

پتانسیل‌یابی ماده معدنی گیلسونایت گیلانغرب تا قصر شیرین با مدل پیش‌بینی FAHP-FTOPSIS

برهام پهلوانی^۱، سلمان فراهانی^۲، میعاد بادپا^۲

۱- دانشیار، گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دانشگاه تهران، تهران
۲- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران

(دریافت ۱۳/۰۶/۱۳۹۹، پذیرش ۲۳/۱۱/۱۳۹۹)

چکیده

منطقه گیلانغرب در غرب کشور ایران واقع شده و از لحاظ زمین‌شناسی ویژگی‌های خاصی دارد. این منطقه بخشی از ناحیه زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود و از این رو برای اکتشاف ماده معدنی گیلسونایت (قیر طبیعی) بسیار مستعد است. داده‌های سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای)، زمین‌شناسی، تکنونیک و مجموعه داده‌های معدنی منطقه برای تهیه یک الگوریتم یکپارچه ابتکاری برای اکتشاف ماده معدنی گیلسونایت در مراحل اولیه اکتشاف استفاده شد. معیارها و زیرمعیارهای موثر در اکتشاف این ماده معدنی با توجه به داده‌های اکتشافی موجود مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفتند، سپس این معیارها با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی فازی وزن‌دهی و در نهایت با استفاده از روش بیشترین شباهت به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی در محیط فازی برای تهیه نقشه پتانسیل‌یابی معدنی گیلسونایت در منطقه گیلانغرب رتبه‌بندی شدند. در نهایت، نقشه پتانسیل‌یابی معدنی با استفاده از ترکیب روش‌های یاد شده برای شناسایی بهینه در مراحل اولیه اکتشاف این ماده معدنی ارزشمند برای کاهش زمان، هزینه و ریسک اکتشاف تولید شد. در آخر، مناطقی از نقشه پتانسیل‌یابی که مستعد کانی‌سازی گیلسونایت تشخیص داده شدند، مورد بازدید و اکتشاف صحرایی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این عملیات صحرایی برای ارزیابی روش حاضر مورد استفاده قرار گرفت. این نتایج نشان می‌دهد که ۸۲٪ از نقاط شناسایی شده، با نقشه پتانسیل‌یابی معدنی انطباق دارند. این سازگاری بالا نشان‌دهنده این مطلب است که این روش برای استفاده در اکتشاف گیلسونایت عملکرد خوبی دارد.

کلمات کلیدی

تلفیق داده‌های اکتشافی، FuzzyAHP، FuzzyTOPSIS، پتانسیل‌یابی معدنی، گیلسونایت، گیلانغرب.

۱- مقدمه

نیستند بلکه با نمونه ایده‌آل از همان نوع مقایسه می‌شوند. برای به دست آوردن مزایای این روش‌ها، در این مقاله سعی شده است از ترکیب دو روش یاد شده استفاده گردد. در این راستا، معیارهای مورد استفاده در ۳ نوع داده‌های زمین‌شناسی، داده‌های معدنی و داده‌های سنجش از دور طبقه‌بندی می‌شوند. در این مقاله در مجموع، از هشت لایه از مجموعه داده‌های مختلف استفاده گردید. علاوه بر این، از مهارت و دانش پنج متخصص در این فرآیند استفاده شده است.

روش پیشنهادی یک روش تنها مبتنی بر داده یا دانش محور نیست، بلکه یک روش ترکیبی است که محاسن هر دو نوع روش یاد شده را به طور همزمان دارد.

۲- روش تحقیق

این تحقیق در سه مرحله اجرایی شده است. در فاز اول هدف شناسایی و تعیین معیارهای موثر برای اکتشاف گیلسونایت است، سپس در فاز دوم از FAHP برای به دست آوردن وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است و در نهایت در فاز سوم از FTOPSIS برای رتبه‌بندی مناطق پرتانسیل استفاده گردید. لازم به ذکر است که می‌توان MCDM و MPM را با استفاده از FAHP انجام داد، اما در صورت ادغام با سایر روش‌های تصمیم‌گیری، این روند قابل بهبود است [۱۶، ۱۵].

۱-۱- فاز اول: شناسایی و ارزیابی معیارها و زیرمعیارها

در این مرحله برای شناسایی و ارزیابی معیارها و زیرمعیارها، از پنج متخصص در رشته‌های زمین‌شناسی، تکنونیک و مهندسی اکتشاف معدن استفاده شده است. سرانجام نظرات این متخصصان با یکدیگر ادغام شدند.

۱-۲- فاز دوم: فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی فازی

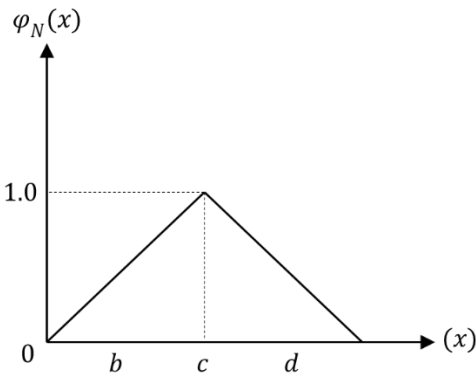
تکنیک AHP یکی از محبوب‌ترین روش‌های MCDM است که ابتدا توسط توماس ال ساعتی ابداع گردید [۱۷]. از این روش می‌توان در مواردی که تصمیم‌گیری‌ها با چند معیار و گزینه برای تصمیم‌گیری در ارتباطاند، استفاده کرد. معیارهای پیشنهادی ممکن است کمی و کیفی باشد. اساس این روش مقایسه زوجی و برخی از محدودیت‌های این روش به شرح زیر است:

این روش بیشتر در مواردی که تصمیم‌گیری تقریباً دارای معیار تعیین‌کننده است، استفاده می‌شود. استانداردسازی

با توجه به اینکه ماده معدنی گیلسونایت^۱ (قیر طبیعی) یک ماده استراتژیک در جهان و ایران است، اکتشاف کانسار گیلسونایت اولویت بالایی دارد [۲، ۱]. اکتشاف ذخایر جدید در مناطق مستعد، هدف اصلی شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی است. برای این منظور، مجموعه‌ای از داده‌های اکتشافی باید جمع‌آوری و در نهایت با تجزیه و تحلیل و یکپارچه‌سازی آن‌ها، نقشه پتانسیل‌یابی معدنی (MPM)^۲ حاصل شود [۴، ۳]. در واقع MPM یک تابع تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۳ است که یک مدل پیش‌بینی‌کننده از مناطق پتانسیل‌دار را در اختیار قرار می‌دهد [۵]. به طور کلی، دو روش اصلی در MCDM وجود دارد؛ نوع اول به عنوان روش داده‌محور شناخته می‌شود که در آن متغیرهای مدل با توجه به شواهد موجود و مدل‌های اکتشافی در هر منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شوند [۶] و نوع دوم، که به عنوان روش دانش‌محور شناخته می‌شود و متغیرهای مدل در ارتباط با هدف اکتشافی و سایر عوامل تاثیرگذار توسط متخصصان برآورد می‌شوند [۷]. وقتی داده‌های اکتشافی محدود و قابل توجه نباشند؛ از روش دانش‌محور بر اساس نظرات متخصصان استفاده می‌شود [۹، ۸]. در این روش‌ها، اهمیت داده‌های مورد استفاده بر اساس دانش و تجربه کارشناسی تعیین می‌گردد [۱۱، ۱۰]. هدف در اینجا استفاده از یک روش جدید و ترکیبی مبتنی بر دانش و داده برای تهیه نقشه پتانسیل‌یابی در اکتشاف گیلسونایت در ناحیه گیلانغرب به عنوان یک راه‌حل برای کاهش ریسک اکتشاف است.

یکی از روش‌های محبوب دانش‌محور در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی فازی (FAHP)^۴ است [۱۲]. در این روش، مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارها با توجه به اهمیت آن‌ها از مدل ساخته و وزن‌دار می‌شوند. داده‌های ورودی بر اساس این معیارها ارزیابی می‌شوند و نمره نهایی را دریافت می‌کنند که نشان‌دهنده اهمیت وزن آن‌هاست. روش دیگری که در چند سال اخیر استفاده می‌شود، روش فازی برای بیشترین تشابه به راه‌حل ایده‌آل (FTOPSIS)^۵ است [۱۴، ۱۳]. در این روش، ویژگی داده‌ها با محیط ایده‌آل (مثبت و منفی) در محیط فازی مقایسه می‌شوند و هر مقدار به ایده‌آل نزدیک‌تر باشند، امتیاز بیشتری کسب می‌کنند.

این شبیه فرآیندی رایج در رفتار انسان است که در آن افراد چیزهایی را ارزیابی می‌کنند که بر اساس برخی معیارها



شکل ۱: عملکرد عضویت در TFN

جدول ۱: تعداد فازی، متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی برای معیارها و رتبه‌بندی‌های زیر معیار

| شماره فازی | متغیرهای زبانی | شماره فازی مثلثی |
|------------|-------------------------------------|------------------|
| ۹ | اهمیت فوق‌العاده زیاد | (۸, ۹, ۱۰) |
| ۸ | اهمیت فوق‌العاده زیاد تا بسیار زیاد | (۷, ۸, ۹) |
| ۷ | اهمیت بسیار زیاد | (۶, ۷, ۸) |
| ۶ | اهمیت بسیار زیاد تا زیاد | (۵, ۶, ۷) |
| ۵ | اهمیت زیاد | (۴, ۵, ۶) |
| ۴ | اهمیت زیاد تا متوسط | (۳, ۴, ۵) |
| ۳ | اهمیت متوسط | (۲, ۳, ۴) |
| ۲ | اهمیت متوسط تا کم | (۱, ۲, ۳) |
| ۱ | اهمیت کم | (۱, ۲, ۱) |

مرحله سوم: با توجه به معیارها، مقادیر اندازه مصنوعی فازی به شرح زیر است: [۱۶].

$$P_i = \sum_{j=1}^m N_{g_j}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{g_j}^j \right] \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m N_{g_j}^j = \left[\sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{j=1}^m c_{ij}, \sum_{j=1}^m d_{ij} \right] \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{g_j}^j = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}} \right] \quad (5)$$

مقیاس واحدهای معیارها در این روش دشوار است و این روش نمی‌تواند عدم اطمینان و ابهام در ارتباط با ارزیابی داوری را محاسبه کند.

استفاده از روش AHP در یک محیط فازی (FAHP)، محدودیت‌های روش AHP را کاهش می‌دهد. برای حل نقص روش AHP در رتبه‌بندی گزینه‌ها، از ترکیب این روش با روش Topsis استفاده شده است. روش Topsis توانایی خوبی در رتبه‌بندی گزینه‌ها دارد اما این روش مانند روش AHP دارای محدودیت‌های ذکر شده در بالا است، بنابراین روش Topsis فازی توسعه داده شده است. تاکنون از روش‌های ترکیبی FAHP و FTOPSIS برای MPM استفاده نشده است. از این رو یک روش ترکیبی از AHP فازی و Topsis فازی در این مقاله ارائه خواهد شد.

AHP فازی برای اولین بار توسط چانگ (۱۹۹۶) پیشنهاد شده است. AHP فازی یکی از روش‌های MCDM برای حل مشکلات پیچیده و بدون ساختار با ایجاد یک سلسله مراتب کاربردی است. برای فازی کردن روش AHP، از روش فازی مثلثی (TFN) برای مقیاس مقایسه زوجی استفاده و از روش آنالیز میزان^۷ برای مقادیر مصنوعی مقایسه زوجی بهره گرفته شد. این مراحل به شرح زیر است:

مرحله اول: تنظیم اعداد فازی^۸

در این روش، N یک عدد فازی از مجموعه A خواهد بود که اگر $\varphi_N(x) = A \rightarrow [0,1]$ باشد، رابطه ۱ برقرار خواهد بود: [۱۶].

$$\varphi_N(x) = \begin{cases} \frac{(x-b)}{(c-b)} & x \in [b, c] \\ \frac{(x-d)}{(c-d)} & x \in [c, d] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه ۱ و شکل ۱، $b \leq c \leq d$ خواهد بود. b و d به معنی مقادیر پایین و بالای عدد فازی N است و c مقدار معین آن خواهد بود. TFN را می‌توان با $N=(b,c,d)$ نشان داد. مرحله دوم: با استفاده از جدول ۱ می‌توان شکل ریاضی ماتریس فازی را مانند رابطه ۲ بیان کرد: [۱۶].

