

نشریه مهندسی منابع معدنی Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)



INTERNATIONAL UNIVERSITY دوره سوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۱ تا ۱۱ Vol. 3, No. 1, Spring 2018, pp. 1-11

کاربرد روش میانگین هندسی در تلفیق لایههای اطلاعاتی ژئوشیمیایی برای تولید نقشه شاهد ژئوشیمی

میثم نیکفرجام⁽، اردشیر هزارخانی^{۲°}، کاوه پازند^۳

۱ – کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ۲- استاد، گروه مهندسی معدن، اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ۳- دکترا، باشگاه پژوهشگران جوان و نخیگان، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

(دریافت ۱۳۹۶/۰۸/۰۴، پذیرش ۱۳۹۷/۰۱/۲۲)

چکیدہ

نقشه شاهد ژئوشیمی یکی از مهمترین لایههای اطلاعاتی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی است. در این پژوهش برای رفع کاستیهای نقشههای شاهد گسسته، از روش فازی پیوسته برای تهیه نقشه شاهد ژئوشیمی استفاده شد. ناحیه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، ورقه ۱۰۲۰٬۰۰۰ ورزقان است که در زون متالوژنی ارسباران واقع شده و میزبان کانسار مهم مس پورفیری – اسکارن سونگون است. از ۲۰۹۰ آبراههای که توسط سازمان زمینشناسی در ورقه ورزقان برداشت شده است به عنوان داده اولیه برای انجام مطالعات ژئوشیمی استفاده رسوب آبراههای که توسط سازمان زمینشناسی در ورقه ورزقان برداشت شده است به عنوان داده اولیه برای انجام مطالعات ژئوشیمی استفاده شد. به دلیل نوع نمونهبرداری انجام شده در این ناحیه، ابتدا حوضه آبراههای بالادست برای هر کدام از نمونهها ترسیم و مشخصات هر نمونه به حوضه بالادست مانند آن نسبت داده شد. با توجه به این که عناصری مانند مس، مولیبدن، نقره، سرب، روی، طلا و آرسنیک، به عنوان عناصر شاخص کانسارهای مس پورفیری مطرحاند، از عناصر یاد شده برای شناسایی مناطق مستعد کانیسازی مس پورفیری استفاده شد. برای فازی سازی نقشه هر یک از عناصر گفته شده، از تابع Large و لجستیک بهره گرفته شد. پس از فازی سازی ، از روش میانگین هندسی برای تلفیق نقشههای فازی حاصل شده، استفاده شد. نقشه تلفیق یافته به کمک نمودارهای آهنگ پیش بینی – مساحت اشغال شده مورد معالم ساخی قرار گرفتند. بر اساس این اعتبارسنجی، مشاهده شد که تلفیق نقشههای فازی شده با تابع Large، نتایم هیری این هیدسی محل تقاطع منحنی در این نمودار نمایانگر این است که با اشغال ۲۰ درصد از مساحت این ناحیه، ۸۰ درصد از کانسارهای مس پورفیری شناخه شده، قابل شناسایی در این نمودار نمایانگر این است که با اشغال ۲۰ درصد از مساحت این ناحیه، ۸۰ درصد از کانسارهای مس پورفیری شاخته

کلمات کلیدی

نقشه شاهد ژئوشیمی، تابع Large، روش میانگین هندسی، تلفیق، ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ ورزقان.

Email: ardehez@aut.ac.ir نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات ir دوره سوم، شماراه ۱۷ بهار ۱۳۹۷

نشريه مهندسي منابع معدني

۱– مقدمه

امروزه از روشهای متعددی برای تلفیق لایههای اطلاعاتی مختلف در تهیه نقشههای پتانسیل معدنی استفاده میشود. لایههای اطلاعاتی که در این نقشهها مورد تلفیق قرار می گیرند، شامل نقشههای شاهد ژئوشیمی، ژئوفیزیک، دورسنجی و زمین شناسی است. از روشهایی که برای تهیه نقشههای پتانسیل معدنی استفاده میشود، میتوان به روشهای دادهمحور و دانش محور اشاره کرد. روشهای دانش محور برای نواحی استفاده میشود که عملیات اکتشافی به خوبی در آنها انجام نشده یا تعداد کانسارهای شناخته شده اندک است. در این روش، از نظر و تجربه کارشناس برای وزن دهی برای مناطقی استفاده میشود که تعداد کانسارهای شناخته شده در آن ناحیه زیاد باشد [1]. روشهای فازی از جمله شده در آن ناحیه زیاد باشد [1]. روشهای فازی از جمله استفاده می کند [7].

