

## کاربرد منطق فازی و روش AHP در پهنه بندی پتانسیل آلودگی خاک به عناصر سرب و روی

### چکیده

سرب یکی از مهمترین فلزات سنگین از نظر سمناکی بوده و اشکال غیرآلی آن از طریق غذا، آب و هوا قابل جذب هستند. در میان منابع متنوع طبیعی و انسانزادی آلودگی سرب، اثر خروجی‌های صنعتی و استفاده از بنزین حاوی سرب بیشترین نگرانی‌های زیست محیطی را در برداشته‌اند. روی نیز به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین فلزات صنعتی، در پساب کارخانه‌ها و صنایع مختلف تمرکز یافته و در صورت ورود به محیط آب و خاک می‌تواند حیات انسان و سایر موجودات را تهدید کند. از آنجاییکه هر دو عنصر در رده بندی عناصر سنگین و خطرناک برای محیط به حساب می‌آیند، ورود این فلزات به خاک باعث تغییرات نامطلوبی در این بخش می‌گردد که اگر مورد مطالعه و بررسی قرار نگیرد می‌تواند کارکرد خاک را به عنوان یک سیستم که مستقیماً با حیات بشر در ارتباط است، مختل کند. این مطالعه در محدوده‌ی استان مازندران انجام شده و هدف آن، تعیین پتانسیل آلودگی خاک این استان به دو عنصر سرب و روی می‌باشد. در این مطالعه ۱۱ عامل موثر بر حضور این دو عنصر در محیط شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته‌اند که عامل فاصله از جاده دارای بیشترین تاثیر شناخته شده و بیشترین امتیاز معادل ۰/۱۶۶ را کسب کرد. تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) انجام گرفت و نهایتاً در محیط فازی تلفیق لایه‌ها انجام شده و نقشه پهنه بندی آلودگی خاک استان به دو عنصر سرب و روی بدست آمد.

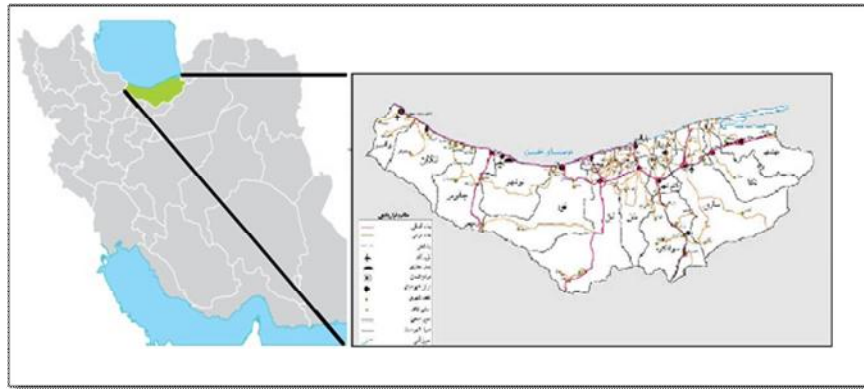
**کلمات کلیدی: منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، آلودگی خاک، سرب و روی.**