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & \tilde{m}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{n1} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ماتریس داوری یک ماتریس فازی $n \times n$ که شامل اعداد فازی \tilde{m}_{ij} است.

سپس وزن معیارها را می‌توان از رابطه ۱۰ محاسبه کرد:
[۱۳].

$$W_N = [S(N_1), S(N_2), \dots, S(N_i)]^T; N_i (i = 1, 2, \dots, r) \quad (10)$$

مرحله ششم: برای نرمال‌سازی بردار وزن، باید W_N را نرمال کنیم: [۱۶].

$$W = [w(N_1), w(N_2), \dots, w(N_i)]^T; N_i (i = 1, 2, \dots, r) \quad (11)$$

در اینجا W یک عدد غیرفازی است و وزن یک معیار تصمیم‌گیری را نسبت به مابقی نشان می‌دهد.

۲-۳- فاز سوم: TOPSIS فازی

تکنیک اولویت بیشترین شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) توسط هوانگ و یون ارایه [۱۸] و بعدها توسط لای و هوانگ تکمیل شد [۱۹]. این روش با استفاده از این تکنیک بنا شده است که گزینه باید کمترین فاصله از راه‌حل مثبت ایده‌آل (PIS) و دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS) داشته باشد [۹]. PIS راه‌حلی است که معیارهای سود را به حداکثر و معیارهای هزینه را به حداقل می‌رساند، در حالی که NIS معیارهای هزینه را به حداکثر و معیارهای سود را به حداقل می‌رساند [۲۰].

در تکنیک TOPSIS، فرضیات تحت تاثیر مقادیر قطعی قرار دارند در حالی که مسایل واقعی در محیط فازی قرار می‌گیرند، بنابراین اندازه‌گیری با استفاده از مقادیر قطعی همیشه صحیح نیست به همین دلیل، یک روش TOPSIS فازی برای حل این مشکل پیشنهاد شده است [۱۳].

در اینجا، این روش برای رتبه‌بندی گزینه‌های ممکن استفاده می‌شود. در واقع از روش FAHP (فاز دوم) برای شناسایی و تعیین وزن معیارها و از روش FTOPSIS (فاز سوم) برای رتبه‌بندی و مکان‌یابی گزینه‌ها استفاده شده است. مراحل روش FTOPSIS به شرح زیر است:

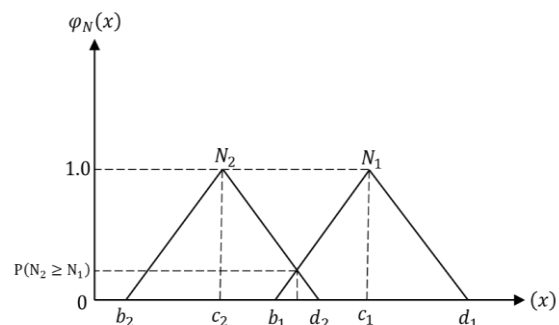
مرحله ۱: وزن معیارها تعیین و ارزیابی می‌شود. در اینجا، از روش FAHP برای یافتن وزن معیارها در محیط فازی استفاده شده است.

مرحله دوم: در این مرحله، باید یک ماتریس تصمیم‌گیری برای تعیین وزن معیارها ایجاد شود. ساختار ماتریس را می‌توان به شرح زیر بیان کرد: [۱۵].

در اینجا b پایین‌ترین حد، d مقدار حد بالایی و c بیشترین مقدار امیدوارکننده است. مرحله چهارم: هنگامی که $N_2 = (b_2, c_2, d_2) \geq N_1 = (b_1, c_1, d_1)$ درجه احتمال به شرح زیر است: [۱۶].

$$P(N_2 \geq N_1) = \sup_{y \gg x} [\min(\varphi_{N_2}(y), \varphi_{N_1}(x))] = \begin{cases} 1 & \text{if } c_2 \geq c_1 \\ 0 & \text{if } b_1 \geq d_2 \\ \frac{b_1 - d_2}{(c_2 - d_2)(c_1 - b_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

برای مقایسه بین N_2 و N_1 به مقادیری نیاز داریم که در رابطه زیر صدق کنند: $P(N_2 \geq N_1)$ and $P(N_1 \geq N_2)$ (شکل ۲). [۱۴].



شکل ۲: تقاطع بین N_2 و N_1

مرحله ۵: هنگامی که اعداد فازی $N_i = (i = 1, 2, \dots, r)$ باشد، آنگاه احتمال درجه عدد فازی را می‌توان اینگونه تعریف کرد: [۱۴].

$$P(N \gg N_1, N_2, \dots, N_r) = P[(N \gg N_1), (N \gg N_2), \dots, (N \gg N_r)] \quad (7)$$

$$P(N \gg N_1, N_2, \dots, N_r) = \min\{P[(N \gg N_j), j = 1, 2, \dots, r]\} \quad (8)$$

اگر:

$$P(N \gg N_1, N_2, \dots, N_r) = \min\{P[(N \gg N_j), j = 1, 2, \dots, r]\} \quad (9)$$

$$S(N_i) = \min\{P[(N_i \gg N_j), j = 1, 2, \dots, r; i \neq j]\}$$

$$\tilde{M} = [\tilde{m}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

که خواهیم داشت: [۲۴].

$$\tilde{M} = \tilde{u}_{ij} \times w_j, \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (17)$$

مرحله ۶: راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و راه‌حل‌های ایده‌آل منفی (A^-) مطابق زیر تعیین می‌گردد: [۲۴].

$$A^+ = \{u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+\} \quad (18)$$

که خواهیم داشت: [۲۴].

$$u_j^+ = \{ \max(u_{ij}) \text{ if } j \in J; \min(u_{ij}) \text{ if } j \in J' \}, j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

$$A^- = \{u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-\} \quad (20)$$

پس: [۲۴].

$$u_j^- = \{ \min(u_{ij}) \text{ if } j \in J; \max(u_{ij}) \text{ if } j \in J' \}, j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

مرحله ۷: فاصله هر گزینه جایگزین از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (D_i^+) و راه‌حل‌های ایده‌آل منفی (D_i^-) محاسبه می‌شود: [۲۴].

$$D_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2 \right\}^{0.5}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

$$D_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2 \right\}^{0.5}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

مرحله ۸: ضریب نزدیکی (CC_i) هر گزینه مطابق رابطه زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد: [۲۴].

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (24)$$

گزینه‌ها با استفاده از مقدار شاخص (CC_i) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هرچه مقدار شاخص بزرگتر باشد به معنای عملکرد بهتر گزینه مورد نظر خواهد بود.

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ A_2 & r_{21} & r_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{matrix}, (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

در اینجا، امتیاز r_{mn} جایگزین، با توجه به معیارهای C_n است.

مرحله سوم: جدول ۲ برای فازی کردن مقادیر ماتریس استفاده می‌شود. جمع‌بندی رتبه‌های جایگزین را می‌توان به شرح زیر بیان کرد: [۲۰].

$$\tilde{r}_{mn} = \frac{1}{N} (\tilde{r}_{mn}^1 + \tilde{r}_{mn}^2 + \dots + \tilde{r}_{mn}^N) \quad (13)$$

جدول ۲: متغیرها و اعداد فازی مثلثی برای رتبه‌بندی راه‌حل‌ها

| شماره فازی | متغیرهای زبانی | شماره فازی مثلثی |
|------------|----------------|------------------|
| ۶ | فوق‌العاده | (۶، ۷، ۸) |
| ۵ | خیلی زیاد | (۵، ۶، ۷) |
| ۴ | زیاد | (۴، ۵، ۶) |
| ۳ | متوسط | (۳، ۴، ۵) |
| ۲ | کم | (۲، ۳، ۴) |
| ۱ | خیلی کم | (۱، ۲، ۳) |

مرحله ۴: ساخت ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده به وسیله \tilde{U} از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود: [۲۰].

$$\tilde{U} = [\tilde{u}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

سپس فرآیند نرمال‌سازی از رابطه زیر قابل انجام است: [۲۰].

$$\tilde{u}_{ij} = \left(\frac{b_{ij}}{a_j^+}, \frac{c_{ij}}{a_j^+}, \frac{d_{ij}}{a_j^+} \right), d_j^+ = \max_i = \{d_{ij} | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (15)$$

از طرف دیگر بهترین سطح مطلوب d_j^+ یک و بدترین آن صفر است.

مرحله ۵: ماتریس تصمیم‌گیری وزنی نرمال شده فازی به شرح زیر خواهد بود: [۲۴].

۳- مطالعه موردی

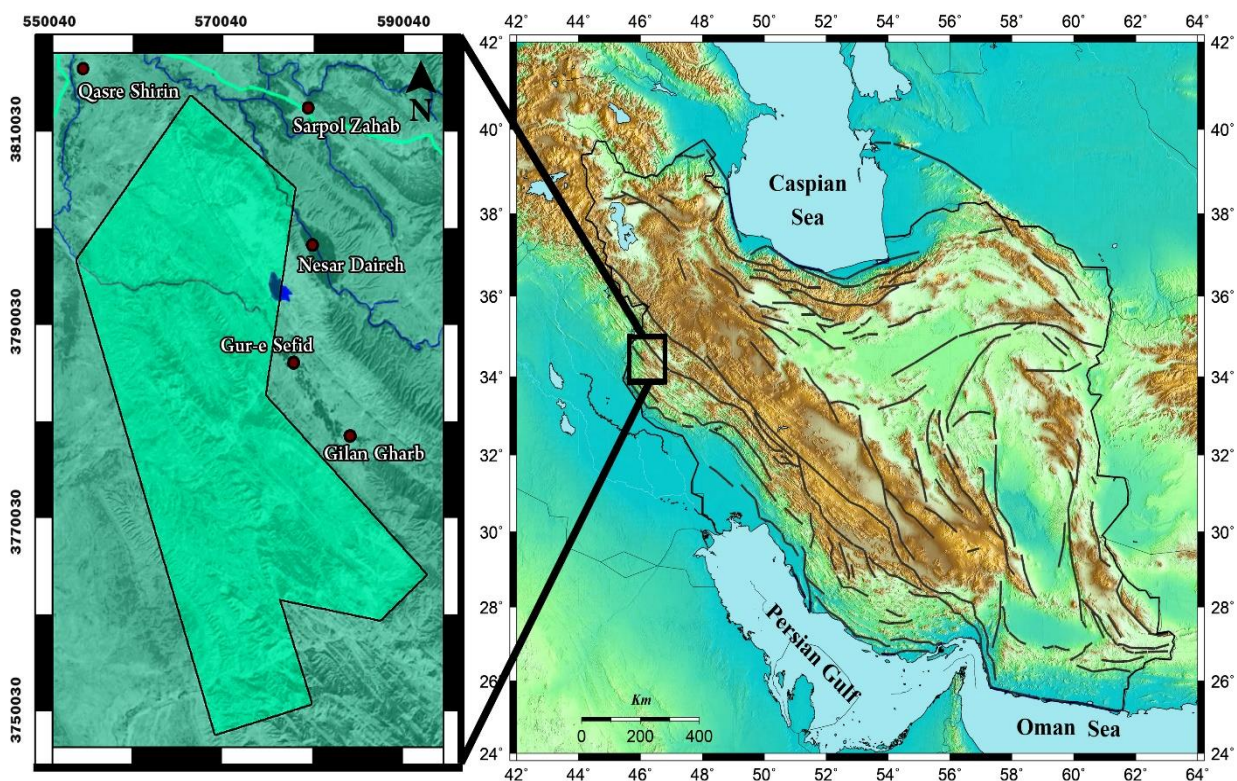
دارد. در این پهنه، تاقدیس‌ها ساختارهای اصلی برای انباشت مواد معدنی به ویژه گیلسونایت‌اند. در مرحله بعد، عامل مهم و فراوان، گسل‌ها و شکستگی‌هایی است که محل قرارگیری ماده معدنی در ضخامت‌های مختلف را کنترل می‌کنند. گسل‌های اصلی این منطقه شامل گسل امام‌حسن، ویژنان، اشتران، داروانا و سیه‌کوه است.

