نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶

Vol.5, No.4, Winter 2018

۱۱۳-۱۴۵

ارزیابی داده‌های سنجنده OLI،قابلیت طیف‌سنج بازتابیALTA و استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی در تهیه نقشه پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک

فاطمه گل‌تپه[1*]، پرویز ضیائیان فیروزآبادی[2]، حمیدرضا ریاحی بختیاری[3]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه خوارزمی

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه خوارزمی

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

چکیده

استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی، از جمله راه‌های کسب سریع و کم‌هزینه اطلاعات به‌خصوص در حوزه مطالعات محیطی و علوم زمین جهت مدیریت بهینه است. این تحقیق با هدف ارزیابی داده‌های سنجنده OLIماهواره لندست ۸، قابلیت طیف‌سنج بازتابی ALTA در انتخاب بهینه باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای برای مدل‌های پیش‌بینی وتأثیر استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی در تغییر دقت مدل‌ها، در تهیه نقشه پراکندگی غلظت عناصر سنگین نیکل، سرب و روی در خاک سطحی اطراف نیروگاه شهید رجائی قزوین انجام شد. پس از تعیین محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری روی تصویر ماهواره‌ای، با توجه به کاربری غالب زمین‌های اطراف نیروگاه (کاربری کشاورزی) و با توجه به استفاده از عمق شخم متفاوت خاک در این نوع کاربری، به طور متوسط از عمق حدود ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک سطحی، تعداد ۳۴ نمونه‌ی مرکب جمع‌آوری و هم‌زمان بازتابندگی طیفی نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنج بازتابی آلتا قرائت و ثبت شد. غلظت عناصر سنگین توسط دستگاه طیف‌سنج اتمی در آزمایشگاه تعیین شد. با توجه به معادل‌سازی تقریبی محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای و محدوده طیفی لامپ‌های رنگی طیف‌سنج بازتابی آلتا، از اطلاعات طیفی ثبت شده توسط طیف‌سنج بازتابی برای انتخاب بهینه باندهای تصویر ماهواره‌ای جهت شرکت در روابط رگرسیون بین داده‌های بازتابندگی طیفی (متغیر مستقل) و غلظت عناصر سنگین خاک (متغیر وابسته) استفاده شد. از مفهوم ایستگاه مجازی که از لحاظ خصوصیات بازتابندگی طیفی شبیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده هستند به منظور افزایش دقت مدل‌ها استفاده شد. برای این منظور از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و در بازه ٪۱± ارزش‌های عددی پیکسل‌های تمامی باندهای منتخب تصویر ماهواره‌ای (۶ باند منتخب در محدوده مرئی و مادون قرمز)، بالغ بر ۴۴۵۰ ایستگاه مجازی در محدوده اطراف نیروگاه یافت شد. در نهایت با استفاده از باندهای تصویر ماهواره‌ای و اعمال روابط با ضریب تبیین بزرگتر، نقشه پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک با دقت متوسط به دست آمد. اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از رابطه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان داد که استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی سبب افزایش دقت مدل‌ها شد؛ به‌نحوی که در معادلات رگرسیون خطی، در مورد نیکل ۱۷٫۲۱٪، در مورد سرب ۲۰٫۱۹٪ و در مورد روی ۴٫۰۵٪ و در معادلات رگرسیون غیرخطی، در مورد نیکل ۱۳٫۴۲٪، در مورد سرب ۲۰٫۱۹٪ و در مورد روی ۳٫۱۰٪ افزایش دقت در مدل‌های پیش‌بینی مشاهده شد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، داده‌های سایر سنجنده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین تأثیر سایر متغیرهای محیطی خاک از قبیل رطوبت، حرارت، پوشش گیاهی و ... نیز درمدل‌ها در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور خاک- فلزات سنگین خاک- طیف‌سنج بازتابیALTA- ایستگاه مجازی.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان انقلاب- خیابان دکتر مفتح- دانشگاه خوارزمی- دانشکده علوم جغرافیائی- گروه ژئوانفورماتیک- رشته سنجش از دور و GIS

تلفن: ۰۹۳۵-۴۵۰۴۶۰۸

Email: goltappeh_fa@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

۱- مقدمه

امروزه تکنولوژی سنجش از دور[1] توانسته با استفاده از انواع سنجنده‌ها، محصولاتی چند بعدی، چندمقیاسی و چندطیفی در اختیار کاربران قرار دهد که هر کاربر بسته به نیاز خود قادر به انتخاب و استفاده از محصول مناسب برای موضوع مطالعاتی مورد نظر می‌باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و علم سنجش از دور می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی، پایش‌های بیابان‌زائی، تخریب سیلاب، خشکسالی، تغییرات آب دریاها و دریاچه‌ها، تغییرات آب و هوا، آلودگی‌های آب و خاک و هوا، تغییرات شهرها و مناطق مسکونی به‌عنوان ابزارهائی برای مدیریت دقیق مطرح است که با اطلاعات ماهواره‌ای انجام بسیاری از این مطالعات مقدور می‌شود[۱].

سنجش از دور به‌خصوص در مطالعات آب و خاک، این فرصت را فراهم می‌کند تا داده‌های موجود خاک به مناطق غیرقابل دسترس و یا دور از دسترس تعمیم داده شود[۲]. به‌عبارتی با داشتن تعدادی داده و از طریق روش‌های درون‌یابی، برون‌یابی، معادلات رگرسیون و ... می‌توان برای مناطق فاقد اطلاعات نیز پیش‌بینی مقادیر برای متغیر مورد بررسی را انجام داد.

بررسی مطالعات انجام شده قبلی درخصوص تهیه نقشه‌های آلودگی خاک به فلزات سنگین با استفاده از سنجش از دور، اهمیت طیف‌سنجی در محدوده طیف مرئی- مادون قرمز نزدیک (V- NIR)[2] (۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر) را نشان می‌دهد. بسیاری از روش‌های کالیبراسیون[3] چند متغیره مربوط به طیف مادون قرمز نزدیک و خواص خاک از جمله رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)[4]، جداسازی خطی طیفی، رگرسیون اجزای اصلی (PCR)[5] و رگرسیون چند تطبیقی نرم (MARS)[6] استفاده شده است. با این حال تا به امروز هیچ یک از روش‌های کالیبراسیون به‌صورت جهانی پیشنهاد نشده است، چرا که یک مدل کالیبراسیون که به خوبی برای یک کاربرد جوابگوست، ممکن است برای دیگری غیرقابل قبول باشد[۳].

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از داده‌های سنجش از دور، طیف‌سنجی در آزمایشگاه و یا استفاده توأم آنها جهت بررسی‌های محیطی و از جمله پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک انجام شده است. در ادامه به چند نمونه از تحقیقات انجام شده داخلی و خارجی اشاره می‌شود.

دیانی، نادری و محمدی (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی غلظت سرب، روی و کادمیوم را در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ETM+ در جنوب شهرستان اصفهان انجام دادند. آنها طی آنالیز آماری، همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت عناصر سنگین و اطلاعات محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک به‌دست آوردند. در نهایت پراکندگی غلظت عناصر را به کمک معادله رگرسیون چندگانه گام به گام در قالب نقشه پهنه‌بندی ارائه نمودند[۴].

محمودی و نادری (۱۳۹۰)، قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای IRS- P6LISS- III برای تعیین خاک‌های آلوده به روی در جنوب شهرستان اصفهان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین میزان انعکاس طیفی خاک در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و غلظت روی در کلاس‌های اندازه ذرات خاک همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد. پراکنش مکانی

[1] Remote Sensing
[2] Visible- Near Infra Red
[3] Colibration
[4] Partial Least Squares Regression
[5] Principal Component Regression
[6] Multi Adaptive Regression Software

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

غلظت روی در کلاس‌های ذرات خاک به‌کمک معادلات رگرسیون چند متغیره گام به گام پهنه‌بندی گردید[۵].

کیوایسترا و همکاران[1] (۲۰۰۱)،از کالیبراسیون چند متغیره با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای ایجاد رابطه بین طیف بازتابی در ناحیه مرئی- مادون قرمز نزدیک و ویژگی‌های خاک (مواد آلی و رس) که با غلظت کادمیوم و روی ارتباط دارد به‌عنوان روشی سریع نسبت به مطالعات میدانی در تهیه نقشه آلودگی خاک در دو دشت سیلابی واآردن[2] و میلینگر[3] که در امتداد رودخانه وال[4] که شاخه اصلی رودخانه راین در هلند واقع شده است، استفاده کردند. همبستگی مثبت بین ماده آلی و غلظت کادمیوم و روی و همبستگی متوسط تا کم بین میزان رس و غلظت عناصر مشاهده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های کالیبراسیون از طریق ارتباط بین ویژگی‌های طیفی خاک و غلظت فلزات سنگین برای توصیف کیفیت خاک در دشت‌های سیلابی امیدوارکننده است[۶].

کلورز و کیوایسترا[5] (۲۰۰۱) قابلیت شاخص لبه قرمز (REI)[6] در پوشش گیاهی را برای به/دست آوردن اطلاعاتی در خصوص آلودگی خاک به فلزات سنگین در دشت‌های سیلابی آفردنچه[7] و دویتچه[8]، در امتداد رودخانه وال، در هلند بررسی نمودند. آنها روش‌های مختلفی از جمله حداکثر مشتق اول، هموارسازی مانند چند جمله‌ای‌ها و تابع معکوس گوسی و روش‌های درون‌یابی براساس چند باند طیفی را مورد آزمایش قرار دادند. در حین عملیات میدانی برداشت نمونه خاک، مشخصات پوشش گیاهی هر نقطه نمونه‌برداری ثبت و طیف بازتابی از پوشش گیاهی با اسپکترورادیومتر[9] ASD Field Spec FR در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. ضرایب همبستگی منفی قابل توجهی بین شاخص لبه قرمز و غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش حداکثر مشتق اول به‌دست آمد و در سایر روش‌ها ارتباط معنی‌داری بین ارزش REI و غلظت فلزات سنگین به‌دست نیامد. نتایج نشان داد که نمونه با سطح آلودگی بالا، بیشترین بازتاب را در باند طیفی مادون قرمز نزدیک نشان داد. از طرفی نمونه با سطح آلودگی بالا و دارای بایومس که بازتاب بیشتری در مادون قرمز نزدیک دارد، بازتاب بیشتری در باند قرمز نسبت به نمونه با سطح آلودگی متوسط نشان داد. این نشان می دهد که فلزات ممکن است اثر منفی بر غلظت کلروفیل داشته و باعث افزایش بازتاب در باند قرمز شود[۷].

نگی و تاماس[10] (۲۰۰۷)،از رسوبات شناور مخازن آب در محل سایت‌های معدن‌کاری سرب- روی در شمال هانگری[11] اروپا نمونه خاک جمع‌آوری نمودند. آنها از تصویر فراطیفی سنجنده هوابرد دارای اسپکترومتر DAIS 7915 استفاده کردند. آنها از طیف مادون قرمز موج کوتاه (SWIR)[12] سنسور DAIS و همبستگی آن با غلظت فلزات سنگین، با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای تهیه نقشه آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده نمودند. نتایج نشان داد که خصوصیات مواد معدنی (محتویات روی و سرب) شباهت به توزیع مکانی رسوبات شناور در مخازن آب دارد. اعتبارسنجی مدل‌ها نیز نتایج قابل اتکایی فراهم کرد[۸].

[1] Kooistra, et al
[2] Waarden
[3] Millinger
[4] Waal
[5] Clevers & Kooistra
[6] Red Edge Index
[7] Afferdensche
[8] Deestsche

[9] Spectroradiometer
[10] Nagy & Tamas
[11] Hungary
[12] Short Wave Infra Red

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

چو و همکاران[1] (۲۰۰۸)، نقشه توزیع فلزات سنگین در مناطق تحت تأثیر در منطقه معادن طلای رودالکیلار[2] در شمال شرق اسپانیا را بر روی داده‌های هایمپ[3] تهیه نمودند. آنها برای طیف‌سنجی نمونه‌ها از دستگاه طیف‌سنج زمینی در تماس کامل با نمونه و بدون دخالت نور خارجی و در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر استفاده کردند. بررسی تشابه طیفی بین تصویر هایمپ و اطلاعات طیفی اندازه‌گیری زمینی توسط طیف‌سنج با استفاده از الگوریتم SAM[4] و آنالیز واریانس یک طرفه، تفاوت معناداری بین میانگین مقادیر پارامترهای محاسبه شده از تصویر و طیف زمینی نشان نداد. ارتباط پارامترهای مختلف با غلظت فلزات سنگین از طریق روابط آماری به‌دست آمد. آنها از نسبت‌های طیفی در ناحیه مرئی- مادون قرمز نزدیک استفاده کردند و به ترتیب ارتباط معنی‌داری با غلظت سرب، روی و آرسنیک به‌دست آوردند. در نتیجه نقشه‌های طیفی، الگوی مکانی (فضائی) مشابهی با نقشه‌های ژئوشیمیایی نشان داد. پارامترهای طیفی منتشر شده از زمین ارتباط کمی (عددی) قابل اعتمادی با سطوح فلزات سنگین بر اساس رگرسیون خطی چندگانه نشان داد[۹].

ساگتلیان و همکاران[5] (۲۰۰۹)، اثر طیفی آلودگی خاک به فلزات سنگین را از طریق تطبیق نقشه‌های ژئوشیمیایی و اطلاعات سنجش از دور (تصاویر ماهواره لندست +ETM) در شهر کراجان[6] بخش جنوبی ارمنستان بررسی کردند. با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)[7] و داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها، نقشه ژئوشیمیایی آلودگی فلزات سنگین خاک (مولیبدن، مس، سرب، نیکل، کبالت، کروم، روی، قلع، منگنز، وانادیوم، جیوه، کادمیوم و آرسنیک) را تهیه نمودند. برای تفسیر داده‌های سنجش از دور، از تجزیه و تحلیل منحنی طیفی نمونه‌های خاک که ویژگی‌های تابش طیفی متفاوتی را نشان می‌دهد، استفاده کردند. در واقع از رابطه بین اطلاعات ژئوشیمیایی و بازتابندگی طیفی داده‌های سنجش از دور استفاده نمودند. مشخص شد ارزش بازتاب طیفی (SIV)[8]، آلودگی را در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی خلاصه می‌کند و یک رابطه معکوس بین ارزش طیفی تابش خاک در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) با آلودگی خاک به فلزات سنگین و یک رابطه مستقیم بین ارزش طیفی تابش خاک در باند قرمز (R) با آلودگی خاک به فلزات سنگین وجود دارد؛ به عبارتی [SIV=NIR-R] [۱۰].

