Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۳۱۷-۲۹۹

*آرتیمس قاسمی دهنوی [۱]
اشرف جیره نژادیان [۲]
رامین ساریخانی [۳]
صدیقه جهانگیری [٤]

کاربرد تصاویر ماهواره‌ای اسپات ۵ در شناسایی خاک‌های آلوده نفتی و تجزیه‌وتحلیل آماری آن در میدان نفتی مارون–خوزستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

هدف از این مقاله بررسی، شناسایی و ارزیابی خاک‌های آلوده به نفت با استفاده از تصویر ماهواره‌ای اسپات ۵ و تجزیه‌وتحلیل آماری آن در میدان نفتی مارون است، برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای اسپات ۵، استفاده شد. با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی دو آستانه رنگی کم تا زیاد ایجاد گردید که از ناحیه کم به سمت ناحیه زیاد بر میزان مواد نفتی افزوده شده است و نقاطی که در آستانه زیاد قرار می‌گیرند دارای بیش‌ترین آلودگی هستند برای صحت سنجی از یک سری نقاط کنترل زمینی استفاده شد که پنج ایستگاه نمونه‌برداری شده در یک آستانه رنگی مشخص (نارنجی و قرمز) قرار می‌گیرد که با کمک آن می‌توان سایر خاک‌های آلوده را شناسایی کرد. تصاویر با قدرت تفکیک کم دارای دقت کم‌تر و خطای بیش‌تر در طبقه‌بندی بوده و به علت عدم تفکیک‌پذیری دقیق آلودگی را بیش‌تر از مقدار واقعی نشان می‌دهند. در نتیجه تصاویری با قدرت تفکیک کم جهت تفکیک دقیق‌تر و شناسایی آلودگی در سطح کم استفاده می‌شود. شاخص‌های زمین انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی جهت تعیین میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با توجه به مقادیر شاخص زمین انباشتگی ایستگاه ۲ و ۳ در محدوده آلوده نشده تا

۱- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان.
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان.
*۳- عضو هیات علمی گروه زمین شناسی دانشگاه لرستان. (نویسنده مسئول). E-mail: Sarikhani.r@lu.ac.ir
٤- دانش‌آموخته دکتری محیط زیست دانشگاه آزاد واحد تهران شمال.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

آلودگی متوسط از نظر فلز کبالت و نیکل قرار می‌گیرند و ایستگاه ۱، ٤ و ۵ در محدود آلوده نشده قرار دارند. با توجه به طبقه‌بندی ضریب آلودگی وانادیوم در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط ولی نیکل و کبالت در محدوده آلودگی متوسط قرار دارند در ایستگاه دوم آلودگی کبالت بیش‌تر و در محدوده آلودگی متوسط تا قوی قرار دارد. از نظر شاخص جامع فاکتور آلودگی منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی متوسط نیکل و کبالت است اما فلز وانادیوم در سطح بدون آلودگی قرار دارد. نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که غلظت فلزات نیکل و کبالت نسبت به استاندارد شیل جهانی بالا و دارای آلودگی است، میانگین غلظت هر سه فلز نیکل، کبالت و وانادیوم نسبت به استاندارد خاک‌های غیر آلوده بالاست و دارای آلودگی هستند. مقدار شوری خاک مورد مطالعه با توجه به کلاس‌بندی شور خاک، در کلاس خاک‌های شور قرار می‌گیرد. نتایج همبستگی، همبستگی بالایی بین اسیدیته و نفت/گریس (۰/۹۳۱)، وانادیوم و شوری (۰/۵۱٦) نشان می‌دهد که با توجه به این‌که وانادیوم از شاخص‌های آلودگی نفتی است می‌توان گفت که شوری و آلودگی نفت/گریس خاک در اثر نفت خام به‌وجود آمده است. همبستگی بین عناصر نیکل و کبالت (۰/٦۰۷) نشان‌دهنده منشأ یکسان آن‌ها است که به زمین‌شناسی منطقه برمی‌گردد. آنالیز مؤلفه اصلی دارای ٦ فاکتور می‌باشد که فاکتور اول همبستگی بالایی با اسیدیته (۰/۷۵۱)، نفت/گریس (۰/۹۳٦)، وانادیوم (۰/۸۲۸) و شوری (۰/۹۰٦) است که می‌تواند نشان‌دهنده هم منشأ بودن غلظت این پارامترها با ترکیب نفت خام باشد. فاکتور دوم که ٤۳/٦۵ درصد واریانس کل را شامل می‌شود دارای همبستگی بالایی با عناصر کبالت (۰/۹۰۵) و نیکل (۰/۸۷۲) است که حاکی از هم منشأ بودن این عناصر است که به جنس خاک منطقه برمی‌گردد.

کلید واژه‌ها: آلودگی نفتی خاک، تصاویر اسپات ۵، شاخص‌های آلودگی، آمار چند متغیره، میدان نفتی مارون.

مقدمه

یکی از پیامدهای اصلی پیشرفت فناوری‌های انسانی، آلودگی محیط‌زیست است (Abosede et al., 2013: 14). آلودگی محیط‌زیست ازجمله آلودگی خاک یکی از عوارض مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت است (Mousavi et al., 2012: 323). همچنین مواد نفتی و مشتقات آن‌ها در اثر بهره‌برداری، حمل‌ونقل یا ذخیره‌سازی ممکن است موجب آلودگی خاک شود (Jahangiri et al, 2016) و هرچه مواد نفتی به عمق بیش‌تری از خاک نفوذ کنند رفع آن آلودگی مشکل‌تر خواهد بود. از جمله این اقدامات، نشان دادن خاک‌های آلوده به پخش نفت با استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور و تهیه نقشه نواحی آلوده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور مدیریت این نواحی است (Jahangiri et al., 2016). فناوری سنجش‌ازدور طیف گسترده‌ای از ابزارهای تحلیلی و تکنیک‌های قابل اجرا در علوم مختلف زمین ارائه می‌دهد. در زمینه تولید نفت، این روش تنها برای حمایت از اکتشاف کاربرد ندارد، بلکه همچنین می‌توان برای شناسایی نشت و رهاسازی و فرآیندهای بهداشتی استفاده کرد (Smejkalova & Bujok, 2012: 23). در این زمینه می‌توان به ارزیابی آلودگی نفتی تالاب‌ها با استفاده از تصاویر ابر طیفی (Salem & Kafatos, 2005: 811) اشاره نمود. هدف