### مقدمه

در این مطالعه جهت پهنه بندی پتانسیل آلودگی خاک استان مازندران از منظر آلودگی به عناصر سرب و روی، از تصمیم‌گیری چند معیاره برای رده بندی مناسب و سازگار استفاده شده است و همزمان GIS نیز به عنوان یک ابزار کارآمد، تجزیه و تحلیل داده‌ها را انجام میدهد. در این پژوهش برای بکارگیری از یک روش قدرتمند در پهنه بندی، با کاربرد همزمان روش سلسله مراتب تحلیلی (AHP) و منطق فازی در محیط GIS، مکان‌های با پتانسیل مختلف از نظر آلودگی خاک در سطح استان مازندران تعیین شد. وزن‌دهی به معیارهای موثر بوسیله روش AHP انجام گرفت که این روش توسط (Saaty, 1980) به عنوان فرایند تحلیل سلسله مراتبی معرفی گردید. این روش به دلیل داشتن مبانی نظری محکم و قابلیت استفاده از آن در جنبه‌های مختلف تصمیم‌گیری امروزه کاربرد فراوانی پیدا نموده است. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها را دارد. اساس تحلیل در این فرایند استفاده از مقایسه زوجی می‌باشد که سبب سهولت در قضاوت و محاسبات می‌شود. از مزایای مهم این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره، تعیین نمودن میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم می‌باشد. منطق فازی اجسام فضایی روی یک نقشه را به صورت عضوهایی از یک مجموعه مورد رسیدگی قرار می‌دهد. در تئوری مجموعه فازی، ایده تابع عضویت را به کار می‌برند که درجه عضویت را با توجه به بعضی ویژگی‌های مورد نظر بیان می‌کنند. پس با استفاده از منطق فازی در پهنه بندی پتانسیل آلودگی خاک، اجسام فضایی بر روی یک نقشه به صورت عضوهای یک مجموعه مورد رسیدگی قرار گرفته‌اند. وقتی دو یا تعداد بیشتری نقشه با توابع عضویت فازی برای همان مجموعه در دسترس هستند عملگرهای متنوعی می‌تواند به کار رود تا مقادیر عضویت را ترکیب کنند. عملگر گامای فازی در مواقعی که ترکیب لایه‌های متفاوت از نظر کمی و کیفی را همچون این مطالعه داشته باشیم بهترین عملگر برای تلفیق لایه‌ها می‌باشد.

## روش مطالعه

محدوده مورد بررسی در این مطالعه، استان مازندران می باشد که با وسعتی در حدود ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع، بخشی از حوضه آبریز دریای خزر بوده و در محدوده طول جغرافیایی ۳۴'، ۵۰' تا ۱۰'، ۵۴' و عرض جغرافیایی ۴۷'، ۳۵' تا ۳۶'، ۳۵' واقع شده است (شکل ۱).



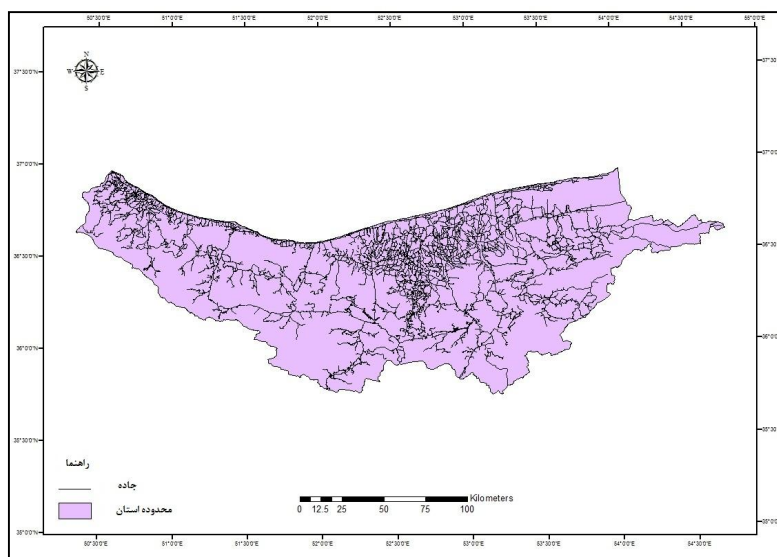
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای انجام این مطالعه در ابتدا معیارهای اصلی و یا همان عوامل موثر بر حضور عناصر سرب و روی، انتخاب شده و با توجه به اینکه عملاً تمامی معیارها دارای اهمیت یکسانی نیستند، به هر معیار وزن خاصی تعلق گرفت. لایه‌های اطلاعاتی همگی در محیط ArcGIS تهیه شده و متناسب با نحوه اثر گذاری هر معیار بر پتانسیل آلودگی خاک نسبت به دو عنصر سرب و روی، طبقه بندی شدند و سپس با استفاده از روش AHP وزن دهی و امتیازدهی شدند (جدول ۱). این وزن‌ها براساس روابط ریاضی از مجموع نسبت‌های دویبه دوی معیارها به دست آمد و سپس نسبت استاندارد شده وزن هر معیار و ضریب ناسازگاری آن محاسبه شد. ضریب ناسازگاری ماتریس معیارهای موثر در پتانسیل آلودگی خاک از رابطه  $CR=CI/RI$  به دست آمد که در آن  $CR$  ضریب ناسازگاری بوده و این نسبت وقتی قابل قبول است که کمتر از ۰/۱ باشد. این نسبت در ماتریس مقایسه معیارها در سطح قابل قبولی بدست آمد ( $CR=0.04$ ). سپس لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از منطق فازی در بازه صفر و یک استاندارد شده و برای تجزیه و تحلیل آماده شدند. در مورد معیارهایی که خود زیرمعیارهایی نیز دارند، در ابتدا وزن‌دهی به زیرمعیارها انجام شد و پس از نرمالسازی وزن‌ها به لایه‌مورد نظر اعمال شد.