پاندیت و همکاران[9] (۲۰۱۰)، برای ارزیابی امکان استفاده از بازتاب طیفی برای تهیه نقشه سرب و دیگر فلزات سنگین خاک، رابطه بین غلظت فلزات در خاک سطحی و بازتاب داده‌های فراطیفی را با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی مدل‌سازی کردند. نمونه‌های خاک سطحی را از پارک میلی‌تری[10] منطقه ایندیاناپلیس[11] در ایالات متحده جمع‌آوری کردند. بازتاب طیفی نمونه‌ها نیز توسط طیف‌سنج ASD در محدوده طیفی ۲۵۰۰ -۳۵۰ نانومتر و در منطقه طیفی فرابنفش[12] و مرئی- مادون قرمز نزدیک اندازه‌گیری شد. از طیف مرجع (بازتاب طیفی کاغذ سفید) برای اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط

[1] Choe, et al
[2] Rodalquilar
[3] HyMap
[4] Spectral Angle Mapping
[5] Saghatelyan, etal
[6] Karajan
[7] Inverse Distance Weighting
[8] Spectral Irradiance Values
[9] Pandit, et al
[10] Military
[11] Indianapolis
[12] Ultraviolet

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

طیف‌سنج استفاده شد. این مطالعه همبستگی بسیار معنی‌داری بین بازتاب طیفی خاک و ترکیبات خاک نظیر سرب، روی، منگنز، کادمیوم و مواد آلی نشان داد. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از بازتاب طیفی و روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای مدل‌سازی تعیین غلظت سرب و آلودگی دیگر فلزات سنگین در مناطق شهری مناسب است[۱۱].

جیا و همکاران[1] (۲۰۱۰)، ارتباط بین فلزات سنگین کادمیوم، کروم، سرب، مس، روی، جیوه و آرسنیک را با بازتاب طیفی منتشره از خاک‌های کشاورزی دلتای رودخانه چانگ‌جیانگ[2] چین برای ارزیابی اشکال اتصال، مورد مطالعه قرار دادند. نمونه‌ها از مناطق ریزوسفر و غیر ریزوسفر خاک ازاطراف ریشه برنج جمع‌آوری شد. طیف بازتابی منتشره توسط یک اسپکتروفتومتر[3] Perkin- Elmer Lambda 900 در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر نسبت به استاندارد طیفی کاغذ سفید ثبت شد. نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های ریزوسفر خاک، همبستگی منفی با بازتاب‌های طیفی خاک دارد اما باندهای هر یک متفاوت است که نشاندهنده اتصالات هر یک از عناصر با اجزاء خاک است. اعتبارسنجی منطقه غیر ریزوسفری خاک نیز نشان داد که مدل‌های استفاده شده برای عناصر سنگین، پتانسیل قابل توجهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در آینده برای تهیه سریع نقشه مناطق آلوده در زمین‌های کشاورزی ارائه می‌دهد[۱۲].

دنا و بدئا[4] (۲۰۱۱)، مطالعه‌ای به منظور تشخیص مزارع کشاورزی آلوده بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور و در ادغام با داده‌های زمینی انجام دادند. این تحقیقات روی داده‌های به‌دست آمده بین سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ در بیش از یک منطقه آزمایشی در کوپزا- مایکا[5] در شمال غرب بخش مرکزی رومانی در حوضه هیدروگرافی تارنارا[6] برای تعیین غلظت عناصر سنگین سرب، روی، کادمیوم و مس انجام شد. تجزیه و تحلیل چند طیفی روی ۱۰ تصویر لندست TM (بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱) و تصویر چند طیفی اسپات[7] انجام گرفت.برای شناسایی زمین‌های آلوده به فلزات سنگین در میان روش‌های پردازش تصاویر چند طیفی، روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[8]، تجزیه و تحلیل بر اساس شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی (NDVI)[9]، تجزیه و تحلیل طیفی چند زمانه تصویر، طبقه‌بندی نظارت نشده و محاسبات باندهای طیفی مثل تفریق یا تقسیم استفاده شد. در میان این روش‌ها، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابزاری مناسب برای شناسایی مناطق آلوده در سطح منطقه معرفی شد. تجزیه و تحلیل واکنش طیفی تصاویر چند زمانه در باند مادون قرمز نزدیک در تصاویر لندست TM نتایج خوبی ارائه نمود. واکنش طیفی برای هر نمونه در باند مادون قرمز نزدیک بالاتر از مقدار آن در سال ۲۰۱۱ به‌دست آمد و معنی آن احتمالاً کاهش سطح آلودگی مس بوده است. در نهایت، شناسایی و کنترل آلودگی فلزات سنگین در اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور، نتایج رضایت‌بخشی ارائه داد [۱۳].

گاننی، ربای و ابدلجوئید[10] (۲۰۱۲)، درتحقیق خود از بازتاب طیفی در آزمایشگاه برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در تشخیص مواد معدنی آهن و خاک رس و همچنین مقادیر آلاینده‌های مربوط به زباله‌های معادن جالتا[11] در ۸۵ کیلومتری بئوگرین[1] در ۱۷۵

[1] JiA, et al
[2] Changjiang
[3] Spectrophotometer
[4] Dana & Badea

[5] Copsa- Mica
[6] Tarnara
[7] SPOT
[8] Principal Component Analysis
[9] Normalized Difference Vegetation Index
[10] Gannouni, Rebai, & Abdeljaoued
[11] Jalta

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

کیلومتری شمال غرب تونس استفاده کردند. عناصر سرب، روی، منگنز، آهن، کادمیوم، مس، کروم و نیکل برای مطالعه انتخاب شدند. همچنین اسیدیته (PH) و هدایت الکتریکی (EC)[2] به‌عنوان شاخص‌های زیست محیطی مهم نیز اندازه‌گیری شدند. طیف‌سنجی زباله‌ها در آزمایشگاه توسط طیف‌سنج Cary 500 و در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر انجام شد که به‌وضوح می‌توان دو منطقه طیفی در این محدوده مشاهده کرد. منطقه طیفی مرئی- مادون قرمز نزدیک (۱۳۰۰-۴۰۰ نانومتر) که در آن جذب توسط فلزات واسطه مثل آهن، سرب، منگنز، تیتانیوم، مس، کروم و ... و دیگری طول موج مادون قرمز موج کوتاه (۲۵۰۰-۱۳۰۰ نانومتر) که در آن جذب توسط هیدروکسیل (OH)، کربوکسیل (HCO) و آمونیوم(NH4) انجام می‌شود. روابط بین پارامترهای اسپکتروفتومتر و غلظت فلزات سنگین نشان داد که اکسیدهای آهن نقش مهمی در پیش‌بینی غلظت فلزات سنگین خاک با استفاده از بازتاب طیفی ایفا می‌کند. خروجی رگرسیون حداقل مربعات جزئی نشان داد که پارامترهای طیفی و مقادیر بازتاب در محدوده طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر می‌تواند آلودگی منگنز، سرب و روی را بهتر از نیکل و کروم پیش‌بینی کند؛ اما برای آهن، مس، کادمیوم، ECو PH توانمندی لازم را ندارد[۱۴].

ایزمارین و همکاران[3] (۲۰۱۴)، از تصویر ماهواره‌ای World View 2EO- 1Sensors (EO-1) و طیف‌سنجی نمونه‌های خاک با استفاده از اسپکترومتر ASD Field Spec 3 برای تهیه نقشه آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده کردند. آنها برای نمونه‌های خاک منطقه کجاران[4]، ضریب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین خاک و بازتاب‌های خوانده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در محدوده‌های طیفی مختلف و ضریب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و بازتاب‌های طیفی قرائت شده از تصویر ماهواره‌ای در محدوده‌های طیفی مختلف را به‌دست آورده و در نهایت با توجه به اطلاعات به‌دست آمده، توزیع احتمالی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های بایر منطقه را محاسبه نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که یک رابطه معکوس بین مقادیر فلزات سنگین و ارزش تابش طیفی به‌دست آمده از دستگاه اسپکتروفتومتر و تصاویرماهواره‌ای در خاک منطقه وجود دارد[۱۵].

با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیقات پیشین، استفاده از طیف‌سنجی زمینی و مقایسه آن با نتایج استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشاندهنده قابلیت بهتر طیف‌سنجی زمینی در اغلب موارد برای بررسی‌های زیست محیطی و از جمله پراکندگی غلظت فلزات سنگین در خاک بوده است. لازم به ذکر است که در تحقیقات عنوان شده از طیف‌سنج‌های با قدرت طیفی بالا استفاده شده است. در این تحقیق قابلیت طیف‌سنج بازتابی آلتا با توجه به در دسترس بودن آن و طبق توضیحاتی که در ادامه از موارد کاربرد آن ارائه می‌شود، با هدف انتخاب مناسب باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای جهت شرکت در روابط رگرسیون مورد ارزیابی قرار گرفت تا مشخص شود که آیا این طیف‌سنج بازتابی به اندازه طیف‌سنج‌های استفاده شده در تحقیقات مشابه پیشین که نمونه‌های آن توضیح داده شد، کارائی لازم در بررسی خصوصیات خاک را دارد وقادر به پاسخگوئی به نیاز تحقیق حاضر خواهد بود یا خیر؟

طیف‌سنج بازتابی آلتا[5] برای آشنائی دانش‌آموزان و دانشجویان با مفاهیمی مانند نور، رنگ، تجزیه و تحلیل طیفی، مطالعات زیست محیطی و علوم سیاره‌ای

[1] Bougrine
[2] Electrical Conductivity
[3] Asmaryan,et al
[4] Kajaran
[5] ALTA Reflectance Spectrometer

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

استفاده می‌شود. همچنین برای بررسی بازتاب طیفی مواد مختلف از جمله خاک، سنگ، آسفالت، بتن، پوشش سقف و ... از آن استفاده می‌گردد؛ شکل (۱)[۱۶].

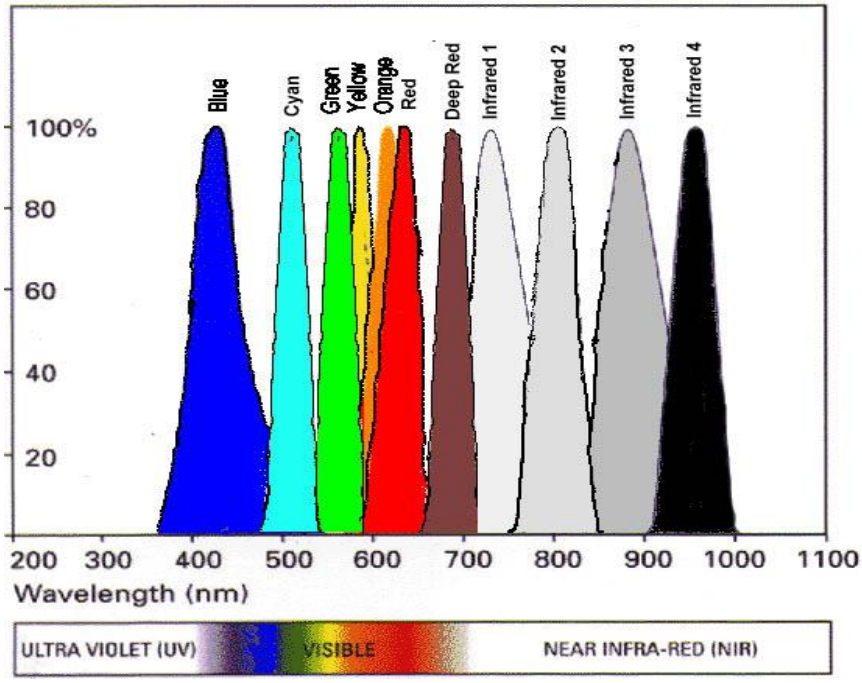


شکل ۱: نمایی از طیف‌سنج بازتابی آلتا[۱۶]

طیف‌سنج بازتابی آلتا توسط یکی از دانشمندان LPI[1] به نام آلن تریمن[2] طراحی شده است. با استفاده از این طیف‌سنج به راحتی و به سرعت می‌توان داده‌های مربوط به بازتابندگی نور از اشیاء دنیای واقعی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز را جمع‌آوری کرد. در طراحی طیف‌سنج بازتابی از نورهای رنگی مرئی در ۷ طول موج (از آبی تا قرمز) و ۴ طیف نامرئی در محدوده مادون قرمز استفاده شده است. طیف‌سنج آلتا به‌خصوص در سیستم علوم زمین به‌عنوان ابزاری که باندهای با طول موج شبیه به بسیاری از تصاویر ماهواره‌ای مانند لندست ام اس اس، لندست تی ام، اسپات، ای وی اچ آر آر[3] و ... دارد، مفید است[۱۷]. می‌توان معادل‌سازی تقریبی بین باندهای رنگی طیف‌سنج بازتابی آلتا با باندهای طیفی بعضی از طیف‌سنج‌های تصویربرداری از جمله سنجنده‌های نسل‌های مختلف لندست و ماهواره اسپات انجام داد[۱۶]. آلتا بازتاب را در محدوده‌های جداگانه طول موج‌ها اندازه‌گیری می‌کند. کلید ۱۱ لامپ LED[4] رنگی روی بدنه آلتا وجود دارد که طول موج مربوط به هر کلید در حالت اوج (پیک)[5] در زیر آن بر حسب نانومتر درج شده است. لامپ‌ها تک رنگ نیستند و هر یک از لامپ‌ها در محدوده‌ای از طول موج که برابر با نصف شدت نور در حالت اوج ± ۱۰ تا ۲۵ نانومتر از طول موج انتشار در حالت اوج می‌باشد، از خود نور ساطع می‌کنند شکل (۲) و جدول(۱). لامپ‌ها در داخل سوراخی در پشت دستگاه قرار دارد که در زمان استفاده، روی سطح نمونه قرار می‌گیرد. ALTA برای سطوح مسطح و مات مناسب است و برای سطوح آینه‌ای، خوانش درستی ارائه نمی‌دهد. در زمان استفاده از این دستگاه نباید نور خارجی وارد سوراخ قرارگیری لامپ‌های LED شود. از بازتاب طیفی کاغذ سفید می‌توان به عنوان استاندارد برای بررسی بازتابندگی طیفی سایر اشیاء استفاده کرد[۱۷].

[1] Lunar and Planetary Institute
[2] Allan Treiman
[3] AVHRR
[4] Light Emitting Diode
[5] Peak

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]



شکل ۲: گستره تابش طیفی لامپ‌های LED در طیف‌سنج بازتابی آلتا[۱۷]

جدول ۱: مقادیر اوج (پیک) تابش طیفی لامپ‌های LEDدر طیف‌سنج بازتابی آلتا[۱۶]

رنگ نور	آبی	فیروزه‌ای	سبز	زرد	نارنجی	قرمز	قرمز عمیق	مادون قرمز ۱	مادون قرمز ۲	مادون قرمز ۳	مادون قرمز ۴
طول موج (نانومتر)	۴۷۰	۵۲۵	۵۶۰	۵۸۵	۶۰۰	۶۴۵	۷۰۰	۷۳۵	۸۱۰	۸۸۰	۹۴۰

طیف‌سنج بازتابی آلتا، مقدار نور یا طول موج منعکس شده (بازتاب شده) از اشیاء را که طیف‌سنجی بازتابی نامیده می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. اندازه‌گیری نوری که اشیاء از خود ساطع می‌کنند، طیف‌سنجی نشری نامیده می‌شود که آلتا نمی‌تواند آن را انجام دهد. اندازه‌گیری نوری که از اشیاء عبور می‌کند، طیف‌سنجی جذبی نامیده می‌شود که آلتا نمی‌تواند به خوبی آن را نیز انجام دهد. طیف‌سنج آلتا قادر به تشخیص برخی نورهای نامرئی که چشم انسان نمی تواند ببیند، می‌باشد. در عین حال طیف‌سنج آلتا پاسخ بسیار کمی به طیف بنفش و فرابنفش و پاسخ نسبتاً ضعیفی به نور آبی می‌دهد. اما پاسخ بسیار قوی به نور قرمز و حتی پاسخ قوی‌تر به طیف مادون قرمز که چشم انسان قادر به تشخیص آن نیست، می‌دهد. زمانی که هیچ لامپ طیف‌سنج بازتابی روشن نیست، عددی برمبنای میلی‌ولت نشان داده می‌شود که به آن "ولتاژ تاریکی"[1] می‌گویند. اگر پد[2] مربوط به هر لامپ رنگی فشرده شود، عدد روی نمایشگر آلتا "ولتاژ نمونه"[3] در آن طول موج گفته می‌شود. به‌دلیل وجود تنوع در نمودارهای بازتاب طیفی تهیه شده از اجسام تقریباً یکسان، یکی از راه‌ها برای اندازه‌گیری صحیح میزان نور تابیده شده به جسم

[1]Dark Voltage
[2]Pad
[3]Sample Voltage

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

و میزان نور بازتاب شده از آن، اندازه‌گیری بازتاب از یک ماده استاندارد است که می‌دانیم چه میزان از نور تابیده شده به آن بازتاب می‌شود؛ مثل کاغذ سفید یا پوسترهای سفید که تقریباً همه نوری که به آنها تابیده می‌شود (در حدود ۸۵٪) را بازتاب می‌کند. برای این منظور، بعد از قرار دادن طیف‌سنج روی کاغذ سفید، ولتاژ خروجی طیف‌سنج برای هر لامپ آلتا اندازه‌گیری می‌شود. با داده‌های استاندارد می‌توان درصد بازتابندگی از جسم را محاسبه کرد. برای هر لامپ، عدد نمایش داده شده ولتاژ برای جسم را بر عدد نمایش داده شده ولتاژ برای کاغذ سفید تقسیم و سپس ضرب در ۱۰۰ می‌شود. این مقدار، "درصد بازتابندگی یا درصد انعکاس" نامیده می‌شود رابطه (۱)[۱۶].