در این پژوهش از ۱۰۶۷ نمونه رسوب آبراههای که توسط سازمان زمینشناسی برداشت و ارایه شده است، استفاده شد. با توجه به ماهیت نمونهبرداری انجام شده در این ناحیه، ابتدا حوضههای بالادست هرکدام از نمونهها با استفاده از شبکه آبراههای و خطوط توپوگرافی ترسیم شدند و مشخصات هر نمونه به حوضه بالادست آن، نسبت داده شد.

تاکنون در مطالعات و پژوهشهای مختلف از روشهای متنوعی برای تهیه نقشههای پتانسیل معدنی استفاده و اعتبارسنجی آنها انجام شده است. توجه به جزییات روشهای مورد استفاده برای تهیه هر یک از لایههای اطلاعاتی، بسیار مهم است که باید مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال در تهیه یک نقشه پتانسیل معدنی که با روش فازی تهیه شده است، توابع مختلف فازیساز برای فازی کردن دادههای هر کدام از لایههای اطلاعاتی وجود دارد که هر تابع نیز پارامترهایی دارد که عدم انتخاب صحیح آنها می تواند خروجی نادرستی را نتیجه دهد. علاوه بر این، روشهای مختلفی نیز برای تلفیق هركدام از نقشههای شاهد و لایههای اطلاعاتی وجود دارد كه توسط محققان مختلف استفاده شده است. از این و، در نظر گرفتن پیچیدگیهای یاد شده در قالب نوع تابع فازیساز و پارامترهای مختص آن و نیز نوع روش تلفیق لایه های اطلاعاتی، از جمله موارد مهم است که در تولید یک نقشه پتانسیل معدنی بسیار تاثیر گذار است.

در سالیان اخیر محققان توجه ویژهای به این موضوع کردهاند و روشهای بهینهای برای تهیه هر یک از لایههای اطلاعاتی برای نوع خاصی از کانسارها را ارایه دادهاند. برای مثال میتوان به پژوهشی که در مورد کانسارهای طلای کوهزایی در بخش طلاخیز سقز- سردشت که توسط الماسی و همکاران در سال ۲۰۱۷ انجام شده است، اشاره کرد [۳]. با توجه به موارد یاد شده و اهمیت جزییات روشهای مورد استفاده در تهیه نقشههای پتانسیل معدنی، در این پژوهش با تمرکز بر دو تابع فازیساز Earge و لجستیک، عملکرد روش میانگین هندسی در تلفیق نقشههای شاهد ژئوشیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- زمینشناسی ناحیه مورد مطالعه

ورقه یکصدهزارم ورزقان در تقسیم بندی زون های ساختاری کشور، در زون البرز غربی- آذربایجان قرار دارد (شکل ۱) که از حدود ۲۵ کیلومتری شرق اهر تا ۳۵ کیلومتری شرق جلفا امتداد دارد و شامل چهارگوش اهر و گوشه شمالی و شمال شرقی چهارگوش تبریز- پلدشت است. این محدوده به دلیل حضور فراوان معادن، کانسارها و اندیسهای مس پورفیری به ویژه معدن مس سونگون، مس و آهن اسکارن (مانند معدن متروکه انجرد) و طلا، نقره و مس اپی ترمال (مانند اندیسهای معدنی هیزهجان) به عنوان یک ایالت متالوژنی مهم در شمال غرب ایران به شمار میرود [۴]. قسمت اعظم این ناحیه را سنگهای آتشفشانی ائوسن و تودههای گرانیتوئیدی اليگوميوسن تشكيل مىدهد. به لحاظ چينه شناسى، قدمت واحدهای سنگی موجود در ناحیه مورد مطالعه مربوط به سنگهای دگرگونی قبل از کرتاسه است. واحدهای کرتاسه این ناحیه که عمدتا به صورت واحدهای آتش فشانی- رسوبی، واحدهای رسوبی و واحدهای ولکانیک نمایان می شوند، در بخشهای مرکزی و شمالی ناحیه، قابل مشاهدهاند. واحدهای آتشفشانی و رسوبی پالئوسن با گسترش در بخشهای میانی نقشه، قدیمیترین واحدهای سنوزوئیک ورقه ورزقاناند. فعالیت آتشفشانی در ائوسن سبب مشاهده واحدهایی همچون آندزیت، داسیت و تراکیت در بخشهایی از مرکز و شمال ناحیه مورد مطالعه شده است. واحدهای دوره الیگوسن که عمدتا گرانیت و گرانودیوریت، مونزونیت و دیوریت هستند، سبب کانیسازیهای با ارزشی در اطراف این تودههای نفوذی شدهاند. از جمله مهمترین کانی سازی های



