



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷  
صفحه‌های ۱۱۳-۱۲۹

### پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در اراضی آبیاری شده با پساب شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲

یاسر عباسی<sup>۱</sup>، فرهاد میرزایی<sup>۲\*</sup>، تیمور سهرابی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۲

#### چکیده

آلودگی فلزات سنگین اراضی آبیاری شده با پساب یکی از مشکلات استفاده از آن است. پایش آلودگی در محدوده وسیع نیازمند اندازه‌گیری‌های متعدد آزمایشگاهی است که اغلب پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. در این تحقیق از تصویر ماهواره سنتینل ۲ به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین حاصل از کاربرد پساب در خاک‌های اراضی جنوب شهر تهران استفاده شد. تعداد ۳۰ نمونه خاک از اراضی منطقه مورد مطالعه برداشت شد و غلظت عناصر سنگین سرب، نیکل و مس به کمک دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. سپس ارتباط بین غلظت عناصر سنگین اندازه‌گیری شده و بازتاب در باندها یا نسبت‌های باندهای مختلف در نقاط متناظر نمونه‌برداری به کمک روش گام به گام به دست آمد. با اعمال روابط به دست آمده روی تصویر ماهواره‌ای، عناصر سرب، مس و نیکل در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شد. همچنین کارایی هر یک روابط به دست آمده با استفاده از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (R) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آن نشان داد مقدار RMSE برای معادلات تخمین سرب، مس و نیکل به ترتیب ۱/۹۰، ۲/۵۴ و ۱/۵۹ پی پی ام و مقدار R برابر ۰/۸۱، ۰/۷۵ و ۰/۷۳ بود که نشان‌دهنده انطباق بین مقادیر تخمینی توسط مدل‌ها و مقدار اندازه‌گیری شده است.

**کلیدواژه‌ها:** بازتاب، باند، پهنه‌بندی، تصویر ماهواره‌ای، روش گام به گام، غلظت عناصر.

## مقدمه

در مطالعه فلزات سنگین، اطلاع از مقدار آنها در محیط خاک، آب و گیاه، ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت انتقال آنها در خاک و همچنین وجود آنها در چرخه غذایی، به منظور حفظ سلامت انسان‌ها ضروری می‌باشد. فلزات سنگین می‌توانند ناشی از عوامل مختلف باشند. منشأ فلزات سنگین عوامل طبیعی مانند هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌های معدنی و یا در نتیجه فعالیت‌های انسان مثل استفاده از پساب‌های شهری، زباله‌ها، زهکش حاصل از نواحی کشاورزی و صنعتی می‌باشد (۲۲) که به عنوان یک عامل مؤثر در تعیین کیفیت آب و محصولات کشاورزی و در نتیجه در سلامت انسان تلقی می‌شود (۸).

امروزه استفاده مجدد از پساب شهری و حتی صنعتی برای آبیاری یکی از اقدامات معمول در فعالیت‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد که این امر به علت کمبود منابع آب سالم در مناطق مذکور است (۵). از طرفی مطالعات مختلف نشان داده است استفاده از پساب برای آبیاری موجب انباشت فلزات سنگین در خاک می‌شود که از اثرات منفی این عناصر در خاک شامل کاهش کمیت و کیفیت محصولات می‌باشد (۱۳، ۱۸، ۲۰). یکی از چالش‌های مهم در بررسی توزیع فلزات سنگین، روش اندازه‌گیری آنها می‌باشد. استفاده از روش‌های معمول جمع‌آوری نمونه‌ها و آنالیز آنها در آزمایشگاه نه تنها کاری پرهزینه، طاقت‌فرسا و زمان‌بر می‌باشد، گاهی تعمیر نتایج به نواحی وسیع مقدر نمی‌باشد (۹ و ۲۲). از نظر اجرایی نیز روش‌های معمول تعیین آلودگی فلزات سنگین نیازمند استفاده از مواد شیمیایی قوی (مثل اسیدها) و دستگاه‌های گران‌قیمت مثل دستگاه جذب اتمی می‌باشد که خود فرایندی زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. این درحالی است که گاهی نیاز به اندازه‌گیری مکرر و پیوسته فلزات سنگین به منظور پایش

آلودگی آنها در محیط می‌باشد. سنجش از دور یکی از راه‌هایی است که می‌تواند راه‌حلی مقرون به صرفه و سریع برای بررسی توزیع فلزات سنگین در مقیاسی وسیع با استفاده از تکنیک‌های طیف‌سنجی ارائه نماید (۱۴). این روش با استفاده از سنجنده‌های تعبیه‌شده در ماهواره‌ها یا هواپیما و به دست آوردن اطلاعاتی از چگونگی انعکاس امواج الکترومغناطیسی از سطح زمین، امکان بررسی فلزات سنگین را فراهم می‌آورد (۱۲). علاوه بر این، سنجش از دور قابلیت بررسی اطلاعات نقطه‌ای یا گسترده در یک زمان مشخص یا به صورت سری زمانی را دارا می‌باشد که نه تنها امکان مطالعه نقاط آلوده را در یک زمان مشخص فراهم می‌آورد بلکه می‌توان روند تغییرات آلودگی را نیز در طی زمان با آن تعیین نمود.

امواج مرئی و مادون قرمز بخشی از امواج الکترومغناطیس مورد استفاده در سنجش از دور هستند که برای تعیین ویژگی‌های کیفی و کمی عوارض مانند پارامترهای مربوط به خاک، آب و گیاه استفاده می‌شوند. همچنین برای 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 (۷). کویسترا و همکاران (۱۱) امکان استفاده از امواج مرئی و مادون قرمز را برای بررسی آلودگی فلزات سنگین در دشت‌های سیلابی مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعه آنها نشان داد امواج منعکس‌شده از این نواحی در تعیین غلظت عناصر سنگین بسیار کارآمد بوده است. آنها نتیجه گرفتند استفاده از مدل‌های آماری و طیف‌سنجی می‌تواند روشی مؤثر برای تعیین ویژگی‌های خاک باشد و در جهت تعیین غلظت عناصر سنگین توصیه نمودند. وو و همکاران (۲۱) نیز روش طیف‌سنجی را برای تعیین جیوه موجود در اراضی کشاورزی نواحی

در این تحقیق از داده‌های ماهواره سنتینل ۱۲، به‌عنوان یکی از جدیدترین ماهواره‌های مورد استفاده در علوم محیطی، برای بررسی فلزات سنگین در مناطق آبیاری شده با پساب در جنوب شهر تهران استفاده شد. هدف اصلی این مطالعه این است با توجه به اینکه اغلب مطالعاتی که در زمینه بررسی فلزات سنگین با سنجش از دور صورت می‌گیرد در نواحی تحت تأثیر معدن‌کاری بوده است و مطالعات کمی در مورد مناطق تحت تأثیر آبیاری با پساب مثل جنوب شهر تهران و یا مناطق مشابه صورت گرفته است، لذا مطالعه حاضر به بررسی آلودگی فلزات سنگین در منطقه مذکور به کمک روش‌های سنجش از دور می‌پردازد. همچنین با توجه به توان تفکیک مکانی بالاتر تصویر ماهواره سنتینل ۲ (۱۰ متر) نسبت به تصویر سایر ماهواره‌هایی که در این زمینه قبلاً استفاده شده‌اند (مثل ماهواره لندست)، انتظار می‌رود بتوان نتایج بهتری در بررسی فلزات سنگین به‌دست آورد. بنابراین اهمیت موضوع عبارت است از بررسی پراکنش عناصر سنگین با استفاده از داده‌های سنتینل به‌عنوان یک روش کم‌هزینه و سریع در مقیاس وسیعی از نواحی تحت آبیاری پساب که انجام آن به‌صورت معمول یعنی جمع‌آوری نمونه و آنالیز آن در آزمایشگاه بسیار پرهزینه و طاقت‌فرسا می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