رابطه (۱)

$$\text{بازتابندگی (انعکاس) ٪} = \frac{\text{(ولتاژ نمونه)}}{\text{(ولتاژ استاندارد)}} \times 100$$

برای به‌دست آوردن مقدار واقعی‌تر درصد بازتابندگی (درصد انعکاس) نمونه، باید ولتاژ تاریکی از ولتاژ اندازه‌گیری شده برای نمونه تفریق شود و بعد تقسیم شود بر تفریق ولتاژ تاریکی از ولتاژ استاندارد (کاغذ سفید) و در نهایت تقسیم حاصل در ۱۰۰ ضرب شود تا مقدار بازتابندگی نمونه بر حسب درصد به‌دست آید رابطه (۲)[۱۶].

رابطه (۲)

$$\text{بازتابندگی (انعکاس) ٪} = \frac{\text{(ولتاژ تاریکی - ولتاژ نمونه)}}{\text{(ولتاژ تاریکی - ولتاژ استاندارد)}} \times 100$$

با استفاده از مقادیر به‌دست آمده برای درصد بازتابندگی می‌توان نمودار بازتابندگی نمونه‌ها را ترسیم نمود[۱۶].

از جمله موارد کاربرد طیف‌سنج بازتابی آلتا عبارت است از ۱) بررسی رطوبت خاک: برای این‌منظور نمودار بازتابندگی نمونه‌های خاک با رطوبت متفاوت، برای هر طول موج ترسیم و مقایسه می‌شود. جهت انجام کالیبراسیون نمودارهای بازتابندگی رطوبت خاک در طول موج‌های مختلف نور باید طول موج‌هائی را پیدا کرد که بازتابندگی در آنها با تغییر محتوای رطوبت خاک تغییر کرده است. ۲) بررسی کدورت (گل‌آلودگی) آب: هر چه ذرات بیشتری در آب وجود داشته باشد، نور بیشتری پراکنده می‌شود. از طریق آزمایش اضافه کردن مقادیر مختلف شیر به آب در فواصل زمانی و قرائت و ثبت مقادیر خوانده شده از طیف‌سنج بازتابی آلتا که در این حالت کدورت برابر است با تفریق اندازه‌گیری‌های انجام شده در نقاط مختلف آب تمیز از اندازه‌گیری‌های انجام شده در آب شیری رنگ توسط آلتا که نشان می‌دهد چقدر از نور توسط شیر موجود در آب پراکنده شده است؟ نمودارها نشان می‌دهد که در یک نقطه مشخص، با افزایش مقدار شیر، ارزش کدورت افزایش می‌یابد. در مقادیر بالاتر شیر، نمودار صاف می‌شود یا حتی به سمت ارزش کدورت‌های پایین‌تر اندازه‌گیری شده توسط آلتا میل می‌کند. ۳) بررسی ذرات معلق در هوا: مفهوم آن، پراکندگی نور توسط ذرات کوچک است. به‌عنوان مثال در جعبه‌ای شامل آلتا، دود حاصل از شمع یا کنسرو دود و ... آزمایش می‌شود و از ورود نور محیط به داخل جعبه ممانعت می‌گردد. با توجه به میزان دود ورودی در هر زمان، تفریق اندازه‌گیری برای ولتاژ تاریکی (قبل از ورود دود به جعبه) در نقاط مختلف داخل جعبه از هر یک از اندازه‌گیری‌های آلتا برای مقادیر مختلف دود در همان نقاط، نشان‌دهنده چگونگی پراکندگی میزان نور توسط ذرات دود در هوا می‌باشد. ترسیم نمودار نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان دود، ارزش کدورت (درصد بازتابندگی) هم افزایش می‌یابد. برای مقادیر بسیار بالای دود ممکن است نمودار به صورت خط راست

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

درآید و یا حتی به سمت اعداد پایین درصد بازتابندگی نشان داده شده توسط آلتا سوق پیدا کند. ۴) بررسی علت قرمزی مریخ: در قالب یک تمرین و با استفاده از طیف بازتابی مواد سطح مریخ که توسط کاوشگر پتفایندر[1] در تابستان ۱۹۹۷ گرفته شد، انجام شد. هدف پیدا کردن مناطقی روی سطح زمین بود که موادی با طیف بازتابی شبیه به سطح مریخ دارند. به این منظور از تصویر رنگی مریخ در کنار طیف‌سنج بازتابی آلتا و مواد مایل به قرمز و نارنجی شامل میوه‌ها، کتاب‌ها، آجر، سنگ قرمز، مداد رنگی و ... استفاده شد. نمودار بازتابندگی مواد مورد آزمایش با نمودار بازتاب طیفی سطح مریخ مقایسه شد تا مشخص گردد نمودار بازتابندگی کدام ماده مورد آزمایش شباهت بیشتری به نمودار بازتاب طیفی سطح مریخ دارد تا به این طریق بتوان بهترین نتیجه از دلیل قرمز بودن سطح مریخ را استنباط کرد[۱۶].

با توجه به مقدمه و پیشینه تشریح شده درخصوص استفاده از داده‌های دورسنجی در مطالعات محیطی می‌توان گفت،از جمله محدودیت‌هایی که در تحقیقات مشابه وجود داشته و نیازمند توجه است، بحث برداشت نمونه در منطقه مطالعاتی و انجام تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی است که در اغلب موارد نیاز به صرف هزینه و زمان زیادی دارد و گاهی هم مشکل عدم دسترسی به برخی نقاط در منطقه مورد مطالعه جهت نمونه‌برداری پیش می‌آید که منجر به کاهش تعداد نمونه‌ها و در نتیجه تأثیر روی دقت مدل‌های پیش‌بینی می‌شود. بنابراین در این تحقیق از مفهومی با عنوان ایستگاه کاذب که اولین بار توسط یانگ و همکاران[2] (۲۰۰۱) ارائه شد، استفاده گردید. آنها از مفهوم ایستگاه مجازی برای بررسی آلودگی هوا به دلیل توزیع کم ایستگاه‌های اندازه‌گیری در سطح شهر و برای غلبه بر این مشکل استفاده کردند و مفاهیمی از جمله "کارت هویت ایستگاه اندازه گیری"[3]، "شبه ایستگاه"[4] و "ایستگاه مجازی"[5] را تعریف و یک روش با استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تهیه نقشه غلظت آلاینده‌ها در بیش از یک شهر ارائه نمودند. به این منظور از تصویر باند ۶ (باند حرارتی) لندست تی ام استفاده کردند. در واقع ایستگاه‌های مجازی به‌عنوان اندازه‌گیری‌های اضافه می‌باشد که همان ویژگی‌های مورفولوژیکی، زیست محیطی و آلودگی ایستگاه‌های حقیقی مشابه خود را دارد. منطقه مورد مطالعه آنها، شهر نانت در غرب فرانسه و در ۵۴ کیلومتری اقیانوس اطلس انتخاب شد. همبستگی، میزان خطا و اعتبار مدل، یک بار در حالت بدون ایستگاه‌های مجازی و یک بار در حالت ایستگاه‌های مجازی محاسبه و مقایسه شد که در حالت ایستگاه‌های مجازی، همبستگی و اعتبار مدل افزایش و خطای پیش‌بینی کاهش یافت. آنها نشان دادند که استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی و داده‌های سنجش از دور برای تهیه نقشه غلظت آلاینده باعث توسعه استفاده از مدل پیش‌بینی برای فضای بزرگتری شده و دقت تهیه نقشه‌ها را نیز بهبود می‌بخشد[۱۸]. در مطالعه‌ای مشابه و در استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی، نظریان، ضیائیان فیروزآبادی و جنگی (۱۳۸۶) با توجه به کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت هوا در تهران، جهت تهیه نقشه پراکندگی آلاینده‌ها از روشی جدید مبتنی بر داده‌های اپتیکی و حرارتی سنجش از دور استفاده کردند که امکان تهیه نقشه درجه حرارت سطح شهر تهران و توزیع آلاینده منوکسیدکربن (CO) را فراهم کرد. در این تحقیق از داده‌های ماهواره لندست +ETM سه سال متوالی (۲۰۰۲-۲۰۰۰) و داده‌های پانکروماتیک ماهواره IRS استفاده شد. در اینجا از ایستگاه‌های اندازه‌گیری و دیگر

[1] Pathfinder
[2] Ung,et al
[3] Identity of a Measuring Station
[4] Pseudo Station
[5] Virtual Station

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

داده‌های مکانی شهر که دارای ویژگی‌های یکسان محیطی، مورفولوژیکی و ویژگی‌های آلودگی یکسانی نسبت به ایستگاه‌های واقعی است و به‌عنوان ایستگاه‌های کاذب تعریف می‌شود، استفاده شد. برای تهیه نقشه توزیع آلاینده CO، ابتدا رابطه رگرسیون بین باند ۶ تصویر +ETM (باند حرارتی) و ایستگاه‌های کاذب روی سه تصویر تهران (۲۰۰۲-۲۰۰۰) محاسبه و سپس بر اساس این معادله، میزان آلاینده‌ها برای ایستگاه‌های کاذب پیش‌بینی شد. بعد از آن با استفاده از روش‌های درون‌یابی، تخمین غلظت آلودگی بین ایستگاه‌های مجازی انجام شد که برای این منظور از روش‌های مختلفی نظیر کریجینگ استفاده شد. در نهایت با مقایسه میزان CO به‌دست آمده از تصویر با میزان واقعی آن، دقت مدل بررسی شد[۱۹].

در پایان یادآور می‌شود که با توجه به موضوع تحقیق و اهمیت بررسی پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک در مطالعات زیست محیطی و نقش صنایع از جمله نیروگاه‌های تولید برق در این میان، ارزیابی قابلیت تصاویر دورسنجی جهت بررسی پراکندگی غلظت عناصر سنگین خاک، ارزیابی قابلیت داده‌های طیف‌سنج زمینی (طیف‌سنج بازتابی آلتا) در انتخاب بهینه باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای جهت شرکت در روابط رگرسیون و استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی به منظور بررسی تأثیر افزایش تعداد ایستگاه‌ها در تغییر دقت مدل‌های پیش‌بینی، از اهداف تحقیق حاضر می‌باشد. به این منظور، با توجه به دسترسی آسان به تصاویر بروز ماهواره لندست و امکان برنامه‌ریزی هم‌زمان جهت انجام کار میدانی با تاریخ تصویربرداری سنجنده که تقریباً هر ۲ هفته یکبار تصویر جدید از منطقه مورد نظر ارائه می‌دهد و با توجه به اینکه در مطالعات پیشین نیز استفاده از تصاویر ماهواره لندست نتایج قابل قبولی در مطالعات آلودگی خاک ارائه داده است، جدیدترین تصویر از گروه تصاویر ماهواره لندست (داده‌های سنجنده اُ ال آی لندست ۸) برای استفاده در این تحقیق انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت.لازم به‌توضیح است که ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است و با استفاده از دو حسگر، یکی سنسور عملیاتی تصویرساز زمین (OLI)[1] و دیگری سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS)[2]، اخذ مستمر داده‌ها را تضمین می‌کند. این دو سنسور به‌ترتیب، اطلاعات تصویر برای ۹ باند طول موج کوتاه و ۲ باند طول موج حرارتی را جمع‌آوری می‌کند. ۲ باند طیفی جدیدیعنی باند ساحلی آبی[3] و باند سیروس[4] مادون قرمز موج کوتاه به متخصصان امکان می‌دهد که به ترتیب کیفیت آب را اندازه‌گیری کرده و همچنین ابرهای بالا و نازک را تشخیص دهند[۲۰].

۲- روش تحقیق

در این بخش منطقه مورد مطالعه، داده‌های استفاده شده و نرم‌افزار و روشهای به‌کارگرفته شده جهت نمونه‌برداری، آماده‌سازی داده‌ها و تجزیه آزمایشگاهی توضیح داده شده است.

