



## تعیین زون‌های آنومالی ژئوشیمیایی کروم در منطقه ارزوئیه، استان هرمزگان با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

مهرداد براتی<sup>۱\*</sup>، اکرم استادحسینی<sup>۱</sup>، ایرج رساء<sup>۲</sup> و محمد یزدی<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۳، پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹

### چکیده

منطقه ارزوئیه در مرز دو استان کرمان و هرمزگان قرار دارد. در این منطقه اکتشافات رسوبات آبراهه‌ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام شد. مهمترین عنصر اکتشافی در این منطقه کروم است که در اصل باید با پریدوتیت‌ها و دیگر سنگ‌های اولترابازیک همراه باشد؛ ولی در منطقه مقادیر بالای کروم با سازندهای تخریبی همخوانی دارد. برای تعیین زون‌های آنومالی فلزی و حذف آنومالی‌های کاذب می‌توان از چند روش استفاده کرد که در این پژوهش از روش شاخص آماری AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. در این راستا، سه معیار لیتولوژی، ژئوشیمی عنصری و زمین‌ساخت در نظر گرفته و سپس با استفاده از این مدل، عوامل مربوطه ارزیابی و تعیین وزن شد. در پایان برای تهیه نقشه نهایی، لایه‌های اطلاعاتی این عوامل در محیط GIS تهیه و تلفیق شد. نتایج حاصل از بررسی نقشه آنومالی نشان داد که این روش باعث حذف آنومالی‌های کاذب در این منطقه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنومالی ژئوشیمیایی کروم، رسوبات آبراهه‌ای، ارزوئیه، AHP، GIS

### مقدمه

۱:۱۰۰۰۰۰، کشف تمرکزهای غیرعادی از عناصر مرتبط با کانی‌سازی احتمالی در محیط‌های ثانویه حاصل از فرسایش است. قابل توجه است، رخدادهای متعددی که موجب توزیع دوباره هاله‌های ثانویه توسعه یافته در نواحی پایین دست نقاط کانی‌سازی می‌شوند، می‌توانند باعث ایجاد اغتشاش در همبستگی‌های ژنتیکی و انطباق فضایی بین هاله‌ها و مناطق کانی‌ساز شوند. وجود این گونه اغتشاشات کار تفسیر هاله‌های ثانویه را برای تعیین دقیق منشأ آنها دشوار کرده است و از این

اغلب بررسی‌های ژئوشیمیایی بر اساس نحوه توزیع عناصر در هاله‌های ثانویه سطحی مانند رسوبات رودخانه‌ای، آبرفت‌ها، یخرفت‌ها و خاک انجام می‌شود. در این پژوهش، از روش اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، در محیط رسوبات رودخانه‌ای استفاده شد. یک رسوب آبراهه‌ای بیانگر محصولات هوازگی و فرسایش در بالادست محل نمونه‌برداری است و بنابراین ناهنجاری در بالادست می‌تواند در آن نیز انعکاس یابد. هدف از نمونه‌برداری و سایر عملیات اکتشافی در مقیاس

حدود آنومالی بر اساس محاسبات ساده عددی مشخص می‌شود و به‌جز عیار، هیچ‌یک از مؤلفه‌های دیگر در تعیین نواحی آنومالی‌دار نقش ندارند. اما روش‌هایی همچون منطق فازی، سیستم عصبی و رگرسیون این امکان را به کاربر می‌دهد تا مؤلفه‌های بیشتری را در پردازش داده‌ها دخیل کند (Rigol-Sanchez et al., 2003; Carranza, 2008; Chang et al., 2008; Oh and Lee, 2010; Zhang et al., 2013; Kumar and Hassan, 2013; Pourghasemi et al., 2013; Shahabi et al., 2014).

برای مثال می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های ویژه، مؤلفه‌هایی مانند لیتولوژی و ساخت‌های زمین‌ساختی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی را در پردازش و تعیین نواحی آنومالی‌دار مؤثر دانست و هر یک از مؤلفه‌های مؤثر در آنومالی را بر اساس اهمیت آن رتبه‌بندی کرد و در نهایت به نقشه‌ها و نواحی ارزشمند آنومالی‌دار دست یافت (Bonham-carter, 1994; Carranza, 2008; Abedi et al., 2013).

روش AHP<sup>۱</sup> به‌طور گسترده در علوم مختلف مانند پهنه‌بندی زمین لغزش (Komac, 2006; Wu and Chen, 2009; Taheri et al., 2015; Shahabi et al., 2014) مکان‌یابی (Wu et al., 2007; Fozieri et al., 2008) معدنی (Najafi et al., 2014; Shen et al., 2015) کشاورزی و جغرافیا (Kazakis et al., 2015) انتخاب روش استخراج مناسب، انتخاب روش تهویه مناسب، انتخاب سنگ‌شکن مناسب، انتخاب محلی مناسب برای احداث کارخانه فرآوری (Jamshidi et al., 2009; Kun et al., 2013) و (Rahimdel and Ataei, 2014) مورد استفاده قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی زون‌های آنومالی با استفاده از روش AHP و GIS انجام شده است. در این راستا، سه معیار لیتولوژی، ژئوشیمی عنصری و زمین‌ساخت در نظر گرفته شد، سپس با استفاده از روش AHP، عوامل مربوطه ارزیابی، تعیین وزن و در پایان برای تهیه نقشه نهایی، لایه‌های اطلاعاتی این عوامل در محیط GIS تهیه و تلفیق شد.

لحاظ ارزش اکتشافی آن را کم خواهد کرد. به عنوان مثال، در صورت استفاده از روش اکتشافات آبراهه‌ای، رسوبات رودخانه‌هایی که در سنگ بستر حفر شده‌اند نسبت به رودخانه‌هایی که در آبرفت‌ها و یا محیط‌های ثانویه دیگری تشکیل شده‌اند، از ارزش اکتشافی بیشتری برخوردارند (Hassani Pak, 2004).

سال‌های متمادی استفاده از روش اکتشافات ژئوشیمی آبراهه‌ای، به‌عنوان راهکاری مفید برای پیدا کردن قابلیت‌های مؤثر مطرح بوده است. با این حال، ممکن است گاهی مشکلاتی در مسیر اجرا ایجاد شود که حل آنها نیازمند بهره‌گیری از یافته‌های جدید و یا روش‌های کمکی است. در برداشت رسوبات رودخانه‌ای، محدودیت وزن و اندازه دانه‌ها وجود دارد؛ از طرفی نمونه برداشت‌شده باید شاخصی از کانه‌سازی اقتصادی بالادست خود باشد. همچنین محدودیت دیگر در نظر گرفته شده آن است که در این نمونه‌ها باید بتوان کانی‌سازی‌های غیراقتصادی یا هاله‌های وابسته به آنها را از کانه‌سازی اقتصادی جدا کرد. لذا، برای این کار راهکارهای آماری متعددی پیشنهاد شده است.