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

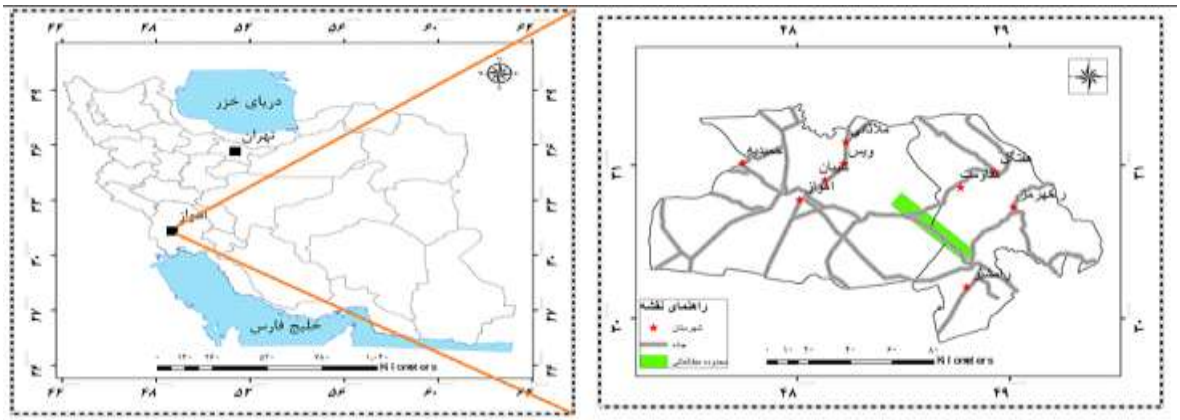
اصلی از این مقاله فراهم آوردن تکنیک‌های جدید به‌منظور استفاده از تصاویر فرا طیفی با وضوح مکانی و طیفی بالا در شناسایی پخش نفت بود. مطالعه آلودگی نشت نفت در غرب سیبری با استفاده از تصاویرکوئیکبرد (Hese & Schmullius, 2008: 385) انجام شده که مفاهیم مبتنی بر شئ و سیستم طبقه‌بندی برای آلودگی خاکی نشت نفت در غرب سیبری ارائه می‌دهد. همچنین مقاله شناسایی آلودگی مواد نفتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابر طیفی (Jahangiri et al., 2013: 2) که نتایج حاصله نشان‌دهنده جذب قوی همه مواد نفتی در طول‌موج ۱۷۳۰ و ۲۳۱۰ نانومترمی باشد. نفت خام ترکیب پیچیده‌ای از هزاران ترکیب هیدروکربنی و ترکیبات غیر هیدروکربنی ازجمله فلزات سنگین است که می‌توانند سرطان‌زا باشند (Asgari et al., 2014: 111). فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاک مورد توجه قرارگرفته‌اند. در مطالعات زیست‌محیطی باید روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی ارزیابی شود. عامل غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشتگی، ضریب آلودگی و شاخص بار آلودگی از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینه روند آلودگی نشان می‌دهند (Shayestehfar & Rezaie, 2011: 27). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی با استفاده از چندین شاخص، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار گفته که نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌دار خاک‌ها با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی فعالیت‌های معدنی بود. در کنار تکنیک‌های آماری تک متغیره‌ای هم چون شاخص‌های غنی‌شدگی و زمین انباشتگی، در سال‌های اخیر آمار چند متغیره مورد توجه بسیاری از پژوهشگران علوم محیطی در راستای منشأ یابی آلاینده‌های قرارگرفته است. معمولاً شناسایی منابع آلاینده به‌وسیله تجزیه‌های آماری چند متغیره، همچون تجزیه همبستگی، تجزیه مؤلفه اصلی و تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای انجام می‌شود. تکنیک‌های آماری چندمتغیره برای تعیین الگوی ارتباطی فلزات سنگین با یکدیگر و شناخت منابع احتمالی آن‌ها مورد استفاده محققان مختلف قرار گرفته است. با استفاده از زمین‌آمار و آمار چندمتغیره در منشأ یابی برخی فلزات سنگین در اصفهان، گزارش شده که توزیع برخی فلزات سنگین در خاک در کنترل عوامل مشترک بشری و زمین‌شناسی است (Delavar & Safari, 2015: 628). با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و وجود چاه‌های نفتی و احتمال نشت نفت و به دنبال آن آلودگی خاک و تأثیر آن بر کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً انسان، این تحقیق با هدف شناسایی خاک‌های آلوده به نفت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اسپات ۵، و همچنین ارزیابی میزان آلودگی خاک با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل آماری در بخش از میدان نفتی مارون انجام گردید.

منطقه مورد مطالعه

میدان نفتی مارون به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین میدان‌های نفتی حوضه زاگرس در ٤٠ کیلومتری شرق اهواز و بین میدان‌ها کوپال، آغاجاری، رامین، شادگان و رامشیر قرار دارد. این میدان در محدوده طول جغرافیایی ٤٩ درجه الی ٤٩ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه الی ۳۱ درجه ۳۰ دقیقه در سمت شرق فروافتادگی دزفول شمالی واقع شده است شکل (۱). میدان نفتی مارون به‌صورت یک تاقدیس تقریباً نامتقارن است. طول این میدان در رأس مخزن

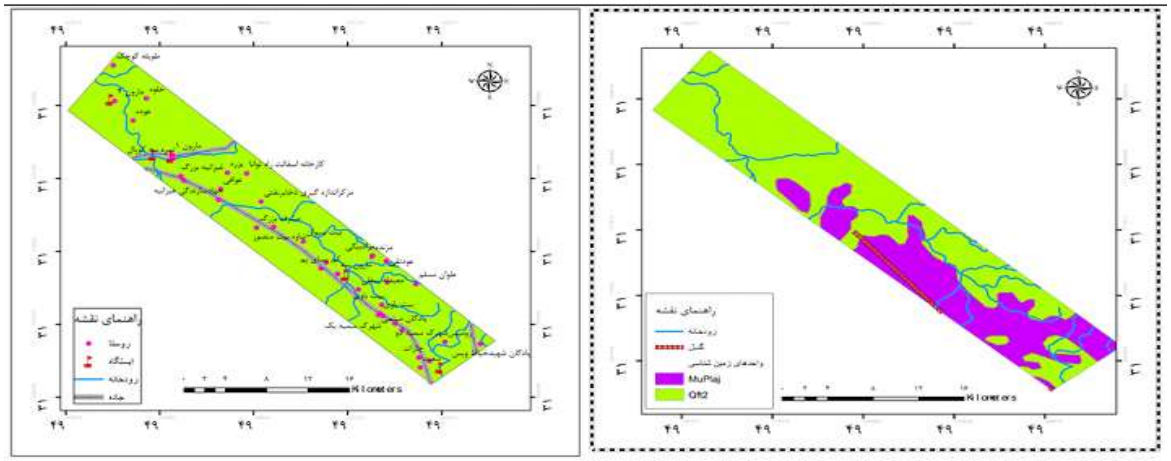
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

آسماری حدود ٦٧ کیلومتر و عرض آن در حدود ۷ کیلومتر با برآمدگی ساختمانی ۲ کیلومتر هست و این در حالی است که ابعاد مخزن در رأس سازند داریان به ٦٠ کیلومتر طول و ۳/۵ کیلومتر عرض کاهش می‌یابد. فاصله بین ستیغ مخزن و عمیق‌ترین سطح تماس آب و نفت در سازند آسماری حدود ۲۰۰ کیلومتر است. شیب ساختمانی آن حداکثر بین ٦٠ تا ۷۰ درجه در قسمت‌هایی از یال جنوبی و ۲۰ تا ٤٥ درجه در یال شمالی با روند کلی ساختارهای زاگرس و به‌صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرق است (شکل ۲)، (Soleimani et al., 2010: 22).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location map of the studied area



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 2: Geological and sample location of the area

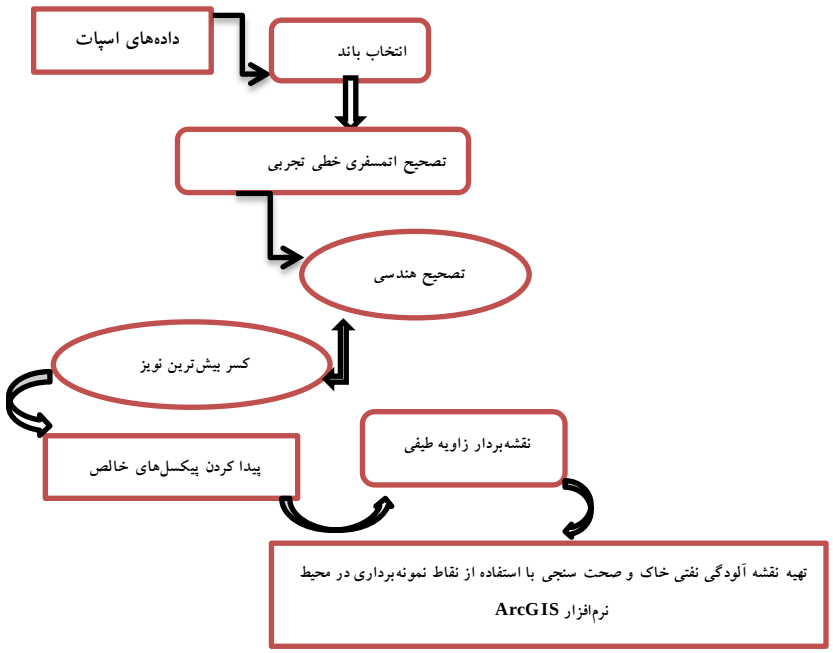
مواد و روش‌ها

پس از تهیه تصویر ماهواره‌ای Spot در زمان آلودگی سال (2010)، بخشی از آن که دربرگیرنده منطقه مورد مطالعه بوده را جدا نموده و برای انجام عملیات پیش‌پردازش از نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای (ENVI Version5.0)[5]

5- The Environment For Visualizing Images

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

استفاده شد؛ در مرحله پیش‌پردازش با یک سری عملیات بر روی داده‌های خام (قبل از پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد توجه قرار گرفته است. سپس با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات میدانی در خصوص محل خاک‌های آلوده به پخش نفت و نمونه‌برداری از این خاک‌ها و ورود این اطلاعات به همراه تصویر منطقه مورد نظر به محیط نرم‌افزار و همچنین استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، طول‌موج هدف و الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی نقشه آلودگی خاک‌های آلوده به نفت تهیه گردید (شکل ۳). جهت تعیین میزان آلایندگی خاک به عناصر سنگین در یک منطقه، میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته‌شده مقایسه شد که برای محاسبه این شاخص‌ها از غلظت متوسط عنصر در شیل به‌عنوان غلظت زمینه استفاده شد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007: 238). در این مطالعه معیارهای مختلف (فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی) جهت سنجش میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین بررسی شده است. همچنین برای اطلاع از الگوی توزیع داده‌های مربوط به غلظت کل پارامترهای اندازه‌گیری شده، مهم‌ترین ویژگی‌های آماری پایه (حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف معیار، واریانس، کشیدگی، چولگی و ضریب تغییرات) آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS[6] نسخه ۱۹ محاسبه شد. برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. همچنین، به‌منظور ارزیابی ارتباط متقابل میان متغیرهای اندازه‌گیری شده راهکارهای، ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز خوشه‌ای پیرسون و آنالیز مؤلفه اصلی در محیط این نرم‌افزار انجام گردید.