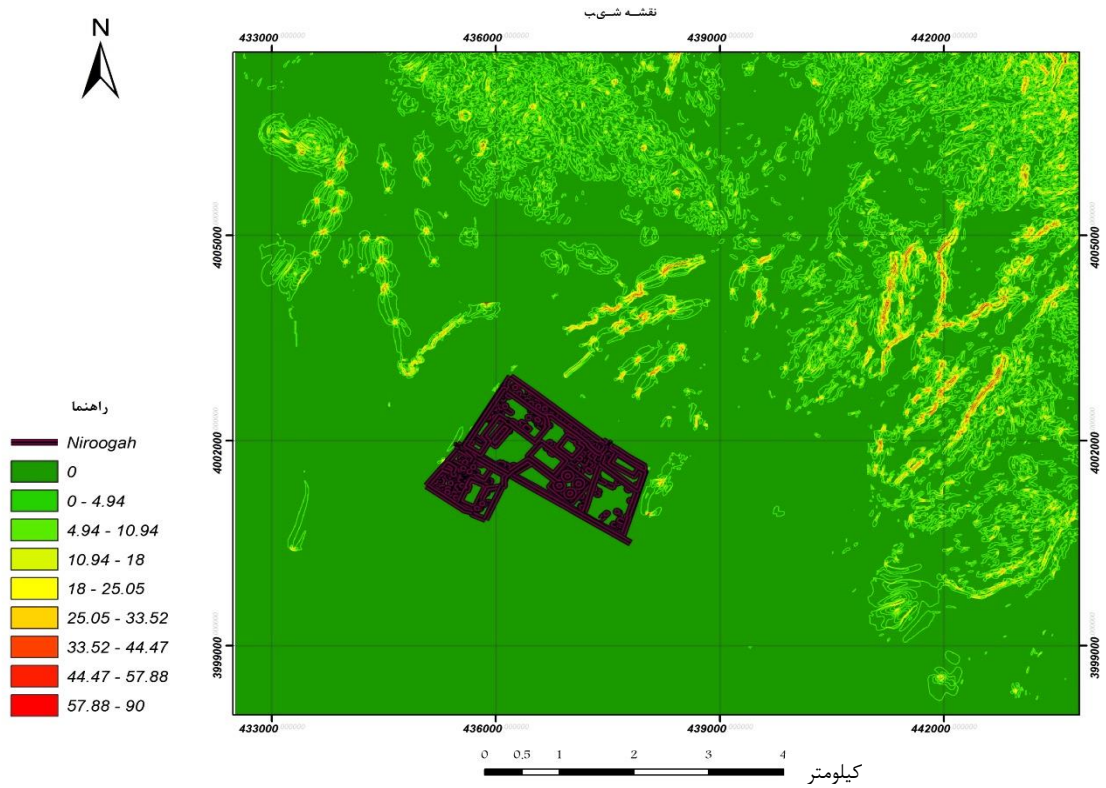
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دو نیروگاه سیکل ترکیبی و بخاری شهید رجائی قزوین در کیلومتر ۲۵ اتوبان قزوین به تهران و به ترتیب در موقعیت مکانی 50°17'05"E و 36°09'27"N و 50°17'47"E و 36°09'33"N و در ارتفاع ۱۲۶۳ متری از سطح دریا قرار گرفته است. نیروگاه سیکل ترکیبی دارای ۶ واحد و نیروگاه بخاری دارای ۴ واحد است. سوخت اصلی نیروگاه گاز بوده و سوخت دوم آن مازوت است. منابع احتمالی آلاینده محیط که از نیروگاه خارج می‌شود در سه دسته کلی زائدات جامد (خاکستر و ...)، آلاینده‌های گازی (عمدتاً اکسیدهای

[1]Operational Land Image
[2]Thermal SensorInfrared
[3] Bluecoastal/ Aerosol
[4] Cirrus

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

ازت، گوگرد و ...)، پساب‌ها و فاضلاب‌ها (فاضلاب لجنی، فاضلاب نمکی شامل پساب واحد تولید آب بی‌یون، پساب ناشی از احیاء مبدل‌های یونی واحد CPP (تصفیه‌خانه بین راهی)، پساب آزمایشگاه شیمی، فاضلاب‌های سمی، فاضلاب آلوده به‌سوخت و روغن، پساب‌های داغ حاصل از بلودان بویلر، فاضلاب‌های بهداشتی و ...) که پساب‌های هر دو واحد نیروگاه پس از تصفیه، با هم ترکیب شده و وارد زمین‌های کشاورزی می‌شود[۲۱]. نیروگاه شهید رجائی قزوین از لحاظ ساختار موفولوژیکی، بر روی خاک‌های نواحی هموار دشت قزوین مستقر شده که این نوع خاک‌ها از آبرفت‌های ریزدانه با رسوب‌گذاری رودهای شمالی دشت قزوین و خررود به‌وجود آمده است[۲۲]. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه؛ شکل (۳)، مؤید شرایط مورفولوژیکی قرارگیری نیروگاه در دشت قزوین می‌باشد.



شکل ۳: نقشه شیب منطقه مطالعاتی

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر عبارت است از: مجموعه فایل دی جی ان[1] سازمان نقشه‌برداری به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ شامل لایه‌های خطوط میزان، مرز، آبراهه، کاربری موجود، راه‌ها

تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به تاریخ ۱۲ آگوست ۲۰۱۵ (۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۴) و دانلود شده از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)[2] می‌باشد. مختصات گوشه شمال غربی تصویر 49°44'39.41"E و 37°05'47.65"N، مختصات گوشه شمال شرقی تصویر 51°49'44.33"E و 36°42'01.37"N،

[1] .dgn

[2] United States Geological Survey

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

مختصات گوشه جنوب شرقی تصویر 51°18'18.40"E و 34°58'31.91"N و مختصات گوشه جنوب غربی تصویر 49°15'55.87"E و 35°22'14.95"N می‌باشد[۲۳]. درخصوص استفاده از باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، باند ۱ (برای بررسی کیفیت آب)، باند ۸ (باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالاتر)، باند ۹ (برای بررسی ابر) و باندهای ۱۰ و ۱۱ (باندهای حرارتی) کنار گذاشته شدو با توجه به نتایج حاصل از مطالعات مشابه، تصاویر باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ (در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز)انتخاب و ارزیابی شد.

۲-۳- نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این تحقیق جهت انجام تحلیل‌ها و دریافت نتایج از نرم‌افزار آرک جی آی اس (نسخه ۹.۳)، نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای اِن وی (نسخه ۴.۱)، نرم‌افزار تحلیل آماری اس پی اس اس (نسخه ۱۶) و مجموعه نرم‌افزارهای آفیس (نسخه ۲۰۱۰) و ... استفاده شده است.

۲-۴- روش تعیین نقاط نمونه‌برداری

روی تصویر ماهواره‌ای، محدوده‌ای به شعاع تقریبی ۴ کیلومتر و مساحتی برابر ۱۱۰۰۰ هکتار اطراف نیروگاه تعیین و در محیط نرم افزار آرک جی آی اس با استفاده از ابزار تولید نقاط تصادفی[1]، تعداد ۴۰ ایستگاه نمونه‌برداری تعریف شد. پراکندگی ایستگاه‌ها روی تصویر به صورت چشمی بررسی شد تا توزیع ایستگاه‌ها یکنواخت‌تر شود و حتی‌الامکان ایستگاه‌ها در انواع کاربری‌ها اعم از کشاورزی، صنعتی، مسکونی، جاده و ... قرار گیرد. در نهایت ۳۵ ایستگاه جهت نمونه‌برداری انتخاب شد.

۲-۵- روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در روزهای ۲۲ و ۲۳ مرداد ماه سال ۱۳۹۴ انجام شد. در رجوع به محل و گاهی مشاهده شرایط محلی نامناسب برای دسترسی به ایستگاه‌ها از جمله وجود کانال آب، عدم وجود راه ارتباطی ماشین رو به خصوص در کاربری کشاورزی و ...، به ناچار تعداد ۸ ایستگاه حذف و به جای آن تعداد ۷ ایستگاه جایگزین گردید و در نهایت از ۳۴ ایستگاه، نمونه‌برداری به صورت مرکب انجام شد؛ بدین‌صورت که ۱ نقطه در مرکز و ۳ نقطه دیگر در اطراف نقطه مرکزی و به فاصله حدود ۳۰ متر از نقطه مرکزی در نظر گرفته شد و نمونه خاک این ۴ نقطه جمع‌آوری و با هم مخلوط شد و به عنوان یک نمونه خاک مرکب در نظر گرفته شد و مختصات نقطه مرکزی با جی‌پی‌اس ثبت و به‌عنوان مختصات ایستگاه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد[۲۴]. با توجه به تجمع فلزات سنگین در سطح خاک و تحرک کم آن و با توجه به کاربری عمده منطقه که از نوع کشاورزی می‌باشد، با در نظر گرفتن عمق متوسطی برای شخم خاک، نمونه‌برداری از عمق حدود ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک سطحی انجام گرفت. پس از انجام نمونه‌برداری در هر ایستگاه، مقداری از خاک را داخل جعبه ریخته، سطح آن را صاف کرده، سنگ و کلوخه‌ها را جدا کرده و طیف‌سنج بازتابی آلتا روی سطح نمونه قرار داده شد، به‌نحوی که هیچ نور خارجی وارد دستگاه نشود. دستگاه را روشن کرده و زمانی که عدد ثابت (ولتاژ تاریکی) را نشان داد، کلید مربوط به هر لامپ را فشرده و عدد نمایش داده شده روی مانیتور دستگاه که ولتاژ مربوط به بازتاب هر نور رنگی دستگاه توسط نمونه می‌باشد، ثبت شد (برای هر ایستگاه، ۱۱ عدد قرائت و ثبت شد).

۲-۶- روش تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها

نمونه‌ها قبل از ارسال به آزمایشگاه به‌صورت اولیه آماده‌سازی شدند؛ یعنی کلوخه‌ها از نمونه‌ها جدا و

[1] Create Random Points

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

نمونه‌ها الک شد، سپس به آزمایشگاه تحویل گردید. در آزمایشگاه پس از طی مراحل مرتب کردن، خشک کردن، خردایش، تقسیم‌کردن و نرمایش، تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش انحلال آکوارجیا[1] (استفاده از اسید کلریدریک و اسید نیتریک) انجام شد که روش انحلال جزئی محسوب می‌شود، یعنی بسیاری از کانی‌های دیرگداز و مقاوم در این روش قابلیت انحلال و بازیابی پایینی دارند. در واقع داده‌های خروجی این روش مربوط به بخش قابل لیچینگ[2] نمونه (اصطلاحاً از صافی عبور کرده) می‌باشد. در انتها برای خوانش مقادیر غلظت عناصر در نمونه‌ها، از دستگاه طیف‌سنج پلاسمائی جفت شده القائی (ICP-MS) (از دسته اسپکترومتر جرمی) استفاده شد[۲۵].

۲-۷- آماده‌سازی داده‌ها جهت انجام تحلیل

میزان بازتابندگی (انعکاس)[3] نمونه‌های خاک در برخورد با تابش‌های نوری طیف‌سنج بازتابی آلتا بر حسب درصد و طبق رابطه (۲) محاسبه شد. ترسیم نمودار درصد بازتابندگی (انعکاس) برای نمونه‌های خاک، تفاوت‌هایی در روند بازتابندگی نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان به شرایط مختلف خاک از جمله خواص ژئوشیمیایی، مواد موجود در خاک، رطوبت، حرارت و ... نسبت داد. اما با این حال می‌توان یک روند کلی و تقریبی از وضعیت بازتابندگی در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌دست آورد، به‌نحوی که روند افزایشی بازتاب تا نورهای زرد و نارنجی (از ۵۸۵ تا حدود ۶۰۰ نانومتر) و کاهش قابل ملاحظه در بازتاب نور قرمز (از ۶۰۰ تا حدود ۶۴۵ نانومتر) و روند افزایشی در بازتاب مادون قرمز (از ۷۳۵ تا ۹۴۰ نانومتر) قابل مشاهده می‌باشد؛ شکل (۴).

با اعمال روابط بازتابندگی روی تک تک باندهای انتخابی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، تصاویر محتوی اطلاعات بازتابندگی به دست آمد؛ رابطه (۳)[۲۶]. با استفاده از مقادیر بازتابندگی در باندهای تصویر ماهواره‌ای و مقادیر غلظت فلزات سنگین، همبستگی بین ارزش‌های بازتابندگی (متغیر مستقل) و مقادیر غلظت عناصر سنگین (متغیر وابسته) برای نمونه‌های خاک بررسی شد و از طریق آن، مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین خاک به دست آمد و در نهایت نقشه پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک تهیه شد که روند انجام کار در ادامه توضیح داده می‌شود.

$$\rho_{\lambda/} = M_\rho Q_{cal} + A_\rho$$

رابطه (۳)

$\rho_{\lambda/}$: مقدار بازتابندگی

M_ρ: باند مورد نظر ضرب در فاکتور تغییر مقیاس (استخراج شده از متادیتا)

Q_{cal}: ارزش استاندارد پیکسل تولیدی (DN)[4]

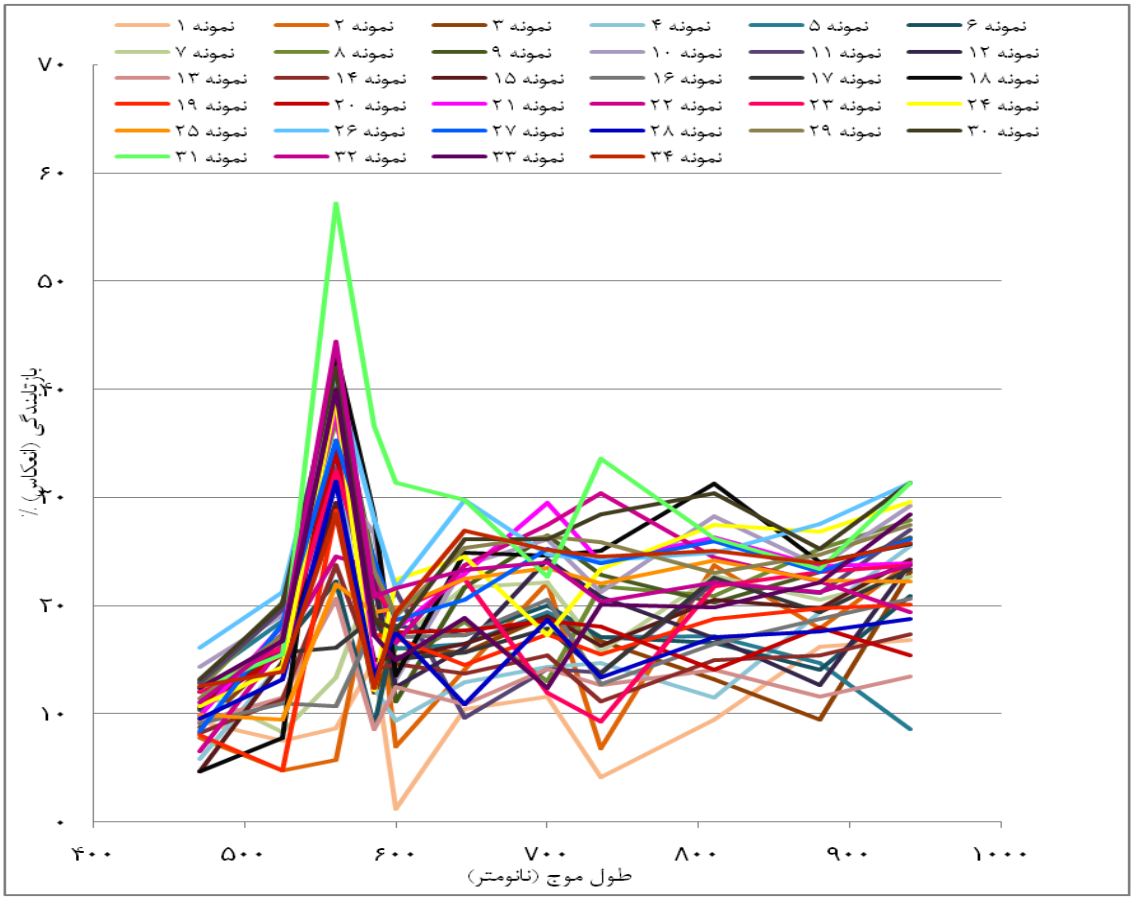
A_ρ: باند مورد نظر به اضافه فاکتور تغییر مقیاس (استخراج شده از متادیتا)

با استفاده از ابزار استخراج مقادیر به نقاط[5] در نرم‌افزار آرک جی آی اس، مقادیر بازتابندگی در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری از باندهای تصویر ماهواره‌ای استخراج شد. سپس با هدف بررسی تأثیر استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی در تغییردقت مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین، در محیط نرم‌افزار اِن‌وی، در بازه ٪۱± ارزش‌های بازتابندگی در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری و توسط منطق AND برای تمامی باندهای منتخب تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۶ باند منتخب در محدوده مرئی و مادون قرمز)، اقدام به جستجوی ایستگاه‌های کاذب شد. در

[1] Aquaregia
[2] Leachable Portion
[3] Reflectance
[4] Digital Number
[5] Extract Value to Points

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

محدوده در نظر گرفته شده در اطراف نیروگاه (مساحت ۱۱۰۰۰ هکتار)، بالغ بر ۴۴۵۰ ایستگاه مجازی یافت شد؛ شکل (۵).