یکی از مناطقی که طی اکتشافات ژئوشیمیایی انجام شده با مشکلات ویژه‌ای مواجه شد، منطقه ارزوئیه واقع در مرز استان‌های کرمان و هرمزگان است. این منطقه دو زون زمین‌شناسی متفاوت یعنی سندج سیرجان در بخش شمالی و زاگرس مرتفع در بخش جنوبی را در بر می‌گیرد. افیولیت‌های موجود در زون سندج سیرجان دارای معادن نه چندان بزرگی از کرومیت هستند. طی بررسی‌های آماری و روش حذف تأثیر سنگ بالادست مشخص شد اغلب آنومالی‌های عنصر کروم با واحدهای بختیاری و آغاجاری که اهمیت اقتصادی در کانه‌سازی کروم ندارند، انطباق دارد. روش‌های معمول در اکتشافات ژئوشیمیایی، آنومالی را اغلب بر اساس روش‌های آماری کلاسیک استخراج می‌کنند (Hassani Pak and Sharafeddin, 2001; Yazdi, 2002). در این روش‌ها فقط

**روش مطالعه**

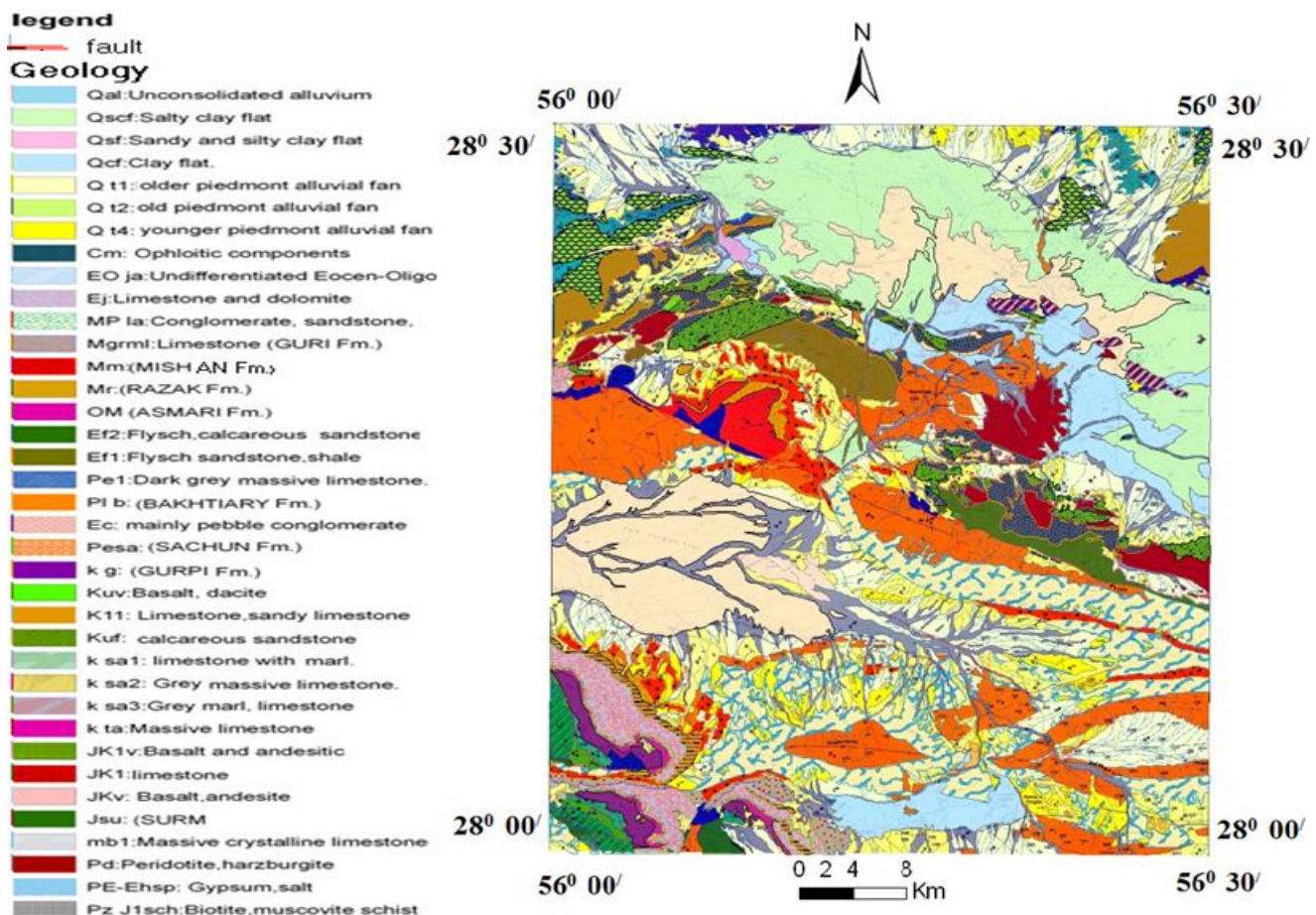
**معرفی منطقه**

جغرافیای ۲۸° ۰۰' تا ۲۸° ۳۰' شمالی است که در مسیر جاده آسفالته بافت (استان کرمان) - ارزوئیه - حاجی آباد (استان هرمزگان) قرار گرفته است.

**زمین شناسی**

منطقه ارزوئیه از دیدگاه ساختاری، در دو زون زمین ساختی سنندج - سیرجان و زاگرس جای می گیرد. رشته کوه‌های میانی منطقه با روند شمال باختری - جنوب خاوری، محل تراست‌هایی با روند یادشده و منطقه برخورد زمین ساختی نهشته‌های سنندج - سیرجان با رخنمون‌های زاگرس مرتفع است؛ به طوری که نیمه شمالی منطقه در زون سنندج - سیرجان و نیمه جنوبی منطقه در

منطقه ارزوئیه در مرز دو استان کرمان و هرمزگان قرار دارد و دارای طول جغرافیایی ۵۶° ۰۰' تا ۵۶° ۳۰' شرقی و عرض زون زمین ساختی زاگرس مرتفع جای می گیرد. نقشه زمین شناسی منطقه در شکل ۱ دیده می شود. از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی، افیولیت‌های موجود در زون سنندج سیرجان دارای معادن کوچکی از کرومیت هستند؛ ولی بخش زاگرس اغلب از سازندهای جوان تر مانند آغاچاری، بختیاری و آسماری تشکیل شده است که بدون ذخایر کرومیت هستند و در کمربند میانی که محل برخورد دو زون ساختاری است، گروه سنگ‌های آمیزه رنگین متشکل از فلیش‌های کرتاسه بالایی به همراه سنگ‌های اولترامافیک و فلیش‌های اتوسن، رخنمون دارند (Aghanabati, 2004).