شکل ۱: موقعیت ناحیه مورد مطالعه در نقشه زونهای ساختاری ایران (اصلاح پس از آقانباتی، ۱۳۸۳) [۱۵]

مس- مولیبدن پورفیری و نیز مس اسکارنی، میتوان به کانسار سونگون [۵] در مرکز نقشه یکصدهزار ورزقان اشاره کرد. در زمانهای الیگو- میوسن و پالئوسن نیز کنگلومرا و سنگهای آتشفشانی اسیدی را میتوان عمدتا در بخشهای جنوبی مشاهده کرد (شکل ۲).

۳- مدل توصیفی کانسارهای مس پورفیری

برای شناخت دقیق از پارامترهای موثر در کانیسازی و شکل گیری نوع کانسار مورد نظر، باید ابتدا مدل توصیفی کانسار هدف تعریف شود. سیستمهای مس پورفیری در حجمهای بزرگ (۱۰ تا بیش از ۱۰۰ کیلومتر مکعب) از سنگهای آلتره شده، تعریف میشوند که روی استوکها قرار گرفتهاند. همچنین ممکن است شامل کانیسازیهای اسکارن، جانشینی کربناتها، میزبان رسوبی و نیز اپیترمال سولفیداسیون بالا و متوسط، از فلزات پایه و گرانبها باشد [۶]. مدل توصیفی کانسارهای مس پورفیری در قالب محیط زمینشناسی، نکتونیکی، دگرسانیها و کانیسازیهای رایج و نیز زونبندی فلزی مطرح میشود. در این پژوهش به دلیل اهمیت بخش ژئوشیمی و توزیع عناصر و زونبندی فلزی در این کانسارهای مس

پورفیری شده است. زونبندی فلزی، به ویژه در بخشهای عمیق سیستمهای مس پورفیری به خوبی ثبت شده است. عناصر Mo، Cu و Au هستههای پتاسیک، کلریت-سریسیت و سریسیت سیستمهای مس پورفیری را مشخص میکند. هستههای Mo، Cu و Au هالههایی در مقیاس کیلومتری دارند که با مقادیر آنومالیهایی از عناصر Zn، dd، As و Ag که شرایط دما پایین و هیدروترمال را نشان میدهند، معرفی میشوند [۵]، بنابراین با در نظر گرفتن عناصر Mo، Cu، می موند [۵]، بنابراین با در نظر گرفتن عناصر Sn، du می موند معرفی مس می ورفیری، نقشه فازی پیوسته هر کدام از این عناصر ترسیم و سپس تلفیق شدند.

۴- فرآیند فازیسازی

مجموعههای فازی در واقع گسترش یافته مجموعههای کلاسیکاند. مجموعههای کلاسیک، تنها اجازه عضویت کامل یا عدم عضویت را میدهند، در حالیکه مجموعههای فازی اجازه عضویت جزئی را نیز میدهند. در یک مجموعه کلاسیک، عضویت یا عدم عضویت عنصر x در مجموعه A، با یک تابع عضویت یا عدم عضویت عنصر x در مجموعه A، با یک تابع مشخصه $(x)_A$ توصیف میشود؛ جائیکه $1 = (x)_A$ است، اگر $A \neq x$ باشد و $0 = (x)_A$ است، اگر $A \neq x$ باشد. تئوری





U میباشد. این متغیرها ریشه در زبان طبیعی دارند ولی متغیرهای فازی در عین نادقیق بودن بسیار قابل فهم هستند و در زبان ما انسانها بسیار استفاده میشوند. بهعنوان مثال اگر x نشان دهنده ارتفاع باشد، (x)T ممکن است بهصورت مجموعههای کوتاه، متوسط یا بلند ذکر شود. یک تابع عضویت اساسا یک منحنی است که معین میکند که چگونه هر نقطه در فضای ورودی با یک مقدار عضویت (درجه عضویت)، بین ۰ و ۱ رسم میشود [۶].