شکل ۴: نمودار درصد بازتابندگی (درصد انعکاس) نمونه‌های خاک در استفاده از طیف‌سنج بازتابی آلتا

با توجه به اینکه ایستگاه‌های مجازی از لحاظ خصوصیات بازتابندگی مشابه ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌باشد، مقادیر غلظت عناصر سنگین برای این ایستگاه‌ها مشابه مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت عناصر در محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. از طرفی برای ایستگاه‌های مجازی، همان مقادیر قرائت شده بازتابندگی نمونه‌های خاک با طیف‌سنج بازتابی آلتا نیز در نظر گرفته شد.

در پایان، دو جدول یکی شامل اطلاعات ایستگاه‌های نمونه‌برداری و دیگری شامل اطلاعات ایستگاه‌های مجازی دارای فیلدهای اطلاعاتی غلظت عناصر سنگین، بازتابندگی در باندهای تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و بازتابندگی در قرائت با طیف‌سنج بازتابی آلتا، جهت انجام تحلیل و تعیین مدل پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین در نرم‌افزار اس پی اس اس تنظیم گردید.

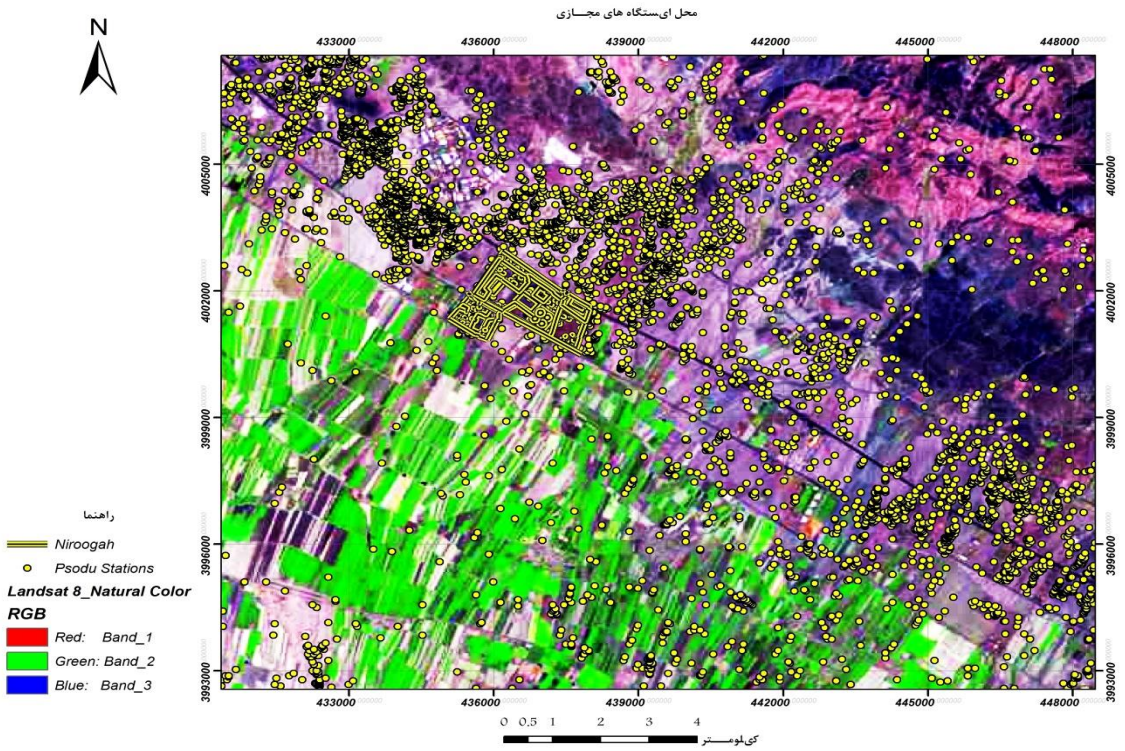
۳- نتایج و بحث

روابط رگرسیون بین مقادیر غلظت عناصر سنگین و بازتابندگی در باندهای تصویر ماهواره‌ای یک بار برای ۳۴ ایستگاه نمونه‌برداری و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه (شامل ایستگاه‌های نمونه‌برداری و ایستگاه‌های مجازی) طی مراحلی که در ادامه توضیح داده می‌شود تعیین و جهت تهیه نقشه پراکندگی غلظت عناصر سنگین استفاده شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

۳-۱- آمار توصیفی داده‌ها

آمار توصیفی عناصر سنگین مورد بررسی شامل تعداد نمونه، میانگین غلظت، میانه، مد، حداقل غلظت، حداکثر غلظت، دامنه تغییرات غلظت و انحراف معیار استاندارد در ادامه ارائه شده است؛ جدول (۲).



شکل ۵: موقعیت ایستگاه‌های مجازی روی تصویر ماهواره‌ای

جدول ۲: آمار توصیفی عناصر سنگین

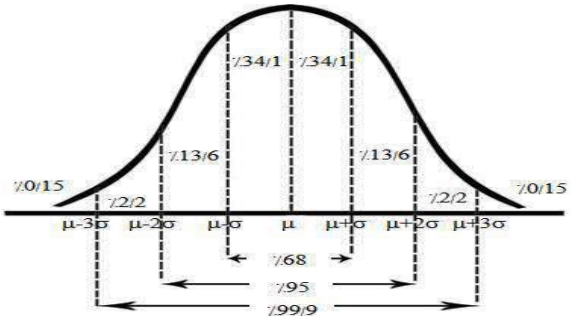
متغیر / مشخصات آماری متغیرها	نیکل (Ni)	سرب (Pb)	روی (Zn)
تعداد نمونه	۳۴	۳۴	۳۴
میانگین غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۶٫۶۵	۱۷٫۸۵	۸۶٫۵
میانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۶٫۵	۱۶	۸۶
مد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۱	۱۳	۹۰
حداقل غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۴	۱۰	۶۳
حداکثر غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴۴	۴۱	۱۱۷
دامنه تغییرات غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۰	۳۱	۵۴
انحراف معیار استاندارد	۶٫۹۸۴	۶٫۴۴۴	۹٫۹۷۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

۳-۲- بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها

از مهم‌ترین و شایع‌ترین مفروضات در اغلب آزمون‌های پارامتری جهت تأمین اعتبار نتایج حاصل از آزمون‌ها، فرض نرمال بودن داده‌هاست. منظور از نرمال بودن توزیع داده‌ها این است که هیستوگرام فراوانی داده‌ها تقریباً به‌صورت منحنی نرمال باشد؛ شکل (۶)[۲۷].



شکل ۶: منحنی توزیع نرمال

ضریب چولگی و ضریب کشیدگی، دو شاخص اساسی توزیع داده‌ها هستند. چولگی[1] معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع می‌باشد. در یک توزیع کاملاً متقارن، چولگی صفر است. کشیدگی[2] نشاندهنده ارتفاع یک توزیع است؛ به‌عبارت دیگر کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در نقطه ماکزیمم است. مقدار کشیدگی برای توزیع نرمال برابر ۳ می‌باشد. در حالت کلی چنانچه مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها خارج از فاصله (۲ و ۲-) باشند (البته ممکن است بعضی از آماردانان این بازه را کوچکتر یا بزرگتر در نظر بگیرند)، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند و می‌بایست قبل از هر گونه آزمونی که مشروط به فرض نرمال بودن داده‌هاست، آنها را به توزیع نرمال نزدیک کرد[۲۷].

مقدار چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه به‌دست آمد. برای ۳۴ ایستگاه، مقدار چولگی برای هر سه عنصر سنگین مورد بررسی در بازه (۲ و ۲-) قرار دارد و مقدار کشیدگی برای عناصر نیکل (Ni) و روی (Zn) در بازه (۲ و ۲-) و برای عنصر سرب (Pb) خارج از بازه (۲ و ۲-) می‌باشد. برای ۴۴۸۴ ایستگاه، افزایش تعداد ایستگاه‌ها با استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی، مقدار چولگی برای کلیه عناصر سنگین را کاهش داد، اما در مورد متغیر سرب مقدار چولگی همچنان خارج از بازه (۲ و ۲-) قرار دارد و هر چند این تفاوت اندک است اما به لحاظ چولگی، متغیر سرب هنوز از حالت نرمال فاصله دارد. مقدار کشیدگی برای کلیه عناصر سنگین در بازه (۲ و ۲-) قرار دارد؛ جدول (۳).

۳-۳- آزمون بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها

پس از بررسی مقدماتی عناصر سنگین از طریق بررسی وضعیت چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها برای اثبات نتایج حاصل، از آزمون‌های آماری استفاده و برای این منظور فرض صفر مبتنی بر نرمال بودن توزیع داده‌ها در نظر گرفته و در سطح خطای ۵ درصد (۰.۰۵) تست شد. از جمله آزمون‌ها جهت بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها، آزمون شاپیرو- ویلک و آزمون کلموگروف- اسمیرنوف است که مشابه هم هستند ولی اگر حجم نمونه کم باشد، هر دو آزمون نتایج یکسانی خواهد داد و اگر حجم نمونه بیشتر از ۲۰۰۰ باشد، آزمون کلموگروف- اسمیرنوف مناسب‌تر از آزمون شاپیرو- ویلک خواهد بود[۳۰]. معمولاً چنانچه سطح معنی‌داری که با Sig[3] نشان داده می‌شود بیشتر از ۰/۰۵ باشد، می‌توان داده‌ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد[۲۷].

[1] Skewness
[2] Kurtosis
[3] Significance

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

جدول ۳: چولگی و کشیدگی توزیع داده عناصر سنگین برای ۳۴ ایستگاه و ۴۴۸۴ ایستگاه

متغیر / مشخصات آماری متغیرها	نیکل (Ni)		سرب (Pb)		روی (Zn)	
تعداد نمونه	۳۴	۴۴۸۴	۳۴	۴۴۸۴	۳۴	۴۴۸۴
چولگی	۰٫۴۸	۰٫۲۲	۱٫۹۲	۱٫۶۸	۰٫۵۹	۰٫۱۵
کشیدگی	۰٫۲۶	۰٫۰۱	۳٫۹۹	۲٫۹۲	۱٫۹	۰٫۳۸

آزمون بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه بررسی شد. برای ۳۴ ایستگاه، مقادیر سطح معنی‌داری برای هر دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک، فرض نرمال بودن توزیع مقادیر غلظت عنصر نیکل و روی را تأیید و فرض نرمال بودن توزیع مقادیر عنصر سرب را رد کرد. برای ۴۴۸۴ ایستگاه، مقادیر سطح معنی‌داری کاهش یافته است اما سطح معنی‌داری برای عناصر نیکل و روی برابر ۰٫۰۵ می‌باشد که برای هر دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک، فرض نرمال بودن توزیع مقادیر غلظت این عناصر تأیید و برای عنصر سرب برابر صفر می‌باشد که برای هر دو آزمون، فرض نرمال بودن توزیع مقادیر غلظت این عنصر رد می‌شود؛ جدول (۴).

جدول ۴: آزمون نرمال بودن توزیع داده عناصر سنگین برای ۳۴ ایستگاه و برای ۴۴۸۴ ایستگاه

متغیر	آزمون کلموگروف- اسمیرنوف			آزمون شاپیرو- ویلک		
	درجه آزادی (df)	سطح معنی‌داری (Sig)	درجه آزادی (df)	سطح معنی‌داری (Sig)	درجه آزادی (df)	سطح معنی‌داری (Sig)
نیکل (Ni)	۳۴	۰٫۲	۴۴۸۴	۰٫۰۵	۳۴	۰٫۵۸۶	۴۴۸۴	۰٫۱۴۶
سرب (Pb)	۳۴	۰	۴۴۸۴	۰	۳۴	۰	۴۴۸۴	۰
روی (Zn)	۳۴	۰٫۲	۴۴۸۴	۰٫۰۵	۳۴	۰٫۲۲۵	۴۴۸۴	۰٫۰۵۸

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

۳-۴- بررسی مجدد نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها

بار دیگر و با استفاده از آزمون تک نمونه‌ای کلموگروف- اسمیرنوف، نرمال بودن یا نبودن توزیع غلظت عناصر سنگین، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه بررسی شد.

برای ۳۴ ایستگاه، مقدار بزرگتر از ۰/۰۵ در سطح معنی‌داری برای عناصر نیکل و روی نشان از تأیید فرض صفر (نرمال بودن توزیع داده‌ها) دارد، اما مقدار کمتر از ۰/۰۵ در سطح معنی‌داری برای عنصر سرب نشان از رد فرض صفر دارد. برای ۴۴۸۴ ایستگاه، کاهش سطح معنی‌داری توزیع داده‌ها مشاهده شد، اما مقادیر بزرگتر از ۰/۰۵ برای سطح معنی‌داری در خصوص عناصر نیکل و روی نشان از تأیید فرض صفر (نرمال بودن توزیع داده‌ها) دارد، اما مقدار کمتر از ۰/۰۵ در سطح معنی‌داری برای عنصر سرب نشان از رد فرض صفر دارد جدول (۵). بنابراین باید داده‌های مربوط به عنصر سرب، نرمال‌سازی شود.

جدول ۵: آزمون تک نمونه‌ای کلموگروف- اسمیرنوف عناصر سنگین برای ۳۴ ایستگاه و برای ۴۴۸۴ ایستگاه

متغیر / مشخصات آماری متغیرها	نیکل (Ni)		سرب (Pb)		روی (Zn)	
تعداد نمونه	۳۴	۴۴۸۴	۳۴	۴۴۸۴	۳۴	۴۴۸۴
سطح معنی‌داری (Sig)	۰/۹۸۱	۰/۲۴۵	۰/۰۰۲	۰	۰/۹۱۹	۰/۲۲۹

۳-۵- نرمال‌سازی توزیع داده‌ها

روش‌های گوناگونی برای نرمال کردن داده‌ها وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به تبدیل لگاریتمی، تبدیل باکس- کاکس، استفاده از نمودار احتمال لگاریتمی، استفاده از نمودار فینی و غیره اشاره کرد[۲۷].

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های انجام شده جهت بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع عناصر سنگین مورد بررسی، از تبدیل لگاریتمی ساده (لگاریتم بر مبنای ۱۰) برای نرمال‌سازی توزیع داده‌های عنصر سرب، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه استفاده شد که با T_Pb[1] نشان داده شده است. افزایش تعداد ایستگاه‌ها از طریق استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی، مقادیر چولگی و کشیدگی را کاهش داده است و به عبارتی توزیع عنصر سرب برای ۴۴۸۴ ایستگاه بیشتر به توزیع نرمال نزدیک شده است؛ در جدول (۶) این مورد ارائه شده است.