شکل ۳: آنالیز تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI و ArcGIS

Figure 3: Analysis of images with Envi and ArcGIS software

6- Sciences Statistical Package (SPSS)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

- تصاویر اسپات ۵

سیستم ماهواره اسپات توسط شرکت ملی مرکز مطالعات فضایی[7] در فرانسه طراحی و با همکاری کشورهای بلژیک و سوئد توسعه‌یافته است. می‌توان با استفاده از داده‌های اسپات ۵ و تلفیق داده‌های پانکروماتیک[8] و رنگی آن، اطلاعات رنگی با دو تفکیک مکانی دو و نیم متر و پنج‌متر داشت (Ahmadi Roohani et al., 2014: 254). هدف از انتخاب این تصاویر، بررسی قابلیت تصاویر مولتی اسپکترال با قدرت تفکیک ۱۰ متر در شناسایی خاک‌های آغشته به نفت در منطقه مورد مطالعه است.

- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های خاک

نمونه‌برداری و آنالیز در منطقه مورد مطالعه از ۵ نقطه در منطقه نمونه‌برداری شد. در منطقه مورد مطالعه، از ۵ ایستگاه نمونه برداشته نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و برای آنالیز آماده گردیدند. هضم نمونه‌های خاک با استفاده از اسید نیتریک و اسید کلرید انجام گردید (Jahangiri et al., 2016). اندازه‌گیری غلظت عناصر مورد نظر در نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه جذب اتمی[9] مدل آنالیست[10] ۲۰۰۰ و جهت اندازه‌گیری میزان نفت/گریس موجود در خاک با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی محاسبه گردید. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۱)، ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 1- Parameters measured in the sampling stations

پارامتر	ایستگاه (۱)	ایستگاه (۲)	ایستگاه (۳)	ایستگاه (٤)	ایستگاه (٥)
نیکل (جز در میلیون)[11]	٥٣	٥٣	٥٥	٧٦	٧٦
کبالت (جز در میلیون)	٢٨	٤٤	٣٦	٢٨	٢٨
وانادیوم (جز در میلیون)	٨٢	٩٥	١١٧	٨٠	٣٨
اسیدیته	٧/٢٠	٧/١	٧/١	٧/٩	٨
نفت/گریس (جز در میلیون)	١٠٦	١٤٠	١٥٩	٢٤٦	٢٥٨
شوری (دسی زیمنس/متر)[12]	٥	١٧	١٧	١٨	١٨

- انتخاب باند

با توجه به طول‌موج جذب هیدروکربن که بیش‌تر تحت کشش بین هیدروژن و کربن است، سنجش‌ازدور طول‌موج‌های کوتاه و نزدیک مادون‌قرمز برای شناسایی مستقیم و غیرمستقیم هیدروکربن‌ها استفاده می‌شود (Van Der Meijde et al., 2012: 384). این مواد دارای دو طول‌موج جذب ۱۷۰۰-۱۷۵۰ نانومتر و ۲۳۱۰-۲۳۵۰ نانومتر است (Smejkalova

7- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
8- panchromatic
9- Perkin Elmer
10- Analyst
11- Part Per Million (ppm)
12- ds/m

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

& Bujok, 2015: 72)؛ بنابراین از ترکیب باندی که در برگیرنده این محدوده از طول‌موج هستند، برای این کار استفاده می‌شود.

تصحیح اتمسفری[۱۳]

به دلیل این‌که اتمسفر بر روی میزان انرژی ثبت شده توسط سنسور تأثیر بسیار زیادی دارد، برای آنالیز داده‌ها تصویر باید اثر اتمسفر در صورت امکان از بین برود؛ بنابراین روش خطی تجربی[۱۴] به‌عنوان یکی از روش‌های تصحیح اتمسفری، است؛ که در این روش برای انجام تصحیح اتمسفری از همبستگی بین طیفی که از طریق طیف‌سنجی میدانی یا آزمایشگاهی از هدف یا عارضه زمینی موردنظر به‌دست می‌آید و میزان ارزش طیفی همان هدف بر روی تصویر استفاده می‌کند. در واقع تصویر را با مقادیر طیفی اهداف زمینی جمع‌آوری شده با طیف‌سنج زمینی که اتمسفر بر روی آن تأثیری ندارد، تطبیق می‌دهد. با توجه به این‌که موقعیت نقاط آلوده به مواد نفتی و همچنین طیف مربوط به جذب مواد نفتی در دسترس بود، برای تصحیح اتمسفری تصاویر از روش خطی تجربی استفاده گردید. برای این کار ابتدا موقعیت نقطه زمینی که با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی[۱۵] ثبت شده و وجود آلودگی نفتی در آن نقطه تائید شد را به‌طور دقیق بر روی تصویر مشخص سپس طیف همان نقطه را که منطبق با موقعیت زمینی مورد نظر بود استخراج گردید؛ و نهایتاً طیف استخراج شده با طیف انعکاسی تهیه شده توسط دستگاه طیف‌سنج (Smejkalova & Bujok, 2015: 72) انطباق داده شد و تصویر مورد نظر با روش خطی تجربی تصحیح اتمسفری گردید.

تصحیح هندسی[۱۶]

معمولاً تصاویر رقومی دارای انحراف‌هایی هستند، به‌طوری‌که این‌گونه تصاویر نمی‌توانند به‌عنوان نقشه مورد استفاده قرار گیرند. از جمله این انحراف‌ها می‌توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین، جابه‌جایی و پستی و بلندی اشاره کرد. منظور از تصحیح هندسی جبران انحراف‌ها است (Roodgarmi et al., 2013: 163). برای تطابق هندسی تصویر مورد نظر از نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید؛ و تصاویر با استفاده از نقاط کنترل زمینی تطابق هندسی شدند.

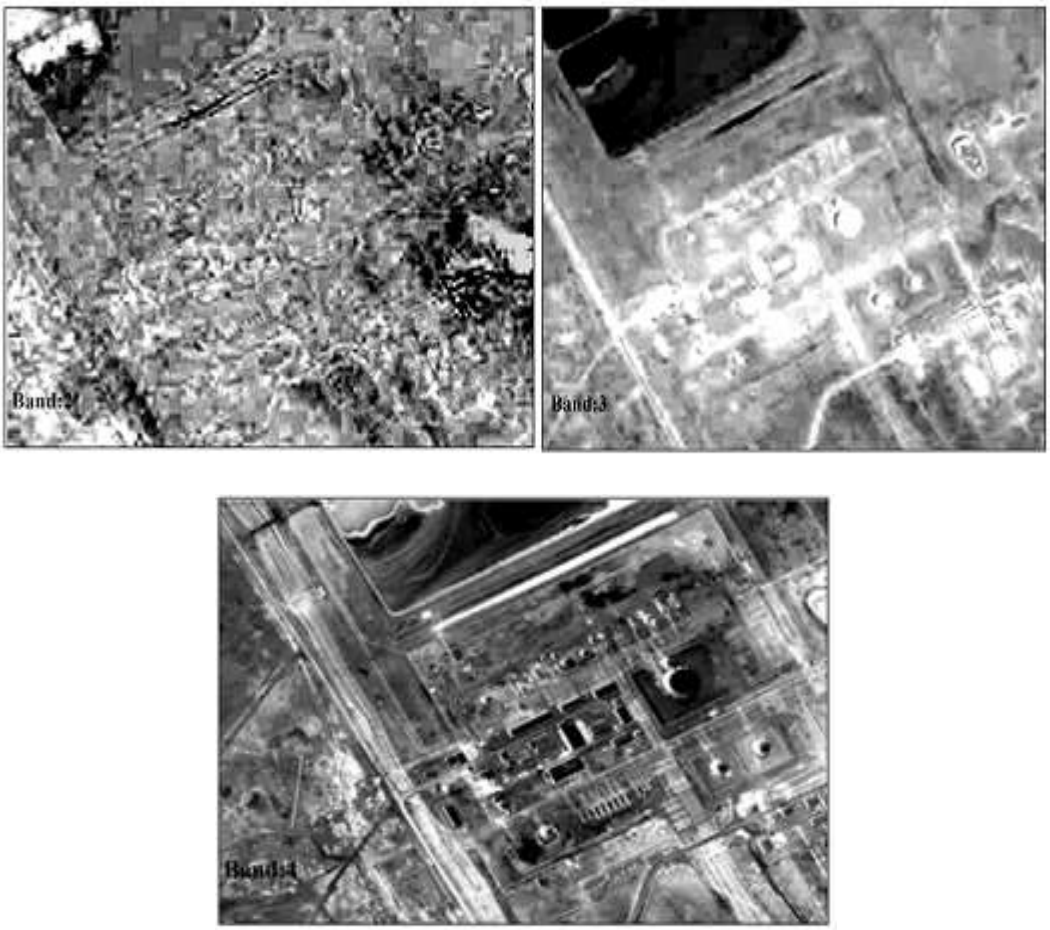
کمینه کردن نوفه داده‌ها و کاهش بعد آن‌ها