جدول ۱- وزن نسبی معیارهای موثر بر افزایش سرب و روی در AHP

پارامتر	زمین شناسی	فرسایش پذیری	خاکشناسی	شیب	معادن	فاصله از جاده	محل دفن زباله	صنعت	کاربری زمین	بارش	کشاورزی
وزن	۰/۰۶۳	۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۳۴	۰/۰۶۸	۰/۱۶۶	۰/۱۵۷	۰/۱۰۱	۰/۱۱۰	۰/۰۳۴	۰/۱۵۹

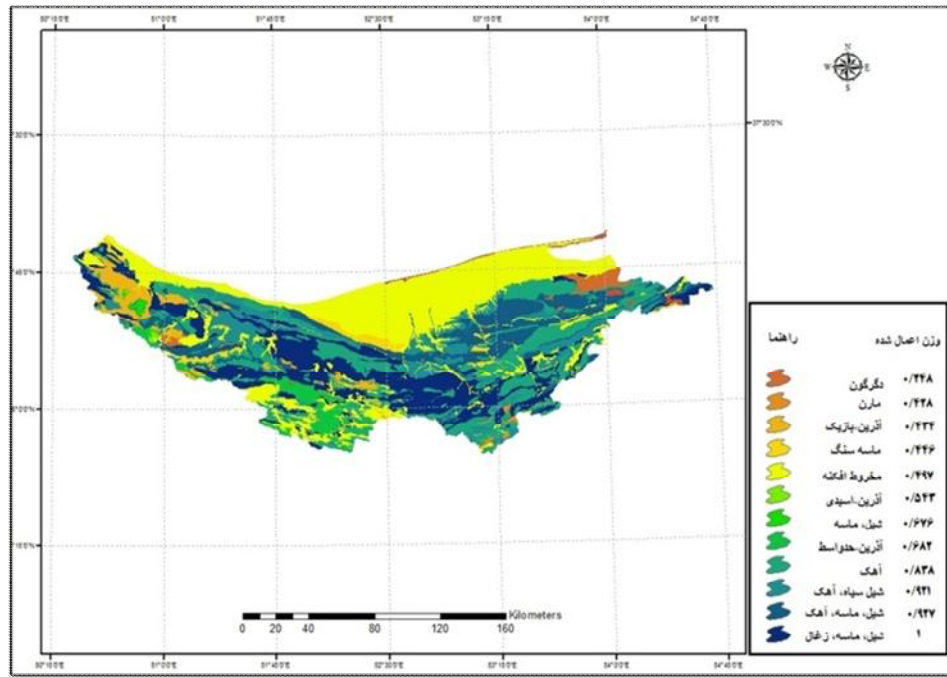
همانطور که در جدول ۱ نیز مشخص است، وزن پارامترها با هم یکی نیست و بعضی از پارامترها دارای اهمیت بیشتری هستند. به عنوان مثال معیار فاصله از جاده، با وزن ۰/۱۶۶ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و معیار شیب با مقدار ۰/۰۳۴، کمترین وزن را کسب کرده است. غبار حاصل از جاده‌ها و خیابان‌ها دارای سطح بالایی از عناصر Cr, Cu, Pb, Zn و Cd میباشند، همچنین فرسوده شدن تیر خودروها مقدار بالایی روی آزاد می‌کند (Pedersen, 1990). سرب موجود در بنزین یک منبع مهم برای افزایش غلظت سرب است ولی هم اکنون مصرف آن بسیار کاهش یافته است. اما همچنان در کشورهای در حال توسعه این امر نادیده گرفته میشود (Tijhuis et al., ۲۰۰۱). در (شکل ۲) مناطق شمالی استان بیشترین تراکم جاده‌ها را دارد و انتظار می‌رود پتانسیل آلودگی خاک این مناطق به سرب و روی بیشتر باشد.