یکی از کاربردهای مهم MPM شناسایی مناطق امیدواربخش (منظور امیدبخش است؟) در اکتشافات اولیه است. در اینجا، لایه‌های مختلفی از داده‌های اکتشافی برای شناسایی مناطق با پتانسیل معدنی بالا در منطقه گیلانغرب مورد بررسی قرار گرفت.

به طور کلی، داده‌های موثر در اکتشاف گیلسونایت شامل چینه‌شناسی، کانی‌سازی و تکتونیک است. نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۵۰,۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران برای استخراج داده‌های چینه‌شناسی و زمین‌ساختی مورد استفاده قرار گرفت. انتشار تصاویر حرارتی و رادیومترسنج بازتابی (ASTER) برای تعیین مرزهای سازندها و بهبود چینه‌شناسی و تکتونیک مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه، لایه‌های به کار رفته در

مساحت پهنه مورد بررسی، ۱۲۷۷ کیلومترمربع و در استان کرمانشاه، بین شهرهای قصرشیرین و گیلانغرب قرار دارد (شکل ۳). این پهنه عمدتاً در منطقه شکه میدان قرار دارد که یکی از مناطق مستعد ایران برای اکتشاف گیلسونایت است. این پهنه از نظر ساختاری در منطقه زاگرس چین‌خورده واقع شده است که قسمت‌های شرقی آن بخشی از حوضه رسوبی لرستان و بخش غربی آن بخشی از حوضه رسوبی شمال دزفول است. از نظر پتانسیل هیدروکربن، منطقه مورد مطالعه شامل پتانسیل سطح و عمیق بوده که پتانسیل سطح آن عمدتاً گیلسونایت است. گیلسونایت یک هیدروکربن طبیعی است که از لحاظ خاص فیزیکی و شیمیایی در محدوده بین قیر پالایشگاهی و زغال‌سنگ است [۱۸].

بیشتر منابع هیدروکربوری شناخته شده در منطقه گیلانغرب مربوط به گسل‌های منطقه است. در شناسایی و اکتشاف پتانسیل گیلسونایت، بررسی فرآیندهای چین‌خوردگی، گسل‌ها، شکستگی‌ها و مکانیسم تشکیل آن‌ها اهمیت ویژه‌ای



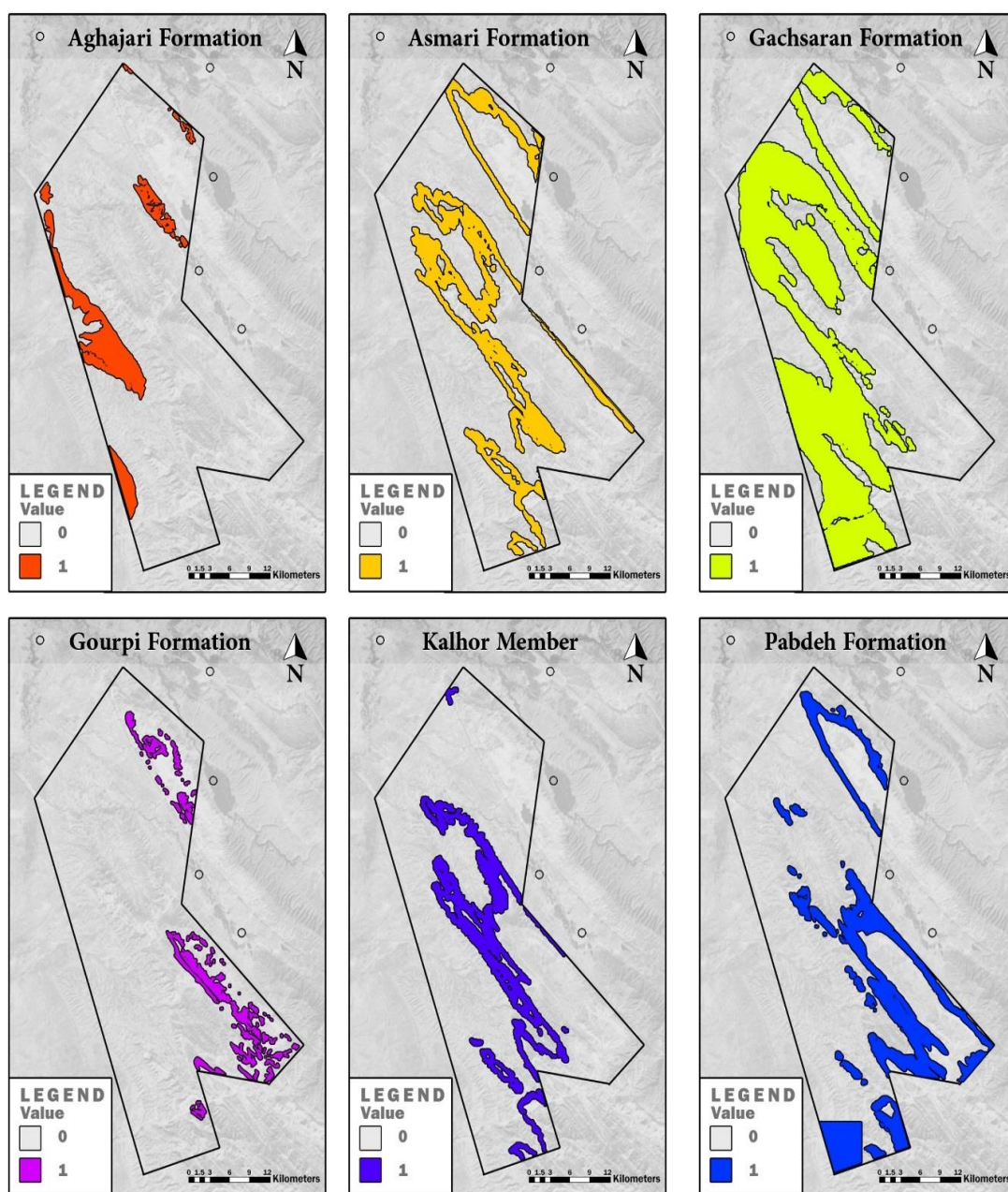
شکل ۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ساختاری ایران (ویرایش شده) [۲۱]

مناطق لرستان کاملاً بالغ‌اند و سازندهای آسماری و گچساران پوشش مناسبی از مواد نفتی با منشا پابده را در برمی‌گیرد. این واحد سنگی که شامل مخزن و سنگ پوش است؛ بیشترین گستره را در منطقه گیلانغرب دارد (شکل ۴). این عوامل باعث شده است تا علاوه بر سایر منابع و مخازن کمر بند زاگرس، منطقه گیلانغرب از غنی‌ترین مناطق خاورمیانه از نظر

پتانسیل یابی گیلسونایت در پهنه اکتشافی مورد بررسی به شرح زیر است.

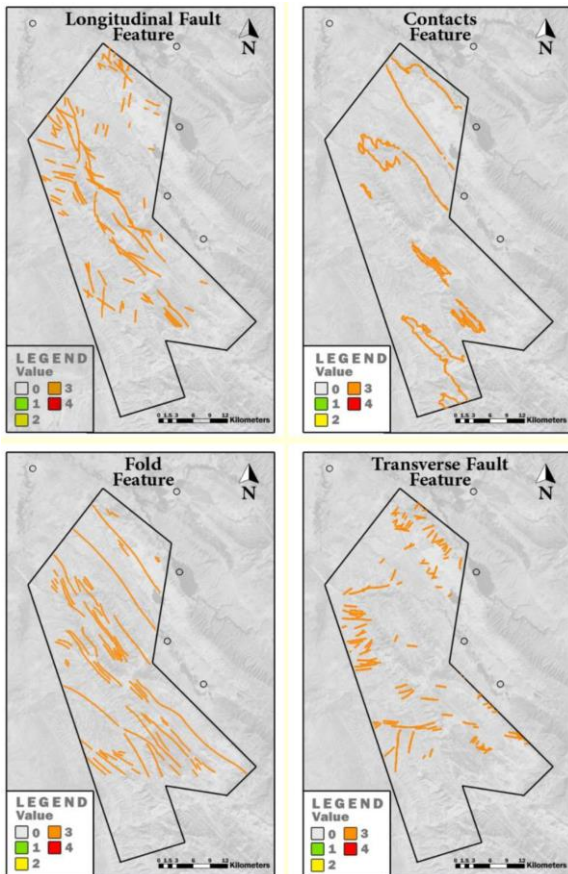
۳-۱- زمین‌شناسی

سنگ‌های در برگیرنده مخزن و سنگ پوش، سیستم‌های نفتی را در زاگرس کنترل می‌کنند [۲۲]. سازندها در تمام

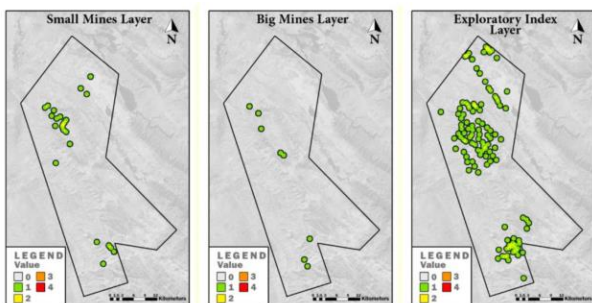


شکل ۴: نقشه واحدهای زمین‌شناسی باز تولید شده منطقه گیلانغرب (سازند گچساران، سازند آسماری، سازند آغاچاری، سازند پابده، عضو کلهر و سازند گورپی)

نظر کارشناسان و احتمال کشف منابع جدید معدنی در حوالی این معادن یا اندیس‌ها، بافرهای ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ متر برای آن‌ها اعمال شده و دوباره طبقه‌بندی شدند (شکل ۶).



شکل ۵: ویژگی‌های تکتونیکی بازسازی شده منطقه گیلانغرب



شکل ۶: لایه‌های معدنی بازسازی شده منطقه گیلانغرب

مشخصات مخازن کم‌عمق، در نزدیکی سطح و بیرون آمدن مواد هیدروکربنی، به ویژه ماده معدنی گیلسونایت باشد. مهم‌ترین میزبان کانی‌سازی گیلسونایت (از نظر ذخیره و کیفیت) در منطقه گیلانغرب سازند گچساران است. علاوه بر این، بخش آنیدریتیک عضو کلهر و همچنین سازند آسماری، پایده و گورپی به ندرت کانی‌سازی ضعیف دارند. معادن گیلسونایت در این منطقه به طور کلی با روند شمال غربی-جنوب شرقی و به موازات لایه‌بندی قرار گرفته‌اند. کانی‌های گیلسونایت موجود در سازند پایده عمدتاً دارای ذخایر کم و در امتداد شکستگی‌های عرضی است که کیفیت بالایی دارند. از جمله معادن یافت شده در سازند پایده، می‌توان به معدن ببر سوخته اشاره کرد.