تابع تقلیل نوفه کسر بیش‌ترین نویز[۱۷]، شامل دو مرحله‌ی پی‌درپی تبدیل مؤلفه اصلی است. اولین مرحله تبدیل مؤلفه‌های اصلی با بازسازی نوفه موجود در تصاویر به‌وسیله غیر همبسته کردن و نایش مجدد نوفه در تصاویر، داده‌ها را به شکلی می‌سازد که نوفه آن‌ها دارای واریانس واحد و بدون همبستگی باند به باند باشد. در مرحله بعدی، داده‌های

13- Atmosphric Correction
14- Emprical Line Calibration
15- Global Positioning System (GPS)
16- Geometric Correction
17- Maximum Noise Fraction

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

با نوفه‌ی بارز شده برای تبدیل مرحله دوم آنالیز مؤلفه اصلی[۱۸] مورد استفاده قرار می‌گیرد و خروجی نهایی را به‌دست می‌دهد که برحسب کاهش ابعاد اطلاعاتی مرتب شده‌اند. شکل (٤)، نتایج حاصل از الگوریتم کسر بیش‌ترین نویز بر روی تصویر مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ٤: نتایج اجرای الگوریتم بیش‌ترین نویز باندهای ۲، ۳ و ٤ تصویر اسپات ۵

Figure 4: Results of algorithm for maximum Noise Bands 2.3 and 4 for Spot 5

نقشه‌بردار زاویه طیفی[۱۹]

نقشه‌برداری زاویه طیفی یک روش طبقه‌بندی تصویر با محاسبه تشابه بین طیف تصویر و یک طیف مرجع (مانند کتابخانه‌های طیفی) است. الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به‌وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می کند. در واقع با تبدیل طیف‌ها به بردار در فضایی به ابعاد تعداد باندها، زاویه بین دو بردار محاسبه می‌شود. در این روش برای محاسبه زاویه جهت بردارها اهمیت دارد و نه طول آن‌ها، بنابراین در این روش عامل‌های دیگر در نظر گرفته نمی‌شوند. در واقع هر چه مقدار زاویه (بین ۰ تا ۱) کم‌تر باشد شناسایی دقیق‌تر خواهد بود. در صورتی‌که مقدار

18- Principal Component Analysis
19- Spectral Angel Mapper

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

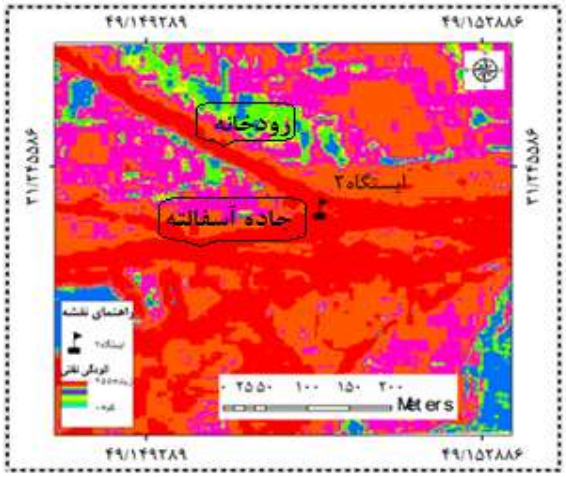
زوایه ۱ باشد کل تصویر به‌عنوان پدیده مورد نظر شناسایی می‌شود. برای مقایسه یک پیکسل، طیف پیکسل مورد نظر از منطقه بررسی شده با طیف همان پیکسل در آزمایشگاه بر روی دو باند در یک محور مختصات رسم می‌شود. سپس نقاط به‌دست آمده به مبدأ وصل می‌شود و زاویه بین دو خط به‌دست آمده به‌عنوان زاویه شناسایی پیکسل شناخته می شود. درصورتی‌که از تعداد n باند برای شناسایی پدیده مورد نظر استفاده شود از رابطه (۱) برای به‌دست آوردن زاویه استفاده می‌شود:

رابطه (۱)
$$a=\cos^{-1}\left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} tiri}{\left(\sum_{i=1}^{nb} ti^2\right)^{1/2}\left(\sum_{i=1}^{nb} ri^2\right)^{1/2}}\right]$$

که در آن nb تعداد باندها است. برای انجام این طبقه‌بندی ابتدا موقعیت پیکسل‌های خالص و کاملاً طیفی را مشخص گردید. به‌طور کلی جهت مشخص کردن اعضای خالص مشخصه طیفی آن‌ها، سه روش موجودمی باشد: الف) استفاده از کتابخانه‌های طیفی، ب) استفاده از طیف اندازه‌گیری شده در سرزمین و در لحظه تصویربرداری، ج) استفاده از پیکسل‌های خالص خود تصویر (Mehrmanesh, 2013: 4)؛ که ما در این پژوهش از کتابخانه طیفی تهیه شده برای مواد نفتی با استفاده از طیف‌سنجی میدانی برای پیدا کردن پیکسل‌های خالص[۲۰] استفاده گردید و سپس با استفاده از این پیکسل‌های خالص طبقه‌بندی انجام شد و در نهایت نقشه خروجی نهایی در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی[۲۱] تهیه گردید. پس از اعمال عملیات فوق و با استفاده از روش طبقه‌بندی دو آستانه رنگی زیاد و کم گردید. با توجه به نقشه‌های خروجی نهایی مناطقی که در آستانه زیاد قرار می‌گیرند دارای مواد نفتی زیاد و مناطقی که در ناحیه کم قرار می‌گیرند دارای مواد نفتی کم‌تری هستند و هرچه از آستانه کم به آستانه زیاد نزدیک‌تر شود بر میزان مواد نفتی موجود در خاک افزوده می‌شود و دارای آلودگی بیش‌تری هستند. با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی در خصوص محل خاک‌های آلوده به پخش نفت، همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک‌های نمونه‌برداری شده (ایستگاه ۱ تا ۵) تقریباً در آستانه‌های رنگی نزدیک به آستانه زیاد و در رنگ‌های نارنجی، قرمز که با استفاده از این آستانه رنگ مشخص می‌توان سایر خاک‌های آلوده به پخش نفت موجود در منطقه مطالعاتی را شناسایی کرد. (اشکال ۵ تا ۹) البته ناگفته نماند چون پیکسل سایز تصاویر اسپات ۱۰ *۱۰ متر است و به دلیل قدرت تفکیک پایین آن فقط قادر است پیکسل‌هایی که در حدود این سایز باشند را شناسایی کرده و پیکسل‌های کوچک‌تر از این سایز را که قادر به شناسایی نیست، در نتیجه ممکن است با پیکسل‌هایی دیگر اشتباه تشخیص داده و به همین دلیل آلودگی را بیش‌تر از حد معمول نشان دهد چون بر اساس بیش‌ترین میانگین پیکسل‌هایی که قادر به شناسایی باشد طبقه‌بندی را انجام می‌دهد درنتیجه در قسمت‌هایی ممکن است آلودگی را بیش‌تر از مقدار واقعی نشان دهد و یا یک مکان آلوده را به‌عنوان غیر آلوده شناسایی کند.