1-۴- فازی سازی با تابع Large

تابع Large اولینبار توسط سوکالاس و یوریگ^۱ (۱۹۹۷) ارایه شدهاست [۸]. عبارت تابع عضویت یاد شده به صورت رابطه ۲ است:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x}{f_2})^{f_1}} \tag{(7)}$$

مجموعه فازی با تعریف عضویت جزئی، این مفهوم را گسترش می دهد. یک مجموعه فازی A، از مجموعه U، با تابع عضویت $\mu_A(x)$ (x) مشخص می شود که مقادیری در بازه [--1] را به خود اختصاص می دهد. مجموعه های فازی، احساسات رایج نظیر آرام، سریع، کوچک، بزرگ، سنگین، کم، متوسط، زیاد، بلند و غیره را ارائه می دهند. یک عنصر گرفته شده می تواند در یک زمان، عضو بیش از یک مجموعه فازی باشد. یک مجموعه فازی A، ممکن است به صورت مجموعه ای از زوج مرتبها ارائه شود. هر جفت شامل یک عنصر عمومی x و درجه عضویتش i، می باشد [7].

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) | x \in U \}$$

$$(1)$$

 $\mu_A(x)$ که در آن x را مقدار پشتیبان گوییم اگر (x) باشد. یک متغیر زبانی x در مجموعه U به وسیله $\mu(x) = \left\{ \mu_x^{-1}, \mu_x^{-2}, ..., \mu_x^{-k} \right\}$ و $T(x) = \left\{ T_x^{-1}, T_x^{-2}, ..., T_x^{-k} \right\}$ مشخص میشود. که در آن (x) مجموعهای از متغیر زبانی x است که هر T_x^{-1} یک عدد فازی با تابع عضویت x

که در آن:

x مقدار عضویت فازی مانند متغیر μ (x)

: مقدار گستردگی^۲ (به صورت منفی از ۱ تا ۹) f_i : مقدار میانی^۳ (جایی که مقدار عضویت برابر f_0 است.)

میکل تابع به وسیله این دو پارامتر کنترل میشود و در شکل تابع به وسیله این دو پارامتر کنترل میشود و در مجموعه دادها لحاظ شده است. به این فرآیند اختصاص وزن با استفاده از تابع عضویت گفته میشود و فرآیند فازیسازی اطلاق میشود [۸]. هدف از ارایه این روش استفاده از نظر کارشناس در انتقال دادهها به یک فضای مشخص برای تلفیق در مراحل بعد است.

تعیین مقادیر مناسب برای f_1 و f_2 مهمترین مساله برای به نتیجه رسیدن در استفاده از این تابع است. برای این منظور و برای به دست آوردن مقدار مناسب برای f این تابع برای مقادیر میانگین عنصر نقره، مقدارهای ۰،۸ ۰ و ۱ ترسیم شد. در همه این حالتها مقدار f_{i} ثابت و برابر با ۵ در نظر گرفته شد تا نقش _/ مشخص شود. همانطور که ملاحظه میشود با افزایش مقدار f_2 از ۲۷۵ تا ۱، تعداد نمونههایی که امتیاز فازیشان بیشتر از ۰٫۵ است، کاهش مییابد. از اینرو هرچه این مقدار افزایش یابد، حد آستانه برای شناسایی آنومالی افزایش می یابد (شکل ۳). با توجه به اینکه در روش آمار کلاسیک، مقدار حد آستانه برای جداسازی مقادیر آنومال از زمینه برابر مقدار میانگین به اضافه یک انحراف استاندارد است [۹]. بنابراین برای شناسایی مقادیر آنومالی از این مقدار استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا دادههای عناصر منتخب با استفاده از لگاریتم طبیعی نرمال شدند (شکل ۴) و سپس پارامترهای آماری آنها محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از رابطههای (۳ و ۴) این پارامترها که برای دادهها نرمال شده بودند (جدول ۱)، به پارامترهای آماری دادههای اولیه تبدیل شدند. مقادیر محاسبه شده برای حد آستانهای، آنومالی ممکن و احتمالی در جدول ۲ ارایه شده است.