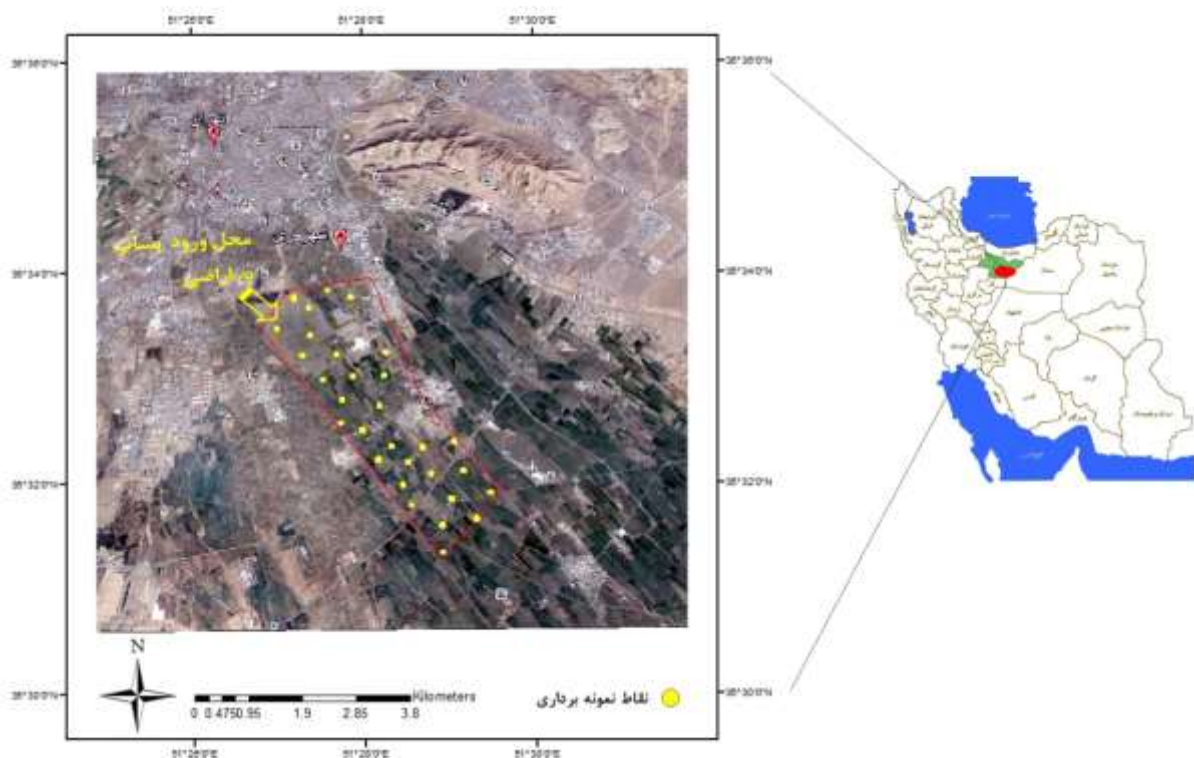
### داده‌های میدانی و آنالیز شیمیایی

مطالعه حاضر روی بخشی از اراضی واقع در جنوب شهر تهران (شهرری) به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ هکتار که با پساب شهر تهران آبیاری می‌شوند، صورت گرفت (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در محدوده مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 30'$  تا  $35^{\circ} 34'$  عرض شمالی و  $51^{\circ} 26'$

استان نازچینگ و با استفاده از امواج مرئی و مادون قرمز استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد کانی‌های رسی می‌تواند به‌عنوان یک عامل حد واسط مناسب برای تخمین غلظت جیوه موجود در خاک استفاده شود. از دیگر مطالعات مشابه می‌توان به راتان و همکاران (۱۷) اشاره نمود که روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تعیین فلزات سنگین با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی در باندهای مرئی و مادون قرمز مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که به روش غیرمستقیم و با واسط قرار دادن کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و مواد آلی می‌توان فلزات سنگین در خاک را اندازه‌گیری نمود. دیانی و همکاران (۲) نیز به بررسی پراکنش عناصر سرب، روی و کادمیم به کمک تصاویر ماهواره Landsat ETM+ پرداختند که در آن نتیجه گرفتند غلظت عناصر سرب و روی در سپاهان شهر بیش از حد مجاز بود ولی آلودگی ناشی از کادمیم مشاهده نشد. وانگ و همکاران (۲۶) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تخمین فلزات سنگین در نواحی کشاورزی به کمک روش طیف‌سنجی در محدوده امواج مرئی و مادون قرمز پرداختند. آنها از رگرسیون حداقل مربعات جزئی استفاده کردند و ماده آلی به عنوان پارامتر حد واسط بین بازتاب و غلظت عناصر سنگین در نظر گرفتند که نهایتاً یافته‌های تحقیق آنها حاکی از قابل قبول بودن مقادیر تخمین داده شده فلزات بود. از دیگر تحقیقات صورت گرفته می‌توان به مطالعات یانگ و همکاران (۲۷)، جک موند و همکاران (۲۵) و فریر (۲۴) نام برد که از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه پراکنش عناصر سنگین استفاده نمودند. به‌طورکلی از بررسی تحقیقات صورت گرفته اشاره شده و موارد مشابه می‌توان به این نتیجه رسید تکنیک‌های سنجش از دور می‌تواند ابزاری مناسب در بررسی پراکنش و میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین باشند که به کمک آن می‌توان نواحی آلوده را تعیین نمود.

نقاط سبزی و صیفی‌جات نیز به چشم می‌خورد. نمونه‌برداری از خاک لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) در اراضی مورد مطالعه انجام شد. با توجه به هزینه‌های بالای آنالیز شیمیایی نمونه‌ها، فقط در بخشی از اراضی (حدود ۱۰۰۰ هکتار) که مستقیماً به‌وسیله پساب خام آبیاری می‌شدند، نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها از جمله هوا خشک کردن، آسیاب کردن و الک کردن، با ترکیب اسید هیدروکلردیک-اسید نیتریک (نسبت سه به یک) تیترو نهایتاً برای تعیین غلظت عناصر سنگین سرب، نیکل و مس به دستگاه جذب اتمی منتقل شدند (۱۹). نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های برداشت‌شده شامل اطلاعات مربوط به درصد کربن آلی، اسیدپته و غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در جدول (۱) آورده شده است.

تا ۲۹' ۵۱° طول شرقی و به ارتفاع تقریبی ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. عمده خاک منطقه مورد مطالعه رسی-لومی با ۱/۱ تا ۳/۵ درصد ماده آلی می‌باشد. این ناحیه بخش زیادی از پساب‌های شهری و همچنین جریان‌های سطحی خیابان‌های شهر تهران در فصل بارش را دریافت می‌کند که به دو قسمت تقسیم می‌شوند. بخشی از آن (حدود سه مترمکعب) توسط تصفیه‌خانه جنوب شهر تهران دریافت و تصفیه و برای مصارف کشاورزی به اراضی شهرستان ورامین و حومه منتقل می‌شود، اما بخش قابل توجهی از پساب خام (حدود پنج متر مکعب) به‌صورت مستقیم برای آبیاری غرقابی اراضی جنوب شهر تهران (شهر ری) استفاده می‌شود. محصولات عمده این نواحی شامل غلات و محصولات باغی می‌باشد که اغلب به‌صورت سطحی آبیاری می‌شوند اما در برخی



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (جنوب شهر تهران) و نقاط نمونه‌برداری

پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در اراضی آبیاری شده با پساب شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲

### جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های خاک و غلظت

#### فلزات سنگین

عنصر/پارامتر	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف معیار
سرب (پی پی ام)	۱۷/۱۰	۷۹/۹۰	۳۸/۷۹	۱۳/۷۱
مس (پی پی ام)	۱۷/۶۰	۶۵/۵۰	۲۹/۶۵	۸/۹۱
نیکل (پی پی ام)	۲۷/۱۰	۴۲/۵۰	۳۳/۰۵	۳/۴۲
کربن آلی (%)	۰/۹۳	۲/۷۰	۱/۳۵	۰/۳۳
اسیدیته (-)	۷/۱۴	۷/۹۰	۷/۴۵	۰/۲۸

سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۱</sup> برای زمان برداشت نمونه‌ها دریافت شد که پس از پردازش‌های اولیه، ارزش رقومی پیکس‌های متناظر با نقاط نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گرفت. ماهواره سنتینل ۲ با سنجنده MSI دارای ۱۳ باند طیفی است که از میان آنها چهار باند با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک، شش باند با توان تفکیک مکانی ۲۰ متر و سه باند با توان تفکیک مکانی ۶۰ متر که اساساً برای تصحیحات اتمسفری و پایش ابرها می‌باشد، قرار دارند (جدول ۱). دسترسی رایگان به داده‌ها و اطلاعات آن نیز باعث شده است تا این ماهواره و داده‌های به‌دست‌آمده از آن در مطالعات سنجش از دور بسیاری از پدیده‌ها در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار گیرد.

