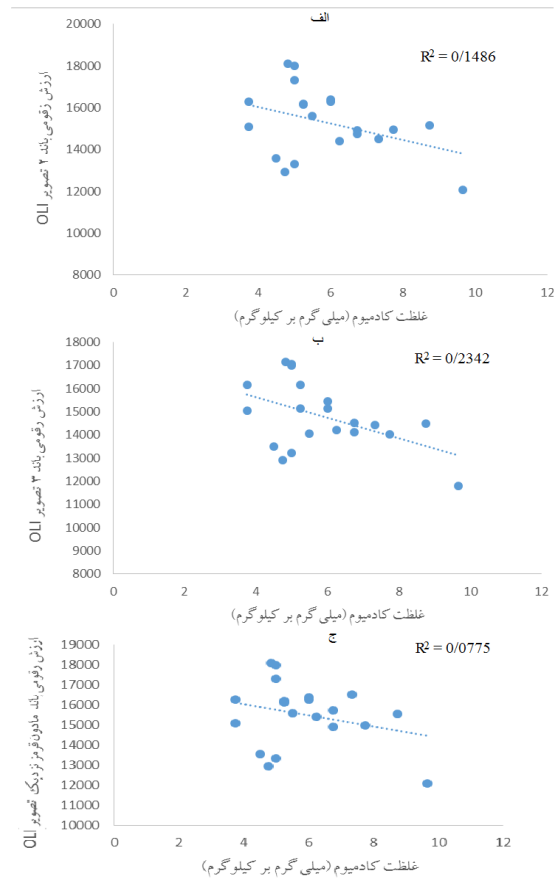
نتایج آنالیز همبستگی و رگرسیون بین غلظت سرب حاصل از اندازه-گیری آزمایشگاهی و ارزش رقومی باندهای مرئی و مادون قرمز تصویر



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی غلظت کادمیوم در خاک

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

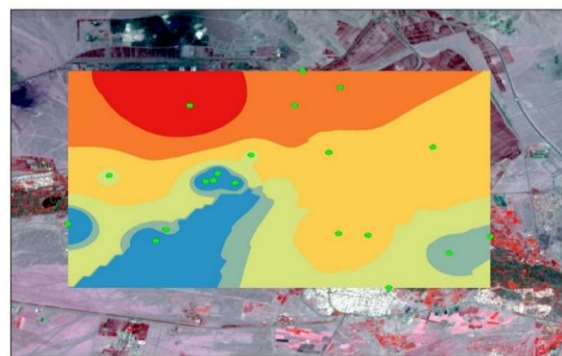
فلزات سنگین به سبب رشد صنعتی شدن و شهرنشینی از راه‌های مختلف نظیر گیاه، آب و خاک در حال وارد شدن به زنجیره‌ی غذایی انسان می‌باشد. سرب و کادمیوم از جمله فلزاتی هستند که دارای فعالیت شیمیایی بالا در خاک هستند که منجر به جذب آسان به وسیله گیاهان و در نتیجه تهدید برای سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی می‌شود. از این رو ارزیابی و کمی کردن آلودگی خاک به فلزات سنگین و اطلاع از توزیع مکانی آنها دارای اهمیت است ( Zhang et al. 2019). نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، میانگین غلظت سرب و کادمیوم در نمونه خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از میانگین خاک‌های دنیا است. بالاترین غلظت سرب و کادمیوم در ایستگاه واقع در ذوب آهن مشاهده شد که دلیل آن فعالیت‌های صنعتی می‌باشد و در برخی مناطق اطراف جاده غلظت بالاست. قابل ذکر است که یکی از منابع اصلی انتشار سرب، احتراق بنزین توسط وسایل نقلیه است (Atabaki & Lotfi 2018). همچنین رابطه مستقیم بین میزان سرب وارد شده به محیط زیست با حجم ترافیک وجود دارد و بیشترین میزان کادمیوم در کاربری شهری و صنعتی است ( Matkan et al. 2009). گودرزی و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای که در کانادا انجام دادند بیان کردند عامل اصلی آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه ذوب فلزات، دود خروجی دودکش‌ها و محل تخلیه سرباره‌های صنعتی می‌باشد. آنها بیان نمودند این سرباره‌ها حدود ۷۰ درصد سرب و روی دارند که باعث آلودگی منابع خاک و آب می‌شوند ( Goodarzi et al. 2002). تحقیقات نشان داد که داده‌های ماهواره لندست ۸ را می‌توان برای استخراج و تهیه نقشه غلظت فلزات سنگین به خوبی مورد استفاده قرار داد (Fang et al. 2018). علاوه بر این، سنجش از دور توانایی بررسی اطلاعات نقطه‌ای یا گسترده در یک زمان خاص یا به صورت سری زمانی را دارد که هم امکان مطالعه و بررسی نقاط آلوده در یک زمان مشخص را فراهم می‌آورد و هم می‌توان با استفاده از آن روند تغییرات آلودگی را در طول زمان تعیین نمود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج مطالعات عباسی و همکاران با نمونه برداری از تصاویر سنتینل ۲ و نتایج مطالعه لیو و همکاران با روش طیف سنجی در رابطه با ارتباط میان غلظت فلزات سنگین و میزان بازتاب اندازه-



شکل ۶- همبستگی غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شده با ارزش رقوم باند ۲ (الف)، باند ۳ (ب) و باند مادون قرمز (ج) تصویر لندست ۸ OLI

#### پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم

شکل‌های (۷) و (۸) نقشه‌های حاصل از پهنه بندی غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی غلظت سرب در خاک

نقشه‌های ذیل با استفاده از روش درون یابی و پهنه‌بندی وزن دهی معکوس فاصله تهیه شده است که هر یک بیانگر میزان آلودگی فلزات سنگین بیان شده در منطقه مورد بررسی می‌باشد.

است. استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند بر محدودیت‌های ناشی از روش‌های سنتی برای پایش و نظارت بر آلودگی خاک که عموماً زمان بر و پرهزینه می‌باشد غلبه کرده و به عنوان یک روش مناسب پایش کیفیت خاک با امکان نمایش نتایج در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف استفاده شود. دوره بازگشت مناسب، قدرت تفکیک مکانی بالا، نظارت بی وقفه و برداشت و گردآوری اطلاعات در مقیاس وسیع از جمله مزایایی است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دارد. با توجه به افزایش روزافزون قابلیت‌های مختلف رادیومتری، طیفی، زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای و توسعه روش‌های پردازش تصاویر می‌توان از استفاده از سنجش از دور به عنوان یک روش جدید و مؤثر نظارت بر کیفیت خاک یاد کرد.

گیری شده نیز نشان داد که با افزایش غلظت فلز سنگین، میزان بازتاب در بخش مرئی و مادون قرمز کاهش می‌یابد (M. Liu et al., 2011)، که با نتایج اسن مطالعه همخوانی دارد. نتایج مطالعه دیانی و همکاران (۱۳۸۹) با هدف پهنه بندی غلظت سرب، روی و کادمیوم در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره لندست +ETM در جنوب شهرستان اصفهان نشان داد که همبستگی منفی و معنی داری بین غلظت عناصر سنگین و اطلاعات طیفی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک وجود دارد و امکان پهنه بندی آلاینده‌ها به کمک این باندها وجود دارد. آنها در مطالعه خود که با استفاده از داده‌های ماهواره لندست +ETM در جنوب شهرستان اصفهان انجام شده بود به پتانسیل قابل توجه تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه‌های آلودگی فلزات سنگین اشاره کرده اند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در محدوده اطراف ذوب آهن مشاهده شد که با توجه به شرایط محدوده صنعتی و جهت باد غالب کاملاً قابل توجیه

### منابع

- عباسی، یاسر، میرزایی اصلی، فرهاد، سهرابی، تیمور. (۱۳۹۷). 'پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در اراضی آبیاری شده با پساب شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲، مدیریت آب و آبیاری، ۱۸(۱)، ص ۱۱۳-۱۲۹.
- دیانی م، نادری م، محمدی ج. ۱۳۸۹. پهنه بندی غلظت سرب، روی و کادمیوم در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره لندست +ETM در جنوب شهرستان اصفهان. نشریه آب و خاک، ۲۴(۲): ۲۹۶-۲۸۶.
- Abbasi, Y., Mirzaei F, Sohrabi T. 2018. Distribution of heavy metals lead, copper and nickel in irrigated lands with wastewater in Tehran using Sentinel satellite data 2. *Water and Irrigation Management*, 8 (1): 129-113.
- Atabaki, M.R. & Lotfi, A., 2018. Investigation of heavy metal soil concentration (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396. *Journal of Research in Environmental Health*, 4(1), pp.23-35.
- Cabrera, F. et al., 2008. Mercury and other trace elements in soils affected by the mine tailing spill in Aznalcollar (SW Spain). *Science of the Total Environment*, 390(2-3), pp.311-322.
- Deram, A. et al., 2006. Seasonal variations of cadmium and zinc in *Arrhenatherum elatius*, a perennial grass species from highly contaminated soils. *Environmental Pollution*, 140(1), pp.62-70.
- Fang, Y. et al., 2018. RETRIEVAL AND MAPPING OF HEAVY METAL CONCENTRATION IN SOIL USING TIME SERIES LANDSAT 8 IMAGERY. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(3).
- Gannouni, S., Rebai, N. & Abdeljaoued, S., 2012. A spectroscopic approach to assess heavy metals contents of the mine waste of Jalta and Bougrine in the north of Tunisia.
- Goodarzi, F. et al., 2002. Sources of lead and zinc associated with metal smelting activities in the Trail area, British Columbia, Canada. *Journal of Environmental Monitoring*, 4(3), pp.400-407.
- Kooistra, L. et al., 2001. Possibilities of visible-near-infrared spectroscopy for the assessment of soil contamination in river floodplains. *Analytica Chimica Acta*, 446(1-2), pp.97-105.
- Liu, M. et al., 2018. Heavy metal-induced stress in rice crops detected using multi-temporal Sentinel-2 satellite images. *Science of the total environment*, 637, pp.18-29.
- Liu, M. et al., 2011. Monitoring stress levels on rice with heavy metal pollution from hyperspectral reflectance data using wavelet-fractal analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(2), pp.246-255.
- Liu, Y. et al., 2011. Feasibility of estimating heavy metal contaminations in floodplain soils using laboratory-based hyperspectral data—A case study along Le'an River, China. *Geo-spatial Information Science*, 14(1), pp.10-16.
- Mao, C. et al., 2019. Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. *Catena*, 175, pp.339-348.
- Matkan, A.A. et al., 2009. Using RS and GIS for considering cadmium distribution and polluted vegetation in Esfahan province.
- Metternicht, G. & Zinck, A., 2008. Remote sensing of soil salinization: Impact on land

management, CRC Press.

- Mohammadnia, E., Hadavifar, M. & Veisi, H., 2019. Kinetics and thermodynamics of mercury adsorption onto thiolated graphene oxide nanoparticles. *Polyhedron*, 173, p.114139. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277538719305753>.
- Wu, D.W., Wu, Y.Z. & Ma, H.R., 2009. Review on remote sensing monitoring on contaminated plant. *Remote Sen. Technol. Appl*, 24(2), pp.238-245.
- Zhang, Q. et al., 2019. Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports*, 9(1), pp.1-8.