جدول ۶: چولگی و کشیدگی توزیع عنصر سرب پس از تبدیل لگاریتمی
برای ۳۴ ایستگاه و برای ۴۴۸۴ ایستگاه

متغیر / مشخصات آماری متغیر	T_Pb	
تعداد نمونه	۳۴	۴۴۸۴
چولگی	۱/۱۸۳	۱/۰۰۶
کشیدگی	۱/۱۴۱	۰/۴۸۴

۳-۶- بررسی همبستگی بین متغیرها

در محیط نرم افزار تحلیل آماری SPSS، همبستگی یک بار بین درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای (متغیر

[1] Transformation_Pb

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

مستقل) و غلظت عناصر سنگین خاک (متغیر وابسته) و بار دیگر بین درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در برخورد محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا (متغیر مستقل) به آنها و غلظت عناصر سنگین خاک (متغیر وابسته) و در هر دو حالت، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه بررسی شد. برای ۴۴۸۴ ایستگاه، بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته عمدتاً افزایش ضریب همبستگی بین غلظت کلیه عناصر سنگین با مقادیر درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای و درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در برخورد با محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا با آنها را نشان داد. با وجود افزایش ضریب همبستگی بین غلظت عناصر مورد بررسی با درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در برخورد نورهای رنگی طیف‌سنج بازتابی آلتا با آنها، همچنان همبستگی ضعیفی بین آنها نسبت به همبستگی غلظت عناصر سنگین مورد بررسی با درصد بازتابندگی در باندهای تصویر ماهواره‌ای مشاهده می‌شود.

غلظت عنصر نیکل برای ۳۴ ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، همبستگی نسبتاً ضعیف و مثبت (مستقیم) با درصد بازتابندگی در باند ۷ (مادون قرمز طول موج کوتاه) تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، جدول (۷)، و همبستگی ضعیف و مثبت (مستقیم) بادرصد بازتابندگی در طیف مادون قرمز ۳ (IR 3) طیف‌سنج بازتابی آلتا، جدول (۸)، نشان داد. غلظت عنصر نیکل برای ۴۴۸۴ ایستگاه در سطح معنی‌داری ۱ درصد (۰/۰۱)، همبستگی نسبتاً متوسط و مثبت (مستقیم) با درصد بازتابندگی در کلیه باندهای تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، جدول(۷)، نشان داد و ضریب همبستگی بین غلظت عنصر نیکل با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا در محدوده طیفی سبز، قرمز عمیق، مادون قرمز ۲ (IR 2)، مادون قرمز ۳ و مادون قرمز ۴ (IR 4) نسبت به حالت ۳۴ ایستگاه کاهش یافته است؛ جدول (۸). با این وجود در این حالت بیشترین همبستگی در ناحیه مرئی با نور زرد و در ناحیه مادون قرمز با طیف مادون قرمز ۳ می‌باشد.

جدول ۷: همبستگی غلظت عنصر نیکل با درصد بازتابندگی در باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸

مشخصات آماری متغیر			نیکل (Ni)	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
نیکل (Ni)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۲۲۶	۰/۲۶۱	۰/۲۹۵	۰/۰۶۱	۰/۲۹۹	۰/۳۷۵*
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰/۱۹۸	۰/۱۳۵	۰/۰۹۱	۰/۷۳۱	۰/۰۸۶	۰/۰۳۸
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۲۴۱**	۰/۳۷۳**	۰/۳۱۵**	۰/۲۸۷**	۰/۳۷۲**	۰/۴۲۵**
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪

** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

جدول ۸: همبستگی غلظت عنصر نیکل با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا

مشخصات آماری متغیر			نیکل (Ni)	آبی	فیروزه‌ای	زرد	نارنجی	سبز	قرمز	قرمز عمیق	مادون قرمز ۱	مادون قرمز ۲	مادون قرمز ۳	مادون قرمز ۴
نیکل (Ni)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰٫۰۸	۰٫۰۵۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۲۶	-۰٫۱۵۹	۰٫۰۲	۰٫۰۸۴	۰٫۰۲۳	۰٫۱۸۵	۰٫۲۵۳	۰٫۲۱۳
		سطح معنی‌داری (Sig)	۱	۰٫۶۴	۰٫۷۶	۰٫۹۸	۰٫۸۹	۰٫۳۷	۰٫۹	۰٫۶۴	۰٫۹	۰٫۲۹	۰٫۱۵	۰٫۲۳
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰٫۱۱۶**	-۰٫۰۶۲**	-۰٫۱۲۷**	۰٫۰۴۵**	-۰٫۱۰۵**	۰٫۰۳۰**	۰٫۰۴۶**	-۰٫۱۱۰**	۰٫۱۲۵**	۰٫۲۲۳**	۰٫۰۸۶**
		سطح معنی‌داری (Sig)	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۴۰	۰	۰	۰	۰	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

غلظت عنصر سرب برای ۳۴ ایستگاه، همبستگی متوسط رو به بالاو به‌صورت منفی (معکوس) با درصد بازتابندگی درمحدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای، جدول (۹)، نشان داد و همبستگی نسبتاً متوسطی با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی زرد و مادون قرمز ۱ (IR 1) طیف‌سنج بازتابی آلتا، جدول (۱۰)، نشان داد. غلظت عنصر سرب برای ۴۴۸۴ ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰.۰۱، همبستگی متوسط رو به بالا و به‌صورت منفی (معکوس) با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای، جدول (۹)، نشان داد و ضریب همبستگی بین غلظت عنصر سرب با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا در زرد، سبز،قرمز، قرمز عمیق، مادون قرمز ۱، مادون قرمز ۲ و مادون قرمز ۳ نسبت به حالت ۳۴ ایستگاه کاهش و در محدوده طیفی سایر لامپ‌ها افزایش یافته است؛ جدول (۱۰). با این وجود بیشترین همبستگی در ناحیه مرئی با نور زرد و در ناحیه مادون قرمز با طیف مادون قرمز ۴ می‌باشد.

جدول ۹: همبستگی غلظت عنصر سرب با درصد بازتابندگی در باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸

مشخصات آماری متغیر			سرب (T_Pb)	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
سرب (T_Pb)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰٫۳۴۱*	-۰٫۴۱۷*	-۰٫۴۰۷*	-۰٫۵۷۵**	-۰٫۵۴۳**	-۰٫۴۱۹*
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰٫۰۴۸	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۷	۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۴
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰٫۶۱۴**	-۰٫۶۶۰**	-۰٫۶۴۲**	-۰٫۶۷۷**	-۰٫۷۱۸**	-۰٫۶۷۲**
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

جدول ۱۰: همبستگی غلظت عنصر سرب با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا

مشخصات آماری متغیر			سرب (T_Pb)	آبی	فیروزه‌ای	زرد	نارنجی	سبز	قرمز	قرمز عمیق	مادون قرمز ۱	مادون قرمز ۲	مادون قرمز ۳	مادون قرمز ۴
سرب (T_Pb)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۱۰۳	-۰/۱۸۰	-۰/۴۴۷**	-۰/۱۷۱	-۰/۲۸۲	-۰/۲۱۰	-۰/۲۴۰	-۰/۴۰۹*	-۰/۳۰۹	-۰/۰۶۰	-۰/۲۹۵
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰/۵۶	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۷۴	۰/۰۹
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۱۱۰**	-۰/۱۹۸**	-۰/۲۱۵**	-۰/۲۲۱**	-۰/۰۶۰**	-۰/۰۰۲**	-۰/۱۰۵**	-۰/۱۴۳**	-۰/۱۳۴**	-۰/۰۰۲**	-۰/۴۶۴**
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۸۹	۰	۰	۰	۰/۹	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪

** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

غلظت عنصر روی برای ۳۴ ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و ۰/۰۵، همبستگی متوسط رو به بالا (البته با مقادیر بیشتر از عنصر سرب) و به صورت منفی (معکوس) با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای، جدول (۱۱)، نشان داد و همبستگی نسبتاً متوسطی با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های زرد و مادون قرمز ۱ (IR 1) طیف‌سنج بازتابی آلتا، جدول (۱۲)، نشان داد. غلظت عنصر روی برای ۴۴۸۴ ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰.۰۱، همبستگی متوسط رو به بالا و به صورت منفی (معکوس) با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای، جدول(۱۱)، نشان داد و ضریب همبستگی بین غلظت عنصر روی با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا در قرمز، قرمز عمیق، مادون قرمز ۱، مادون قرمز ۲ و مادون قرمز ۳ نسبت به حالت ۳۴ ایستگاه کاهش یافته است و در سایر نورهای رنگی افزایش یافته است؛ جدول (۱۲). با این وجود بیشترین همبستگی در ناحیه مرئی با نور زرد و در ناحیه مادون قرمز با طیف مادون قرمز ۴ می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

جدول ۱۱: همبستگی غلظت عنصر روی با درصد بازتابندگی در باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸

مشخصات آماری متغیر			روی (Zn)	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
روی (Zn)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۳۵۴*	-۰/۴۴۰**	-۰/۳۹۵*	-۰/۶۹۲**	-۰/۵۴۴**	-۰/۴۰۴*
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰/۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۲۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۸
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۶۴۶**	-۰/۶۷۹**	-۰/۶۳۲**	-۰/۷۲۵**	-۰/۷۱۵**	-۰/۶۵۷**
		سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

جدول ۱۲: همبستگی غلظت عنصر روی با درصد بازتابندگی در محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا

مشخصات آماری متغیر			روی (Zn)	آبی	فیروزه ای	زرد	نارنجی	سبز	قرمز	قرمز عمیق	مادون قرمز ۱	مادون قرمز ۲	مادون قرمز ۳	مادون قرمز ۴
روی (Zn)	۳۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۱۵۷	-۰/۲۸۳	-۰/۴۴۵**	-۰/۰۶۳	-۰/۴۱۳*	-۰/۱۹۰	-۰/۰۱۰	-۰/۳۳۹*	-۰/۱۵۹	-۰/۰۰۴	-۰/۲۲۵
		سطح معنی‌داری (Sig)	۱	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۳۷	۰/۹۸	۰/۲
	۴۴۸۴ ایستگاه	ضریب همبستگی پیرسون	۱	-۰/۲۵۷**	-۰/۳۷۹**	-۰/۵۲۶**	-۰/۱۰۵**	-۰/۳۱۷**	-۰/۲۴۷**	-۰/۰۵۹**	-۰/۲۷۰**	-۰/۱۴۶**	-۰/۱۳۱**	-۰/۵۱۲**
		سطح معنی‌داری (Sig)	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

۳-۷- تعیین مدل پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین

به‌منظور انتخاب مناسب باندهای تصویر ماهواره‌ای جهت شرکت در مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین خاک، معادل‌سازی تقریبی بین محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای و محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا با توجه به مقایسه محدوده طیفی هر باند تصویر ماهواره‌ای

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

با محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا انجام شد؛ جدول (۱۳) که نتایج آن در جداول (۷ ، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) به رنگ زرد مشخص شده است.

جدول ۱۳: معادل‌سازی تقریبی محدوده طیفی لامپ‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا و باندهای تصویر ماهواره‌ای لندست ۸

طیف‌سنج انعکاسی آلتا		داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸	
نورهای رنگی آلتا	طول موج (نانومتر)	باندهای تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	طول موج (نانومتر)
آبی	۴۷۰	باند ۲- آبی	۴۵۰-۵۱۵
فیروزه ای	۵۲۵	باند ۳- سبز	۵۲۵-۶۰۰
سبز	۵۶۰	باند ۳- سبز	۵۲۵-۶۰۰
زرد	۵۸۵	باند ۳- سبز	۵۲۵-۶۰۰
نارنجی	۶۰۰	باند ۳- سبز	۵۲۵-۶۰۰
قرمز	۶۴۵	باند ۴- قرمز	۶۳۰-۶۸۰
قرمز عمیق	۷۰۰	-	-
مادون قرمز ۱	۷۳۵	-	-
مادون قرمز ۲	۸۱۰	-	-
مادون قرمز ۳	۸۸۰	باند ۵- مادون قرمز نزدیک	۸۴۵-۸۸۵
مادون قرمز ۴	۹۴۰	-	-

از طرفی برای ممانعت از ایجاد خطای هم‌خطی[1] بین متغیرهای مستقل شرکت‌کننده در روابط رگرسیون (درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای)، همبستگی بین درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در باندهای تصویر ماهواره‌ای بررسی شد، جدول (۱۴)، و همبستگی‌های قوی نادیده گرفته شد. به‌عبارتی باندهایی از تصویر ماهواره‌ای که همبستگی ضعیف‌تری با هم دارند جهت شرکت در مدل‌ها مناسب خواهند بود.

در واقع هم‌خطی حالتی است که یک متغیر مستقل، تابعی خطی از سایر متغیرهای مستقل خواهد بود و بین متغیرهای مستقل شرکت‌کننده در معادله رگرسیون، همبستگی زیادی وجود دارد. لذا با وجودی که استفاده از تمامی این متغیرهای مستقل می‌تواند ضریب تبیین (R^2) مدل را افزایش دهد اما مدل اعتبار نخواهد داشت. بنابراین باید از بین متغیرهای مستقل شرکت کننده در مدل که همبستگی بالایی با هم دارند، انتخاب مناسب انجام گیرد[۲۸].

در تعیین روابط پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین، پس از تعیین مناسب‌ترین باندها جهت شرکت در مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر، روابط به دو صورت رگرسیون خطی[2] و رگرسیون غیرخطی[3] به‌دست آمد. در ادامه مدل‌های رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی به‌دست آمده برای پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه ارائه می‌شود.