### اطلاعات ماهواره‌ای

در این تحقیق از داده‌های سطح C۱ ماهواره سنتینل ۲ به‌منظور بررسی پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. تصویر مورد نیاز از پایگاه اطلاعات

### جدول ۲. مشخصات بانندی تصاویر ماهواره سنتینل ۲

شماره باند	طول موج	عرض باند	تفکیک مکانی	اهداف استفاده
۱	۴۴۳	۲۰	۶۰	تصحیح اتمسفری (بخش اتروسل)
۲	۴۹۰	۶۵	۱۰	سنجش گیاهان، کارتوئوئید، قه‌وای شدن و پس زمینه خاک
۳	۵۶۰	۳۵	۱۰	پیک سبز، حساس به مجموع کلروفیل در گیاهان
۴	۶۶۵	۳۰	۱۰	بیشینه جذب کلروفیل
۵	۷۰۵	۱۵	۲۰	موقعیت لبه سرخ
۶	۷۴۰	۱۵	۲۰	موقعیت لبه سرخ، تصحیح اتمسفری، بازیابی بار اتروسل
۷	۷۸۳	۲۰	۲۰	شاخص سطح برگ، لبه فرورسرخ نزدیک
۸	۸۴۲	۱۱۵	۱۰	شاخص سطح برگ
۸A	۸۶۵	۲۰	۲۰	صفحه فرورسرخ نزدیک حساس به مجموع کلروفیل، توده زیستی
۹	۹۴۵	۲۰	۶۰	تصحیح جوی (جذب بخار آب)
۱۰	۱۳۷۵	۳۰	۶۰	تصحیح اتمسفری (تشخیص ابرهای سیروس نازک)
۱۱	۱۶۱۰	۹۰	۲۰	حساس به لیگنین نشاسته و جنگل بر روی سطح زیست توده، جدایش برف، ابر و یخ
۱۲	۲۱۹۰	۱۸۰	۲۰	ارزیابی شرایط گیاهان مدیترانه‌ای، تمایز خاک‌های رسی به منظور پایش فرسایش خاک، تمایز میان زیست توده زنده و مرده خاک

1. USGS

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

## تجزیه و تحلیل آماری

اساساً مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از سنجش از دور برای بررسی آلودگی‌ها و یا پارامترهای سطح زمین بر مبنای ارتباط آماری بین مقادیر بازتاب در باندهای مناسب و مقدار کمی پارامتر مورد نظر صورت می‌گیرد. در این مطالعه به منظور تخمین غلظت عناصر سنگین خاک بر اساس میزان بازتاب در تصویر ماهواره‌ای، از رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام به گام<sup>۱</sup> در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. رگرسیون گام به گام روشی برای تحلیل ارتباط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته می‌باشد که در آن در هر مرحله همبستگی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته محاسبه می‌شود و بر اساس آن در هر مرحله متغیرهایی که تأثیر محسوسی در ارتباط بین متغیر وابسته و متغیر مستقل نداشته باشند، از تحلیل حذف می‌شوند. به منظور ایجاد ارتباط بین تصویر ماهواره‌ای و غلظت عناصر سنگین، ابتدا همبستگی بین ارزش رقومی تصویر در باندهای مختلف به عنوان متغیر مستقل و غلظت عناصر سنگین به عنوان متغیر وابسته بررسی شد. بدین صورت که برای هر یک از باندها یا نسبت‌های باندی استفاده شده، سطح معنی‌دار بودن تأثیر آنها بر ارتباط بین میزان بازتاب و غلظت عناصر، با اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت و تنها باندهایی در توسعه رابطه نهایی مورد استفاده قرار گرفتند که مقدار خطای آنها کمتر از پنج درصد بود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۱ تصویر ماهواره سنتینل ۲ (جدول ۲) که در محدوده مرئی یا فروسرخ نزدیک هستند و نسبت به دیگر باندها دارای تفکیک مکانی بالاتر (۱۰ یا ۲۰ متر) هستند مورد استفاده قرار گرفتند و همبستگی بین ارزش رقومی تصویر در این باندها و غلظت عناصر سنگین مبنای ارزیابی قرار گرفت. از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه

می‌توان به مطالعه چو و همکاران (۶) اشاره نمود که از رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام به گام برای توسعه روابط بین باندهای محدوده مرئی تا مادون قرمز و غلظت فلزات سنگین استفاده کردند. از دیگر تحقیقات صورت گرفته می‌توان به مطالعه کمپر و سومر (۱۰) اشاره نمود که روش فوق را جهت بررسی پراکنش فلزات سنگین به کار بردند که در آن غلظت آرسنیک، سرب، مس، جیوه و آهن با دقت قابل قبولی تخمین زده شد.

در پایان پس از پیدا کردن روابط بین غلظت عناصر سنگین و باندها یا نسبت‌های باندی و توسعه مدل‌های مربوطه، اعتبار این مدل‌ها به کمک ۲۰ درصد از داده‌هایی که در توسعه مدل استفاده نشده بودند مورد سنجش قرار گرفت. برای این منظور از شاخص‌های آماری ریشه دوم مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (R) استفاده شد (۲۳). شاخص RMSE (معادله ۱) با مقایسه بین مقدار تخمین داده شده و اندازه‌گیری شده متغیر وابسته، میزان دقت مدل را نشان می‌دهد. بدیهی است که هرچه دقت مدل بالاتر باشد، مقدار اندازه‌گیری شده و برآورد شده به هم نزدیک‌تر بوده و مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر خواهد شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y^{(pre)} - Y^{(obs)})^2}{n}} \quad (1) \text{ معادله}$$

در این رابطه، n تعداد نمونه‌ها،  $Y^{(pre)}$  و  $Y^{(obs)}$  به ترتیب مقدار تخمین شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

ضریب همبستگی پیرسون (معادله ۲) شاخصی برای میزان ارتباط مقادیر مشاهده شده و تخمین شده می‌باشد که بین -۱ تا +۱ تغییر می‌کند. مقدار صفر برای این شاخص نشان‌دهنده عدم همبستگی، و مقادیر -۱ و +۱ نشان‌دهنده همبستگی منفی و مثبت داده‌های مشاهداتی و تخمین شده می‌باشد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})(Y_i^{sim} - \bar{Y}^{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - \bar{Y}^{sim})^2}} \quad (2) \text{ معادله}$$

### 1. Stepwise

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

در این رابطه، مقدار  $Y_i^{obs}$  برابر مقدار مشاهده شده  $Y_i^{obs}$ ،  $Y_{mean}^{obs}$  متوسط مقادیر مشاهده‌اتی،  $Y^{sim}$  برابر مقدار تخمین شده و  $Y_{mean}^{sim}$  متوسط مقادیر تخمین شده می‌باشد.