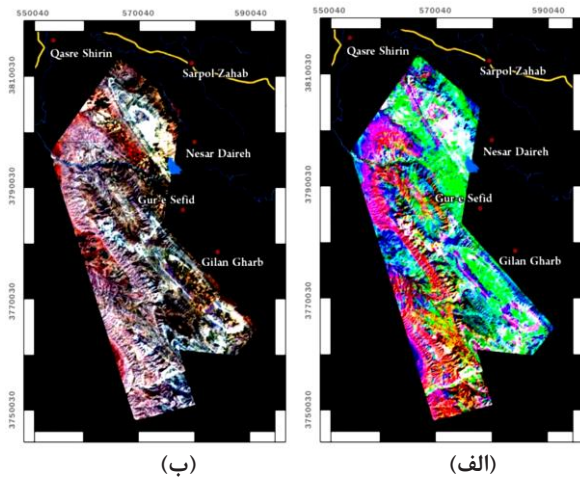
۳-۲- ویژگی‌ها تکتونیکی

سه ویژگی تکتونیکی گسل‌ها، چین‌ها و درزه‌ها در ایجاد رویدادهای معدنی گیلسونایت موثراند. از این رو، این ویژگی‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۵۰,۰۰۰ منطقه گیلانغرب استخراج شده است. به گفته کارشناسان خبره در زمینه اکتشاف این ماده معدنی، گسل‌های طولی اهمیت بیشتری نسبت به گسل‌های عرضی دارند. اگرچه گسل‌ها و شکستگی‌ها در منطقه به نسبت چین‌خوردگی فراوانی کمتری دارند اما به دلیل کنترل پراکندگی ماده معدنی بسیار بااهمیت‌اند. در بخش‌هایی از پهنه که سازندهای پایده و گورپی گسترش قابل توجهی دارند به سبب ویژگی‌های شکل‌پذیری این سازندها از یک سو و از سوی دیگر رخنمون‌های گسترده سازند گچساران در پهنه سبب شده گسیختگی در سطح به حداقل برسد و گسل‌های دیده شده در سطح، کم‌ژرفا و با طول کم باشد و از سبب برای سازندهای آجاجاری و گچساران تجاوز نکنند. در ادامه این ویژگی‌ها با بافرهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر طبقه‌بندی شدند (شکل ۵).

۳-۳- کانی‌سازی

با توجه به اینکه در این پهنه اکتشافی، معادن گیلسونایت بزرگ و کوچک وجود دارد، لایه‌های داده ایجاد شده از این معادن ارزش اکتشافی دارند. این معادن با توجه به اهمیت و تاثیرگذاری در اکتشاف گیلسونایت به سه لایه شامل لایه معادن بزرگ، لایه معادن کوچک و اندیس‌های اکتشافی طبقه‌بندی شده‌اند. این لایه‌ها به ترتیب ۸، ۲۳ و ۲۰۸ داده دارند. طبق

۳-۴- سنجش از دور



شکل ۷: الف) تصویر رنگی TCC از ترکیب باند (۱،۲،۳) و
ب) تصویر رنگی FCC از ترکیب باند (۱،۴،۷)، برای استخراج
واحدهای سنگی

شناسایی قرار گرفت تحت عنوان لایه کلیدی چینه‌شناسی در ترکیب داده‌های اکتشافی مورد استفاده قرار گرفت.

۴- کاربرد چارچوب پیشنهادی

از روش ترکیبی FAHP-FTOPSIS برای ترکیب داده‌های اکتشافی و ایجاد نقشه پتانسیل مطلوب در منطقه گیلانغرب استفاده شد. در ابتدا، یک ساختار سلسله مراتبی برای اکتشاف گیلسونایت در منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های اکتشاف ورودی (شکل ۸) تهیه گردید.

در فاز اول، معیارها و زیرمعیارها مشخص و مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس هفت ماتریس مقایسه زوجی ایجاد و شانزده زیرمعیار ورودی برای نشان دادن پتانسیل گیلسونایت در منطقه گیلانغرب مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در فاز دوم، با استفاده از روش FAHP، وزن معیارها و زیرمعیارها مشخص گردید (جدول ۹) و سپس این وزن‌ها به صورت فازی درآمد که ماتریس مقایسه فازی در جداول ۳ تا ۸ نشان داده شده است. مقادیر نسبت سازگاری (CR)^{۱۴} برای این مقایسه جفتی کمتر از ۰٫۱ است. از این رو این ماتریس‌ها سازگار هستند و بنابراین این وزن معیارها و زیرمعیارها قابل قبول خواهند بود [۲۴،۱۶].

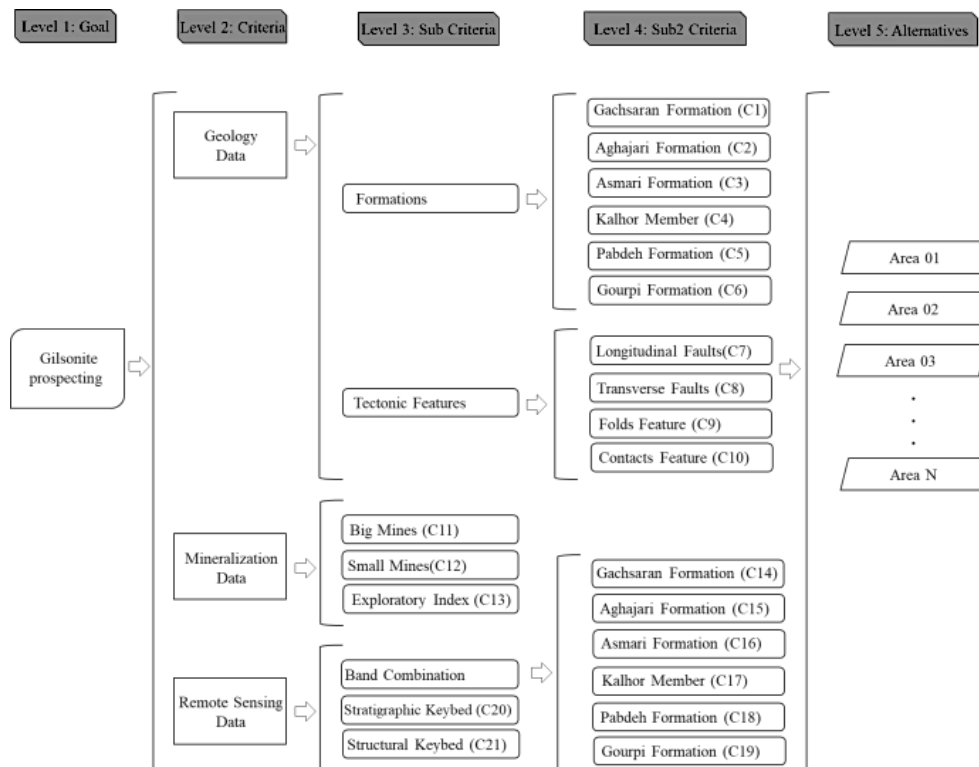
سرانجام، در فاز سوم، از روش FTOPSIS برای رتبه‌بندی گزینه‌های موجود استفاده گردید. وزن معیارها و زیرمعیارهای که به وسیله FAHP محاسبه شده و در جدول ۹ نشان داده

کسب داده از سنجش از دور، به ویژه داده‌های ماهواره‌ای، در سال‌های اخیر به طور پیوسته رشد کرده و روش‌های مختلفی برای بهبود مطالعات سنجش از دور در علوم زمین ایجاد شده است. سنجش از دور در اکتشاف مواد معدنی، جداسازی واحدهای تکتونیکی و سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در واقع می‌تواند با استخراج اطلاعات مفید به زمین‌شناسی و نقشه‌برداری کمک کند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای ASTER برای پردازش و استخراج اطلاعات استفاده شده است. تجزیه و تحلیل تصاویر شامل شناسایی فضایی و الگوهای موجود در داده‌ها از طریق استفاده از مدل‌هایی است که می‌توان از آن‌ها برای جدا کردن مولفه‌ها یا واحدهای یک تصویر با توجه به خصوصیات توپوگرافی یا پوشش‌های سطحی استفاده کرد [۲۳]. با توجه به منطقه مورد بررسی که اغلب دارای واحدهای رسوبی مانند واحدهای کربناته و گچ است، در مطالعات سنجش از دور سعی شده است از ترکیبات و نسبت باند استفاده شود که می‌تواند بیشترین تقابل و جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی را نشان دهد. در ابتدا ترکیبی از باندها (۱،۲،۳) به عنوان ترکیب رنگی واقعی (TCC)^{۱۱} استفاده شد و در نهایت ترکیبی از رنگ‌های کاذب (FCC)^{۱۲} با استفاده از باندهای (۱،۴،۷) به عنوان جداکننده واحدهای سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۷). سرانجام روش طبقه‌بندی با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA)^{۱۳} برای شناسایی واحدهای سنگ‌شناسی و تکتونیکی مورد استفاده قرار گرفت.

در یال جنوب غربی و یال شمال شرقی تاقدیس امام حسن در پهنه اکتشافی گیلانغرب، سازند پابده تحت تاثیر یک سری گسل‌های راستالغز مزدوج با راستای شمال شرق - جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق قرار گرفته است که اغلب دارای جابجایی ناچیزی‌اند و در نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه به دلیل مقیاس آن قابل تفکیک و شناسایی نیستند. این گسل‌ها که از طریق سنجش از دور مورد شناسایی قرار گرفته‌اند؛ به دلیل اهمیت فراوانی که در کنترل کانی‌زایی گیلسونایت ایفا کرده‌اند به صورت جداگانه در لایه‌ایی به نام لایه کلیدی ساختاری آورده شده‌اند. نکته قابل توجه دیگر در مورد بخش انیدریتی سازندهای آسماری و گچساران است که به نظر کارشناسان خبره اهمیت ویژه‌ای در کانی‌زایی گیلسونایت دارد. به همین دلیل این لایه که به کمک سنجش از دور مورد

استفاده از رابطه‌های ۱۴ تا ۱۷، می‌توان راه‌حل مثبت ایده‌آل فازی (FPIS, A⁺) و راه‌حل منفی ایده‌آل فازی (FPIS, A⁻) را به عنوان $\tilde{u}_j^+ = (1,1,1)$ و $\tilde{u}_j^- = (0,0,0)$ تعریف کرد، سپس

شده است، می‌تواند در FTOPSIS (جدول ۹) استفاده شود، سپس عناصر $\tilde{M} = [\tilde{m}_{ij}]_{m \times n}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ با روش مثلثی فازی (جدول ۲) به اعداد فازی تبدیل شدند. با



شکل ۸: ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری از پتانسیل گیلسونایت منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: ماتریس مقایسه فازی معیارها (CR = 0.025)

| زمین‌شناسی | کانی‌شناسی | سنجش از دور |
|-----------------|-----------------|-------------|
| (۱, ۱, ۱) | (۱, ۲, ۳) | (۵, ۶, ۷) |
| (۱/۳, ۱/۲, ۱) | (۱, ۱, ۱) | (۵, ۵, ۷) |
| (۱/۷, ۱/۶, ۱/۵) | (۱/۷, ۱/۶, ۱/۵) | (۱, ۱, ۱) |

جدول ۴: ماتریس مقایسه فازی معیارهای سنجش از دور (CR = 0.055)

| ترکیب باند | لایه کلیدی چینه‌شناسی | لایه کلیدی ساختاری |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| (۱, ۱, ۱) | (۳, ۴, ۵) | (۱/۳, ۱/۲, ۱) |
| (۱/۵, ۱/۴, ۱/۳) | (۱, ۱, ۱) | (۱/۵, ۱/۴, ۱/۳) |
| (۱, ۲, ۳) | (۳, ۴, ۵) | (۱, ۱, ۱) |

قرمز مربوط به مناطق با پتانسیل بالای اکتشاف گیسونایت است. دایره‌های قهوه‌ای که در این نقشه نشان داده شده است (شکل ۹) مکان‌های معدنی مورد کاوش در این منطقه است که برای ارزیابی خروجی روش استفاده گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقاط معدنی مورد کاوش با خروجی نقشه پتانسیل یابی معدنی سازگار است.