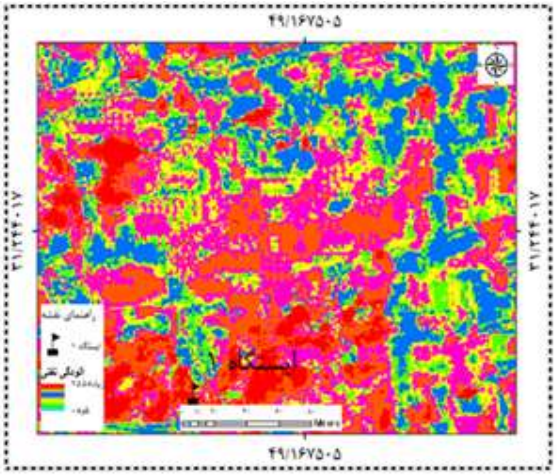
20- End member
21- Geographical Information System

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026



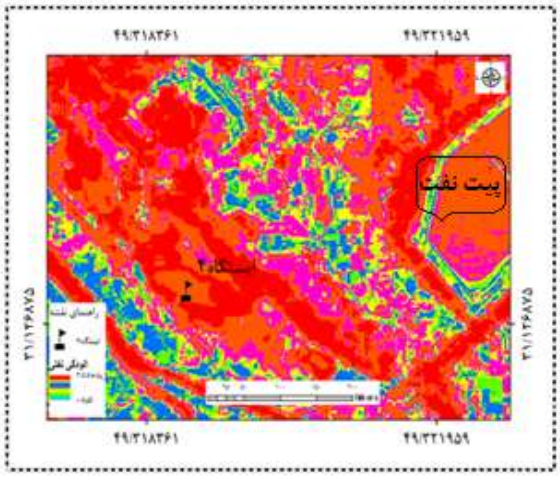
شکل ٦: نقشه آلودگی نفتی خاک ایستگاه ۲

Figure 6: Oil pollution map of soil in station 2



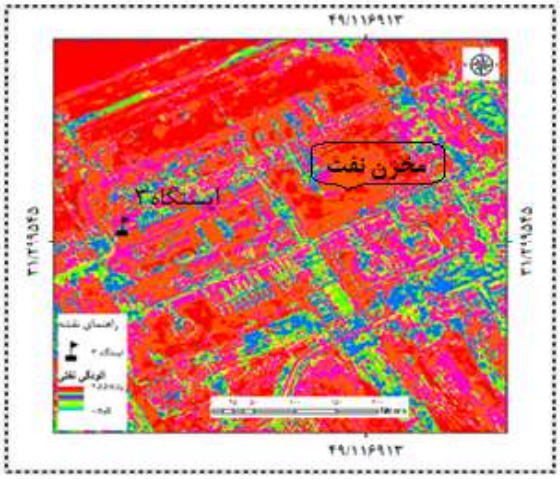
شکل ۵: نقشه آلودگی نفتی خاک ایستگاه ۱

Figure 5: Oil pollution map of soil in station 1



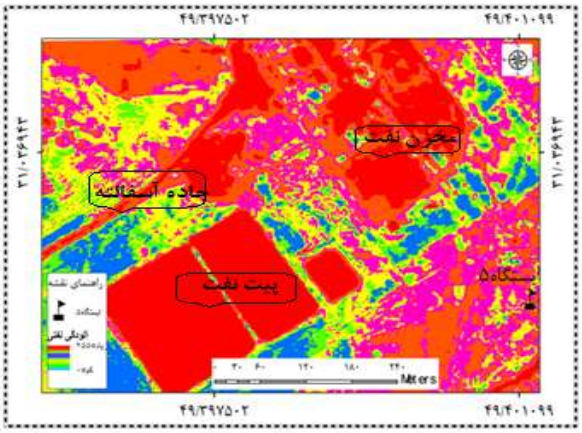
شکل ۸: نقشه آلودگی نفتی خاک ایستگاه ٤

Figure 8: Oil pollution map of soil in station 4



شکل ۷: نقشه آلودگی نفتی خاک ایستگاه ۳

Figure 7: Oil pollution map of soil in station 3



شکل ۹: نقشه آلودگی نفتی خاک ایستگاه ۵

Figure 9: Oil pollution map of soil in station 5

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

– ارزیابی خاک منطقه مورد مطالعه

شاخص زمین انباشتگی[۲۲]: شاخص زمین انباشتگی به‌طور گسترده برای ارزیابی آلودگی خاک و رسوب استفاده می‌شود (Islam et al., 2015: 285). شاخص زمین انباشتگی توسط Muller (1979) معرفی شده است. از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Igeo= \log_2 (Cn/1.5*Bn)$$ رابطه (۲)

Cn، غلظت فلز در نمونه خاک و رسوب و Bn، غلظت زمینه (شیل) و عامل ۱/۵ حداقل رساندن تغییرات ممکن را در ارزیابی زمینه معرفی می‌کند و ممکن است به اثرات لیتوسفر نسبت داده شود. با استفاده از شاخص زمین انباشت هفت کلاس شامل: کلاس یک؛ ۰ > شاخص زمین انباشتگی (آلوده نشده)، کلاس دو، ۱ > شاخص زمین انباشتگی > ۰ (آلوده نشده تا آلودگی متوسط)، کلاس سه، ۲ > شاخص زمین انباشتگی > ۱ (آلودگی متوسط)، کلاس چهار؛ ۳ > شاخص زمین انباشتگی > ۲ (آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد)، کلاس پنج؛ ٤ > شاخص زمین انباشتگی > ۳ (آلودگی زیاد)، کلاس شش ۵ > شاخص زمین انباشتگی > ٤ (آلودگی زیاد تا آلودگی شدید) و کلاس هفت، ۵ > شاخص زمین انباشتگی (آلودگی شدید) برای خاک‌های آلوده شده معرفی می‌کند (Bhuiyan et al., 2010:386). با توجه به مقادیر شاخص زمین انباشتگی (جدول ۲)، مشاهده می‌شود که فلز وانادیوم پنج ایستگاه نمونه‌برداری شده دارای تهی شدگی است. فلز کبالت در ایستگاه دوم در محدوده آلوده نشده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد اما در دیگر ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده دارای تهی شدگی است، همچنین فلز نیکل در ایستگاه سوم در محدوده آلوده نشده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد و در دیگر ایستگاه‌ها دارای تهی شدگی است.

ضریب آلودگی[۲۳]

ضریب آلودگی خاک به‌عنوان نسبت غلظت فلز سنگین در خاک به غلظت زمینه (شیل)، تعریف می‌شود که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$CF= Cn/Bn$$ رابطه (۳)

Cn، غلظت فلز سنگین در نمونه خاک و Bn، غلظت زمینه است. سطح آلودگی را به‌وسیله شدت آن در محدوده ۱ تا ٦(۰= بدون آلودگی، ۱= بدون آلودگی تا آلودگی متوسط، ۲= آلودگی متوسط، ۳= آلودگی متوسط تا قوی، ٤= آلودگی قوی، ۵= آلودگی قوی تا خیلی قوی، ٦= آلودگی خیلی قوی) طبقه‌بندی می‌کند (Liu et al., 2014: 212). بر اساس جدول (۳)، فلزات نیکل و کبالت در محدوده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند؛ اما ایستگاه دوم ازنظر کبالت در محدوده آلودگی متوسط تا قوی قرار می‌گیرد؛ و وانادیوم در همه ایستگاه‌های نمونه‌گیری شده در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

22- Geoccumulation Index (Igeo)
23- Contamination Factor (CF)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

جدول ۲- شاخص زمین انباشتگی ایستگاه‌ها

Table 2- Geoacumulation index of stations

فلز	ایستگاه (۱)	ایستگاه (۲)	ایستگاه (۳)	ایستگاه (٤)	ایستگاه (٥)
نیکل	-۰/۳۱	-۰/۱۰	۰/۱۹	-۰/۳۵	-۰/۳۵
کبالت	-۰/۰۲	۰/٦۲	۰/۳۳	-۰/۰۲	-۰/۰۲
وانادیوم	-۱/۸۷	-۱/۸۷	-۱/۸۲	-۱/۳۵	-۱/۳۵

جدول ۳- فاکتور آلودگی خاک ایستگاه‌ها

Table 3- Contamination factor of soil in stations

فلز	ایستگاه (۱)	ایستگاه (۲)	ایستگاه (۳)	ایستگاه (٤)	ایستگاه (٥)
نیکل	۱/۲۰	۱/۳۹	۱/۷۲	۱/۱۷	۱/۱۷
کبالت	۱/٤۷	۲/۳۱	۱/۸۹	۱/٤۷	۱/٤۷
وانادیوم	۰/٤۰	۰/٤۰	۰/٤۲	۰/۵۸	۰/۵۸

- شاخص بار آلودگی[۲٤]

برای بررسی سطح کل آلودگی خاک در سایت نمونه‌برداری شاخص بار آلودگی استفاده می‌شود از رابطه (٤) به‌دست می‌آید:

$$PLI=(CF1*CF2*.....CFN)^{1/N}$$ رابطه (٤)

که در آن N تعداد نمونه است. شاخص بار آلودگی یک روش ساده و مفید برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین سطح است که چهار سطح: سطح یک؛ ۱ > شاخص بار آلودگی (بدون آلودگی)، سطح دو؛ ۲ > شاخص بار آلودگی> ۱ (آلودگی متوسط)، سطح سه؛ ۳ > شاخص بار آلودگی> ۲ (آلودگی زیاد) و سطح چهار؛ شاخص بار آلودگی> ۳ (آلودگی بسیار زیاد) برای بار آلودگی تعریف شده است (Liu et al., 2014: 212). بر اساس مقادیر برای شاخص بار آلودگی (جدول ٤) منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی متوسط نیکل و کبالت و از نظر وانادیوم در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرد.