## نتایج و بحث

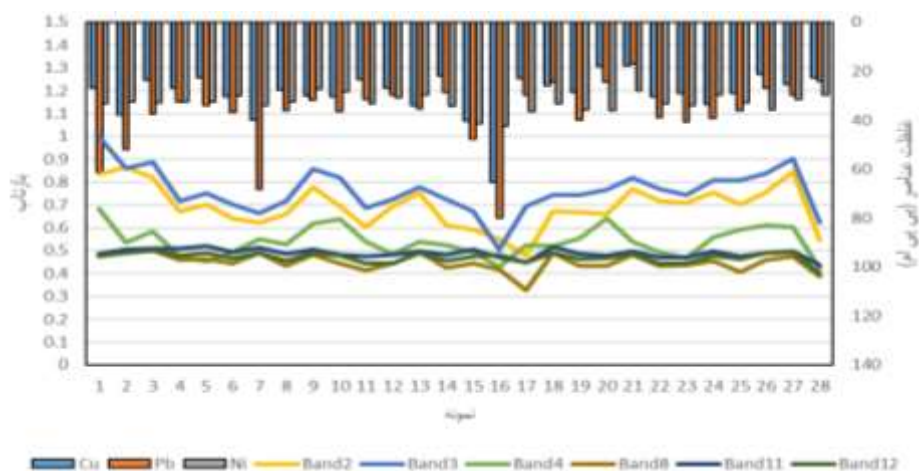
مقایسه مقادیر فلزات مختلف نشان داد که سرب در مقایسه با مس و نیکل غلظت بالاتری دارد که می‌تواند نشان‌دهنده ورود مقدار بیشتر آلاینده‌های حاوی این عنصر به منطقه مورد مطالعه از طریق پساب شهری باشد. سرب یکی از مهمترین فلزاتی است که به وفور در بخش‌های مختلف وسایل نقلیه، تجهیزات الکتریکی و ساختمان کاربرد دارد. بنابراین یکی از دلایل زیاد بودن این عنصر می‌تواند رواناب‌های شهری باشد که آلاینده‌های حاصل از وسایل نقلیه در سطح شهر و یا فاضلاب‌های صنایع کوچک داخل شهر را به پساب‌های خانگی شهر اضافه می‌کند و نهایتاً به اراضی تحت آبیاری این منبع آب می‌رساند. مقایسه این نتایج با تحقیق سمیعی‌فرد و همکاران (۳) نیز موید این موضوع می‌باشد که سرب دارای بیشترین مقدار و پراکنش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بررسی ارتباط میان غلظت عناصر سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش جذب اتمی در آزمایشگاه با مقادیر بازتاب استخراج شده از نقاط متناظر نمونه‌برداری شده در تصویر ماهواره ستینل ۲ نشان داد به صورت کلی با افزایش مقدار عنصر سنگین در محدوده مرئی و فرو سرخ، میزان بازتاب کاهش می‌یابد (شکل ۲). نتایج نشان داد میزان این تغییر برای هر یک از عناصر مس، نیکل و سرب و در باندهای مختلف استفاده شده، متفاوت است. این مطلب امکان استفاده از تغییرات بازتاب برای تخمین غلظت عناصر سنگین با استفاده از مدل‌های آماری مناسب را فراهم می‌کند. مطالعات انجام شده توسط لیو و همکاران (۱۵) که در آن به بررسی

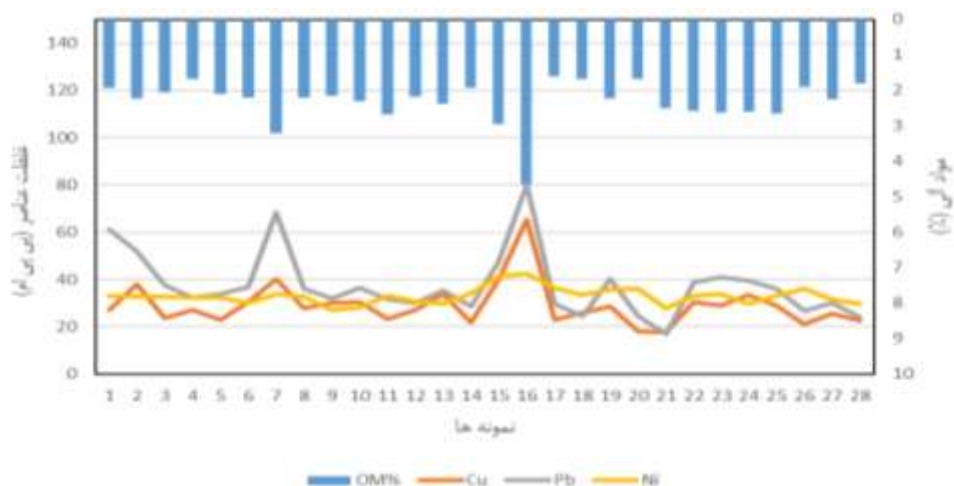
ارتباط میان غلظت فلزات سنگین سرب، مس و روی و میزان بازتاب اندازه‌گیری شده با روش طیف‌سنجی پرداختند نیز نشان داد که با افزایش غلظت عناصر سنگین، میزان بازتاب در محدوده مرئی و فرو سرخ کاهش می‌یابد. مطالعه انجام شده توسط دیانی و همکاران (۲) نیز نتیجه مشابهی را در بررسی ارتباط میان بازتاب استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای و تغییر غلظت عناصر سنگین نشان داد.

لازم به ذکر است که فلزات سنگین در محدوده مرئی و فرو سرخ نسبت به امواج غیرفعال هستند و در واقع عوامل حد واسط مؤثر در جذب فلزات سنگین در خاک مانند مواد آلی، اکسیدهای آهن و یا رس‌ها از عوامل اصلی ارتباط‌دهنده میان بازتاب و غلظت فلزات سنگین هستند (۲۱ و ۱۷). بنابراین می‌توان گفت که وجود این عوامل حد واسط است که امکان استفاده از تغییرات بازتاب برای تخمین غلظت فلزات سنگین را ممکن ساخته است. به عنوان مثال، بررسی میزان ارتباط غلظت عناصر سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها و مقدار ماده آلی موجود در آنها نشان داد که به صورت کلی با افزایش میزان ماده آلی در خاک، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها افزایش یافته است (شکل ۳). بنابراین می‌توان گفت به احتمال زیاد علت تغییرات بازتاب مشاهده شده مرتبط با این عامل حد واسط بوده باشد که علی‌رغم غیرفعال بودن فلزات سنگین به امواج محدوده مرئی و فرو سرخ، امکان تخمین فلزات سنگین را فراهم آورده است.

در ادامه، همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، برای توسعه روابط بین غلظت فلزات سنگین و مقدار بازتاب از روش گام‌به‌گام استفاده شد که در آن باندها یا نسبت‌های باندهای که تأثیر معنی‌داری بر همبستگی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته داشتند، یا به عبارتی تأثیر آنها بر ارتباط بین میزان بازتاب و غلظت عناصر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود (خطای کمتر از پنج درصد) در معادله استفاده شدند.



شکل ۲. تأثیر مقادیر عناصر سنگین در نمونه‌ها بر تغییرات میزان بازتاب در باندهای مختلف



شکل ۳. تأثیر مقدار ماده آلی در خاک بر تجمع فلزات سنگین در نمونه‌های اندازه‌گیری شده

درصد) از رابطه حذف شدند (معادله ۳). مقایسه مدل به‌دست‌آمده با نتایج آورده‌شده در شکل (۲) نیز مؤید این مطلب است که باندهای با طول موج کوتاه‌تر حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات غلظت عناصر سنگین دارند و در تخمین عناصر سنگین بطور مؤثرتری می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

$$Pb = 1059/47 (band2) + 26/77 (band6/band8) + 54/09 (band11/band6) - 102/77$$

معادله (۳)  $R^2 = 0/72$

نتایج آنالیز آماری بین غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده فلزات سنگین و مقدار بازتاب در باندهای مختلف در جدول (۳) آمده است. بر اساس این نتایج عنصر سرب با باند ۲ و نسبت‌های باندی ۶ به ۸ و ۱۱ به ۶ بیشترین همبستگی با سطوح خطای کمتر از ۵ درصد (به ترتیب ۰/۰۴۲، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۴۳) داشت. بنابراین در رابطه توسعه‌داده‌شده بین غلظت عنصر سرب و مقادیر بازتاب در باندهای مختلف، فقط مقادیر بازتاب در باندهای اشاره‌شده در مدل وارد شدند و سایر باندها به دلیل نداشتن تأثیر معنی‌دار (خطای بیشتر از ۵



پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در اراضی آبیاری شده با پساب شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲

جدول ۳. خلاصه نتایج آماری رابطه بین غلظت فلزات سنگین و باندهای مختلف به روش گام به گام

عنصر	متغیر (شماره باند)	ضرایب مدل	خطای استاندارد	مقدار t	سطح معنی دار بودن خطا
سرب	B2	۱۲۰/۱۷	۰/۰۷۵	۰/۸۲۶	۰/۰۴۲
	B3	-۸۴/۵۲	۰/۱۰۸	۲/۲۵۷	۰/۲۱۴
	B4	۱۵۹/۴۷	۰/۰۷۲	۳/۳۲۷	۰/۷۱۲
	B5	۱۱۰/۲۵	۰/۰۶۸	۰/۸۴۵	۰/۵۲۰
	B6	-۸۳/۸۷	۰/۱۲۵	۰/۸۵۱	۰/۳۱۲
	B7	-۲۱۵/۳۲	۰/۲۱۲	۰/۶۳۲	۰/۴۲۵
	B8	۵۴/۳۲	۰/۶۱۵	۰/۷۶۱	۰/۶۳۹
	B11	۴۵/۳۷	۰/۹۰۱	۰/۶۵۹	۰/۵۸۲
	B3/B8	۲۶/۷۷	۰/۲۱۷	۳/۳۴۹	۰/۱۲۵
	*B6/B8	۳۷/۳۱	۰/۰۷۲	-۲/۵۲۴	*۰/۰۰۱
	*B11/B6	۵۴/۰۹	۰/۱۴۷	۳/۵۱۴	*۰/۰۴۳
عرض از مبدأ	-۱۰۲/۷۷	۱/۴۱۵	۵/۶۱۵	*۰/۰۰۰	
مس	B2	۱۵۰/۰۲	۰/۰۵۵	۰/۳۲۶	۰/۳۳۰
	B3	-۹۴/۴۰	۰/۳۳۸	۰/۲۰۷	۰/۲۵۵
	*B4	۱۰۰/۱۲	۰/۱۱۲	۳/۵۵۷	*۰/۰۴۲۳
	B5	۷۴/۱۲	۰/۲۱۸	۰/۲۳۵	۰/۲۴۰
	B6	۵۹/۸۸۷	۰/۱۱۸	۳/۶۵۲	۰/۳۱
	B7	-۲۱۵/۳۲	۰/۲۲۴	۰/۴۴۲	۰/۵۳۵
	B8	۵۴/۳۲	۰/۶۴۳	۰/۱۱۱	۰/۶۱۴
	B11	۴۵/۳۷	۰/۵۵۱	۰/۶۳۳	۰/۲۵۴
	*B3/B8	-۱۰/۷۸۶	۰/۱۱۲	۲/۴۳۹	*۰/۰۲۲
	B6/B8	۱۷/۰۲	۰/۲۲۲	-۲/۰۳۲	۰/۴۴۱
	*B11/B6	۱۸/۵۴۸	۰/۲۲۵	۳/۷۲۳	*۰/۰۳۷
عرض از مبدأ	۲/۰۷۲	۲/۲۳۵	۴/۸۰۵	*۰/۰۰۱	
نیکل	B2	۲۱۰/۰۳	۰/۰۲۵	۰/۴۳۱	۰/۲۲۰
	*B3	۱۱۷/۲۵	۰/۳۳۲	۰/۲۵۱	*۰/۰۲۳
	B4	۳۵/۱۲	۰/۲۵۴	۲/۶۶۷	۰/۱۱۴
	B5	۴۴/۱۵	۰/۶۵۱	۰/۵۵۴	۰/۲۴۳
	B6	۱۹/۲۳۷	۰/۲۳۱	۰/۷۶۷	۰/۵۲۲
	B7	۳۲۰/۰۲	۰/۱۳۲	۰/۴۵۳	۰/۶۳۱
	B8	۲۱/۲۰	۰/۴۴۱	۰/۵۸۷	۰/۳۵۹
	B11	۱۵/۶۷۳	۰/۱۱۶	۳/۳۲۱	۰/۴۲۳
	*B3/B8	-۵/۲۶	۰/۱۴۵	۲/۳۳۹	*۰/۰۱۸
	*B6/B8	۶/۱۸۸	۰/۲۶۲	۲/۷۳۱	*۰/۰۳۳
	B11/B6	۱۲/۵۳۲	۰/۲۷۴	۰/۴۲۱	۰/۴۶۵
عرض از مبدأ	۲۶/۷۴۷	۱/۴۴۴	۳/۸۲۲	*۰/۰۰۰	

\* همبستگی معنی دار (خطای کمتر از پنج درصد).

تخمین نموده است (شکل ۴). نتایج حاصل از مدل نشان داد مقدار این عنصر در اغلب منطقه مورد مطالعه در محدوده ۳۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۵۰ پی پی ام است که در محدوده اندازه‌گیری‌های زمینی بود. قابل ذکر است طبق بررسی‌های میدانی، اراضی با این محدوده از غلظت سرب عمدتاً در قسمت‌های نزدیک به کانال‌های آبیاری بودند که پساب خام را به صورت مستقیم دریافت می‌کردند. بنابراین می‌توان به وضوح اثر استفاده از پساب خام را بر افزایش غلظت سرب خاک مورد مطالعه مشاهده نمود. مطالعه صورت گرفته توسط هراتی و همکاران (۴) برای بررسی استفاده از پساب بر تجمع فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه نیز حاکی بر وجود آلودگی عنصر سرب بود. آنها گزارش نمودند که وضعیت تجمع عنصر سرب در این خاک‌ها فراتر از محدوده استاندارد جهت کشت و پرورش گیاهان رسیده است. همچنین میزان سرب اندازه‌گیری شده را در محدوده ۳۵ تا ۴۰ پی پی ام گزارش کردند که با یافته‌های این تحقیق سازگاری دارد.

با به‌کارگیری معادله شماره (۴) بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، نتیجه طبقه‌بندی غلظت عنصر مس نشان داد عمده غلظت این عنصر در محدوده ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ پی پی ام بود (شکل ۵). همچنین مشاهده شد هرچند غلظت‌های حدود ۶۵ پی پی ام نیز در نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی مشاهده شد، لیکن این مقادیر قابل توجه نبوده که بررسی تصویر ماهواره‌ای نیز چنین نشان داد. مقدار توزیع مس در دیگر کلاس‌های ۴۰-۵۰، ۵۰-۶۰ و بیشتر از ۶۵ پی پی ام به صورت بسیار محدودی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که قابل چشم‌پوشی می‌باشد. قابل ذکر است مس یکی از فلزات لازم در خاک برای رشد گیاه می‌باشد که به شکل طبیعی نیز در خاک یافت می‌شود که معمولاً با مواد آلی تشکیل کمپلکس داده و به‌ندرت به صورت آزاد یا قابل

مشابه روش ذکرشده برای عنصر سرب، نتایج حاصل از آنالیز گام به گام برای تخمین غلظت مس نشان داد بانده ۴ و نسبت‌های بانده ۱۱ به ۶ و ۳ به ۸ که مقدار همبستگی آنها در سطح خطای پنج درصد معنی‌دار بود، در برآورد غلظت این عنصر مؤثر هستند. سایر باندها تأثیری بر این تخمین نداشتند که از رابطه حذف شدند (معادله ۴). این رابطه برای عنصر نیکل با استفاده از بانده ۳ و نسبت‌های بانده ۶ به ۸ و ۳ به ۸ شکل گرفت (معادله ۵). از جمله مطالعات مشابه در این زمینه می‌توان به چو و همکاران (۶)، کمپر و سومر (۱۰) و دیانی و همکاران (۲) اشاره نمود که به تخمین غلظت عناصر سنگین به روش گام‌به‌گام و به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. به‌طورکلی می‌توان گفت نتایج حاصل از مطالعات آنها حاکی از ارتباط بین غلظت عناصر سنگین با باندهای محدوده مرئی و فرو سرخ بود که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق سازگاری دارد.