شکل ۲- نقشه جاده‌های استان مازندران

نقش شیب توپوگرافی در این مطالعه بصورت معکوس در نظر گرفته شده و هرچه شیب بیشتر شود به علت کاهش فرایندهای خاک‌زایی از آلودگی کاسته می‌شود. نقشه بارش در استان نیز با استفاده از آمار ارائه شده توسط ایستگاههای سینوپتیک استان، در محیط GIS تهیه شد.

برای تعیین آلودگی خاک با منشا ژئوژنیک به عناصر سرب و روی در پهنه استان مازندران، با استناد به مطالعات صورت گرفته و آنالیزهای انجام شده از سه گروه اصلی سنگهای آذرین، دگرگون و رسوبی، پتانسیل واحدهای مختلف زمین شناسی که در محدوده استان رخنمون دارند، نسبت به این دو عنصر تعیین گردید سپس این واحدها توسط روش مقایسه دوتایی در محیط AHP وزن‌دهی شده و به نقشه زمین شناسی اعمال شد (شکل ۳). واحدهای شیل و مارنی، مجموعه‌های آذرین (اسیدی و بازی) و شیلهای سیاه نسبت به دیگر واحدهای سنگ شناسی، دارای بیشترین پتانسیل آزادسازی سرب و روی هستند و امتیاز بیشتری را نیز کسب نمودند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007)، (Jordan et al, 2007)، (Ohta et al, 2005)، (حسینی پاک، ۱۳۶۲)، (شامحمدی و همکاران، ۱۳۸۸).