[1] Multicolinearity

[2] Linear Regression
[3] Non Linear Regression

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

جدول ۱۴: بررسی همبستگی بین درصد بازتابندگی در باندهای تصویر ماهواره‌ای برای۳۴ ایستگاه و ۴۴۸۴ ایستگاه

مشخصات آماری باندها		باند ۲ (آبی)	باند ۳ (سبز)	باند ۴ (قرمز)	باند ۵ (مادون قرمز نزدیک)	باند ۶ (مادون قرمز طول موج کوتاه)	باند ۷ (مادون قرمز طول موج کوتاه)
باند ۲ (آبی)	ضریب همبستگی پیرسون	۱	۰/۹۸۱**	۰/۹۶۱*	۰/۳۳۶	۰/۸۴۴**	۰/۹۲۶*
	سطح معنی‌داری (Sig)	-	۰	۰	۰/۰۵۲	۰	۰
باند ۳ (سبز)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۹۸۱**	۱	۰/۹۹۰**	۰/۴۷۶**	۰/۹۱۴**	۰/۹۶۰**
	سطح معنی‌داری (Sig)	۰	-	۰	۰/۰۰۴	۰	۰
باند ۴ (قرمز)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۹۶۱**	۰/۹۹۰**	۱	۰/۴۷۶**	۰/۹۲۲**	۰/۹۷۱**
	سطح معنی‌داری (Sig)	۰	۰	-	۰/۰۰۴	۰	۰
باند ۵ (مادون قرمز نزدیک)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۳۳۶	۰/۴۷۶**	۰/۴۷۶**	۱	۰/۷۰۵**	۰/۴۸۷**
	سطح معنی‌داری (Sig)	۰/۰۵۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	-	۰	۰/۰۰۳
باند ۶ (مادون قرمز طول موج کوتاه)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۸۴۴**	۰/۹۱۴**	۰/۹۲۲**	۰/۷۰۵**	۱	۰/۹۵۰**
	سطح معنی‌داری (Sig)	۰	۰	۰	۰	-	۰
باند ۷ (مادون قرمز طول موج کوتاه)	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۹۲۶**	۰/۹۶۰**	۰/۹۷۱**	۰/۴۸۷**	۰/۹۵۰**	۱
	سطح معنی‌داری (Sig)	۰	۰	۰	۰/۰۰۳	۰	-

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۵٪ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۱٪

۳-۷-۱- مدل‌های رگرسیون خطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین

مدل‌های رگرسیون خطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین برای۳۴ ایستگاه روابط (۴، ۵ و ۶) عبارت است از:

رابطه (۴)

$$Ni = 62.334(B_7) + 0.189 \rightarrow R^2 = 0.127$$

Ni: غلظت عنصر نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_7: باند ۷ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز طول موج کوتاه؛ ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ نانومتر)

R^2: ضریب تبیین مدل

رابطه (۵)

$$T_Pb = -1.084(B_3) - 1.675(B_5) + 2.415 \rightarrow R^2 = 0.357$$

T_Pb: غلظت عنصر سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

B_5: باند ۵ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز نزدیک)

R^2: ضریب تبیین مدل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

رابطه (۶)

$$Zn = -63.523(B_3) - 163.440(B_5) + 186.564 \rightarrow R^2 = 0.495$$

Zn: غلظت عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

B_5: باند ۵ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز نزدیک)

R^2: ضریب تبیین مدلمدل‌های رگرسیون خطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین برای ۴۴۸۴ ایستگاه روابط (۷، ۸ و ۹) عبارت است از:

رابطه (۷)

$$Ni = -528.361(B_3) + 355.972(B_7) + 70.264 \rightarrow R^2 = 0.327$$

Ni: غلظت عنصر نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

R^2: ضریب تبیین مدل

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

B_7: باند ۷ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز طول موج کوتاه؛ ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ نانومتر)

رابطه (۸)

$$T_Pb = 1.451(B_3) - 3.146(B_6) + 2.184 \rightarrow R^2 = 0.527$$

T_Pb: غلظت عنصر سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_6: باند ۶ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز طول موج کوتاه؛ ۱۵۶۰ تا ۱۶۶۰ نانومتر)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

R^2: ضریب تبیین مدل

رابطه (۹)

$$Zn = -144.068(B_3) - 166.802(B_5) + 220.010 \rightarrow R^2 = 0.541$$

Zn: غلظت عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

B_5: باند ۵ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز نزدیک)

R^2: ضریب تبیین مدل

۳-۷-۲- مدل‌های رگرسیون غیرخطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین:

مدل‌های رگرسیون غیرخطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین برای ۳۴ ایستگاه روابط (۱۰، ۱۱ و ۱۲) عبارت است از:

رابطه (۱۰)

$$Ni = -84.257(B_7)^3 + 128.173(B_7)^2 + 9.965 \rightarrow R^2 = 0.247$$

Ni: غلظت عنصر نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

R^2: ضریب تبیین مدل

B_7: باند ۷ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز طول موج کوتاه؛ ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ نانومتر)

رابطه (۱۱)

$$T_Pb = 13.935(B_5)^2 - 15.195(B_5) + 5.274 \rightarrow R^2 = 0.393$$

T_Pb: غلظت عنصر سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

R^2: ضریب تبیین مدل

B_5: باند ۵ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز نزدیک)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

رابطه (۱۲)

$$Zn = 453.844(B_5)^2 - 611.694(B_5) + 273.063 \rightarrow R^2 = 0.498$$

Zn: غلظت عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_5: باند ۵ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز نزدیک)

R^2: ضریب تبیین مدل

مدل‌های رگرسیون غیرخطی پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین برای ۴۴۸۴ ایستگاه روابط (۱۳، ۱۴ و ۱۵) عبارت است از:

رابطه (۱۳)

$$Ni = -6009.727(B_3)^3 + 264.250(B_3) - 642.668 \rightarrow R^2 = 0.484$$

Ni: غلظت عنصر نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

R^2: ضریب تبیین مدل

رابطه (۱۴)

$$T_Pb = 6.564(B_6)^3 - 7.007(B_6) + 3.840 \rightarrow R^2 = 0.538$$

T_Pb: غلظت عنصر سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_6: باند ۶ تصویر ماهواره‌ای (باند مادون قرمز طول موج کوتاه؛ ۱۵۶۰ تا ۱۶۶۰ نانومتر)

R^2: ضریب تبیین مدل

رابطه (۱۵)

$$Zn = -4183.434(B_3)^3 + 1348.525(B_3) - 196.253 \rightarrow R^2 = 0.544$$

Zn: غلظت عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

B_3: باند ۳ تصویر ماهواره‌ای (باند سبز)

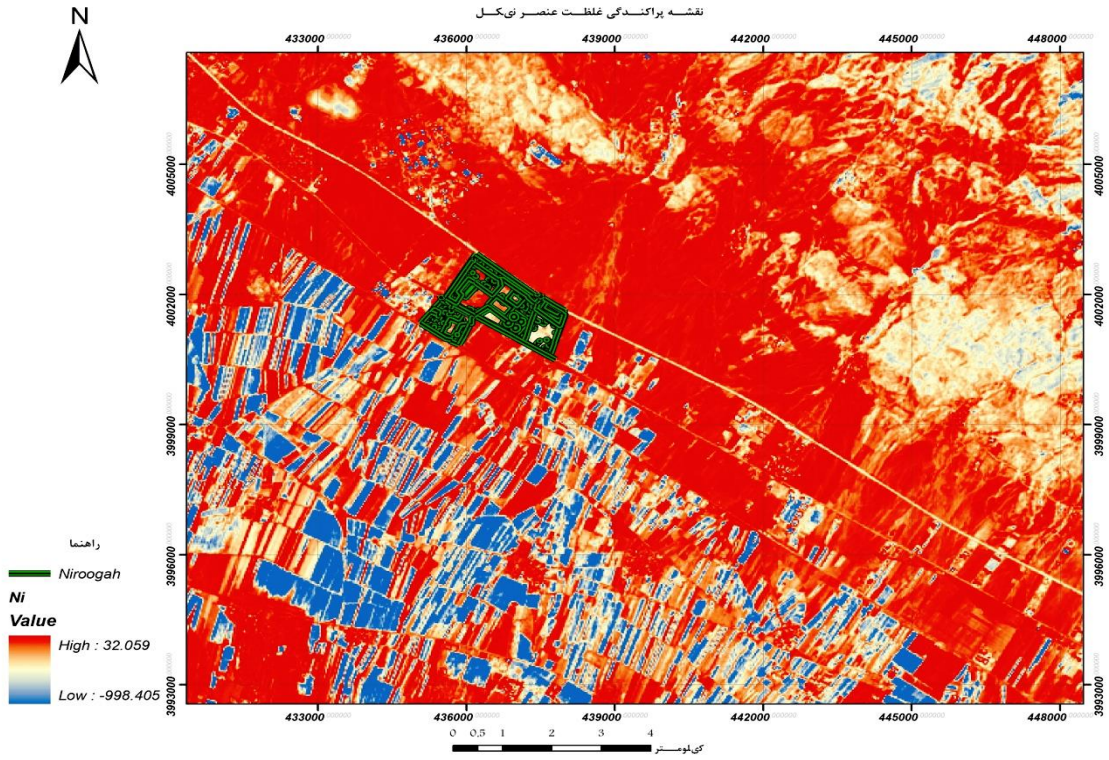
R^2: ضریب تبیین مدل

۳-۸- تهیه نقشه پراکندگی غلظت عناصر سنگین

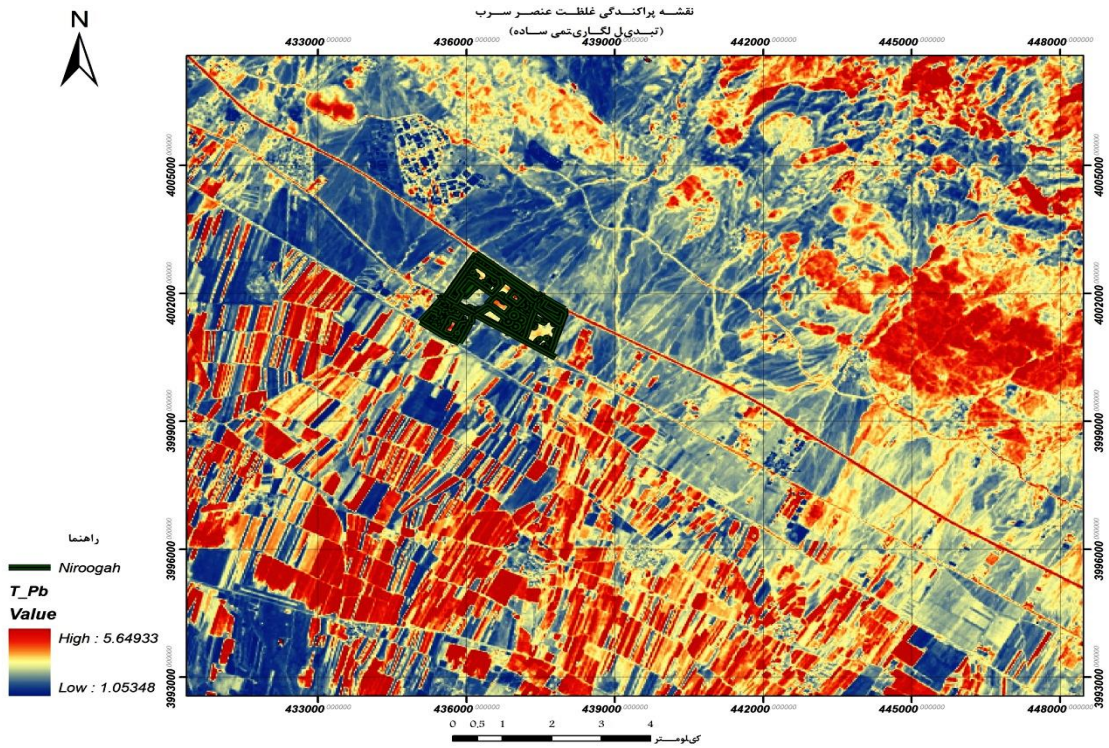
در نهایت از معادلات با ضریب تبیین (R^2) بزرگتر برای تهیه نقشه پراکندگی غلظت فلزات سنگین خاک استفاده شد. لذا از مدل‌های رگرسیون غیرخطی در حالت استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی (۴۴۸۴ ایستگاه) جهت تهیه نقشه پراکندگی غلظت عناصر سنگین خاک، به ترتیب برای عناصر نیکل، سرب و روی استفاده شد؛ اشکال (۷، ۸ و ۹).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]



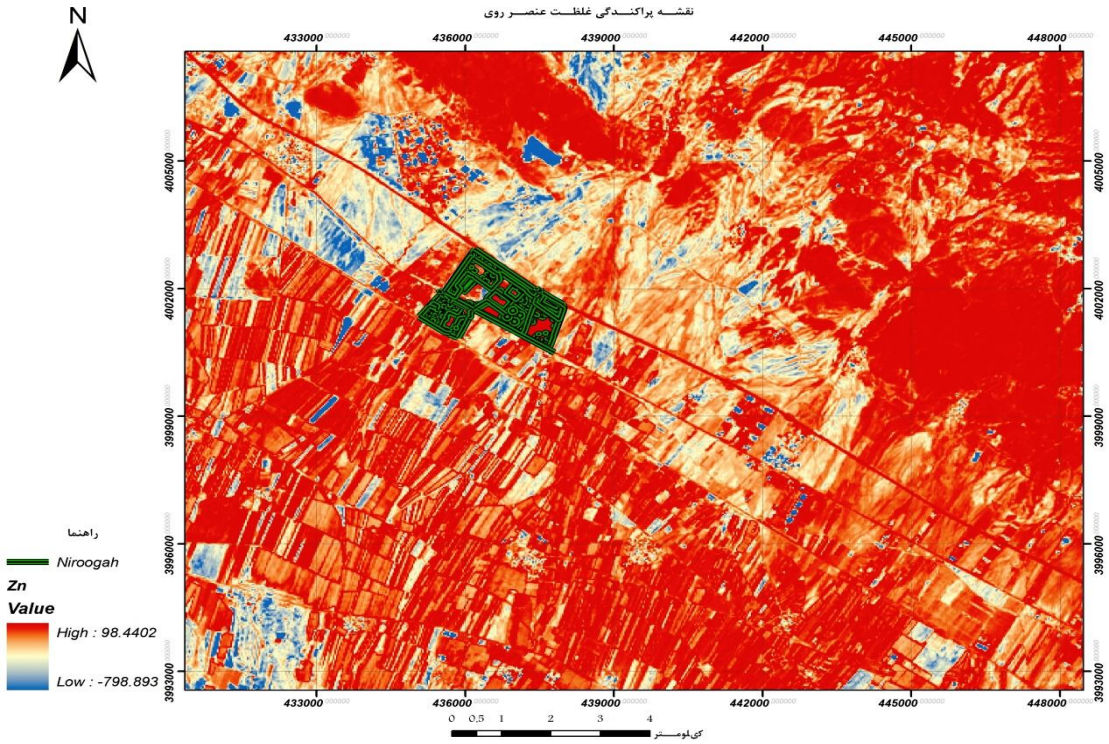
شکل ۷: نقشه پراکندگی غلظت عنصر نیکل بر اساس مدل رگرسیون غیرخطی و برای ۴۴۸۴ ایستگاه



شکل ۸: نقشه پراکندگی غلظت عنصر سرب بر اساس مدل رگرسیون غیرخطی و برای ۴۴۸۴ ایستگاه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]



شکل ۹: نقشه پراکندگی غلظت عنصر روی بر اساس مدل رگرسیون غیرخطی و برای ۴۴۸۴ ایستگاه

۳-۹- اعتبارسنجی مدل‌ها

به منظور اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین خاک در تحقیق حاضر، از مفهومی به‌نام"Cross_Validation" استفاده شد که از جمله روش‌های اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی در تحلیلگر زمین آمار می‌باشد. به عبارتی، داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزشی و داده‌های ارزیابی تقسیم نشد، بلکه از تمامی داده‌ها برای تعیین مدل پیش‌بینی استفاده شد. در واقع Cross_Validation از همه داده‌ها برای برآورد مدل خودهمبستگی استفاده می‌کند، سپس یکی یکی، هر موقعیت داده را حذف کرده و مقدار داده مربوط را پیش بینی می‌کند. مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در موقعیت نقطه حذف شده مقایسه می‌شوند. این فرآیند برای نقاط دیگر تکرار می‌گردد. برای همه نقاط، Cross_Validation مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را مقایسه می‌کند. از طرفی، Cross_Validation با استفاده از همه داده‌ها به‌منظور برآورد مدل خودهمبستگی، مقدار کوچکی را اشتباهاً نمایش می دهد[۲۹] که این مقدار کوچک همان خطای پیش‌بینی می‌باشد. لذا با استفاده از مفهوم عنوان شده وبا استفاده از فرمول جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[1]، رابطه(۱۶)، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه، مقادیر خطای مدل‌های پیش‌بینی محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Z}(s_i) - Z(s_i)\right)^2}{n}}$$

رابطه (۱۶)

RMSE: جذر میانگین مربعات خطا

$\hat{Z}(s_i)$: مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل

$Z(s_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده

n: تعداد نمونه‌ها

[1]Root Mean Square Error

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

میزان تغییر دقت مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین خاک با استفاده از روابط رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی، یک بار برای ۳۴ ایستگاه و بار دیگر برای ۴۴۸۴ ایستگاه جدول (۱۵) مقایسه شد. به این منظور مقدار RMSE برای ۳۴ ایستگاه را ۱۰۰٪ فرض کرده و تفاوت RMSE مربوط به ۴۴۸۴ ایستگاه با RMSE مربوط به ۳۴ ایستگاه نمونه‌برداری به‌عنوان میزان تغییر دقت مدل‌ها بر حسب درصد محاسبه شد رابطه (۱۷). استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی برای هر دو حالت روابط رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی سبب افزایش دقت مدل‌ها (کاهش RMSE مدل‌ها) به ترتیب برای عناصر سرب، نیکل و روی شد.