$$\overline{X} = e^{\left(\alpha + \frac{\beta^2}{2}\right)} \tag{(7)}$$

$$S = \sqrt{X^2 (e^{\beta^2} - 1)} \tag{(f)}$$

۰٬۲۷۵ برای درک بیشتر نقش f_2 در نقشه خروجی، مقادیر ۲۷۵، و ۱ برای f_2 در عنصر نقره لحاظ شد و به ترتیب در شکلهای ۵ و ۶ ارایه شدند. همان طور که ملاحظه می شود در شکل ۵





 f_2 شکل ۳: اشکال مختلف تابع Large با استفاده از مقادیر متغیر T_2



شکل ۴: هیستوگرامهای دادههای خام (نمودار بالا) و نرمال یافته (نمودار پایین) عنصر نقره

	Ag	As	Au	Cu	Мо	Pb	Zn
Mean	-1.72	2.45	-5.48	3.86	0.28	2.88	4.66
Median	-1.71	2.39	-5.74	3.79	0.18	2.98	4.61
Mode	-1.71	2.96	-6.27	4.20	-0.11	3.33	4.70
Std. Deviation	0.34	0.75	0.97	0.50	0.56	0.99	0.25
Variance	.117	.570	.940	.252	.313	.978	.063
Skewness	165	037	1.457	.476	.879	-2.078	.519
Kurtosis	.500	2.105	1.496	2.370	1.333	8.709	2.548
Minimum	-2.81	-2.82	-6.81	0.73	-2.30	-3.41	3.40
Maximum	-0.37	4.88	-2.31	5.69	2.56	5.47	6.11

جدول ۱: پارامترهای آماری دادههای نرمال شده با استفاده از تبدیل لگاریتمی

جدول ۲: تبدیل دادههای نرمال شده به دادههای اولیه و تعیین حدود جوامع ژئوشیمیایی

	Ag	As	Au	Cu	Мо	Pb	Zn
М	0.19	15.36	0.0067	53.8	1.54	29	109
S	0.07	13.45	0.0083	29	0.93	37	28
M+S	0.26	28.81	0.0150	83	2.48	66	137
M+2S	0.32	42.26	0.0233	111	3.41	103	165
M+3S	0.39	55.71	0.0317	140	4.35	141	193

که مقدار f_2 کمتری دارد نمونههای بیشتری پس از حد آستانه قرار می گیرند و در نتیجه مقادیری که بین زمینه و آنومالی قرار f_2 دارند به خوبی نمایش داده می شود. در شکل ۶ نیز که مقدار f_2 آن بیشتر است، دادههایی که پس از حد آستانه قرار می گیرند، کمترند و در نتیجه مقادیری که بین مقدار زمینه و آنومالی قرار می گیرند، محدودتر می شوند.

برای تعیین مقدار مناسب برای f_1 ، بهعنوان مثال برای عنصر نقره با در نظر گرفتن یک مقدار f_2 که نحوه به دست آوردن آن توضیح داده شد، f_1 های مختلفی از ۱ تا ۹ برای تابع لحاظ شده و ترسیم شد (شکل ۷). همان طور که مشاهده میشود مقدار f_1 از ۱ تا ۳ تغییر قابل توجهی از خود نشان میدهد و پس از آن تغییرات کاهش مییابد تا اینکه پس از ۵ میتوان گفت تغییرات ناچیز است، بنابراین در ادامه برای تهیه نقشهها با استفاده از تابع Large، از مقدار ۵ برای f_1 استفاده شد. جدول ۳ پارامترهای f_1 و f_2 استفاده شده برای عناصر مختلف را ارایه میدهد.

پس از تعیین شدن متغیرهای تابع مورد نظر، نقشههای ژئوشیمیایی هر عنصر تهیه و برای نمونه تعدادی از آنها در

دول ۳: متغیرهای تابع Large برای عناصر مختلف

f_2	f_l	م تابع فازی سازی	عنصر
۰/۲۵۷	۵	Large	نقره
۲۸/۸۱	۵	Large	آرسنيک
۰/۰۱۵	۵	Large	طلا
٨٣	۵	Large	مس
۲/۴۸	۵	Large	موليبدن
66	۵	Large	سرب
١٣٧	۵	Large	روى

شکل ۸ ارائه شد.