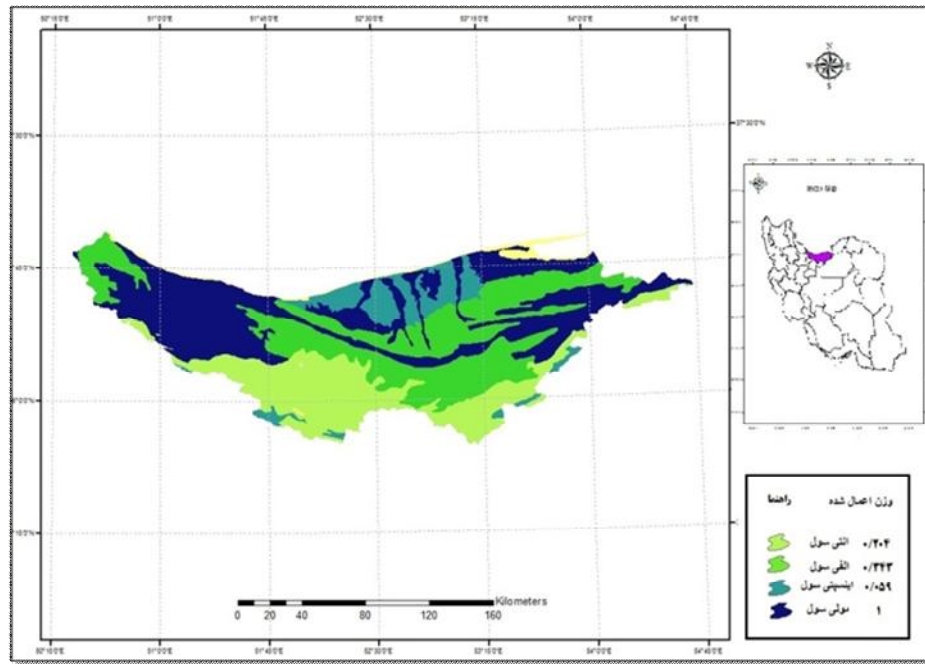
شکل ۳- نقشه وزن دهی شده زمین شناسی

نقشه خاکشناسی استان نیز بر اساس نقشه خاکشناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ کشور تهیه گردید. عمده تیپ خاک استان عبارت است از: انتی سول، الفی سول، اینسپتی سول و مولی سول که به ترتیب از انتی سول به سمت مولی سول، بدلیل افزایش مواد آلی و ریزدانه شدن بافت خاک، آلودگی نیز افزایش می یابد. در ابتدا وزن دهی به زیرمعیارهای این پارامتر انجام شده و نرمالسازی صورت گرفت و سپس این وزن ها به لایه خاکشناسی اعمال شدند (شکل ۴). در (جدول ۲) وزن دهی به زیرمعیارهای خاکشناسی دیده می شود.

جدول ۲- وزن نسبی زیرمعیارهای خاکشناسی نسبت به یکدیگر

وزن	مولی سول	اینسپتی سول	الفی سول	انتی سول	زیرمعیارهای خاکشناسی
۰/۲۰۴	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵		انتی سول
۰/۳۰۴	۰/۳۳	۰/۵			الفی سول
۰/۵۹۳	۰/۵				اینسپتی سول
۱					مولی سول
CR = ۰/۰۱					

در اینجا به دلیل تعدد مقایسات از آوردن آنها خودداری شده است.



شکل ۴- نقشه وزن دهی شده خاکشناسی

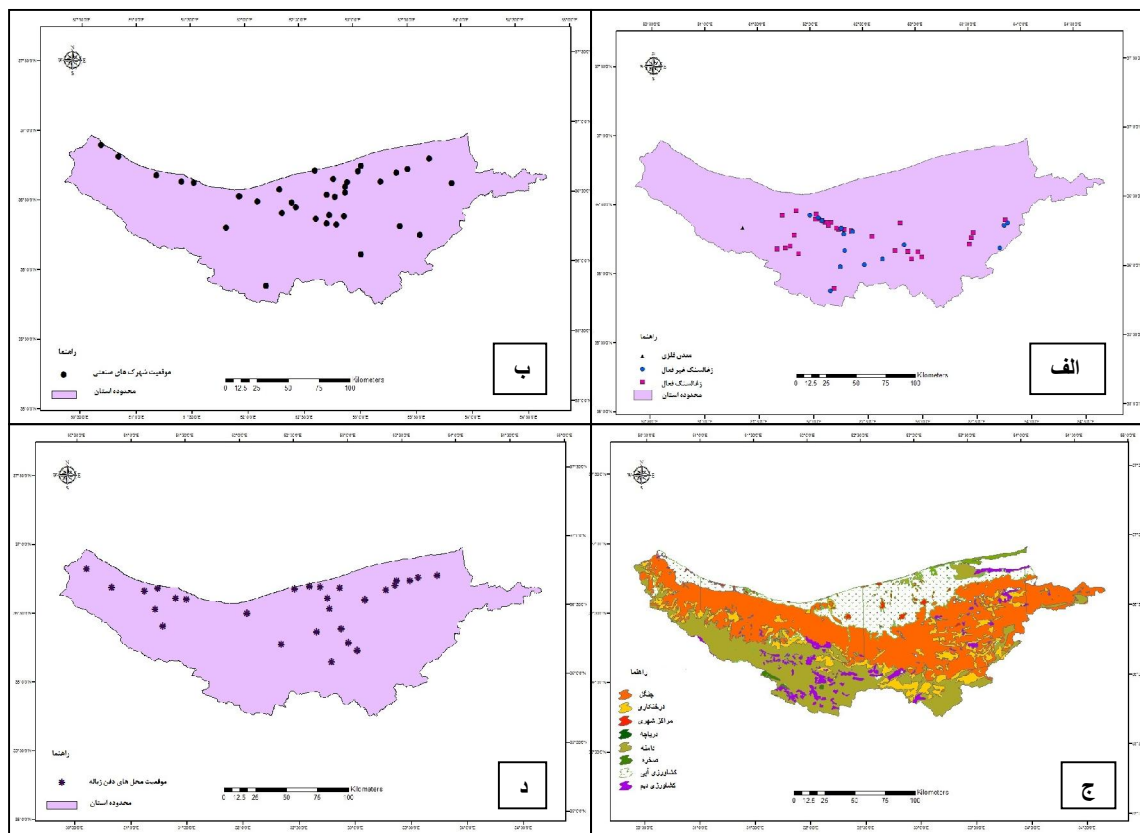
شهرک‌های صنعتی نیز به عنوان منابع آلاینده نقطه‌ای در سطح استان، با تولید پسماند و زهاب‌های آلوده به فلزات سنگین در اطرافشان به عنوان منابع آلاینده خاک عمل می‌کنند، به ویژه مواد زاید کارخانه‌هایی که با ترکیبات روی و سربی سر و کار دارند. در استان ۲۷ شهرک صنعتی بزرگ در حال فعالیت هستند که بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی در حال آلوده کردن محیط به این فلزات سنگین می‌باشند (شکل ۵-الف).