$$\text{Cu} = 2/072 - 10/786 (\text{band}3/\text{band}8) + 100/12 (\text{band}4) + 118/548 (\text{band}11/\text{band}6) \quad (\text{معادله } 4)$$

$$R^2 = 0/65$$

$$\text{Ni} = 26/747 - 5/26 (\text{band}3/\text{band}8) + 6/188 (\text{band}6/\text{band}8) + 117/25 (\text{band}3) \quad (\text{معادله } 5)$$

$$R^2 = 0/59$$

حال با اعمال هریک از روابط به‌دست‌آمده برای فلزات سرب، مس و نیکل بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و طبقه‌بندی نتایج حاصل برای پهنه‌بندی غلظت فلزات، تخمین پراکنش آنها ممکن گردید که در شکل‌های (۴) تا (۶) آورده شده است. با به‌کار گرفتن معادله (۳) برای تخمین غلظت عنصر سرب و مقایسه نتایج حاصل با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و همچنین بررسی پراکنش مکانی آن، چنین نتیجه شد که معادله مذکور پراکنش عنصر سرب را به‌طور مناسبی

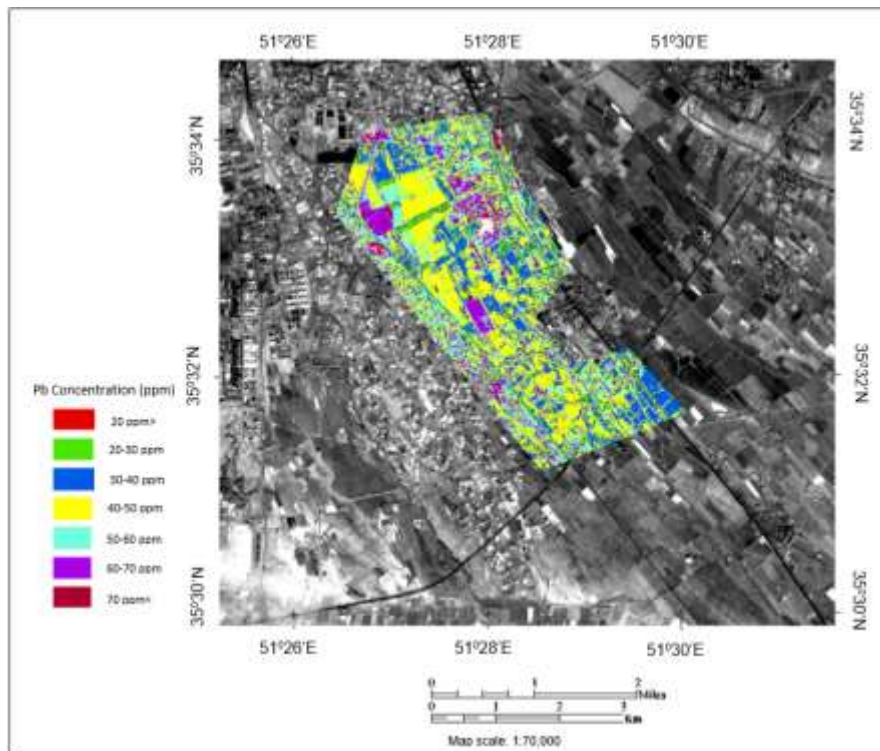
تغییر قابل توجهی در منطقه تحت آبیاری مشاهده نشده است. با توجه به عدم یکنواخت بودن آبیاری سطحی که عمدتاً در این اراضی استفاده می‌شود، انتظار می‌رود مقدار نیکل موجود در خاک این اراضی متغیر باشد. اما یکنواخت بودن پراکنش این عنصر در منطقه مورد مطالعه می‌تواند نشان دهد میزان غلظت این عنصر به‌طور چشمگیری توسط پساب استفاده شده تحت تأثیر قرار نگرفته است. تریان و بغوری (۱) در مطالعه‌ای که به منظور بررسی آلودگی‌های ناشی از کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران در سال ۱۳۷۳ انجام دادند، مقدار نیکل کل خاک را در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه ۳۰ تا ۴۰ پی پی ام گزارش کردند. از مقایسه متوسط مقدار تخمینی در این تحقیق با مطالعه آنها می‌توان نتیجه گرفت در مدت ۲۳ سال گذشته افزایش محسوسی در غلظت عنصر نیکل در این منطقه بر اثر استفاده از پساب صورت نگرفته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق و همچنین مقدار مجاز نیکل در خاک که بر اساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت حداکثر ۵۰ پی پی ام گزارش شده است (۱۶) می‌توان نتیجه گرفت هیچگونه آلودگی از نیکل در این ناحیه مشاهده نمی‌شود. قابل ذکر است این تحقیق تنها در بخشی از اراضی منطقه جنوب شهر تهران صورت گرفته است که تحت تأثیر پساب شهری بوده است، لذا نمی‌توان نتایج آن به نواحی که ممکن است تحت تأثیر واحدهای صنعتی هستند تعمیم داد.

در ادامه همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، بر اساس شاخص WHO برای دو عنصر مس و نیکل، نمی‌توان این نواحی را به‌عنوان نواحی آلوده شده با نیکل و مس طبقه‌بندی نمود. اما با توجه به اینکه حد آستانه عنصر سرب بر اساس شاخص WHO ۵۰ پی پی ام می‌باشد، لذا تمامی نواحی که غلظت عنصر سرب در آنها بیش از این مقدار می‌باشد به‌عنوان نواحی آلوده شناخته شد که نقشه پهنه‌بندی آن در شکل (۷) نشان داده شده است.

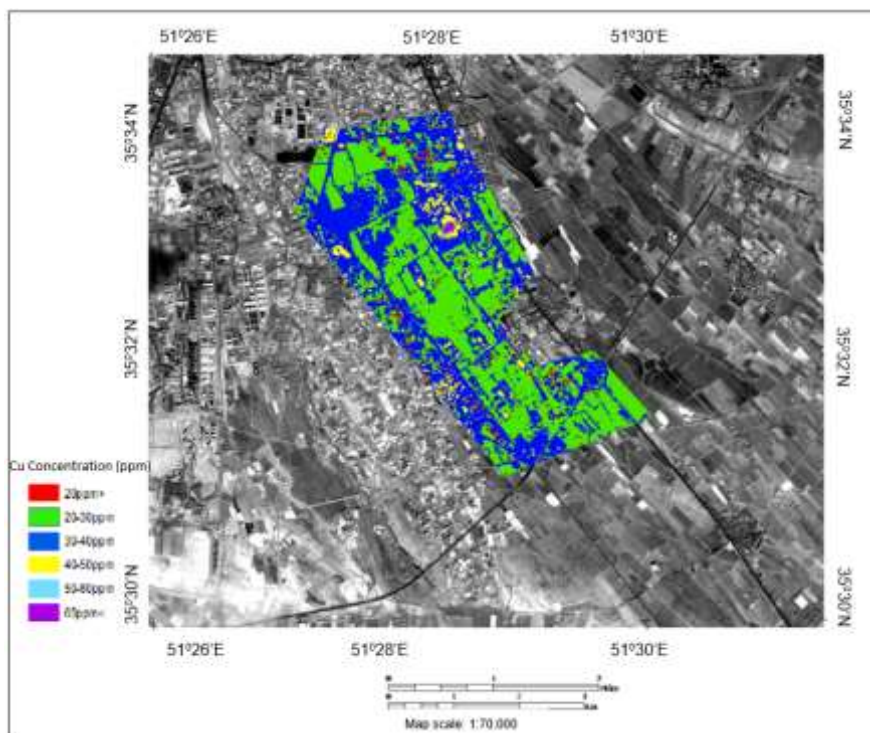
تبادل وجود دارد. حتی ممکن است به‌علت کمبود این عنصر به‌عنوان یکی از ریزمغذی‌های مهم برای رشد گیاه، نیاز به اضافه نمودن آن به خاک باشد. اما باید توجه نمود به‌علت ناچیز بودن مرز بین مقدار مورد نیاز و مقدار مسموم‌کننده در خاک، افزایش غلظت آن در خاک ممکن است باعث ایجاد آلودگی زیست‌محیطی شود. لذا ورود بیش از حد مجاز این عنصر سنگین توسط عوامل غیرطبیعی مانند استفاده از کودهای کشاورزی، آفت‌کش‌ها و یا پساب به خاک، می‌تواند عاملی بالقوه در ایجاد آلودگی باشد. لازم به ذکر است طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup>، حداکثر مقدار مجاز عنصر مس در خاک ۱۰۰ پی پی ام می‌باشد (۱۵) که با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی و تخمین تصاویر ماهواره‌ای با این حد استاندارد، می‌توان نتیجه گرفت که آلودگی ناشی از عنصر مس در منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.