می‌توان فاصله هر یک از گزینه‌های D^+ و D^- را با استفاده از رابطه‌های ۲۲ و ۲۳ محاسبه کرد. در آخر قدم شباهت‌ها را با یک راه‌حل ایده‌آل (CC_i) با رابطه ۲۴ حل می‌کند. به عنوان مثال، CC_i برای ۲۰ گزینه به مختصات جغرافیایی مشخص در جدول ۱۰ نشان داده شده است. روش پتانسیل یابی نهایی برای کانی‌سازی گیسونایت ایجاد و دوباره به ده کلاس طبقه‌بندی شد. در شکل ۹ رنگ

جدول ۵: ماتریس مقایسه فازی زیر معیارهای سازندها (CR = 0.095)

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------|
| C1 | (1,1,1) | (3,4,5) | (3,4,5) | (1,2,3) | (5,6,7) | (5,6,7) |
| C2 | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) | (1/3,1/2,1) | (1/5,1/4,1/3) | (1,2,3) | (3,4,5) |
| C3 | (1/5,1/4,1/3) | (1,2,3) | (1,1,1) | (1/5,1/4,1/3) | (3,4,5) | (3,4,5) |
| C4 | (1/3,1/2,1) | (3,4,5) | (3,4,5) | (1,1,1) | (3,4,5) | (5,6,7) |
| C5 | (1/7,1/6,1/5) | (1/3,1/2,1) | (1/5,1/4,1/3) | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) | (1,2,3) |
| C6 | (1/7,1/6,1/5) | (1/5,1/4,1/3) | (1/5,1/4,1/3) | (1/7,1/6,1/5) | (1/3,1/2,1) | (1,1,1) |

جدول ۶: ماتریس مقایسه فازی ویژگی‌ها زیرساختی (CR = 0.067)

| | C7 | C8 | C9 | C10 |
|-----|---------------|---------------|---------|---------------|
| C7 | (1,1,1) | (1,2,3) | (3,4,5) | (1/3,1/2,1) |
| C8 | (1/3,1/2,1) | (1,1,1) | (1,2,3) | (3,4,5) |
| C9 | (1/5,1/4,1/3) | (1/3,1/2,1) | (1,1,1) | (1/5,1/4,1/3) |
| C10 | (1,2,3) | (1/5,1/4,1/3) | (3,4,5) | (1,1,1) |

جدول ۷: ماتریس مقایسه فازی معیارهای معدنی (CR = 0.038)

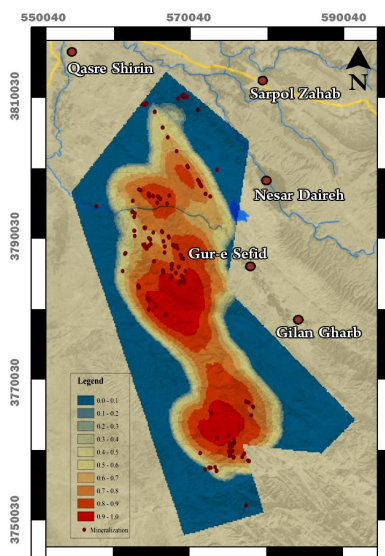
| | C11 | C12 | C13 |
|-----|---------|---------------|---------------|
| C11 | (1,1,1) | (1/5,1/4,1/3) | (1/7,1/6,1/5) |
| C12 | (3,4,5) | (1,1,1) | (3,4,5) |
| C13 | (5,6,7) | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) |

جدول ۸: ماتریس مقایسه فازی زیر معیارهای ترکیبی باند (CR = 0.088)

| | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------|
| C14 | (1,1,1) | (3,4,5) | (3,4,5) | (1,2,3) | (3,4,5) | (5,6,7) |
| C15 | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/3,1/2,1) | (1,2,3) | (3,4,5) |
| C16 | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/5,1/4,1/3) | (1,2,3) | (3,4,5) |
| C17 | (1/3,1/2,1) | (1,2,3) | (3,4,5) | (1,1,1) | (3,4,5) | (3,4,5) |
| C18 | (1/5,1/4,1/3) | (1/3,1/2,1) | (1/3,1/2,1) | (1/5,1/4,1/3) | (1,1,1) | (1,2,3) |
| C19 | (1/7,1/6,1/5) | (1/5,1/4,1/3) | (1/5,1/4,1/3) | (1/5,1/4,1/3) | (1/3,1/2,1) | (1,1,1) |

جدول ۹: وزن معیارها و زیرمعیارها با FAHP

| معیارها | وزن‌ها (w) | معیارهای فرعی | وزن‌ها (w) | معیارهای فرعی ۲ | وزن‌های نرمال شده | وزن‌های نهایی | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------|------------------------------|-------------------|-----------------------|-------|-------|
| داده‌های زمین‌شناسی | ۰/۶۳۷ | سازندها | ۰/۲۶۰ | سازند گچساران (C1) | ۰/۰۸۰ | ۰/۰۲۱ | | |
| | | | | سازند آغاچاری (C2) | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۱۶ | | |
| | | | | سازند آسماری (C3) | ۰/۴۶۷ | ۰/۱۲۱ | | |
| | | | | عضو کلهر (C4) | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۳ | | |
| | | | | سازند پایده (C5) | ۰/۳۷۱ | ۰/۰۹۶ | | |
| | | | | سازند گورپی (C6) | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰۳ | | |
| | | ویژگی‌های تکتونیکی | ۰/۳۷۷ | | | گسل‌های طولی (C7) | ۰/۲۷۵ | ۰/۱۰۳ |
| | | | | | | گسل‌های عرضی (C8) | ۰/۱۰۱ | ۰/۰۴۲ |
| | | | | | | چین‌خوردگی‌ها (C9) | ۰/۲۰۰ | ۰/۱۰۶ |
| | | | | | | مشخصات ویژگی‌ها (C10) | ۰/۳۲۵ | ۰/۱۲۶ |
| داده‌های کانی‌شناسی | ۰/۲۰۹ | معادن بزرگ | ۰/۰۹۵ | معادن بزرگ (C11) | ۰/۵۹۶ | ۰/۰۹۵ | | |
| | | معادن کوچک | ۰/۰۶۵ | معادن کوچک (C12) | ۰/۴۰۴ | ۰/۰۶۵ | | |
| | | اندیس‌های اکتشافی | ۰/۰۴۹ | اندیس‌های اکتشافی (C13) | ۰/۳۶۸ | ۰/۰۴۹ | | |
| داده‌های سنجش‌ازدور | ۰/۱۵۴ | ترکیب باند (سازندها) | ۰/۰۵۲ | سازند گچساران- RS (C14) | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۰۵ | | |
| | | | | سازند آغاچاری- RS (C15) | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۰۳ | | |
| | | | | سازند آسماری- RS (C16) | ۰/۴۷۱ | ۰/۰۲۴ | | |
| | | | | عضو کلهر- RS (C17) | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۱ | | |
| | | | | سازند پایده- RS (C18) | ۰/۳۵۶ | ۰/۰۱۸ | | |
| | | | | سازند گورپی- RS (C19) | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۱ | | |
| | | لایه کلیدی چینهای | ۰/۰۶۵ | لایه کلیدی چینهای- RS (C20) | ۰/۳۴۱ | ۰/۰۳۷ | | |
| | | لایه کلیدی ساختاری | ۰/۰۳۷ | لایه کلیدی ساختاری- RS (C21) | ۰/۴۰۴ | ۰/۰۶۵ | | |



شکل ۹: نقشه نهایی مناطق محتمل کانی‌سازی گیلسونایت در منطقه گیلانغرب

جدول ۱۰: خروجی (CC) از روش FAHP-FTOPSIS برای ۲۰ گزینه مشخص از پهنه اکتشافی مورد بررسی

| NUM | گزینه‌ها | | معیارها و زیرمعیارها (FAHP) | | | | | | | | | | |
|-----|----------|---------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | X (m) | Y (m) | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 |
| ۱ | ۵۷۳۶۵۳ | ۳۷۵۶۶۷۷ | ۰/۸۶۹ | ۰/۱۱۰ | ۰/۷۱۲ | ۰/۸۵۰ | ۰/۷۸۲ | ۰/۹۱۸ | ۰/۱۵۹ | ۰/۳۳۰ | ۰/۱۵۴ | ۰/۹۸۵ | ۰/۰۹۵ |
| ۲ | ۵۷۳۶۳۸ | ۳۷۵۶۶۷۶ | ۰/۴۰۶ | ۰/۸۲۱ | ۰/۰۷۵ | ۰/۲۴۹ | ۰/۶۳۳ | ۰/۱۰۳ | ۰/۳۳۳ | ۰/۷۶۳ | ۰/۷۴۹ | ۰/۳۸۷ | ۰/۱۱۱ |
| ۳ | ۵۷۳۴۴۶ | ۳۷۵۶۶۵۴ | ۰/۲۵۹ | ۰/۸۷۰ | ۰/۱۷۰ | ۰/۴۷۸ | ۰/۱۵۱ | ۰/۵۷۵ | ۰/۳۸۷ | ۰/۳۲۴ | ۰/۴۸۴ | ۰/۹۱۹ | ۰/۵۸۶ |
| ۴ | ۵۷۳۴۳۵ | ۳۷۵۶۶۶۵ | ۰/۲۴۱ | ۰/۳۹۳ | ۰/۶۳۵ | ۰/۲۵۶ | ۰/۵۷۲ | ۰/۱۵۴ | ۰/۲۷۷ | ۰/۶۰۱ | ۰/۸۷۴ | ۰/۵۷۷ | ۰/۰۹۰ |
| ۵ | ۵۷۳۴۲۲ | ۳۷۵۶۶۸۷ | ۰/۱۳۴ | ۰/۴۳۱ | ۰/۹۴۹ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۳۰ | ۰/۵۳۶ | ۰/۱۰۵ | ۰/۶۹۲ | ۰/۶۴۸ | ۰/۶۳۴ | ۰/۰۱۰ |
| ۶ | ۵۷۲۸۸۲ | ۳۷۵۶۴۲۴ | ۰/۱۴۱ | ۰/۳۷۲ | ۰/۵۰۵ | ۰/۴۶۵ | ۰/۴۲۹ | ۰/۱۱۷ | ۰/۹۳۰ | ۰/۳۶۵ | ۰/۴۲۹ | ۰/۵۰۹ | ۰/۳۵۴ |
| ۷ | ۵۷۶۳۲۷ | ۳۷۶۰۲۸۴ | ۰/۳۱۸ | ۰/۹۹۷ | ۰/۳۶۳ | ۰/۵۷۹ | ۰/۸۱۰ | ۰/۵۰۹ | ۰/۰۵۴ | ۰/۶۳۵ | ۰/۷۲۶ | ۰/۸۲۱ | ۰/۸۸۶ |
| ۸ | ۵۷۶۳۲۳ | ۳۷۶۰۲۹۴ | ۰/۷۲۲ | ۰/۳۴۵ | ۰/۵۵۷ | ۰/۴۶۰ | ۰/۳۸۱ | ۰/۱۰۲ | ۰/۲۵۸ | ۰/۰۴۵ | ۰/۶۲۴ | ۰/۰۴۶ | ۰/۶۱۸ |
| ۹ | ۵۷۶۵۰۶ | ۳۷۶۰۱۸۳ | ۰/۶۸۴ | ۰/۹۰۹ | ۰/۰۳۱ | ۰/۷۲۵ | ۰/۴۶۷ | ۰/۹۱۸ | ۰/۰۹۵ | ۰/۱۰۴ | ۰/۹۴۲ | ۰/۱۲۸ | ۰/۷۲۷ |
| ۱۰ | ۵۷۶۶۵۰ | ۳۷۵۹۹۵۳ | ۰/۴۵۰ | ۰/۱۱۰ | ۰/۲۰۱ | ۰/۶۵۴ | ۰/۳۱۱ | ۰/۶۶۱ | ۰/۲۴۵ | ۰/۳۴۵ | ۰/۷۳۹ | ۰/۰۷۱ | ۰/۷۷۴ |
| ۱۱ | ۵۷۶۱۰۵ | ۳۷۶۱۵۰۴ | ۰/۲۲۰ | ۰/۶۲۹ | ۰/۶۴۸ | ۰/۱۴۵ | ۰/۶۴۴ | ۰/۱۲۷ | ۰/۵۵۱ | ۰/۹۹۰ | ۰/۸۶۶ | ۰/۶۸۸ | ۰/۳۱۱ |
| ۱۲ | ۵۷۴۵۲۱ | ۳۷۶۱۰۳۹ | ۰/۳۱۲ | ۰/۰۴۴ | ۰/۵۷۸ | ۰/۳۱۹ | ۰/۷۶۲ | ۰/۹۷۵ | ۰/۸۱۸ | ۰/۱۴۲ | ۰/۵۲۸ | ۰/۳۸۱ | ۰/۵۱۸ |
| ۱۳ | ۵۷۶۹۰۳ | ۳۷۶۰۸۵۲ | ۰/۴۹۲ | ۰/۸۰۴ | ۰/۱۶۷ | ۰/۳۵۴ | ۰/۴۰۲ | ۰/۴۱۰ | ۰/۶۴۳ | ۰/۳۳۶ | ۰/۸۲۰ | ۰/۶۳۹ | ۰/۸۷۲ |
| ۱۴ | ۵۷۶۶۵۲ | ۳۷۵۹۹۱۹ | ۰/۴۶۳ | ۰/۲۸۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۵۱۲ | ۰/۷۴۳ | ۰/۹۱۳ | ۰/۶۲۰ | ۰/۳۲۱ | ۰/۵۰۸ | ۰/۲۵۸ | ۰/۹۲۷ |
| ۱۵ | ۵۷۶۷۱۵ | ۳۷۵۹۱۴۵ | ۰/۹۹۳ | ۰/۶۴۳ | ۰/۸۴۶ | ۰/۲۴۲ | ۰/۹۵۵ | ۰/۴۷۳ | ۰/۱۹۸ | ۰/۳۹۳ | ۰/۳۶۹ | ۰/۹۸۱ | ۰/۴۲۷ |
| ۱۶ | ۵۷۶۲۰۹ | ۳۷۵۹۰۸۳ | ۰/۷۴۳ | ۰/۳۴۹ | ۰/۱۶۹ | ۰/۲۴۲ | ۰/۳۰۲ | ۰/۰۲۵ | ۰/۲۷۲ | ۰/۸۳۰ | ۰/۸۷۵ | ۰/۱۶۳ | ۰/۱۵۷ |
| ۱۷ | ۵۷۶۴۱۱ | ۳۷۵۸۵۸۲ | ۰/۶۵۱ | ۰/۰۳۱ | ۰/۲۹۸ | ۰/۹۴۱ | ۰/۹۷۹ | ۰/۰۱۹ | ۰/۹۱۴ | ۰/۱۵۸ | ۰/۴۵۲ | ۰/۲۲۳ | ۰/۸۴۳ |
| ۱۸ | ۵۷۶۴۷۰ | ۳۷۵۸۴۹۴ | ۰/۵۳۳ | ۰/۴۸۲ | ۰/۷۳۳ | ۰/۶۱۷ | ۰/۱۶۹ | ۰/۹۱۳ | ۰/۲۷۲ | ۰/۰۷۳ | ۰/۰۸۲ | ۰/۴۸۶ | ۰/۱۵۱ |
| ۱۹ | ۵۷۶۲۸۶ | ۳۷۵۸۴۶۰ | ۰/۹۸۱ | ۰/۰۹۱ | ۰/۲۵۰ | ۰/۰۳۸ | ۰/۵۵۳ | ۰/۰۹۵ | ۰/۶۷۵ | ۰/۳۱۹ | ۰/۳۹۳ | ۰/۳۶۵ | ۰/۲۲۰ |
| ۲۰ | ۵۷۶۸۶۲ | ۳۷۵۸۱۷۱ | ۰/۷۱۹ | ۰/۵۲۹ | ۰/۲۶۵ | ۰/۷۸۴ | ۰/۳۲۰ | ۰/۹۳۹ | ۰/۶۷۵ | ۰/۳۳۰ | ۰/۳۳۶ | ۰/۱۵۷ | ۰/۶۳۲ |