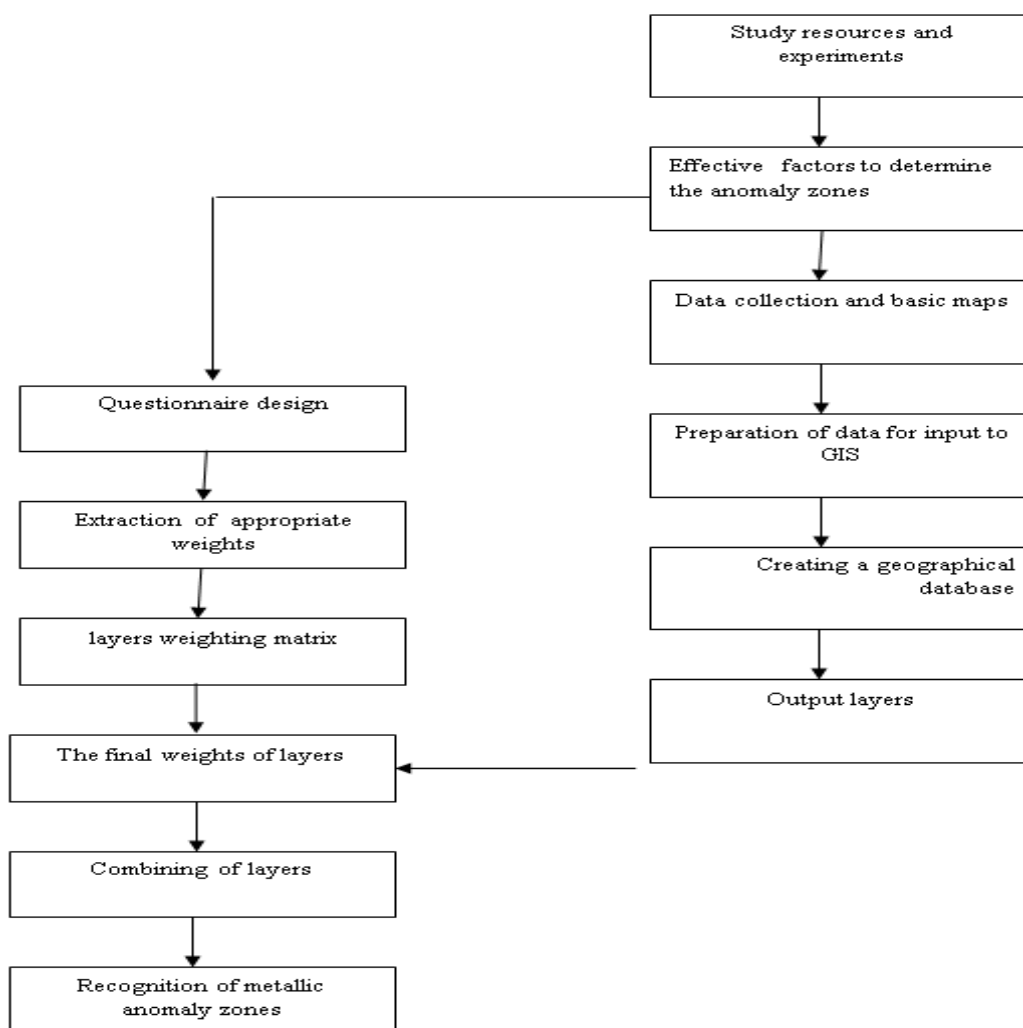
شکل ۱. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه ارزوئیه (Azizan and Nazemzadeh, 2006)

Fig. 1. Geological map of Orzuyeh area, scale 1:100,000 (Azizan and Nazemzadeh, 2006)

### مراحل انجام پژوهش

برای تشکیل پایگاه اطلاعاتی مناسب، ابتدا نقشه‌های موردنظر از سازمان‌های مربوطه اخذ، ویرایش و بر مبنای سیستم مختصات UTM-WGS84-Zone40N تصحیح شده است. بدین ترتیب

یک پایگاه داده جغرافیایی متشکل از لایه‌های اطلاعاتی ژئوشیمی، لیتولوژی و زمین‌ساخت ایجاد شد. روش‌ها و مراحل بالا در این پژوهش، مطابق شکل ۲ است که در ادامه هر مرحله توضیح داده می‌شود.



شکل ۲. مدل کلی مراحل انجام پژوهش

Fig. 2. General model of research process

ژئوشیمی عنصری (Zn, Pb, P, Mn, Ti, V, Co, Ni, Cr), لیتولوژی (اولترابازیک، افولیت و پریدوتیت، Cu, Mo)، شیمیایی، فیلیشی، دسته هرمز) و زمین‌ساخت (گسل‌های نرمال، معکوس، غیرفعال) طبقه‌بندی کرد. در ادامه مراحل پژوهش، پس از تعیین مؤلفه‌های مؤثر در تعیین

### تعیین عوامل و مؤلفه‌های مؤثر در تعیین زون‌های آنومالی‌دار

در این مرحله با توجه به بررسی‌ها، تجربیات در دسترس و اهداف موردنظر، مؤلفه‌های مؤثر در تعیین زون‌های آنومالی مشخص شده است. مؤلفه‌های انتخاب‌شده را می‌توان در سه دسته

روش، کارشناسان قضاوت‌های مقایسه‌ای زوجی ساده‌ای را از طریق سلسله‌مراتب ایجادشده تا رسیدن به اولویت‌هایی برای تمام گزینه‌ها انجام می‌دهند؛ بدین ترتیب با خرد کردن مسئله و روند مقایسات زوجی، دقت و درستی تصمیم نیز بیشتر می‌شود (Saaty, 1986). این روش بر اساس مقایسه‌های زوجی عوامل شکل گرفته است و امکان بررسی عوامل مختلف را به تصمیم‌گیران می‌دهد و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارد (Ngai, 2003).

این روش یکی از جامع‌ترین الگوریتم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیران با معیارهای چندگانه است؛ زیرا امکان فرموله کردن مسائل پیچیده طبیعی به صورت سلسله‌مراتبی را فراهم می‌کند. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این روش در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. به علاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی<sup>۱</sup> بنا شده است. این روش بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد شده (Chen, 2001) و شامل سه مرحله اساسی شامل ایجاد سلسله‌مراتب، تعیین اولویت و سازگاری منطقی است (Macharis et al., 2004).