جدول ٤- شاخص بار آلودگی خاک ایستگاه‌ها

Table 4- Pollution load index of soil in stations

فلز	ایستگاه (۱)	ایستگاه (۲)	ایستگاه (۳)	ایستگاه (٤)	ایستگاه (٥)
نیکل	۱/۰۹	۱/۱۷	۱/۳۱	۱/۰۸	۱/۰۸
کبالت	۱/۲۱	۱/۵۱	۱/۳۷	۱/۲۱	۱/۲۱
وانادیوم	۰/٦۳	۰/٦۳	۰/٦٤	۰/۷٦	۰/۷٦

در این تحقیق آمار توصیفی پارامترهای موردنظر بر اساس آماره‌های میانگین، حداقل، حداکثر، دامنه تغییرات، ضریب تغییرات و چولگی و کج شدگی هر متغیر در نرم‌افزار Spss مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). بر اساس مقدار میانگین روند تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک منطقه موردمطالعه به‌صورت زیر است.

روند تغییرات فلز نیکل: ایستگاه ٤= ایستگاه ۵> ایستگاه ۳ > ایستگاه ۱= ایستگاه ۲

24- Pollution Load Index (PLI)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

روند تغییرات فلز کبالت: ایستگاه ۲ > ایستگاه ۳ > ایستگاه ۱=ایستگاه ٤= ایستگاه ۵

روند تغییرات فلز وانادیوم: ایستگاه ۳ > ایستگاه ۲ > ایستگاه ۱ > ایستگاه ٤= ایستگاه ۵

روند تغییرات نفت/گریس: ایستگاه ۵ > ایستگاه ٤ > ایستگاه ۳ > ایستگاه ۲ > ایستگاه ۱

روند تغییرات اسیدیته خاک: ایستگاه ۵ > ایستگاه ٤ > ایستگاه ۱ >ایستگاه ۳= ایستگاه ۲

روند تغییرات شوری: ایستگاه ۵= ایستگاه ٤ > ایستگاه ۳= ایستگاه ۲ > ایستگاه ۱

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق نسبت به استانداردهای استفاده شده، بالاتر است که در بررسی اولیه آلودگی خاک را طبق جدول (٦) نشان می‌دهد. با توجه به استاندارد شیل جهانی، فلز کبالت و نیکل بیش‌تر از استاندارد و دارای آلودگی هستند. مقایسه مقدار میانگین سه فلز اندازه‌گیری شده در نمونه خاک در مقایسه با غلظت این فلزات در خاک‌های غیر آلوده جدول (٦) نشان می‌دهد که مقدار میانگین غلظت هر سه فلز نیکل، کبالت و وانادیوم در نمونه خاک آلوده بیش‌تر از غلظت آن در نمونه غیر آلوده است بنابراین هر سه فلز در خاک منطقه دارای آلودگی است. میانگین اسیدیته اندازه‌گیری شده در خاک قلیایی (۷/٤٦) است که احتمالاً به کربناته بودن محیط برمی‌گردد. کانی‌های کربناته تأثیر زیادی بر اسیدیته خاک دارند و عمدتاً اسیدیته خاک را بین ۸/۵-۷ حفظ می‌کند.

جدول ۵- خلاصه آماری پارامترهای خاک در ایستگاه‌ها

Table 5 –Summery of statistical parameters of soil in stations

متغیر	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	ضریب تغییرات	چولگی	کج شدگی
نیکل (جز در میلیون)	۳۷	۸۰	۱۱۷	۹۰/۸۰	۱۵/۹۲	۲۵۳/۷	۱۷/۵۳	۱/۵۳	۱/۸۰
کبالت (جز در میلیون)	۱٦	۲۸	٤٤	۳۲/۸۰	۷/۱۵	۵۱/۲	۲۱/۷۹	۱/۲۵	۰/۳۱
وانادیوم (جز در میلیون)	۲۳	۵۳	۷٦	٦۲/٦۰	۱۲/۲۵	۱۵۰/۳	۱۹/۵٦	۰/۵۸	-۳/۳۰
نفت/گریس (جز در میلیون)	۱۵۲	۱۰٦	۲۵۸	۱۸۱/۸۰	٦٦/۹۷	٤٤۸۵/۲۰	۳٦/۸۳	۰/۲۵	-۲/۵۹
اسیدیته	۰/۹	۷/۱	۸	۷/٤٦	۰/٤۵	۰/۲	٦/۰٦	۰/٦	-۳/۱۲
شوری (دسی زیمنس/متر)	۱۳	۵	۱۸	۱۵	۵/٦۱	۳۱/۵۰	۳۷/٤	-۲/۱۹	٤/۸٤

- نرمال بودن داده‌ها

بررسی ارتباط میان فلزات سنگین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و آنالیزهای چند متغیره بر اساس داشتن توزیع نرمال داده‌ها است. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزار Spss و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[25] استفاده شد (Rastmanesh et al., 2016: 17). نتایج آزمون نرمالیته کولمو گروف-اسمیرونوف در جدول (۷)، ارائه شده است. معمولاً چنانچه سطح معنی‌داری که در این آزمون در جدول آن را با سطح معنی‌داری نمایش داده می‌شود بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد، می‌توان داده‌ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد؛ که با توجه به جدول مشاهده می‌شود که مقدار سطح معنی‌داری برای پارامترهای اندازه‌گیری شده بیش‌تر از ۰/۰۵، است بنابراین داده‌های مورد نظر نرمال هستند.

25- Kolmogorov–Smiirnov test

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

- همبستگی[۲۶] و آنالیز خوشه‌ای[۲۷]

مطالعات ژئوشیمیایی آماری رسوبات گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست‌محیطی در یک منطقه می‌باشد. بر همین اساس می‌توان از علم آنالیز خوشه‌ای برای منشأ یابی عناصر در رسوبات استفاده نمود (Shayestefar & Rezaie, 2011: 27). آنالیز خوشه‌ای، در حقیقت یک فرآیند طبقه‌بندی غیر کنترلی است که مواد مورد بررسی را برحسب میزان شباهت یا تفاوت آن‌ها خوشه‌بندی می‌کند (Geravand et al., 2012: 37). از ضرایب همبستگی به‌دست آمده از نرم‌افزار برای ضرایب تشابه و رسم دندروگرام استفاده می‌شود. درخت خوشه‌ای گزینه‌های هم‌وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگ‌تر ایجاد شود و تشابهات بین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی نماید. در منطقه مورد مطالعه ضریب همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک بخش از میدان نفتی مارون با آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور تفسیر آماری رابطه این پارامترها با یکدیگر و منشأ یابی آن‌ها استفاده شده است. مقدار ضریب همبستگی پارامترها در خاک منطقه موردمطالعه در جدول (۸) ارائه شده است. همبستگی بالا می‌تواند نشان‌دهنده منشأ یکسان پارامترها و به دلیل رفتار ژئوشیمیایی بالای آن‌ها باشد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که کبالت همبستگی معنی‌دار مثبت (۰/٦۰۷) با نیکل دارد که می‌تواند حاکی از منبع ورود یکسان آن‌ها باشد؛ اما وانادیوم دارای همبستگی منفی (۰/٥٦۹-)، با فلز نیکل و همبستگی منفی (۰/٦۱۱-)، با فلز کبالت است؛ که این همبستگی منفی می‌تواند حاکی از منبع ورود متفاوت آن‌ها باشد. اسیدیته دارای همبستگی منفی (۰/٦۷۰-)، با فلزات نیکل و کبالت است. به این معنا که غلظت فلزات با اسیدیته رابطه عکس دارد؛ یعنی با افزایش اسیدیته غلظت فلز نیکل و کبالت کاهش می‌یابد. به ازای هر واحد افزایش اسیدیته، از غلظت فلزات سنگینی چون روی، نیکل و کادمیوم در محلول خاک دو واحد (میلی‌گرم در کیلوگرم) کاسته می‌شود. همچنین محرک‌پذیری فلزات سنگین غیر از مولیبدن، سلنیوم و آرسنیک، با افزایش میزان اسیدیته کاهش می‌یابد که این به‌دلیل تجمع آن‌ها به‌صورت هیدروکسیدهای نامحلول، کربنات‌ها و کمپلکس با مواد آلی است. آن‌ها همچنین نشان دادند که در مقادیر بالای اسیدیته هیدرولیز یونی صورت می‌گیرد و تعداد پیوندهای انرژی که باید در هنگام رسیدن یون به سطح ذرات خاک شکسته شوند کاهش می‌یابد اما به‌طور کلی تحرک‌پذیری فلزات مسئله پیچیده ایست که همواره باید با طیف وسیعی از عوامل خاکی بررسی شود (Feizi et al., 2008: 100). فلز وانادیوم با اسیدیته همبستگی مثبت دارد یعنی اسیدیته غلظت فلز وانادیوم افزایش می‌یابد. اسیدیته همچنین همبستگی مثبت قوی (۰/۹۳۱)، با نفت/گریس اندازه‌گیری شده دارد که این نشان می‌دهد با افزایش اسیدیته غلظت نفت/گریس افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت قوی (۰/۹٦۹)، بین نفت/گریس با وانادیوم وجود دارد با توجه به این‌که وانادیوم از شاخص‌های آلودگی نفتی است، این همبستگی قوی خود تأیید کننده تأثیرپذیری پراکنش این فلز از آلودگی هیدروکربنی خاک منطقه است. همچنین شوری با نفت/ گریس همبستگی مثبت (۰/٦۹۸) و با وانادیوم همبستگی مثبت (۰/٥۱٦)، وجود دارد که گواه این است که شوری خاک با نشت نفت در