| NUM | گزینه‌ها | | معیارها و زیرمعیارها (FAHP) | | | | | | | | | FTOPSIS | |
|-----|----------|---------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------------|
| | X (m) | Y (m) | C12 | C13 | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 | CC _i |
| ۱ | ۵۷۳۶۵۳ | ۳۷۵۶۶۷۷ | ۰/۵۵۸ | ۰/۹۴۲ | ۰/۹۲۸ | ۰/۸۴۶ | ۰/۹۰۵ | ۰/۱۷۷ | ۰/۲۹۹ | ۰/۹۸۳ | ۰/۲۶۶ | ۰/۷۸۸ | ۰/۹۸۶ |
| ۲ | ۵۷۳۶۳۸ | ۳۷۵۶۶۷۶ | ۰/۶۰۸ | ۰/۶۹۶ | ۰/۱۵۰ | ۰/۸۸۹ | ۰/۵۴۹ | ۰/۷۸۴ | ۰/۴۸۶ | ۰/۲۷۰ | ۰/۲۶۳ | ۰/۱۴۹ | ۰/۶۳۱ |
| ۳ | ۵۷۳۴۴۶ | ۳۷۵۶۶۵۴ | ۰/۸۲۰ | ۰/۰۸۳ | ۰/۴۳۰ | ۰/۲۳۲ | ۰/۷۶۸ | ۰/۶۳۷ | ۰/۱۹۷ | ۰/۳۰۳ | ۰/۶۷۶ | ۰/۰۳۴ | ۰/۷۵۷ |
| ۴ | ۵۷۳۴۳۵ | ۳۷۵۶۶۶۵ | ۰/۲۲۰ | ۰/۵۸۰ | ۰/۳۳۷ | ۰/۵۶۱ | ۰/۳۲۲ | ۰/۶۶۱ | ۰/۲۱۷ | ۰/۳۰۷ | ۰/۲۰۷ | ۰/۲۸۶ | ۰/۵۲۱ |
| ۵ | ۵۷۳۴۲۲ | ۳۷۵۶۶۸۷ | ۰/۸۲۵ | ۰/۲۷۰ | ۰/۱۱۶ | ۰/۰۳۹ | ۰/۵۶۱ | ۰/۲۸۲ | ۰/۱۵۵ | ۰/۰۴۳ | ۰/۳۳۹ | ۰/۶۲۰ | ۰/۳۲۱ |
| ۶ | ۵۷۲۸۸۲ | ۳۷۵۶۴۲۴ | ۰/۶۰۳ | ۰/۱۲۹ | ۰/۴۴۸ | ۰/۲۷۷ | ۰/۳۸۲ | ۰/۵۶۶ | ۰/۱۵۳ | ۰/۴۳۱ | ۰/۰۸۸ | ۰/۲۰۷ | ۰/۵۷۶ |
| ۷ | ۵۷۶۳۲۷ | ۳۷۶۰۲۸۴ | ۰/۷۲۸ | ۰/۵۸۵ | ۰/۳۰۴ | ۰/۹۴۳ | ۰/۵۶۵ | ۰/۳۸۵ | ۰/۷۷۹ | ۰/۶۶۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۷۸۸ | ۰/۸۲۲ |
| ۸ | ۵۷۶۳۲۳ | ۳۷۶۰۲۹۴ | ۰/۹۷۷ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۴۰ | ۰/۱۹۸ | ۰/۰۲۷ | ۰/۵۰۳ | ۰/۴۴۸ | ۰/۰۵۶ | ۰/۵۲۲ | ۰/۸۵۸ | ۰/۷۱۱ |
| ۹ | ۵۷۶۵۰۶ | ۳۷۶۰۱۸۳ | ۰/۶۷۴ | ۰/۶۵۱ | ۰/۷۵۳ | ۰/۲۷۲ | ۰/۹۵۲ | ۰/۱۵۰ | ۰/۹۸۳ | ۰/۶۳۲ | ۰/۴۸۶ | ۰/۷۵۱ | ۰/۹۶۹ |
| ۱۰ | ۵۷۶۶۵۰ | ۳۷۵۹۹۵۳ | ۰/۴۰۹ | ۰/۵۱۷ | ۰/۸۱۶ | ۰/۵۰۰ | ۰/۱۳۹ | ۰/۱۳۳ | ۰/۱۰۹ | ۰/۵۲۲ | ۰/۲۴۸ | ۰/۸۰۶ | ۰/۶۲۰ |
| ۱۱ | ۵۷۶۱۰۵ | ۳۷۶۱۵۰۴ | ۰/۶۵۹ | ۰/۰۵۱ | ۰/۲۱۲ | ۰/۱۵۷ | ۰/۴۵۹ | ۰/۹۱۳ | ۰/۸۳۲ | ۰/۳۶۶ | ۰/۷۲۶ | ۰/۲۸۸ | ۰/۷۹۴ |
| ۱۲ | ۵۷۴۵۲۱ | ۳۷۶۱۰۳۹ | ۰/۵۸۴ | ۰/۲۵۳ | ۰/۵۰۰ | ۰/۰۸۰ | ۰/۸۲۴ | ۰/۷۶۶ | ۰/۳۶۷ | ۰/۶۲۱ | ۰/۶۱۷ | ۰/۵۷۹ | ۰/۷۰۳ |
| ۱۳ | ۵۷۶۹۰۳ | ۳۷۶۰۸۵۲ | ۰/۰۹۷ | ۰/۲۴۷ | ۰/۱۴۶ | ۰/۷۵۴ | ۰/۳۲۷ | ۰/۰۶۸ | ۰/۲۴۷ | ۰/۳۰۶ | ۰/۶۵۷ | ۰/۹۳۲ | ۰/۶۹۶ |
| ۱۴ | ۵۷۶۶۵۲ | ۳۷۵۹۹۱۹ | ۰/۱۳۴ | ۰/۸۴۱ | ۰/۴۴۲ | ۰/۳۹۴ | ۰/۹۶۷ | ۰/۷۶۹ | ۰/۵۷۴ | ۰/۹۱۲ | ۰/۱۳۰ | ۰/۰۱۱ | ۰/۸۹۱ |
| ۱۵ | ۵۷۶۷۱۵ | ۳۷۵۹۱۴۵ | ۰/۳۱۱ | ۰/۷۵۷ | ۰/۵۶۲ | ۰/۰۷۶ | ۰/۰۸۱ | ۰/۶۱۷ | ۰/۵۱۴ | ۰/۳۳۰ | ۰/۱۴۱ | ۰/۷۱۴ | ۰/۶۳۳ |
| ۱۶ | ۵۷۶۲۰۹ | ۳۷۵۹۰۸۳ | ۰/۵۵۶ | ۰/۱۱۰ | ۰/۹۱۳ | ۰/۹۳۱ | ۰/۱۰۲ | ۰/۹۱۲ | ۰/۷۳۰ | ۰/۶۶۷ | ۰/۴۷۷ | ۰/۳۴۸ | ۰/۲۱۶ |
| ۱۷ | ۵۷۶۴۱۱ | ۳۷۵۸۵۸۲ | ۰/۷۷۸ | ۰/۲۹۴ | ۰/۱۹۳ | ۰/۸۰۷ | ۰/۷۳۸ | ۰/۳۷۷ | ۰/۰۲۳ | ۰/۹۲۶ | ۰/۲۷۳ | ۰/۹۶۱ | ۰/۴۵۴ |
| ۱۸ | ۵۷۶۴۷۰ | ۳۷۵۸۴۹۴ | ۰/۱۸۷ | ۰/۶۹۴ | ۰/۲۷۲ | ۰/۶۵۲ | ۰/۵۴۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۳۳۹ | ۰/۲۴۶ | ۰/۴۶۱ | ۰/۴۴۱ | ۰/۳۶۷ |
| ۱۹ | ۵۷۶۲۸۶ | ۳۷۵۸۴۶۰ | ۰/۴۰۷ | ۰/۱۸۹ | ۰/۵۷۲ | ۰/۸۸۳ | ۰/۵۸۸ | ۰/۵۳۵ | ۰/۰۷۷ | ۰/۴۳۴ | ۰/۸۸۸ | ۰/۰۵۸ | ۰/۴۷۸ |
| ۲۰ | ۵۷۶۸۶۲ | ۳۷۵۸۱۷۱ | ۰/۳۰۲ | ۰/۸۷۵ | ۰/۶۰۷ | ۰/۱۶۳ | ۰/۶۳۱ | ۰/۳۱۸ | ۰/۵۲۳ | ۰/۵۵۶ | ۰/۰۵۰ | ۰/۸۶۷ | ۰/۷۶۱ |

۵- نتیجه‌گیری

شده هست یا نه بسیار حایز اهمیت است. در اینجا نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۸۲ درصد از نقاط شناسایی شده دارای تعدیل صحیح با MPM بر اساس این روش است. این سازگاری بالا بیانگر این مطلب است که این روش برای استفاده در اکتشاف و شناسایی اولیه مناطق پر پتانسیل ماده معدنی گیلسونایت عملکرد خوبی دارد.