### تدوین ساختار فرآیند سلسله‌مراتبی

اولین مرحله در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، تدوین ساختار است. در این قسمت با تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده می‌توان آنها را به شکلی ساده که با طبیعت و ذهن انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل کرد (Cimren et al., 2007). ساختار سلسله‌مراتبی نمایشی گرافیکی از مسئله‌ای پیچیده است که حداقل سه سطح دارد، در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارند (Dagdeviren, 2008) (شکل ۳). به‌طور کلی ساختار فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند به صورت یکی از موارد زیر طرح شود (Bowen, 1990; Dyer and Forman, 1991).

**ساختار ۱:** هدف، معیار، زیرمعیار، گزینه

زون‌های آنومالی، باید وزن و اهمیت هر عامل نسبت به سایر عوامل در موضوع مورد پژوهش، مشخص و بر اساس وزن‌های تعریف‌شده، مدل و روشی مناسب برای شناسایی مناطق آنومالی‌دار پیاده‌سازی شود. در این مرحله ضمن بررسی تجربیات موجود، ۱۰۰ پرسش‌نامه طراحی و برای کارشناسان و اساتید داخل و خارج از کشور فرستاده شد. برای اعتبارسنجی پرسش‌نامه‌ها از روش آلفای کرونباخ استفاده شد. این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزارهای اندازه‌گیری از جمله پرسش‌نامه‌ها یا آزمون‌هایی که ویژگی‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کنند، به کار می‌رود. در این گونه ابزارها، پاسخ هر سؤال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیرمجموعه سؤال‌های پرسش‌نامه (یا زیر آزمون) و واریانس کل را محاسبه و سپس با استفاده از فرمول زیر مقدار ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$r_a = \frac{j}{j-1} \left( 1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right)$$

که در آن:

$j$  = تعداد زیرمجموعه سؤال‌های پرسش‌نامه یا آزمون

$S_j^2$  = واریانس زیر آزمون  $j$ ام

$S^2$  = واریانس کل آزمون.

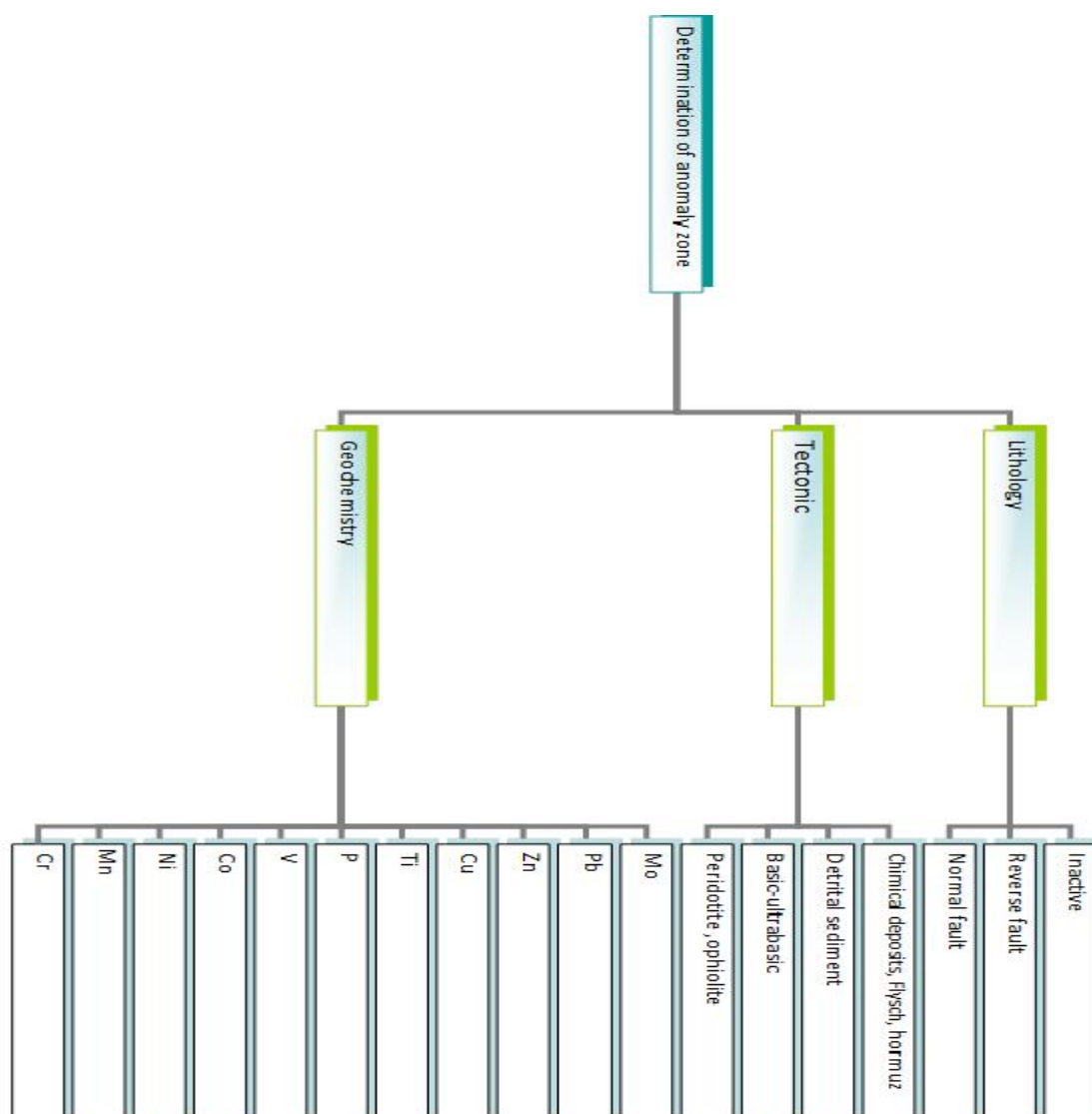
مقدار صفر این ضریب نشان‌دهنده نبود قابلیت اعتماد و +۱ نشان‌دهنده قابلیت اعتماد کامل است. در محاسبات ضریب آلفای کرونباخ برای پرسش‌نامه‌های ارسال‌شده، مقدار ۰/۸۶ به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی خوب پرسش‌نامه‌هاست.

### فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است (Jiajin, 1997). این روش اولین بار به وسیله ساعتی (Saaty, 1980) ابداع شد و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است. در این

طولانی شدن بررسی‌ها می‌شود، دقت را نیز افزایش می‌دهد؛ اما هزینه‌ها، نیروی انسانی و زمان را هم افزایش می‌دهد. در این پژوهش، برای تدوین ساختار سلسله‌مراتبی، از ساختار نخست بهره گرفته شده و شامل سطوح زیر است (شکل ۳).