26- Correlation
27- Cluster Analysis

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

ارتباط است. به‌منظور تدوین مناطق همگن از نظر غلظت پارامترهای مورد بررسی (درجه آلودگی) از آنالیز خوشه‌ای به روش پیرسون استفاده شده است. همان‌طوری که در نمودار دندروگرام شکل (۱۰) نشان می‌دهد که پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو خوشه قرار می‌گیرند. خوشه اول شامل نیکل و کبالت، خوشه دوم دارای دو زیرخوشه است که زیرخوشه اول دارای شوری، زیرخوشه دوم نفت/گریس، وانادیوم و اسیدیته هست. قرار گرفتن نفت/گریس، وانادیوم و اسیدیته در یک زیرخوشه، با توجه به این‌که وانادیوم از شاخصه‌های ترکیبات نفتی و ارتباط آن‌ها با شوری نشان‌دهنده هم منشأ بودن آن‌ها است. خوشه اول که شامل نیکل و کبالت است به جنس خاک منطقه برمی‌گردد که نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر است.

- تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۲۸]

هدف از تجزیه مؤلفه‌های اصلی آن است که واریانس موجود در داده‌های چند متغیره را در مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه تا آنجا که ممکن است علت بیش‌ترین واریانس موجود در داده‌ها باشد و به‌تدریج مؤلفه‌های بعدی واریانس کم‌تری از تغییرات را توجیه می‌کنند. در این روش هر مؤلفه مستقل از مؤلفه‌های دیگر است یعنی بین مؤلفه‌های حاصل هم‌بستگی وجود ندارد. آنالیز فاکتوری برای پارامترهای فیزیک و شیمیایی مختلف نمونه‌های خاک اجرا شد (جدول ۱۰). همه پارامترهای مورد مطالعه، برای آنالیز درصدی رسیدگی شدند که نتایج تجزیه عوامل بعد از چرخش واریماکس[۲۹] در جدول (۹) آمده است. بررسی جداول اطلاعات خوبی در رابطه با تفسیر فاکتورها و عوامل کنترل‌کننده آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به ما می‌دهد. آنالیزها ٦ فاکتور را معرفی می‌کنند که دو فاکتور اول توانسته‌اند ۹۳/۲ درصد از واریانس کل داده‌ها شامل می‌شوند. فاکتور اول ٤۹/۵۵ درصد واریانس کل را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل آلاینده خاک منطقه مورد مطالعه است. این عامل دارای همبستگی بالایی با اسیدیته، نفت/گریس، وانادیوم و شوری خاک است؛ که می‌تواند نشانگر هم منشأ بودن این پارامترها با نفت خام باشد. عامل دوم که ٤۳/٦۵ درصد واریانس کل را شامل می‌شود، دارای همبستگی بالایی با عناصر کبالت و نیکل است نشان از هم منشأ بودن این عناصر دارد که به جنس خاک منطقه مورد مطالعه برمی‌گردد.

جدول ٦- استاندارد غلظت عناصر سنگین خاک (جز در میلیون)
Table 6- Standard of heavy metal concentration in soil (ppm)

	کبالت	نیکل	وانادیوم
شیل جهانی	۱۹	٦۸	۱۳۰
خاک‌های غیر آلوده	٦/۹	۱۸	٦۰
خاک منطقه	۳۲/۸۰	۹۰/۸۰	٦۲/٦۰

جدول ۷- نتایج آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرونوف
Table 7- Results of Kolmogorov–Smirnov test

شوری	اسیدیته	نفت/گریس	وانادیوم	کبالت	نیکل	متغیر
۰/۲۹	۰/٦۹	۰/۹٤	۰/٦۳	۰/۵۷	۰/۷۲	ig

28- Principal Component Analysis
29- Varimax

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

جدول ۸- ماتریس همبستگی پارامترهای موردمطالعه خاک

Table 8- Correlation matrix of soil parameters in the study area

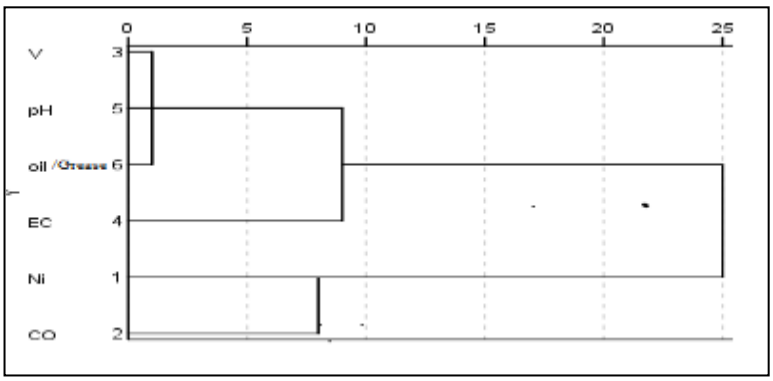
	نیکل	کبالت	وانادیوم	شوری	اسیدیته	نفت/گریس
نیکل	۱					
کبالت	۰/۶۰۷	۱				
وانادیوم	-۰/۵۶۹	-۰/۶۱۱	۱			
شوری	۰/۲۳۵	۰/۲۹۹	۰/۵۱۶	۱		
اسیدیته	-۰/۶۷۰	-۰/۶۷۰	۰/۹۸۸**	۰/۴۰۵	۱	
نفت/گریس	-۰/۳۸۰	-۰/۴۴۴	۰/۹۶۹**	۰/۶۹۸	۰/۹۳۱*	۱

** نشان معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است. * نشان معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است

جدول ۹- نتایج تجزیه مؤلفه اصلی در منطقه مورد مطالعه

Table 9- Results of principal component analysis in the area

مؤلفه	مقدار ویژه اولیه			مجموع مربعات بارهای استخراجی			مجموع مربعات بارهای چرخشی		
	کل	٪ واریانس	٪ تجمعی واریانس	کل	واریانس ٪	٪ تجمعی واریانس	کل	٪ واریانس	٪ تجمعی واریانس
۱	۳/۹۱	۶۵/۲۳	۶۵/۲۳	۳/۹۱	۶۵/۲۳	۶۵/۲۳	۲/۹۷	۴۹/۵۵	۴۹/۵۵
۲	۱/۶۷	۲۷/۹۷	۹۳/۲۰	۱/۶۷	۲۷/۹۷	۹۳/۲۰	۲/۶۱	۴۳/۶۵	۹۳/۲۰
۳	۰/۴۰۳	۶/۷۰	۹۹/۹۱						
۴	۰/۰۰۵	۰/۰۸۴	۱۰۰						
۵	-۱/۴۷۷E-۱۶	۲/۴۶ E-۱۵	۱۰۰						
۶	-۱/۰۱۶E-۱۶	-۱/۶۹E-۱۵	۱۰۰						



شکل ۹: دندروگرام آنالیز خوشه‌ای پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک منطقه مورد مطالعه

Figure 9: Cluster analysis dendrogram of parameters measured in the soil of the investigated area

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

جدول ۱۰- فاکتورهای محاسبه‌شده قبل و بعد از چرخش

Table 10- Calculated factors before and after rotation

پارامتر	مؤلفه	
	۱	۲
نیکل	-۰/۱۱٤	۰/۸۷۲
کبالت	-۰/۱۱٤	۰/۹۰۵
وانادیوم	۰/۸۲۸	-۰/۵۵۸
شوری	۰/۹۰٦	۰/٤۱۹
اسیدیته	۰/۷۵۱	-۰/٦۵۸
نفت/گریس	۰/۹۳٦	-۰/۳٤۷
ماتریکس بعد از چرخش		