معدنکاری زغالسنگ در استان مازندران نیز به عنوان عاملی مهم در افزایش فلزات سنگین عمل می‌کند. آب‌های سطحی با انجام واکنش با ترکیبات موجود در زغال نظیر پیریت ( $FeS_2$ ) و کانی‌های دیگر حاوی گوگرد، اسیدسولفوریک تولید می‌کنند که بدلیل اسیدی بودن، این زهاب حاوی فلزات سنگین از جمله  $Cu, Cr, Ba, Zn, V, Sr, Pb, Ni$  بوده است. همچنین سنگ‌های باطله‌ای که در محل انباشته می‌شوند می‌توانند تولید زهاب‌های اسیدی را چند برابر کنند که این فرآیند می‌تواند باعث آزاد سازی عناصر سنگین در محیط و در نهایت، آلودگی منابع آب و خاک را در پی داشته باشد. طبق مطالعات صورت گرفته بر روی کانی شناسی و زمین شیمی معادن زغالسنگ استان، که در سال‌های اخیر توسط مر و همکاران در سال (۱۳۸۶) و (Moore & Esmaeili, 2012) صورت گرفته است، برخی عناصر سنگین نظیر  $Co, Pb, Ni, Cr, Mn$  در نمونه‌های آنالیز شده از زغالسنگ غنی شدگی بالایی را نشان داده‌اند. هم اکنون در استان ۴۶ معدن زغالسنگ فعال و غیر فعال وجود دارد که هر دو این معادن پتانسیل آلاینده‌گی بالایی را دارند. تنها معدن فلزی استان نیز معدن سرب دونا می باشد که آلودگی سرب در اطراف این معدن شدت بیشتری دارد (شکل ۵-ب).

دفع زباله در استان مازندران به صورت دفع سطحی بوده و به علت غیر بهداشتی بودن و روان شدن شیرابه و عدم سیستم جمع آوری و تصفیه وارد خاک شده و منابع آب و خاک استان را آلوده ساخته است. در شیرابه تولیدی فلزات سنگین و ترکیبات آلی و سمی فراوانی وجود دارد. طبق مطالعات انجام شده از ترکیب چندین شیرابه مقدار سرب در این شیرابه‌ها بطور میانگین ۱۰۲۰-۸

(mg/l)، و میانگین روی ۱۷۰-۰/۰۵ (mg/l) می باشد (Christensen, 1992). در (شکل ۴-ج)، محل های دفن زباله استان دیده می شود.

مراکز شهرنشینی با تمرکز جمعیت و تولید پساب ها و فاضلاب های شهری و همینطور تولید سرب توسط موتور وسایل نقلیه نقش مهمی در افزایش این دو عنصر در محیط دارند. همچنین کشاورزی و استفاده بی رویه از کودهای فسفاته و نیترا ته در سطح استان نیز از منابع آلاینده مهم در خصوص تولید سرب و روی می باشد. طبق تحقیقات (Alloway, 1995)، میانگین مقدار سرب در کودهای فسفاته ۱۰۰۰-۴ (mg/kg)، و روی ۱۴۵۰-۵۰ (mg/kg) می باشد (شکل ۴-د).