علاوه بر این، بررسی نتیجه حاصل از رابطه شماره (۵) برای تخمین عنصر نیکل در منطقه مورد مطالعه نشان داد گرچه تغییرات غلظت نیکل در منطقه در محدوده ۲۵ تا ۴۰ پی پی ام قرار دارد ولی این عنصر در منطقه مورد مطالعه دارای توزیع یکنواختی بوده و تغییرات آن عمدتاً در محدوده ۳۰ تا ۳۵ پی پی ام قرار می‌گیرد (شکل ۶). مقدار متوسط نیکل اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها در آزمایشگاه حدود ۳۲ پی پی ام به‌دست آمد که با مقایسه آن با نتایج تخمین شده از طریق اعمال رابطه (۴) بر روی تصویر ماهواره‌ای می‌توان گفت مدل‌های توسعه داده در حد قابل قبولی مقدار نیکل را تخمین کرده است. نتایج مطالعه سمیعی فرد و همکاران (۳)، که تحقیق خود را به منظور بررسی پراکنش فلزات سنگین در این منطقه انجام دادند نیز نشان داد غلظت این عنصر در ناحیه مورد مطالعه از پراکنش یکنواختی برخوردار است و

#### 1. WHO



شکل ۴. تخمین غلظت عنصر سرب در خاک های منطقه مورد مطالعه با استفاده از معادله شماره ۳

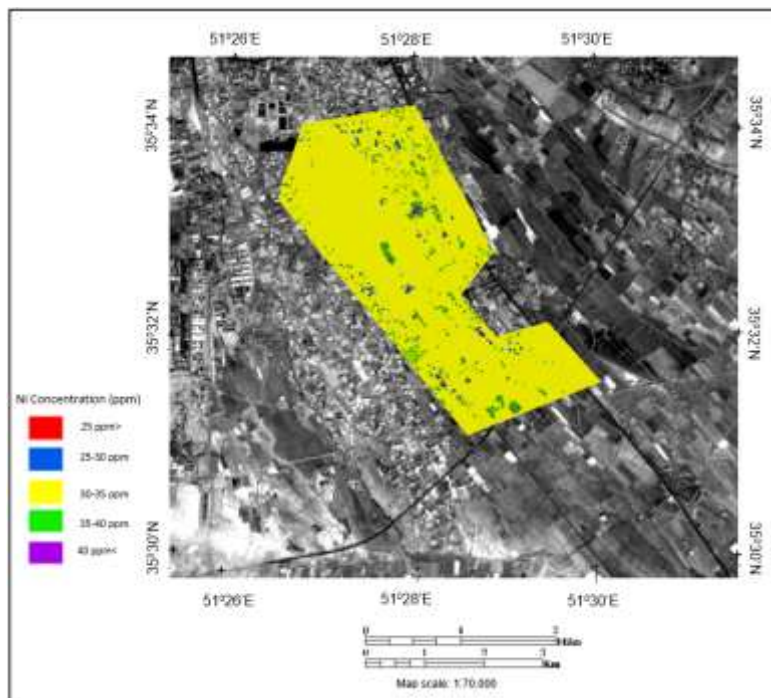


شکل ۵. تخمین غلظت عنصر مس در خاک های منطقه مورد مطالعه با استفاده از معادله شماره ۴

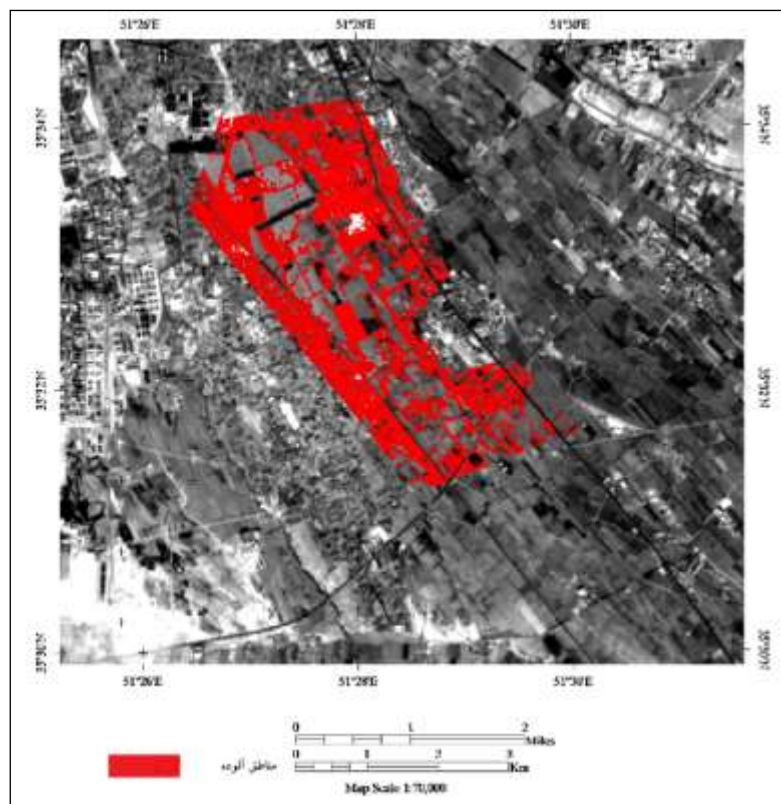
## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

پراکنش فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در اراضی آبیاری شده با پساب شهر تهران با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲



شکل ۶. تخمینی غلظت عنصر نیکل در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از معادله شماره ۵



شکل ۷. پهنه‌بندی نواحی آلوده بر اساس شاخص WHO

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۸ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۷

روش گام به گام تعیین شد و نتایج آن نشان داد فلز سرب با باند ۲ و نسبت‌های بانندی ۳ به ۸ و ۱۱ به ۶ بیشترین ارتباط دارد. این ارتباط برای فلز مس بر اساس مقادیر بازتاب در باند ۴ و نسبت‌های ۳ به ۸ و ۱۱ به ۶ و برای فلز نیکل بر اساس باند ۲ و نسبت‌های بانندی ۳ به ۸ و ۶ به ۸ به دست آمد. با اعمال هر یک از معادلات توسعه داده شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای، میزان پراکنش فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. استفاده از شاخص‌های RMSE و R برای ارزیابی کارایی مدل‌های توسعه داده شده مؤید قابلیت بالای روابط توسعه داده شده در تخمین غلظت عناصر بود.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت گروه مهندسی آبیاری و آبادانی و همچنین با استفاده از دستگاه جذب اتمی در گروه مهندسی خاکشناسی در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) انجام شد که بدین وسیله کمال تقدیر و تشکر می‌شود.

### منابع

۱. ترابیان ع. بغوری ا. (۱۳۷۳) بررسی آلودگی‌های ناشی از کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران. محیط‌شناسی، ۱۸: ۳۳-۴۶.
۲. دیانی م. نادری م. محمدی ج. (۱۳۸۸) پهنه‌بندی غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره Landsat ETM+ در جنوب شهرستان اصفهان. آب و خاک، ۲۴: ۲۸۶-۲۹۶.
۳. سمیعی فرد ر. کشاورز ع. اعتصامی ح. رستمی نیا م. رحمانی ا. (۱۳۹۵) پایش تجمع فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، نیکل و سرب در خاک با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸. پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۱-۸.