**ساختار ۲:** هدف، معیار، عامل، زیرعامل، گزینه. ساختار ۱ مسیری کوتاه و روشن برای انجام روش تحلیل سلسله‌مراتبی است؛ به طوری که هر قسمت رابطه‌ای مشخص و نزدیک با قسمت پیشین خود دارد. در ساختار ۲، عوامل تأثیرگذار بر گزینه نیز بررسی می‌شود. این امر سبب



شکل ۳. ساختار سلسله‌مراتبی برای تعیین زون‌های آنومالی‌دار در منطقه ارزویی

Fig. 3. Hierarchy structure for determining of anomaly zones in the Orzuiyeh area

یکدیگر مقایسه می‌شود و بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد (Carranza, 2008). به عبارت دیگر، معیار وزن‌دهی به واحدهای اطلاعاتی بر اساس

**محاسبه وزن نسبی عوامل مؤثر در تعیین مناطق آنومالی‌دار**  
در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، عوامل به صورت زوجی با

پس از تشخیص عوامل مؤثر در تعیین نواحی آنومالی‌دار در منطقه مورد بررسی، وزن‌دهی به عوامل برای اولویت‌بندی معیارها نسبت به یکدیگر انجام شد و ماتریس مقایسه زوجی بر اساس ویژگی‌های منطقه و بررسی‌های تطبیقی برای معیارها و زیرمعیارها شکل گرفت. پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی، وزن نسبی مؤلفه‌ها محاسبه شد (رابطه ۲). نتایج حاصل از وزن‌دهی، ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل مؤثر در تعیین وزن‌های آنومالی‌دار در منطقه مورد بررسی در جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ آمده است.

#### محاسبه میزان ناسازگاری

برای محاسبه میزان ناسازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (w) ضرب شود تا تخمینی مناسب از  $\lambda \max W$  به دست آید؛ به عبارتی  $A \times W = \lambda \max W$  باشد. با تقسیم مقدار  $\lambda \max W$  بر w مربوط به مقدار  $\lambda \max$  محاسبه می‌شود. سپس مقدار شاخص سازگاری<sup>۱</sup> از طریق رابطه ۳ و میزان سازگاری<sup>۲</sup> با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود که در آن مقدار شاخص تصادفی<sup>۳</sup> نیز از جدول ۶ استخراج می‌شود (Saaty, 1980).

بیشترین نقشی است که عوامل در داخل لایه ایفا می‌کنند (Lopez and Zink, 1991). در وزن‌دهی معیارها از قضاوت‌های شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین عوامل صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. این قضاوت‌ها توسط ساعتی (Saaty, 1980) به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول ۱ آمده است.

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها می‌توان وزن نسبی ( $W_i$ ) آنها را محاسبه کرد. برای انجام آن، ابتدا باید مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع و مقدار هر عنصر به جمع ستونی خودش تقسیم شود تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه شود (رابطه ۱). سپس میانگین عناصر در هر سطر ماتریس نرمالیزه محاسبه شود که در نتیجه آن بردار وزن مؤلفه‌ها ایجاد می‌شود (رابطه ۲).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه m: تعداد ستون، n: تعداد سطر،  $a_{ij}$ : درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و  $r_{ij}$ : درایه‌های ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه نام و شاخص نام، و  $W_i$ : وزن گزینه نام است.

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل در منطقه ارزوئیه

Table 1. Saaty's preferences in the pair-wise comparison process in the Orzuiyeh area

Concept	Numerical rating
Extremely more important	9
Very strongly more important	7
Strongly more important	5
Moderately more important	3
Equally important	1
Intermediate values	2,4,6,8

1. Consistency index
2. Consistency ratio
3. Random index

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی برای عناصر در منطقه ارزوئیه

Table 2. Pairwise comparison matrix for elements in the Orzuiyeh area

Sub-criteria	Cr	Mn	Ni	Co	V	P	Ti	Cu	Zn	Pb	Mo	Weight
Cr	1	3	4	4	4	4	5	6	6	6	9	0.278
Mn	0.33	1	2	2	2	3	4	5	5	5	7	0.16
Ni	0.25	0.5	1	1	1	2	3	4	4	4	5	0.104
Co	0.25	0.5	1	1	1	2	3	4	4	4	5	0.104
V	0.25	0.5	1	1	1	2	3	4	4	4	5	0.104
P	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	1	3	4	4	4	5	0.089
Ti	0.2	0.25	0.33	0.33	0.33	0.33	1	3	3	3	4	0.055
Cu	0.16	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	1	1	1	3	0.03
Zn	0.16	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	1	1	1	3	0.03
Pb	0.16	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	1	1	1	3	0.03
Mo	0.11	0.142	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	0.33	0.33	0.33	1	0.016
Sum	3.12	6.822	10.78	10.78	10.78	15.28	23.24	33.33	33.33	33.33	50	1

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی برای لیتولوژی در منطقه ارزوئیه

Table 3. Pairwise comparison matrix for lithology in the Orzuiyeh area

Sub-criteria	Peridotite ,ophiolite	Basic-ultrabasic	Detrital sediment	Chimical deposits, Flysch type sediments, hormuz series	Weight
Peridotite ,ophiolite	1	1	7	9	0.44
Basic-ultrabasic	1	1	7	9	0.44
Detrital sediment	0.14	0.14	1	2	0.08
Chimical deposits, Flysch type sediments, hormuz series	0.11	0.11	0.5	1	0.4

جدول ۴. ماتریس مقایسه زوجی برای تکتونیک در منطقه ارزوئیه

Table 4. Pairwise comparison matrix for tectonic in the Orzuiyeh area

Sub-criteria	Normal fault	Reverse fault	Inactive	Weight
Normal fault	1	1	9	0.47
Reverse fault	1	1	9	0.47
Inactive	0.11	0.11	1	0.06



جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها در منطقه ارزوئیه

Table 5. Pairwise comparison matrix for criteria in the Orzuiyeh area

Criteria	Geochemistry	Lithology	Tectonic	Weight
Geochemistry	1	1	5	0.45
Lithology	1	1	5	0.45
Tectonic	0.2	0.2	1	0.1

جدول ۶. شاخص سازگاری تصادفی برای تعداد مختلفی از معیارها در منطقه ارزوئیه

Table 6. Random consistency indices for different number of criteria in the Orzuiyeh area

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2000). به‌طور کلی CR معیاری برای تشخیص معنادار بودن ماتریس‌های مقایسه زوجی است و مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد. بدین منظور CR برای ماتریس‌های عوامل مؤثر با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی محاسبه شد. نتایج جدول‌های مزبور، سازگاری عوامل مؤثر بر تعیین نواحی آنومالی دار در این پژوهش را تأیید می‌کند (جدول ۷).