پارامتر	مؤلفه	
	۱	۲
نیکل	-۰/٦۲۵	۰/۵۹۰
کبالت	-۰/٦۷٤	۰/٦۱٤
وانادیوم	۰/۹۹۳	۰/۱۱۳
شوری	۰/٤۱۸	۰/۹۰٦
اسیدیته	۰/۹۹۹	-۰/۰۱۳
نفت/گریس	۰/۹۳۷	۰/۳٤۳
ماتریکس قبل از چرخش		

نتیجه‌گیری

تصاویر اسپات به علت داشتن قدرت تفکیک کم دارای دقت کم‌تری در طبقه‌بندی هستند و خطای طبقه‌بندی در آن‌ها زیاد است. این تصاویر قادر به تفکیک دقیق ابعاد کوچک‌تر از قدرت تفکیک خود نبوده و مساحت بیش‌تر از مساحت واقعی، به‌عنوان خاک‌های آغشته به مواد نفتی معرفی می‌کند. در نتیجه تصاویر با قدرت تفکیک کم جهت تفکیک دقیق‌تر و برای آلودگی‌های کم مساحت استفاده می‌شود. شاخص‌های زمین انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی جهت تعیین میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. شاخص زمین انباشتگی، ایستگاه‌های ٤،۱ و ۵ بدون آلودگی، ایستگاه ۲ (برای فلز کبالت) و ایستگاه ۳ (برای فلزات نیکل و کبالت)، در محدوده آلوده نشده تا متوسط آلودگی قرار می‌گیرند. ضریب آلودگی فلزات نیکل و کبالت در محدوده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند؛ اما ایستگاه دوم از نظر کبالت در محدوده آلودگی متوسط تا قوی قرار می‌گیرد؛ و وانادیوم در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. بر اساس شاخص بار آلودگی منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی متوسط نیکل و کبالت و از نظر وانادیوم در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرد. بر اساس مطالعات آماری و استفاده از تکنیک‌های آماری برای منشأ یابی عوامل آلاینده خاک منطقه مورد مطالعه، مقایسه میانگین سه فلز اندازه‌گیری شده با استانداردهای مورد استفاده حاکی از آلودگی خاک مورد مطالعه در بررسی‌های اولیه است. نتایج آنالیز خوشه‌ای دو عامل را به‌عنوان عوامل آلاینده در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌کند که نتایج تحلیل عاملی تائید کننده آن است. فاکتور اول ٤۹/۵۵ درصد واریانس کل شامل می‌شود و مؤثرترین عامل آلودگی خاک منطقه است؛ که این عامل دارای همبستگی بالایی با اسیدیته (۰/۷۵۱)، نفت/گریس (۰/۹۳٦)، وانادیوم (۰/۸۲۸) و شوری (۰/۹۰٦) است که می‌تواند نشان‌دهنده هم منشأ بودن غلظت این پارامترها با ترکیب نفت خام باشد. عامل دوم که ٤۳/٦۵ درصد واریانس کل را شامل می‌شود دارای همبستگی بالایی با عناصر کبالت (۰/۹۰۵) و نیکل (۰/۸۷۲) است که حاکی از هم منشأ بودن این عناصر است که به جنس خاک منطقه برمی‌گردد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

References

- Abosede, E. A., (2013), "Effect of crude oil pollution on some soil physical properties", ***IOSR Journal of agriculture and veterinary science***, 6 (3): 14-17.
- Ahmadi Rohany, R., Karimpour, M. H., Rahimi, B., Malakzadeh Shafaroudi, A., Najafi Afshar, S., (2014), "Application of remote sensing to enhance, recognize and analysis of the structural characteristics of alteration-related lineation's in the Bajestan area, East of Iran", ***Iranian Journal of Earth Science***, 26 (103): 169-182. [In Persian].
- Asgari, K., Amini, H., (2014), "Biomonitoring of trace element in air and soil pollution by using Acacia", ***Journal of Iranian Zoology***, 21: 111-126. [In Persian].
- Bhuiyan, M. A. H., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B., Suzuki, Sh., (2010), "Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh", ***Journal of Hazardous Materials***,173: 384-392.
- Delavar, M., Safari,Y., (2015), "Source Identification of heavy metals in soils surrounding the Zanjan zinc town by multivariate statistical techniques", ***Journal of Water and Soil***, 29 (3): 627-637. [In Persian].
- Feizi, H., Mosaferi, M., Dastgiri, S., Zolali, S., Pouladi, N., Azarfam, P., (2008), "Contamination of drinking water with arsenic and its various health effects in the Village of Ghopuz", ***Iranian journal of epidemiology***, 3 (3): 21-27. [In Persian].
- Gravand, M., Ghasemi, H., Hafezi Moghadas, N., (2012), "Geochemical and environmental analysis of heavy metals in the soils produced by the schists of Gorgan", ***Earth Science***, 22 (86): 35-46. [In Persian].
- Hese, S., Schmullius, C., (2008), "***Object oriented oil spill contamination mapping in west siberia with Quick Bird data***", Springer, Berlin, Heidelberg, New york.
- Jahangiri, S., Janadeleh, H., (2016), "Study of contamination and risk assessment of heavy metal in fish (Otolithes ruber) and sediments from Persian Gulf", ***Journal of Community Health Research***, 5 (3): 169-181. [In Persian].
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B., (2007), "***Trace elements from soil to human***", Springer Berlin Heidelberg: New York.
- Islam, M. S., Ahmad, M. K., Raknuzzaman, M. M., Mamun, M. H. A., (2015), "Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a devaloping contry", ***Ecological Indicators***, 48: 282-291.
- Liu, G., Yu, Y., Hou, J., Xue, W., Liu, X., Liu, Y., Wang, W., Alsaide, A., Hayat, T., Liu, Zh., (2014), "An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory", ***Ecological Indicators***, 47: 218-210.
- Mehrmanesh, H., Pazhoohi, B., Fazlollahtabar, H., (2013), "Proposing a framework for performance improvement in a bi-direction multi-layer and multi-product supply chain using data mining", ***Journal of Management Science and Practice***, 1 (1): 22-31. [In Persian].
- Mousavi, E., Soffianian, A., Mirghafari, N., Khodakarami, L., (2012), "Investigation of spatial distribution of heavy metals in surface soil of hamadan province", ***Journal of Soil and water***, 25: 323-336. [In Persian].
- Muller, G., (1979), "Schwermetalle in densedimenten des Rheins Veranderungen seit", ***Umschau***, 79 (24): 778-783.
- Rastmanesh, F., Zarasvandi, A., Birgani, A. B., (2016), "Investigation of the impact of Abadan petrochemical complex and petroleum refinery on soil heavy metal and sulfur concentrations", ***Journal of advance applied geology***, 17: 11-220. [In Persian].

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 5:39 IRDT on Thursday September 10th 2026

- Roodgarmi, P., Khorasani, N., Monavari, S., Noori, J., (2013), "Predication of environmental effects with satellite image and remote sensing", ***Journal of science and technology in Environment***, 11 (1): 161-172. [In Persian].
- Salem, F., Kafatos, M., El- Ghazawi, T., Gomes, R., Yang, R., (2005), "Hyperspectral image assessment of oil-contaminated wetland", ***International. Journal remote sensing***, 26 (4): 811-821.
- Shayestehfar, M., Rezaei, A., (2011), "Copper mine pollution rate and distribution of heavy metals using geochemical data and statistical analysis", ***Journal of Mining. Engineering***, 6 (11): 34-25. [In Persian].
- Smejkalova, E., Bujok, P., (2012), "Remote sensing methods in the identification of oil contaminations", ***GeoScience Engineering***, 1: 33-24.
- Smejkalova, E., Bujok, P., (2015), "Data collection and spectral libraries oil contaminations, far east", ***Journal of electronics and communications***, 14 (1):79-71.
- Soleimani, B., Zarvani, A. S., (2010), "Lithological and petrophysical evaluation of the cap rock keybeds, Asmari reservoir of Pazanan oil field, Zagros, Iran", ***Sonklanakarin Journal of Science and Technology***, 31 (6): 654- 655. [In Persian].
- Van Der Meijde, M., knox, N. M., cundill, S. I., Noomen, M. F., Van Der Werff, h. M. A., Hecker, C., (2013), "Detection of hydrocarbons in clay soil: A laboratory experiment using spectroscopy in the mid- and thermal", ***International journal of applied earth observation and geoiformation***, 23: 388-384.