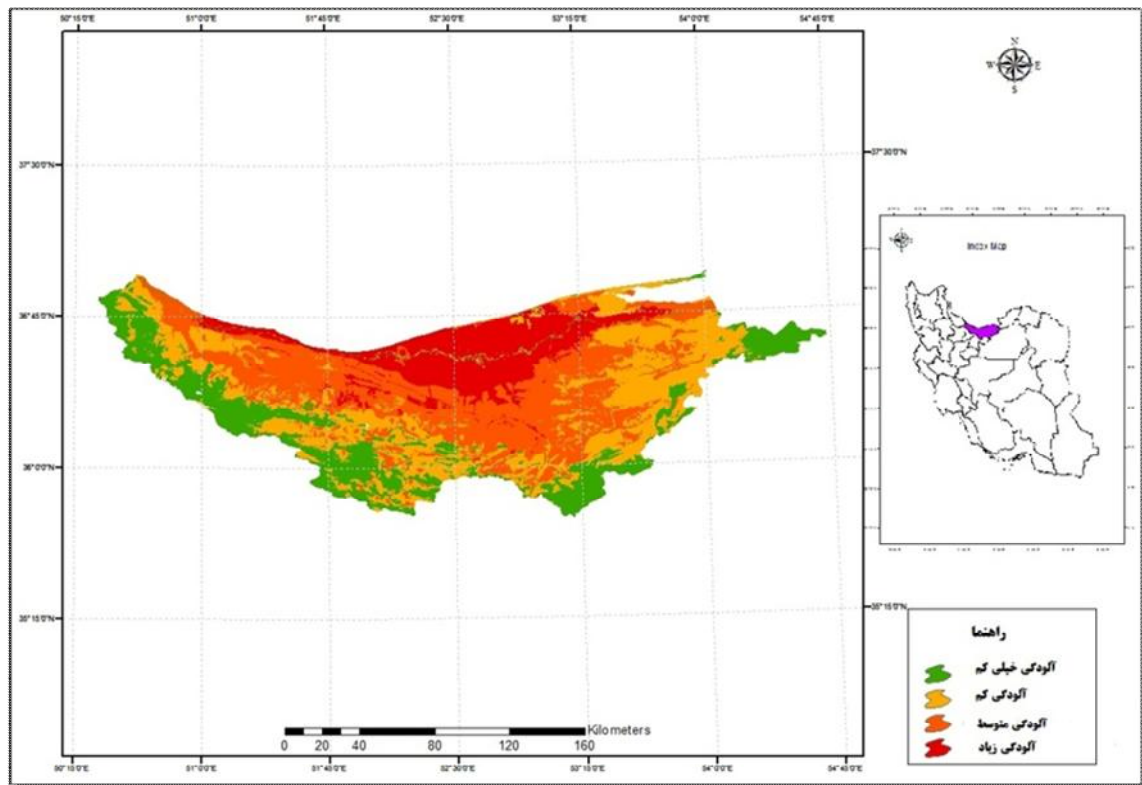
شکل ۵- الف) پراکنده گی شهرک های صنعتی، ب) موقعیت معادن، ج) موقعیت محل های دفن زباله، د) نقشه کاربری اراضی

### تلفیق لایه های اطلاعاتی

لایه های اطلاعاتی شامل: معادن، شیب، بارش، فاصله از جاده، شهرک های صنعتی و محل های دفن زباله، جهت آماده سازی نهایی و تلفیق با سایر لایه ها، در محیط فازی و با استفاده از تابع کاهشی تهیه شدند. در این مطالعه از مدل شاخص هم پوشانی فازی برای تلفیق و رویهم اندازی لایه ها استفاده گردید که با توجه به عدم توانایی منطق فازی برای در نظر گرفتن وزن هر پارامتر هنگام رویهم گذاری آنها، وزن های بدست آمده از جدول ۱، با استفاده از دستور Raster Calculator برای هر پارامتر متناظر با آن اعمال شده و در نهایت با تلفیق لایه های اطلاعاتی نقشه پهنه بندی آلودگی خاک استان به دو عنصر سرب و روی تهیه گردید.