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$C.R = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۴)}$$

اگر CR کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کند (Dey and Ramcharan, )

جدول ۷. میزان ناسازگاری ماتریس‌های عوامل مؤثر بر تعیین زون‌های آنومالی دار در منطقه ارزوئیه

Table 7. The inconsistency ratio of matrices of effective factors to determine of anomaly zones in the Orzuiyeh area

Geochemistry	Tectonic	Lithology	Criteria	Matrix
0.06	0.05	0.008	0.02	Inconsistency ratio

### نتایج وزن نهایی و تلفیق لایه‌ها

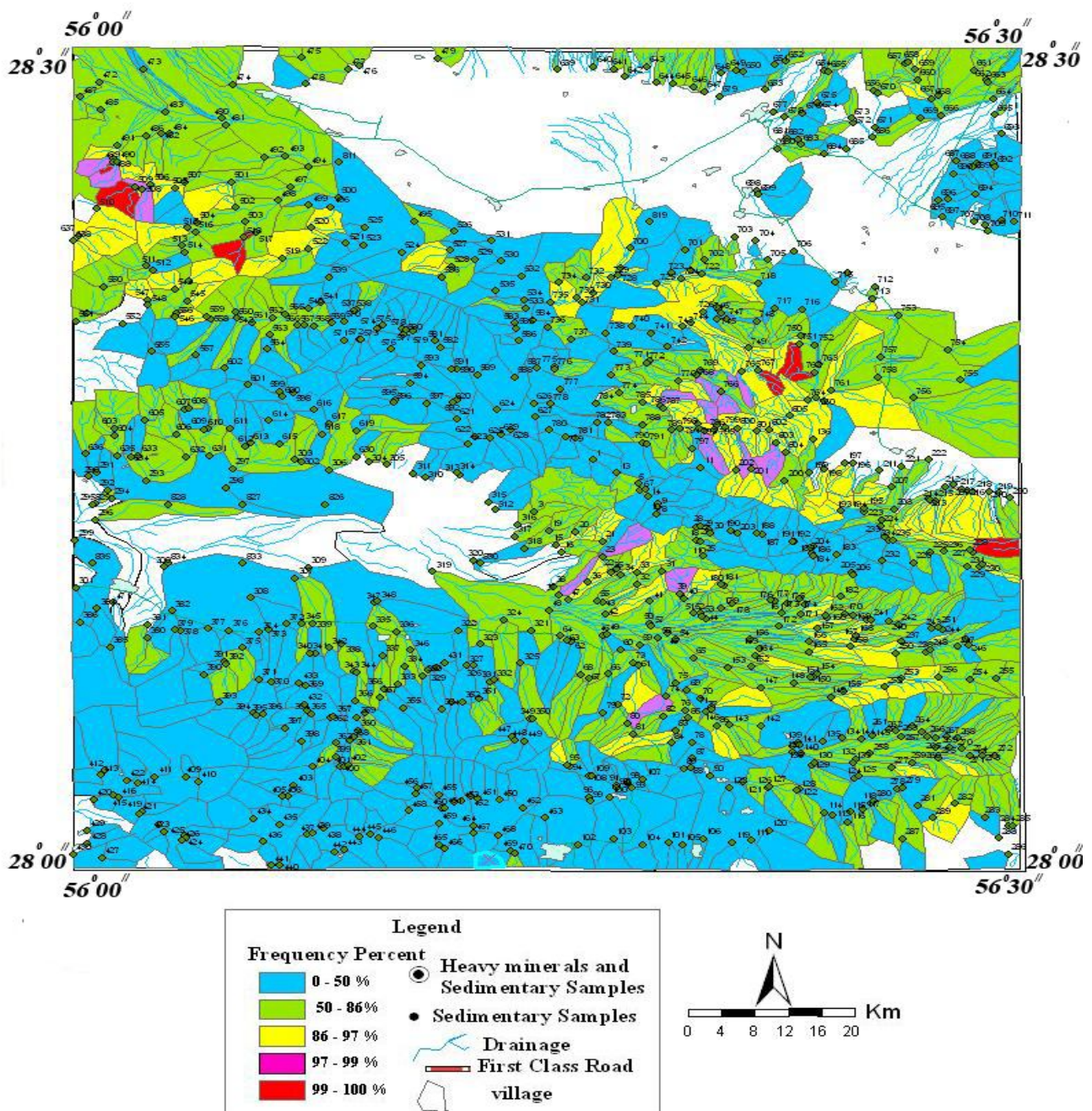
پس از تعیین وزن اولیه با توجه به مؤلفه‌های مؤثر در تعیین زون‌های آنومالی و وزن‌های نهایی به‌دست آمده برای هر یک از این ضوابط، در این مرحله لازم است تا این لایه‌ها با هم تلفیق و بر اساس مدل‌های مناسب، کل محدوده از نظر میزان آنومالی رتبه‌بندی شود؛ به‌طوری‌که هر چه در خروجی نهایی، دامنه عدد

### ایجاد پایگاه اطلاعات جغرافیایی و لایه‌های موردنظر

در این مرحله، به مراحل مختلف آماده‌سازی با توجه به وضعیت و طبیعت داده‌ها مشتمل بر اسکن کردن، ژئورفرنس کردن، وکتورایز، ویرایش لایه‌های وکتوری، ورود اطلاعات توصیفی مرتبط، پردازش و استخراج لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از این عوامل در محیط GIS اقدام شده است.

بررسی، گروه ژئوشیمی ۰/۴۵، لیتولوژی ۰/۴۵ و زمین‌ساخت ۰/۱ به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. نسبت سازگاری بین این گروه‌ها ۰/۰۲ و قابل قبول است و نقشه حاصل از تلفیق این گروه‌ها در محیط GIS با توجه به وزن‌های محاسبه‌شده مطابق شکل ۴ است.