رابطه (۱۷)

$$\text{درصد تغییر RMSE برای ۴۴۸۴ ایستگاه نسبت به ۳۴ ایستگاه} = \frac{(\text{RMSE برای ۴۴۸۴ ایستگاه} - \text{RMSE برای ۳۴ ایستگاه})}{(\text{RMSE برای ۳۴ ایستگاه})} * ۱۰۰$$

جدول ۱۵: مقایسه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در مدل‌های به‌دست آمده برای پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین

متغیر	میزان *RMSE در مدل رگرسیون خطی		میزان RMSE در مدل رگرسیون غیرخطی		درصد تغییر RMSE برای ۴۴۸۴ ایستگاه نسبت به ۳۴ ایستگاه	
	۳۴ ایستگاه	۴۴۸۴ ایستگاه	۳۴ ایستگاه	۴۴۸۴ ایستگاه	مدل رگرسیون خطی	مدل رگرسیون غیرخطی
نیکل (Ni)	۶٫۴۲۷	۶٫۴۲۱	۵٫۳۲۱	۵٫۵۵۹	٪+۱۷٫۲۰۷	٪+۱۳٫۴۲۴
سرب (T_Pb)	۰٫۱۰۴	۰٫۱۰۴	۰٫۰۸۳	۰٫۰۸۳	٪+۲۰٫۱۹۲	٪+۲۰٫۱۹۲
روی (Zn)	۶٫۹۹	۷٫۰۶۱	۶٫۷۰۷	۶٫۸۴۲	٪+۴٫۰۴۸	٪+۳٫۱۰۱

* واحد RMSE، واحد اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در بررسی پراکندگی غلظت عناصر سنگین با استفاده از فناوری سنجش از دور، در این تحقیق نیز همانند مطالعات انجام شده پیشین، بررسی همبستگی بین غلظت عناصر سنگین با درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک در باندهای مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس، نتایج قابل قبولی ارائه داد. نتایج حاصل از تحقیق انجام شده نشان داد که باند قرمز در ناحیه مرئی و باندهای مادون قرمز (مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه) در ناحیه غیرمرئی، در تعیین مدل‌های پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین خاک مناسب ارزیابی شد که عمدتاً همبستگی معنی‌دار و منفی (معکوس) بین غلظت عناصر سنگین و درصدبازتابندگی نمونه‌های خاک در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز به دست آمد. در واقع استفاده از تجزیه و تحلیل‌های سنجش از دور برای تعیین آلودگی فلزات سنگین سودمند ارزیابی شد. با این حال نیاز به بررسی و تأثیر دادن فاکتورهای بیشتر از جمله سایر شرایط خاک (رطوبت، حرارت، پوشش گیاهی، ترکیبات معدنی و آلی و ...) جهت مطالعه در آینده دارد. درخصوص استفاده از داده‌های طیف‌سنج بازتابی آلتا، معادل‌سازی تقریبی محدوده طیفی نورهای رنگی آن با محدوده طیفی باندهای تصویر ماهواره‌ای برای انتخاب مناسب باندهای شرکت‌کننده در مدل‌های پیش‌بینی و ممانعت از ایجاد خطای هم‌خطی در مدل‌ها سودمند واقع شد. با این حال بر خلاف مطالعات مشابه و استفاده از طیف‌سنجی زمینی در آنها، استفاده از طیف‌سنج بازتابی آلتا نشان داد که این طیف‌سنج قدرت طیفی بالائی ندارد، که البته پایین بودن ضریب همبستگی بین غلظت عناصر سنگین با درصد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

بازتابندگی نمونه‌های خاک در محدوده طیفی نورهای رنگی طیف‌سنج بازتابی آلتا نیاز به بررسی بیشتر دارد. چنانچه شاید لازم بود در کنار غلظت عناصر سنگین، تأثیر انواع متغیرهای موجود در خاک از قبیل رطوبت، حرارت، میزان پوشش گیاهی و ... در مطالعه لحاظ می‌شد. به هر حال استفاده از این طیف‌سنج برای عناصر سنگین مورد بررسی به‌خصوص عنصر نیکل به خوبی جوابگو نبود؛ به این مفهوم که غلظت عناصر سنگین مورد بررسی همبستگی ضعیف تا متوسطی با درصد بازتابندگی نمونه‌های خاک با محدوده طیفی نورهای رنگی طیف‌سنج بازتابی آلتا نشان داد. با افزایش تعداد ایستگاه‌ها با استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی، افزایش ضریب تبیین مدل‌ها و به عبارتی افزایش دقت پیش‌بینی غلظت عناصر سنگین توسط مدل‌ها به ترتیب برای عناصر سرب، نیکل و روی به‌دست آمد. مقادیر افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی برای غلظت عنصر سرب برای هر دو روابط رگرسیون خطی و رگرسیون غیرخطی در حالت استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی برابر است، اما برای عناصر نیکل و روی در روابط رگرسیون خطی افزایش بیشتری در دقت مدل‌های پیش‌بینی مشاهده می‌شود.در واقع با توجه به نتایج مطالعات مشابه انجام شده و از جمله مطالعه یانگ و همکاران (۲۰۰۱) می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مفهوم ایستگاه مجازی و داده‌های سنجش از دور برای تهیه نقشه پراکندگی غلظت عناصر سنگین خاک باعث توسعه استفاده از مدل پیش‌بینی برای فضای بزرگتر و افزایش دقت نقشه‌های تهیه شده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق انجام شده، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مشابه، قابلیت استفاده از تصاویر فراطیفی، حرارتی و رادار، استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندها در تعیین روابط رگرسیون جهت پیش‌بینی غلظت عناصر خاک و تأثیر سایر متغیرهای مؤثر در مدل از جمله پوشش گیاهی، رطوبت، حرارت، ترکیبات معدنی و آلی و ... خاک درتعیین مدل پیش‌بینی مناسب مورد ارزیابی قرار گیرد.

مراجع

[1] M. Mirsane, The Introduction of Satellite Remote Sensing in Land Resources.Ministry of Agriculture,Department of Planning and Economy,Office of Statistics and Information Technology, 2011: http://www.maj.ir/portal/File/ShowFile.aspx ?ID= 6860d8 de-cdea -4436-a6d6-698c2857df1d. (Persian)

[2] A. Huete, Remote sensing of soil and soil processes, 2004. Translator: M. ehteshami Moeinabadi under the doctor Abdullah Saeedi, Ministry of Industry and Mines, Geological and mineral explorations Organization, the National Geoscience Database, 2007. (Persian)

[3] Al Maliki, A., Bruce, D., & Owens, G. (2012). Capabilities of remote sensing hyperspectral images for the detection of lead contamination: a review. ISPRS annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Melbourne, 55.

[4] M. Dayani- J. Mohammadi - M. Naderi /Geostatistical Analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan)/ Journal of Water and Soil/ Vol. 23, No. 4, Winter 2009, p. 67-76/ Mashhad Ferdowsi University .(Persian)

[5] Mahmoudi and Naderi. (2011). Usability of satellite data to the IRS-P6LISS-III for contaminated soils. Journal of Remote Sensing and GIS Iran, third year-Third Issue, 60-49. (Persian)

[6] Kooistra, L., Wehrens, R., Leuven, R., & Buydens, L. (2001). Possibilities of visible–near-infrared spectroscopy for the assessment of soil contamination in river floodplains. Analytica Chimica Acta, 446(1), 97-105.

[7] J.Clevers, & L. Kooistra, "Assessment of heavy metal contamination in river

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

floodplains by using the red-edge index", Chemical analysis, 2001.

[8] [Nagy, A., & Tamas, J. (2007). Hyperspectral assessment of polluted sites. Paper presented at the MOKKA Conference.

[9] [9] E. Choe, van der F. Meer, van F. Ruitenbeek, van der H. Werff, de B. Smeth, & K-W. Kim, "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(7), 3222-3233, 2008.

[10] A. K. Saghatelyan, L. V. Sahakyan, S. G. Asmaryan, M. V. SAmirkhanyan, & V. S. Muradyan, "Remote Sensing in Eco-Geochemical Assessment of Heavy Metal Pollution of Territories", Paper presented at the Book of proceedings from 5th International Conference EMAN, 2009.

[11] C. M. Pandit, G. M. Filippelli, & L. Li, "Estimation of heavy-metal contamination in soil using reflectance spectroscopy and partial least-squares regression". International Journal of Remote Sensing, 31(15), 4111-4123, 2010.

[12] JiA, J., SongA, Y., YuanB, X., & YangC, Z. (2010). Diffuse reflectance spectroscopy study of heavy metals in agricultural soils of the Changjiang River Delta, China. Paper presented at the 19th World Congress of Soil Science.

[13] Dana, I. F., & Badea, A. (2011). Studies regarding the use of remote sensing satellite data for the identification of heavy metal pollution in agricultural fields. Annals of DAAAM & Proceedings, 85-87.

[14] 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. Journal of Geographic Information System, 4(3), 242.

[15] Asmaryan, S. G., Muradyan, V., Sahakyan, L., Saghatelyan, A., & Warner, T. (2014). Development of remote sensing methods for assessing and mapping soil pollution with heavy metals. GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system, 429.

[16] Allan H. Treiman, ALTA Reflectance Spectrometer Introduction and Classroom Lesson, Lunar and Planetary Istitute, LPI Cotribution No. 1071, (2000).

[17] ALTA Reflectance Spectrometer, http://www.lpi.usra.edu / spectrometer/ products/, 2011.

[18] A. Ung, L. Wald, T. Ranchin, C. Weber, J. Hirsch, G. Perron, & J. Kleinpeter, "Satellite data for the air pollution mapping over a city–The use of virtual stations", Paper presented at the EARSeL Symposium 2001 “Observing our environment fromspace: new solutions for a new millenium”., 2001.

[19] Nazariean, Zeaiean Firouzabadi, Jangi. (2007). Assess the location and morphology of air quality in Tehran in using GIS and satellite data (RS). Geographical Research, 39 (9). (Persian)

[20] Lansat 8 Image, http://gistech.ir/remote-sensing, 2013. (Persian)

[21] S. Nazari Koodehi, S. Davari, A. Sohrabi Kashani, Z. Delavar Moqaddam, A. Rezaeian, Sh. Shivaee, …, I. Sabet Qadam, " Dispersion modeling gaseous pollutants NOx and SO2 from power plants and Mapping pollution In GIS", First edition, Niroo Research Institute, Department of Environment, 2006. (Persian)

[22] Qazvin, https://fa.wikipedia.org, 2015. (Persian)

[23] OLI image, http://earthexplorer.usgs.gov/, 2015.

[24] [24]Dayani, M., Naderi, M., Mohammadi, J (2010). Mapping Concentrations of Pb, Zn and Cd in Soils Using Landsat ETM+ Data in Southern Isfahan. Journal of Water and Soil. Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 286-296. (Persian)

[25] Company Zrazma, Catalog, http://www.zarazma.com/fa. (Persian)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

[26] OLI; Conversion DN to Reflectance, http://landsat.usgs.gov/ Landsat8_Using_ Product.php, 2015.

[27] www.m-mirzadeh.blogfa.com(Persian)

[28] http://www.tahlil-amari.com/1212/-رگرسیون-در-هم‌خطی-multicolinearity/(Persian)

[29] Johnstone. (2004-2001). Geostatistical Analyst in ArcGIS, ESRI product of the company: Translators: Elham Esma'ilzadeh, Tahereh Nasirzadeh, Tehran, satellite Publications, 2013, First Edition.(Persian)

[30] Evaluation of OLI Sensor Data, The Capabilities of ALTA ReflectanceSpectrometerand Using The Concept of Virtual Stations

[31] Mapping The Distribution of Heavy Metals in Soil

[32] Goltappeh, F.*1, Zeaiean Firouzabadi, P. 2, Riyahi Bakhtyari, H.R3

[33] 1. Remote Sensing and GIS MSc of Kharazmi University

[34] Associate Professor., Department of Remote Sensing and GIS of Kharazmi University

[35] Assistant Professor., Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.4, Winter 2018

Evaluation of OLI Sensor Data, The Capabilities of ALTA ReflectanceSpectrometerand Using The Concept of Virtual StationsMapping The Distribution of Heavy Metals in Soil

Fateme Goltappeh*[1], Parviz Zeaiean Firouzabadi [2], Hamid Reza Riyahi Bakhtyari[3]

1- Remote Sensing and GIS MSc of Kharazmi University
2- Associate Professor., Department of Remote Sensing and GIS of Kharazmi University
3- Assistant Professor., Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord

Abstract

The use of remote sensing and GIS technology, is to have a quick and inexpensive method of obtaining information, especially in the field of environmental studies and earth sciences for optimal management. This study was carried out to evaluate OLI sensor data, the capability of Alta reflectance spectrometer in the selected spectral band satellite images for predictive models and the use of concept of station virtual changing the accuracy of the models and mapping the distribution of the concentration of heavy metals nickel, lead and zinc the surface soil around the Rajaee Power Plant. After determining the location of sampling stations on satellite images, according to the dominant land use around power plants (agriculture) and with respect to the different soil depth in this kind of usage,from the average depth of about 0-15 cm topsoil , 34 composite samples were collected and spectral readings were recorded using Alta reflectance spectrometer. The heavy metals concentrattion was determined in the laboratory using atomic spectrometer. According to the equivalent range of spectral bands of satellite imagery and spectral range light colored Alta reflectance spectrometer, was used for spectral data recorded by reflectance spectrometer to select the optimal band satellite imagery to participate the relationship between spectral data (independent variable) and the concentration of heavy metals in the soil (the dependent variable).The concept of virtual stations which are characteristics like spectral reflectance sampling stations are used to enhance the accuracy of the models. For this purpose, the OLI images, Landsat 8 satellite images, in the range of values of the pixels in all the bands (6 bands in the visible and infrared range), amounting 4450 virtual station was found in the area around the power plant. At the end using satellite image bands and finding the relationships between larger coefficient of determination (R^2), the distribution map of soil concentrations of heavy metals has been found with moderate accuracy. Validation of the models with the use of Root Mean Square Error (RMSE) showed the efficiency of use of the concept of virtual stations to increase the accuracy of the models; So that was observed in the linear regression, nickel, 17.21%, 20.19% lead and 4.05% zinc and nonlinear regression, nickel, 13.42%, 20.19% lead and 3.10% zinc increased accuracy in prediction models. It is suggested that in future studies data collected from other sensors should be evaluated as well. Other variables also affect the soil environment (humidity, temperature, vegetation, etc.) which should be considered in models.

Key words: Remote sensing of soil, Heavy metals of soil, Virtual Station, ALTA Reflectance Spectrometer

Correspondence Address: Tehran- Enqelab Street- Dr. Mofatteh Street- kharazmi University- Faculty of Geographical Sciences- Department of Geoinformatics- Field of Remote Sensing and GIS
Tel:. +98 9354504608
Email: goltappeh_fa@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.113]