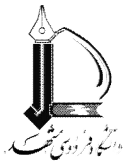
## نتیجه گیری

استان مازندران از نظر پتانسیل آلودگی به دو عنصر سرب و روی به ۴ کلاس آلودگی خیلی کم، آلودگی کم، آلودگی متوسط و آلودگی زیاد تقسیم شده است (شکل ۶). با توجه به ارزیابی انجام شده محدوده پتانسیل آلودگی زیاد منطبق بر مناطقی است که در محدوده کشاورزی آبی، شیب کم، بارش زیاد، تراکم جاده و شهرنشینی واقع شده‌اند و همانطور که گفته شد این مناطق دارای پتانسیل بالایی برای آزادسازی این دو عنصر به محیط هستند و خاک در این محدوده‌ها دارای وضعیت نامناسبی است.



شکل ۶- نقشه پهنه بندی پتانسیل آلودگی خاک به سرب و روی

مطابق این نقشه مناطق مرکزی استان از پتانسیل آلودگی کمتری برخوردار است و این مناطق در رده پتانسیل آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. با توجه به لایه‌های موثر بر افزایش این دو عنصر در سطح استان، می‌توان دید که این مناطق تحت تاثیر معدنکاری و همچنین وجود واحدهای زمین شناسی دارای پتانسیل بالا برای تمرکز این دو عنصر هستند. واحدهای متشکل از شیل - ماسه سنگ و زغال که در رده بندی زیرمعیارهای زمین شناسی نیز امتیاز بالایی را به خود اختصاص داده‌اند می‌توانند به عنوان واحد زمین شناسی موثر در پتانسیل آلودگی این بخش قابل توجه باشند.



## منابع

۱. حسنی پاک ع، ۱۳۶۲، اصول اکتشاف ژئوشیمیایی (مواد معدنی)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
۲. شامحمدی ا، خامه چیان م، نیکودل م. و برومندی م.، ۱۳۸۸، پهنه بندی آلودگی طبیعی خاک در استان زنجان، ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
۳. مر ف، اعتمادی ب، اسماعیلی ع. و زائری خ، ۱۳۸۶، مطالعه کانی شناسی و زمین شیمی معادن زغالسنگ کارمزد، البرز مرکزی، بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین.

1. Alloway, B.j., (1995), "Heavy metals in soils", 2nd ed., Blackie Acad, London.
2. Christensen, T.H and Cossu, R. (1992), "Landfilling of waste:Leachate", ELSEVIER SCIENCE Publishers, UK.
3. Jordan, C., Zhang, C., Higgins, A., (2007), "Using GIS and statistics to study influences of geology on probability features of surface soil geochemistry in Northern Ireland" Journal of Geochemical Exploration, v.93,pp.135-152.
4. Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A.B., (2007), "Trace elements from soil to human" Springer Berlin Heidelberg New York.
5. Moore, F. and Esmaceli, A. (2012), "Mineralogy and geochemistry of coal from the Karmozd and Kiasar coal mines, Mazandaran province, Iran", Internationnal Journal of Coal geology.
6. Ohta A., Imai N., Terashima Sh., Tachibana Y ., (2005), "Influence of surface geology and mineral deposits on the spatial distributions of elemental concentrations in the stream sediments of Hokkaido, Japan". Journal of Geochemical Exploration 86, 86-103.
7. Pederson, P. A (1990), "Roadside pollution and vegetation, norges landbrukshogskole", NHL, As, Norway, 106 pp.
8. Saaty, T.L., (1980), "The analytical Hierarchy Process, Planning, Priority, Resource Allocation" USA: RWS Publication.
9. Tijhuis, L., Brattli, B., Sether., O.M. (2002), "A geochemical survey of topsoil in the city of oslo, norway", Environmental Geochemistry and Health 24: 67-94.