بالاتری به دست آید به معنای آنومالی‌دار بودن منطقه است. چنان‌که که قبلاً اشاره شد، وزن‌های استخراجی برای عوامل در ماتریس زوجی از نظر آماری بررسی می‌شوند و وزن نهایی هر عامل در هر گروه و وزن هر یک از گروه‌ها نسبت به یکدیگر محاسبه می‌شود (جدول‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). با توجه نتایج حاصل از محاسبه وزن نهایی معیارها (جدول ۵) در بین گروه‌های مورد



شکل ۴. نقشه آنومالی کروم و عناصر همراه در منطقه ارزویییه با استفاده از روش AHP

Fig. 4. Anomaly map of Cr and associated elements in Orzuyeh area generated using AHP method

سلسله‌مراتبی استفاده شد. در این روش، عوامل مؤثر در تعیین زون‌های آنومالی دار (لیتولوژی، زمین‌ساخت، ژئوشیمی عنصری) تعیین شد و نقشه نهایی حاصل از تلفیق گروه‌های لیتولوژی، ژئوشیمی عنصری و زمین‌ساخت یعنی نقشه مناطق آنومالی دار در محیط GIS ترسیم شد. نتایج نشان می‌دهند که آنومالی‌های منطقه با افیولیت‌ها و اولترابازیک و اندکی با تخریبی‌های منطقه مرتبط است. لذا، درصد قابل توجهی از آنومالی‌های کاذب مرتبط با تخریبی‌های منطقه، با این روش حذف شد و آنومالی‌های واقعی خودشان را بهتر نشان دادند. بنابراین این بحث نشان از کارآمدی روش AHP و GIS است و می‌توان به آنها به‌عنوان روشی مؤثر برای کاهش تأثیر مؤلفه سین‌ژنتیک و به‌طور طبیعی حذف آنومالی‌های کاذب نگرست. بررسی‌های صحرایی نیز نتایج حاصل از این روش را تأیید می‌کند.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از آنومالی‌های کاذب در منطقه حذف شده است و آنومالی کروم که مرتبط با پریدوتیت‌ها و افیولیت‌های منطقه هستند، خود را بهتر نشان می‌دهند. بنابراین از این روش می‌توان برای تهیه نقشه‌های پی‌جویی معدنی استفاده کرد که وجود معادن متروکه در بالادست مناطق آنومال تأییدی بر کارآمد بودن این روش در تعیین نواحی آنومال است.

### نتیجه‌گیری

اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌ای در این منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام شد و نتایج حاصل نشان داد که مقادیر بالای کروم با سازندهای تخریبی منطقه به‌ویژه آغا‌جاری و بختیاری همخوانی دارد؛ لذا در این پژوهش برای حذف آنومالی‌های کاذب ناشی از کانسارهای پلاسری کوچک و غیرقابل توجه مرتبط با سازندهای تخریبی منطقه، از روش تحلیل فرآیند

### References

- Abedi, M., Torabi, S.A. and Norouzi, G.H., 2013. Application of fuzzy AHP method to integrate geophysical data in a prospect scale, a case study: Seridune copper deposit. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54(2): 145–164.
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran*. Ministry of Industry and Mines. Geological Survey of Iran, Tehran, 582 pp. (in Persian)
- Azizan, H. and Nazemzadeh, M., 2006. Geological map of Orzuiyeh, scale 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*. Pergamon Press, Oxford, UK, 398 pp.
- Bowen, W.M., 1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection. *Computers, Environment and Urban Systems*, 14(2): 133-144.
- Carranza, E.J.M., 2008. *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 368 pp.
- Chang, N., Parvathinathan, G. and Breeden, J.B., 2008. Combining GIS with fuzzy multi criteria decision making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1): 139–153.
- Chen, H.S., Liu, G.S., Yang, Y.F., Ye, X.F. and Shi, Z., 2010. Comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan province based on GIS. *Agricultural Sciences in China*, 9(4): 583–592.
- Chen, Y., 2001. Implementing Hierarchy Process by Fuzzy integral. *International Journal of Fuzzy Systems*, 3(3): 493–502.
- Cimren, E., Catay, B. and Budak, E., 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3–4): 363–376.
- Dagdeviren, M., 2008. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(4): 397–406.
- Dey, P.K. and Ramcharan, E.K., 2000. Analytic hierarchy process helps select site for

- limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 88(4): 1384–1395.
- Dyer, R.F. and Forman, E.H., 1991. *An analytical approach to marketing decisions*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, USA, 368 pp.
- Hassani Pak, A.A., 2004. *Geochemical exploration*. Tehran University, Tehran, 615 pp. (in Persian)
- Hassani Pak, A.A. and Sharafaddin, M., 2001. *Exploration Data Analysis*. Tehran University, Tehran, 990 pp. (in Persian)
- Jamshidi, J., Ataei, M., Sereshki, F. and Jalali, S.M.E., 2009. The application of AHP approach to selection of optimum underground mining method, case study: Jajarm Bauxite Mine (Iran). *Archives of Mining Sciences*, 54(1): 103–117.
- Jiajin, Y. and Lee, H., 1997. An AHP decision model for facility location selection. *Facilities*, 15(9): 241–254.
- Kazakis, N., Kougias, I. and Patsialis, T., 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index -based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope– Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538(1): 555–563.
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74(1): 17–28.
- Kumar, S. and Hassan, M., 2013. Selection of a Landfill Site for Solid Waste Management: An Application of AHP and Spatial Analyst Tool. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(1): 45–56.
- Kun, M., Topaloglu, S. and Malli, T., 2013. Evaluation of Wheel Loaders in Open Pit Marble Quarrying by Using the AHP TOPSIS Approaches. *Archives of Mining Sciences*, 58(1): 255–267.
- Lopez, H.J. and Zink, J.A., 1991. GIS-assisted modelling of soil-induced mass movement hazards: a case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia. *Interdenominational Theological Center*, 4: 202–220.
- Macharis, C., Springael, J., Brucker, K.D. and Verbeke, A., 2004. PROMETHEE and AHP: the design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153(2): 307–317.
- Najafi, A., Karimpour, M.H. and Ghaderi, M., 2014. Application of fuzzy AHP method to IOCG prospectivity mapping: A case study in Taherabad prospecting area, eastern Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33(1): 142–154.
- Ngai, E.W.T., 2003. Selection of web sites for online advertising using the AHP. *Information and Management*, 40(4): 233–242.
- Oh, H.J. and Lee, S., 2010. Application of Artificial Neural Network for Gold–Silver Deposits Potential Mapping: A Case Study of Korea. *Nonrenewable Resource*, 19(2): 103–124.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R. and Fatemi Aghda, S.M., 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69(1): 749–779.
- Rahimdel, M.J. and Ataei, M., 2014. Application of analytical hierarchy process to selection of primary crusher. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(4): 519–523.
- Rahman, R. and Saha, S.K., 2008. Remote sensing, spatial multi criteria evaluation (SMCE) and analytical hierarchy process (AHP) in optimal cropping pattern planning for a flood prone area. *Journal of Spatial Science*, 53(2): 161–177.
- Rigol-Sanchez, J.P., Chica-Olmo, M. and Abarca-Hernandez, F., 2003. Artificial neural networks as a tool for mineral potential mapping with GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 24(5): 1151–1156.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, USA, 281 pp.
- Saaty, T.L., 1986. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7): 841–855.
- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B. and Hashim, M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy

- process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena*, 115(1): 55–70.
- Shen, L., Muduli, K. and Barve, A., 2015. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. *Resources Policy*, 46(1): 15–26.
- Taheri, K., Gutiérrez, F., Mohseni, H., Raeis, E. and Taheri, M., 2015. Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude–frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran. *Geomorphology*, 234(1): 64–79.
- Wu, C. and Chen, S., 2009. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method. *Geomorphology*, 112(3): 190–204.
- Wu, C., Lin, C. and Chen, H., 2007. Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis. *Building and Environment*, 42(3): 1431–1444.
- Yazdi, M., 2002. Conventional methods in geochemical exploration. Shahid Beheshti University, Tehran, 180 pp. (in Persian)
- Zhang, D., Agterberg, F., Cheng, Q. and Zuo, R., 2013. A Comparison of Modified Fuzzy Weights of Evidence, Fuzzy Weights of Evidence, and Logistic Regression for Mapping Mineral Prospectivity. *Mathematical Geosciences*, 46(7): 869–885.



## Determination of Cr geochemistry anomaly zones in the Orzooiyeh area, Hormozgan province using Analytical Hierarchy Process (AHP)

Mehrdad Barati<sup>1\*</sup>, Akram Ostadhosseini<sup>1</sup>, Iraj Rasa<sup>2</sup> and Mohammad Yazdi<sup>2</sup>

1) Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Submitted: Aug. 4, 2015

Accepted: Aug. 9, 2016

**Keywords:** Cr-geochemical anomalies, stream sediment, Orzooiyeh, Hormozgan

### Introduction

Using stream sediment geochemical exploration has been considered as a useful approach to explore the good potentials for many years. Problems might come up in the course of implementing resolving which may requires the use of more recent findings or auxiliary methods.

One of the areas which has faced special problems during the conducting geochemical exploration is the Orzooiyeh region on the border of Kerman and Hormozgan provinces. Stream sediment exploration was carried out in the area in the scale of 1: 100,000. This region includes two different geological zones that are the Sanandaj-Sirjan in the northern part and the Zagros in the southern part. During the statistical analysis and method of eliminating the effects of the upstream rock it was determined that most of the element of chromium's anomalies are in compliance with the Bakhtiari and Aghajari units which are lacking in the economic importance in the chromium ore. Current geochemical exploration methods often extract the anomalies based on classical statistical methods (Yazdi, 2002). In these methods, the range of the anomaly is just determined based on simple numerical calculations and except for grade, any of the other parameters do not have a significant role in determining the anomaly areas. However, procedures such as fuzzy logic, neural system, regression and hierarchical analysis process enable the users to involve more parameters in data processing (Oh and Lee, 2010; Kumar and Hassan, 2013; Carranza, 2008).

For instance, using special algorithms has made parameters such as lithology and tectonic, geophysics and geochemistry effective in processing and determining the anomaly zones, and ranking each of the affective parameters in the anomaly based on their importance, and eventually achieving the maps and valuable anomaly areas possible (Bonham-carter, 1994; Carranza, 2008).

This study was conducted to identify the significant anomalies zones using AHP and GIS techniques.

### Materials and methods

AHP (Analytical Hierarchy Process) is the most comprehensive system designed for multi-criteria decision-making. This method was offered firstly by Sati in 1980, and has carried out numerous applications in different sciences until now. This technique also shows the consistency and inconsistency of the decision that is the outstanding benefit of this technique in multi-criteria decision-making and has been proposed for complex and fuzzy problems based on human brain analysis, and consists of three stages: basic, involving the creation of a hierarchy, determining priorities and logical consistency (Macharis et al., 2004).

In AHP, the factors are compared with each other in pairs and the highest weight is given to the layer that makes the maximum impact on determining the goal (Carranza, 2008). So in this research, after the detection of the effective factors in determining the anomaly areas in the study area, the factors have been weighed for prioritizing the criteria in their order of importance and the paired

\*Corresponding authors Email: barati@basu.ac.ir

comparison matrix is formed based on the characteristics of the area and comparative studies for criteria and sub-criteria. After the formation of paired comparison matrices using approximate arithmetic average, the relative weight of parameters was calculated. Then, the researcher carried out the various stages of preparing and the extracting data layer deals with each of these factors in the GIS environment and finally the layers were integrated with each other and the entire range of the anomaly was ranked based on appropriate models.

### Results

The results of calculating the final weight criteria show that among the study groups, groups Geochemistry 0.45, lithology 0.45 and tectonic 0.1, respectively, are more significant. The ratio of consistency between these groups is 0.02 and is acceptable and the map prepared by the integration of these groups in the GIS environment according to calculated weights shows that a significant proportion of the false anomalies in the region have been eliminated, and the chromium anomalies associated with ophiolites and peridotites of the region show their best. Therefore, this method can be used for providing the mineral prospecting map that the abandoned mines located in the upstream of anomaly areas confirmed the efficiency of this method in the determination of the anomaly areas.

### Discussion

In the present study, the hierarchical process analysis method was utilized to eliminate the false anomalies caused by small and non-significant placer deposits related to the detrital formations in the region. The effective factors in determining the anomaly zones were determined and the final map was constructed by integrating groups, lithology, elemental geochemistry and tectonics that is, the anomaly zones map was drawn in the GIS

environment. The results show that the region anomalies are related to ophiolite and ultrabasic and a little bit the region detrital. Therefore, a significant percentage of false anomalies associated with the regional detrital of the area was eliminated by this method and the real anomalies showed their best. This discussion indicates the efficacy of the method of AHP and GIS technique, and they can be considered to be effective methods to reduce the impact of Singenetic factors and naturally to eliminate false anomalies.

### References

- Bonham-Carter, G.F., 1994. Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS. Pergamon Press, Oxford, UK, 398 pp.
- Carranza, E.J.M., 2008. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 368 pp.
- Kumar, S. and Hassan, M., 2013. Selection of a Landfill Site for Solid Waste Management: An Application of AHP and Spatial Analyst Tool. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(1): 45–56.
- Macharis, C., Springael, J., Brucker, K.D. and Verbeke, A., 2004. PROMETHEE and AHP: the design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153(2): 307–317.
- Oh, H.J. and Lee, S., 2010. Application of Artificial Neural Network for Gold–Silver Deposits Potential Mapping: A Case Study of Korea. *Nonrenewable Resource*, 19(2): 103–124.
- Yazdi, M., 2002. Conventional methods in geochemical exploration. Shahid Beheshti University, Tehran, 180 pp. (in Persian)