۶- مراجع

- [1] Marsh, H., Akitt, H. W., Hurley, J. M., Melvin, J., and Warburton, A. P. (1971). "Formation of graphitizable carbons from gilsonite pitch, and polyvinyl chloride -- a mass spectrometric and NMR study". *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology*, 21: 251-260.
- [2] Lawal, K. A. (2014). "Economics of Steam-Assisted Gravity Drainage for the Nigerian Bitumen Deposit". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 116 (April): 28-35.
- [3] Abedi, M., Torabi, S. A., Norouzi, G. H., and Hamzeh, M. (2015). "ELECTRE III: A knowledge-driven method for integration of geophysical data with geological and geochemical data in mineral prospectivity mapping". *The Journal of Applied Geophysics*, 117: 138-140.
- [4] Lee, S., Song, K. Y., Kim, Y., and Park, I. (2012). "Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model". *Hydrogeology Journal*, 20: 1511-1527.
- [5] Geranian, H., Tabatabaei, S. H., Asadi, H. H., and Carranza, E. J. M. (2016). "Application of discriminant analysis and support vector machine in mapping gold potential areas for further drilling in the Sari-Gunay gold deposit, NW Iran". *Natural Resources Research*, 25: 145-159.
- [6] Feizi, F., Ramezanali, A. K., and Mansouri, E. (2017). "Calcic iron skarn prospectivity mapping based on fuzzy AHP method, a case study in Varan area, Markazi province". *Journal of Geosciences*, 21: 123-126.
- [7] Carranza, E. J. M. (2008). "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS". *Elsevier science*, 11: pp. 368.
- [8] Abedi, M., Gholami, A., and Norouzi, G. H. (2013). "A stable downward continuation of airborne magnetic data: a case study for mineral prospectivity mapping in Central Iran". *Computers & Geosciences*, 52: 269-280.
- [9] Ertugrul, I., and Karakasoglu, N. (2007). "Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods". *Expert*

در اینجا، استفاده موفقیت‌آمیز از یک روش ترکیبی در تهیه نقشه‌های پتانسیل‌یابی ماده معدنی گیلسونایت تحت عنوان FAHP-FTOPSIS برای انواع داده‌های اکتشافی به منطقه گیلانغرب در مراحل اولیه اکتشاف مورد بحث قرار گرفت. این روش بر اساس دو تکنیک مشهور در تهیه نقشه‌های پتانسیل‌یابی، Fuzzy AHP و Fuzzy TOPSIS بنا شده است. در این روش، وزن معیارها و زیرمعیار بر اساس روش FAHP و ماتریس مقایسه زوجی به دست آمد و رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش FTOPSIS انجام شد. ماتریس مقایسه زوجی توسط پنج متخصص در زمینه اکتشاف گیلسونایت تهیه و سپس گزینه‌های موجود با روش FTOPSIS رتبه‌بندی شدند. نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منطقه نیز بر اساس نتایج این روش حاصل و مورد ارزیابی قرار گرفت. (شکل ۹).

روش FAHP-FTOPSIS استفاده شده در اینجا در دسته روش‌هایی است که هم دانش‌محور و هم داده‌محور هستند. این روش به عنوان یک الگوریتم دانش‌محور، به یک بردار وزن معیارها نیاز دارد، اما از سیستم استنتاج به عنوان روش‌های دانش‌محور استفاده نمی‌کند (مانند منطق فازی). در اینجا نگاه به رتبه‌بندی بر اساس فاصله هر گزینه نسبت به مثبت و منفی ایده‌آل است. این نگاه مشابه به خوشه‌بندی فازی است که به شباهت هر یک از گزینه‌ها با مقایسه با نمونه‌های ایده‌آل آن خوشه منجر می‌شود (نمونه‌های اولیه خوشه‌ها، راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی هستند)، بنابراین روش پیشنهادی، روشی مبتنی بر داده یا دانش‌محور نیست، بلکه یک روش ترکیبی است. پس از فرآیند ادغام، تیم اکتشافی ۱۰۹ نقطه (مکان) با پتانسیل بالای کانی‌سازی گیلسونایت را شناسایی کرده و از نتایج آن برای ارزیابی روش حاضر استفاده گردید. نکته قابل توجه در بحث تهیه نقشه‌های پتانسیل‌یابی، این است که با توجه به دخالت و تاثیرگذاری عوامل متعدد در شکل‌گیری کانی‌زایی‌ها و عدم امکان دسترسی و به کارگیری تمامی عوامل یاد شده، انتظار تطابق کامل نقشه‌های پتانسیل‌یابی با واقعیت موجود وجود ندارد و همواره درصدی از عدم قطعیت در این نقشه‌ها وجود دارد اما درصد انطباق در ناحیه معرفی شده به عنوان مناطق پرپتانسیل باید تعداد قابل توجهی از نقاطی که در آینده قابل شناسایی هستند را پوشش دهند و این مساله در تعیین و تبیین این نکته که روش به کار گرفته شده آیا روشی مناسبی برای به کارگیری در شناسایی ماده معدنی یاد

- C. (2014). "Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company". *European Journal of Operational Research*, 233: 432-447.
- [21] Asadi, H. H., Sansoleimani, A., Fatehi, M., and Carranza, E. J. M. (2016). "An AHP-TOPSIS predictive model for district-scale mapping of Porphyry Cu-Au potential: A case study from Salafchegan Area (Central Iran)". *Natural Resources Research*, 25(4): 417-429.
- [22] Bordenave, M., and Hegre, J. (2010). "Current Distribution of Oil and Gas Fields in the Zagros Fold Belt of Iran and Contiguous Offshore as the Result of the Petroleum Systems". *Geological Society, London, Special Publications*, 291-353.
- [23] Bourdet, D. (2002). "Well Test Analysis: The Use of Advanced Interpretation Models". Elsevier, New York, NY, USA, pp. 426.
- [24] Dagdeviren, M., Yavuz, S., and Kilinc, N. (2009). "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment". *Expert Systems with Applications*, 36(4): 8143-8151.
- Systems with Applications, 36(1): 702-715.
- [10] Carranza, E. J. M. (2004). "Weights-of-evidence modelling of mineral potential: A case study using small number of prospects, Abra, Philippines". *Natural Resources Research*, 13: 173-187.
- [11] Carranza, E. J. M. (2010). "Improved wildcat modelling of mineral prospectivity". *Resource Geology*, 60: 129-149.
- [12] Hosseinali, F., and Alesheikh, A. A. (2008). "Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration". *American Journal of Applied Sciences*, 5(9): 1187-1198.
- [13] Beikkhakhian, Y., Javanmardi, M., Karbasian, M., and Khayambashi, B. (2015). "The application of ISM model in evaluating agile suppliers selection criteria and ranking suppliers using fuzzy TOPSIS-AHP methods". *Expert Systems with Applications*, 42: 6224-6236.
- [14] Gumus, A. T. (2009). "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology". *Expert Systems with Applications*, 36: 4067-4074.
- [15] Baykasoglu, A., Kaplanoglu, V., Durmusoglu, Z., and Sahin, C. (2013). "Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection". *Expert Systems with Applications*, 40(3): 899-907.
- [16] Saeedpoor, M., Vafadarnikjoo, A., Mobin, M., and Rastegari, A. (2015). "A Seroquel model approach integrated with fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies to rank life insurance firms". *Proceedings of the American Society for Engineering Management. International Annual Conference, Indianapolis, Indiana, USA*.
- [17] Saaty, T. L. (1980). "Analytic hierarchy process". New York: McGraw Hill.
- [18] Hwang, C. L., and Yoon, K. (1981). "Multiple attributes decision making methods and applications". Berlin, Springer.
- [19] Lai, Y. J., Liu, T. Y., and Hwang, C. L. (1994). "TOPSIS for MODM". *European Journal of Operational Research*, 76: 486-500.
- [20] Kannan, D., Jabbour, A. B. L. D. S., and Jabbour, C. J.
-
- ¹ Gilsonite
- ² Mineral Potential Mapping (MPM)
- ³ Multi-Criterion Decision Making (MCDM)
- ⁴ Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
- ⁵ Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
- ⁶ Triangular fuzzy number (TFN)
- ⁷ extent analysis
- ⁸ fuzzy set numbers
- ⁹ positive ideal solution (PIS)
- ¹⁰ Negative ideal solution (NIS)
- ¹¹ True Color Composition (TCC)
- ¹² False Color Composition (FCC)
- ¹³ Principal Component Analysis (PCA)
- ¹⁴ Consistency Ratio (CR)



Gilsonite Mineral Potential of Gilan-e Gharb to Qasr-e Shirin using FAHP-FTOPSIS Prediction Model

Pahlavani P.^{1*}, Farahani S.², Badpa M.³

1- Associate Professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, Dept. of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

pahlavani@ut.ac.ir

2- Ph.D Student, Dept. of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Salman.Farahani@ut.ac.ir

3- Ph.D Student, Dept. of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

miadbadpa@ut.ac.ir

(Received: 03 Sep. 2020, Accepted: 11 Feb. 2021)

Abstract: Gilan-e Gharb region has been located in the west of Iran and it has special features in terms of geology. Remote sensing data (satellite images), geology, tectonics and mineral data sets of the region were used to prepare an innovative integrated method for the exploration of Gilsonite mineral. Effective criteria and sub-criteria in the exploration of this mineral were identified and evaluated according to the available exploration data. Afterwards, these criteria were weighted using Fuzzy Analytical Hierarchical Process (FAHP). Accordingly, the ideal positive and negative solutions were ranked using a Fuzzy TOPSIS method to prepare a mineral potential mapping (MPM) of Gilsonite in Gilan-e Gharb region. The product of this paper is a potential map used for optimal identification in the early stages of exploration of Gilsonite mineralization that reduces the time, cost, and risk of exploration. Finally, the field's visit and investigation has been accomplished for the regions with a high potential of Gilsonite mineralization to evaluate the proposed method. The results showed that 82% of the identified points had proper adjustment to the MPM. This high adaptation showed that the proposed method has good performance in Gilsonite exploration.

Keywords: Integration of exploratory data, FuzzyAHP-FuzzyTOPSIS, Mineral potential detection, Gilsonite, Gilan-e Gharb region.

INTRODUCTION

As Gilsonite industry is a strategic component in the world and Iran, Gilsonite deposit's exploration has a high priority. Exploring new Gilsonite deposits and recognizing prospective zones within the predefined region is the main purpose of prospecting level in the mineral exploration. To attain this goal, multiple data-sets should be collected, analyzed, and integrated for the mineral potential mapping (MPM) in the region of interest [1,2]. MPM is a typical multiple criteria decision-making (MCDM) function that results in a predictive model of prospective zones within the region of interest. Generally, there are two main types



COPYRIGHTS

©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

of modeling in MCDM. The first type is known as data-driven methods. In these methods, the variables of the model are determined with consideration of available evidence as well as explored models in any study area [3]. In the second type, known as knowledge-driven methods, the model's variables are estimated with exploratory purpose and other influential factors by the experts. Usually, when the exploration data is limited and not significant; a knowledge-driven method based on the expert opinions is used [4]. In these methods, the importance of the control maps is based on experts' experiences [5].