در پایان نتایج حاصل از مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی شده برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان داد مقدار فاکتور RMSE برای مدل‌های تخمین فلزات مس، سرب و نیکل به ترتیب برابر با ۲/۵۴، ۱/۹۰ و ۱/۵۹ پی پی ام بود. همچنین ضریب همبستگی پیرسون (R) برای عناصر فوق به ترتیب معادل ۰/۷۵، ۰/۸۱ و ۰/۷۳ به دست آمد. بررسی نتایج هریک از مدل‌ها نشان داد که هرچند مدل‌ها مقادیر فلزات را قدری بیش برآورد کرده‌اند. اما به‌طور کلی می‌توان نتایج مدل‌ها را در تخمین غلظت فلزات قابل قبول ارزیابی کرد. لازم به ذکر است با توجه به مزایای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در صرفه‌جویی زمان و هزینه برای پهنه‌بندی مناطق آلوده به فلزات سنگین و تعیین مناطق با ریسک آلودگی، می‌توان نتایج این مدل‌ها را گام مؤثری در بررسی آلودگی فلزات سنگین در اراضی تحت آبیاری با پساب قلمداد نمود.

### نتیجه‌گیری

مسئله استفاده از پساب و آلودگی ناشی از فلزات سنگین موجود در آن یکی از عوامل نگران‌کننده زیست‌محیطی می‌باشد که بررسی آن همواره نیازمند صرف وقت و هزینه فراوان می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد هرچند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی فلزات سنگین در سال‌های اخیر توسط محققین مختلف صورت گرفته است، اما معمولاً این روش برای مناطق تحت تأثیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری بوده است و مطالعات کمی به بررسی آلودگی فلزات سنگین ناشی از آبیاری با پساب، با این روش پرداخته است. در این تحقیق از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ به‌منظور بررسی توزیع فلزات سنگین (سرب، مس و نیکل) در اراضی تحت آبیاری پساب شهر تهران استفاده شد. ارتباط بین میزان بازتاب در تصاویر ماهواره‌ای و مقدار غلظت فلزات سنگین در نقاط نظیر به کمک رگرسیون خطی چند متغیره و به

13. 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.
14. Liu Y. Li W. Wu G. Xu X. (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: 10-16.
15. Chiroma T.. Ebebele R.O. Hymore F. (2014) Comparative Assessment Of Heavy Metal Levels In Soil Vegetables And Urban Grey Waste Water Used For Irrigation In Yola And Kano. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 3: 2319-183.
16. Rathod P.H. Rossiter D.G. Noomen M.F. van der Meer F.D. (2013) Proximal spectral sensing to monitor phytoremediation of metal-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, 15: 405-26.
17. Rattan R.K. Datta S.P. Chhonkar P.K. Suribabu K. Singh A.K. (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.
18. Singh K.P. Mohan D. Sinha S. Dalwani R. (2004) Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health agricultural and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, 55: 227-255.
19. Sposito G. (1982) Trace Metal chemistry in aird-zone field soils amended sewage sludge: I. Fractionation of Ni Cu Zn Cd Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 260-264.
20. Srinivasan J.T. Reddy V.R. (2009) Impact of irrigation water quality on human health: A case study in India. *Ecological Economics*, 68: 2800-2807.
21. Wu Y. Chen J. Wu X. Tian Q. Ji J. Qin Z. (2005) Possibilities of reflectance spectroscopy for the assessment of contaminant elements in suburban soils. *Applied Geochemistry*, 20: 1051-1059.
22. Wuana R. a. and Okieimen F.E. (2011) Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources Chemistry Risks and Best Available Strategies for Remediation. *Ecology*, 2011: 1-20.
23. Wackernagel. H. (2002) Multivariate geostatistics: an introduction with applications. ۴. هراتی م. رستگار م. حریری ن. وروای پور م. (۱۳۸۹) اثرات استفاده از پساب‌های شهری و مشکلات تجمع فلزات سنگین در اراضی کشاورزی (منطقه جنوب شهر تهران). اولین کنگره چالش کود در ایران نیم قرن مصرف کود.
5. Carr G. Potter R.B. and Nortcliff S. (2011) Water reuse for irrigation in Jordan: Perceptions of water quality among farmers. *Agriculture Water Management*, 98: 847-854.
6. Choe E. van der Meer F. van Ruitenbeek F. van der Werff H. de Smeth B. Kim K.-W. (2008) Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain. *Remote Sensing of Environment*. 112: 3222-3233.
7. Gannouni S. (2012) A Spectroscopic Approach to Assess Heavy Metals Contents of the Mine Waste of Jalta and Bougrine in the North of Tunisia. *Geographic Information System*. 4: 242-253.
8. Islam E.U. Yang X. He Z. Mahmood Q. (2007) Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Zhejiang University-SCIENCE B*. 8: 1-13.
9. Kemper T. Sommer S. (2003) Mapping and monitoring of residual heavy metal contamination and acidification risk after the Aznalcóllar mining accident (Andalusia Spain) using field and airborne hyperspectral data. *Proceedings 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Herrsching, Germany: European Association of Remote Sensing Laboratories .
10. Kemper T. Sommer S. (2002) Estimate of Heavy Metal Contamination in Soils after a Mining Accident Using Reflectance Spectroscopy. *Environmental Science & Technology*. 36: 2742-2747.
11. Kooistra L. Wehrens R. Leuven R.S.E.. Buydens L.M.. (2001) Possibilities of visible-near-infrared spectroscopy for the assessment of soil contamination in river floodplains. *Analytica Chimica Acta*, 446: 97-105.
12. Lillesand T.M. Kiefer R.W. Chipman J.W. (2009) Allocation and source attribution of lead and cadmium in maize (*Zea mays* L.) impacted by smelting emissions. *Environmental Pollution*, 157: 834-839.

26. Wang J. Cui L. Gao W. Shi T. Chen Y. Gao Y. (2014). Prediction of low heavy metal concentrations in agricultural soils using visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Geoderma*. 216: 1-9.
27. Yang K. Zhou N. Steimann P. (2008) Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: Leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing. *Waste Management*. 127: 768-776.
24. Ferrier G. (1999) Application of imaging spectrometer data in identifying environmental pollution caused by mining at Rodaquilar, Spain. *Remote Sensing of Environment*. 68: 125-137.
25. Jacquemond S. Ustin S.L. Andreoli G. (1996) Estimating leaf biochemistry using the PROSPECT leaf optical properties model. *Remote Sensing of Environmental*. 56: 194-202.





## Water and Irrigation Management

(Scientific Journal of Agriculture)  
(College of Abouraihan – University of Tehran)

Vol. 8 ■ No. 1 ■ Spring & Summer 2018

### Distribution of heavy metals Pb, Cu and Ni in irrigated fields by wastewater of Tehran city, Iran, using Sentinel2 image

Yasser Abbasi<sup>1</sup>, Farhad Mirzaei<sup>2\*</sup>, Tymour Sohrabi<sup>3</sup>

1. Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Associate Professor in Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Associate Professor in Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: February 21, 2018

Accepted: July 7, 2018

#### Abstract

Heavy metals pollution is one of the main drawbacks of using wastewater for irrigation. Exploring the pollution of heavy metals in a vast area needs frequent experimental measurements, which is mostly time and money consuming. In this study, the image of Sentinel2 satellite was used to evaluate the heavy metals pollution of wastewater irrigated area in south of Tehran, IRAN. For this aim, 30 soil-surface samples were collected from the study area and the concentrations of Pb, Cu and Ni were determined using atomic absorption spectroscopy. Then the relation between the heavy metals concentrations and reflectance in the bands or the ratio of the bands at the corresponded sampling points was determined by applying the stepwise regression method. The developed models were applied on the satellite image for zoning the heavy metals concentrations in the study area. Finally, the accuracy of the developed models was examined by Root-Mean-Square Error (RMSE) and Pearson correlation coefficients. The results showed that the amounts of RMSE for the equations of Pb, Cu and Ni were 1.90, 2.54 and 1.59 ppm respectively while the amounts of R were 0.81, 0.75 and 0.73 for these metals that showed a promising match between estimated and measured results.

**Keywords:** Band, Metals concentration, Reflectance, Stepwise method, Satellite image, Zoning.