One of the more popular MCDM methods based on the knowledge-driven for MPM is the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) [6]. In this method, a set of criteria and sub-criteria is made and weighted according to their importance of the model. Input data are evaluated based on these criteria and receive the final scores that indicate the weights [7]. Another method that is also well-known is the Fuzzy Technique for Order Preference by fuzzy Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) [8]. In this method, the data are compared to an ideals (positive and negative) under fuzzy environment. This simulator is a process of common in humans, in which people evaluate things that are not based on some criteria, but compared to the ideal instance of the same type. In this paper, to get all the benefits of these methods, these two methods have been integrated as the FuzzyAHP-FTOPSIS and applied to MPM of Gilsonite in the exploratory Zone (Gilan-e Gharb).

STUDY AREA AND DATASETS

The area of the Gilan-e Gharb exploratory zone is 1277 Km² and is located in Kermanshah province, between the cities of Qasr-e Shirin and Gilan-e Gharb. This zone is located mainly in the Shak-e Maydan region, which is one of the most susceptible regions of Iran for the exploration of bitumen and Gilsonite. This zone is structurally located in the folded Zagros zone, where the eastern parts is the portion of the Lorestan sedimentary basin and the western part is the portion of the sedimentary basin of the northern Dezful. In terms of hydrocarbon potential, the studied area includes surface potential that is mainly Gilsonite.

Most of the known hydrocarbon resources in the Gilan-e Gharb zone are related to the structures of the anticline. In identifying and exploring the potential of Gilsonite, the study of folding processes, faults, fractures and their formation mechanism is of great importance. In this area, anticlines are the main structures that are host minerals. Also, the important and abundant structures in the zone are faults and fractures that control mineral deposit location in the anticlines. The main anticlines of this zone are: the anticlines of Imam Hassan, Visionan, Oshtoran, Darwana, and Siya Kouh. The criteria used are grouped into three types of geological data, mineralization data, and remote sensing data and totally, eight layers of different data-sets were produced and used. Furthermore, knowledge of five experts were used in this process and the opinions of these experts were combined to gauge the overall score for different data-sets.

METHODS

An integrated FAHP-FTOPSIS was proposed to combine the input exploration data and to create the final MPM of the Gilan-e Gharb zone. In this regard, a hierarchy structure for Gilsonite exploration in the studied area was prepared using the input exploration data (Figure 1). In the phase I, the criteria and sub-criteria were identified and evaluated, and 8 pairwise comparison matrixes were created and 21 input sub-criteria were compared to indicate Gilsonite potential in the Gilan-e Gharb zone. In the phase II, using the FAHP method, weights of criteria and sub-criteria were determined. Consistency Ratio (CR) values for this pairwise comparison were less than 0.1, hence, these matrixes are consistent and thus these weights of criteria and sub-criteria are acceptable [9,10]. In the phase III, using FTOPSIS the alternatives have been ranked in the case study.

FINDINGS AND ARGUMENT

A final MPM for Gilsonite mineralization was created and reclassified into ten classes. In Figure 2 the corresponding red color corresponds to the high-potential regions of the Gilsonite exploration. The brown solid circles shown on this map (Figure 2) are the locations of the mineralization explored on this zone, which are used to evaluate the output of the method. As can be seen, explored mineralization points are consistent with the output of MPM.

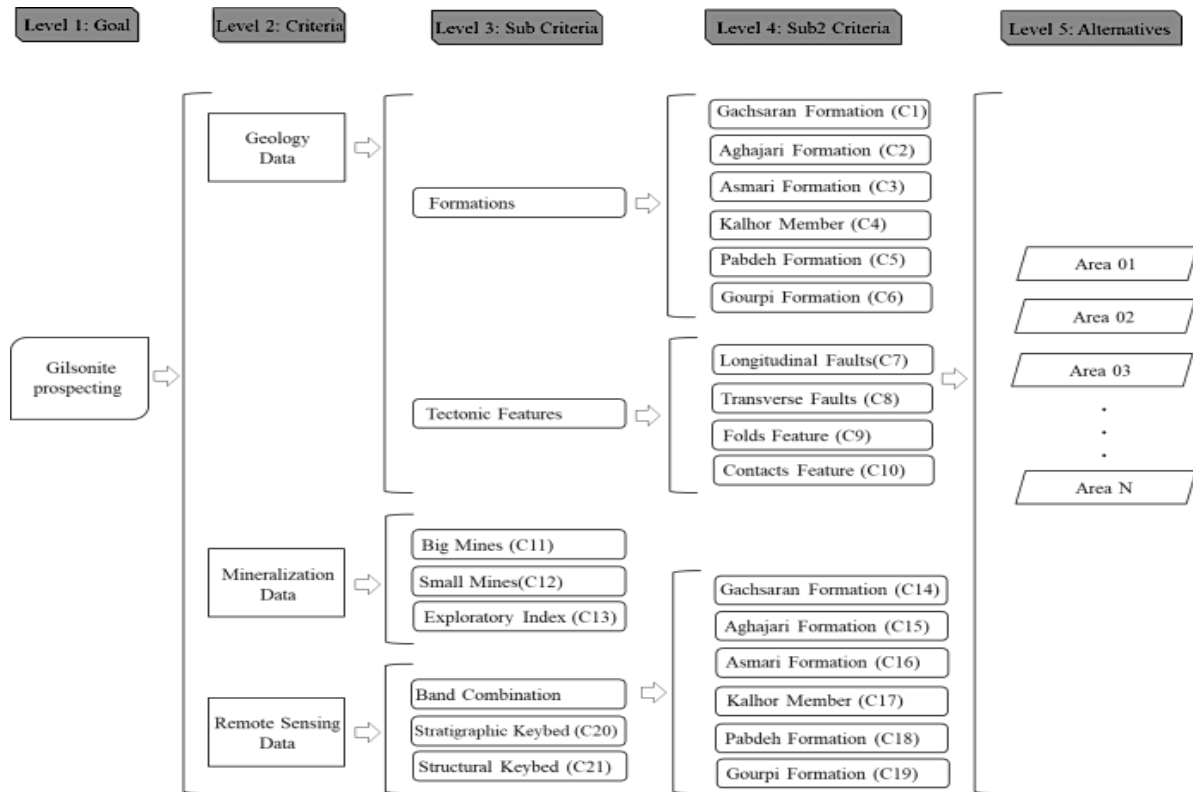


Figure 1. A hierarchy structure for Gilsonite exploration in the proposed method

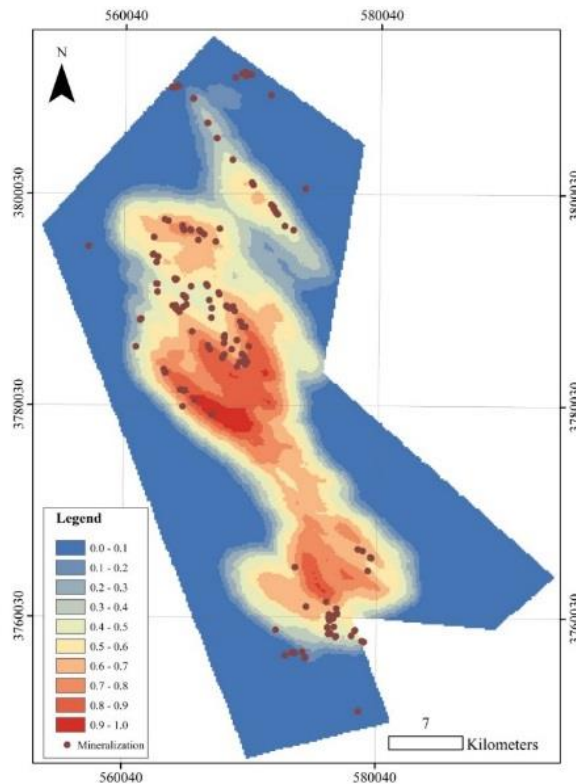


Figure 2. Potential mapping for Gilsonite mineralization in the Gilan-e Gharb zone

A noteworthy point in discussion of preparing potential maps is that due to the involvement and influence of various factors in the formation and formation of minerals and the impossibility of access and use of all these factors, there is no expectation of full compliance of potential maps with reality and there is always a percentage of uncertainty. But the percentage of compliance in the area designated as potential areas should cover a significant number of points that can be identified in the future. This issue in determining and explaining whether the method used is suitable or not is very important. After the integration process, the exploratory team identified 109 points (locations) with a high potential of Gilsonite mineralization. These points were used to evaluate the method. The results showed that 82% of the identified points have proper adjustment to the MPM. This high adaptation showed that the method is of good performance for use in Gilsonite exploration.

CONCLUSION

In this paper, successful application of an MCDM method called FAHP-FTOPSIS is evaluated for a variety of exploratory data to the Gilan-e Gharb zone in the west of Iran. This method is based on the two most popular MCDM methods known as the Fuzzy AHP and the Fuzzy TOPSIS. In this method, the criteria and sub-criteria weights were obtained based on the pairwise comparison matrix of FAHP method and the alternatives were ranked by the FTOPSIS method. The pairwise comparison matrix was prepared by five experts in the field of Gilsonite exploration. Then, the alternatives were ranked by the FTOPSIS method. The raster map pixels were prepared based on the results of the method.

The FAHP-FTOPSIS method used here is similar to the knowledge-driven and data-driven methods. This method as a knowledge-driven algorithm needs a criteria weight vector but does not use the inference system as the knowledge-driven methods (such as fuzzy logic). Moreover, the ranking strategy is only based on an ideal positive and negative alternative distance, similar to fuzzy clustering, which results in the similarity of each alternative by comparing with cluster samples (the prototypes of clusters are positive and negative ideal solutions). Therefore, the proposed method is not a pure data-driven or knowledge-driven method, but a hybrid method. Accordingly, by identifying the potential points of the Gilesonite mineralization in a good achieved performance, it is advised to follow up and explore.

REFERENCES

- [1] Geranian, H., Tabatabaei, S. H., Asadi, H. H., and Carranza, E. J. M. (2016). "Application of discriminant analysis and support vector machine in mapping gold potential areas for further drilling in the Sari-Gunay gold deposit, NW Iran". *Natural Resources Research*, 25: 145-159.
- [2] Geranian, H., Tabatabaei, S. H., Asadi, H. H., and Carranza, E. J. M. (2016). "Application of discriminant analysis and support vector machine in mapping gold potential areas for further drilling in the Sari-Gunay gold deposit, NW Iran". *Natural Resources Research*, 25: 145-159.
- [3] Abedi, M., Torabi, S. A., Norouzi, G. H., and Hamzeh, M. (2015). "ELECTRE III: A knowledge-driven method for integration of geophysical data with geological and geochemical data in mineral prospectivity mapping". *The Journal of Applied Geophysics*, 117: 138-140.
- [4] Beikkhakhian, Y., Javanmardi, M., Karbasian, M., and Khayambashi, B. (2015). "The application of ISM model in evaluating agile suppliers selection criteria and ranking suppliers using fuzzy TOPSIS-AHP methods". *Expert Systems with Applications*, 42: 6224-6236.
- [5] Asadi, H. H., Sansoleimani, A., Fatehi, M., and Carranza, E. J. M. (2016). "An AHP-TOPSIS predictive model for district-scale mapping of Porphyry Cu-Au potential: A case study from Salafchegan Area (Central Iran)". *Natural Resources Research*, 25(4): 417-429.
- [6] Lee, S., Song, K. Y., Kim, Y., and Park, I. (2012). "Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model". *Hydrogeology Journal*, 20: 1511-1527.
- [7] Carranza, E. J. M. (2010). "Improved wildcat modelling of mineral prospectivity". *Resource Geology*, 60: 129-149.
- [8] Feizi, F., Ramezani, A. K., and Mansouri, E. (2017). "Calcic iron skarn prospectivity mapping based on fuzzy AHP

- method, a case study in Varan area, Markazi province*". *Journal of Geosciences*, 21: 123-126.
- [9] Saeedpoor, M., Vafadarnikjoo, A., Mobin, M., and Rastegari, A. (2015). "A Seroquel model approach integrated with fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies to rank life insurance firms". Proceedings of the American Society for Engineering Management. International Annual Conference, Indianapolis, Indiana, USA.
- [10] Kannan, D., Jabbour, A. B. L. D. S., and Jabbour, C. J. C. (2014). "Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company". *European Journal of Operational Research*, 233: 432-447.