۲-۴- فازیسازی با تابع لجستیک

در تهیه نقشه پتانسیل معدنی، هدف، طبقهبندی مناطقی با



شکل ۵: نقشه شاهد ژئوشیمیایی عنصر نقره با استفاده از تابع ($f_2=0.275$ - $f_1=5$) Large





اولویت بالای اکتشافی برای اکتشافات بیشتر، مناطقی با الویت بسیار اندک و کلاسهایی بین این دو است، بنابراین در تهیه نقشه پتانسیل معدنی مشکل طبقهبندی مناطق و در نتیجه مشکل مدل نهایی که میتواند به صورت طبقهبندی شده ارایه شود، وجود دارد [۱۰]. یوسفی و کارانزا در سال ۲۰۱۵ نشان



شکل ۶: نقشه شاهد ژئوشیمیایی عنصر نقره با استفاده از تابع $({
m f_2=1-f_1=5})$ Large

دادند که تابع لجستیک سیگموییدی میتواند برای انتقال دادههای یک لایه شاهد استفاده شود [11]. بنابراین دادهها در نقشه شاهد وزن دار، بین · و ۱ قرار میگیرند. از این رو توابع مختلفی وجود دارند که میتوانند دادهها را بر اساس مقدار کمینه و بیشینه شان به فضای لجستیکی منتقل کند. در این پژوهش از تابع لجستیکی استفاده شده به وسیله یوسفی و کارانزا در سال ۲۰۱۵، برای انتقال مجموعه مقادیر شاهد به یک فضای یکسان به کار گرفته شده است [10].

$$F_{Ev} = \frac{1}{1 + e^{-s(Ev-i)}}$$
(Δ)

که در آن: F_{ev}: یک امتیاز فازی بین ۰ و ۱ و یک وزن فازی در فضای لجستیک i: نقطه عطف s: شیب تابع لجستیکی Ev: مقادیر شاهد هر پیکسل در نقشه ورودی است.

۵- تعیین شیب و نقطه عطف تابع لجستیک

برای فازی سازی، معمولا به مقدار بیشینه یا بالاترین کلاس از مقادیر شاهد را امتیازی نزدیک به ۱ (همچون ۹۹،۰) می دهند و کمترین مقدار نیز با اختصاص امتیازی نزدیک به صفر (۱۰،۰) به آن در نظر گرفته می شود. بر اساس روش پیشنهاد شده، مقادیر مناسب برای شیب و نقطه عطف تابع لجستیکی، از حل دستگاه دو معادله و دو مجهول ارایه شده در رابطه ۶ حاصل می شود.

$$F_{Ev(\min)} = \frac{1}{1 + e^{-s(Ev(\min) - i)}}$$

$$F_{Ev(\max)} = \frac{1}{1 + e^{-s(Ev(\max) - i)}}$$
(9)

که در آن: F_{Ev(min)}:کمترین امتیاز فازی از مقادیر شاهد (معادل با ۰،۰۱) F_{Ev(max)}:بیشترین امتیاز فازی از مقادیر شاهد (معادل با ۰،۹۹)





شکل ۸: نقشههای پیوستهی فازی شده برای عناصر سرب (الف)، روی (ب)، مس (ج)، مولیبدن (د)

Ev(min): مقادیر شاهد کمینه متناظر در مجموعه دادههای ورودی

Ev(max) نیز مقادیر شاهد بیشینه متناظر در مجموعه دادههای ورودی است.

بنابراین دو معادله با دو مجهول شیب و نقطه عطف وجود دارد. با حل این معادله مقدار مناسب برای این دو متغیر حاصل میشود. با اختصاص ۰٬۰۱ و ۰٬۹۹ به ترتیب برای کمترین و بیشترین امتیاز فازی، مقادیر i و s محاسبه میشوند (رابطه ۷).

$$s = \frac{9.2}{Ev_{\text{max}} - Ev_{\text{min}}}$$

$$i = \frac{Ev_{\text{max}} - Ev_{\text{min}}}{2}$$
(Y)

با استفاده از مقادیر کمینه و بیشینه هر عنصر، مقادیر شیب و نقطه عطف تابع لجستیکی فازیساز حاصل شد. از اینرو با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه ۵، مقدار فازی هر عنصر برای هر پیکسل به دست آمد.

۶- تلفیق با استفاده از میانگین هندسی

میانگین هندسی به صورت ریشه الم از ضرب n مقدار تعریف می شود. میانگین هندسی (G_A) مجموعه دادههای تعریف می شود. میانگین هندسی ($(v_1, v_2, ..., v_n)$) به صورت رابطه ۸ تعریف می شود [۱۲].

$$G_{A}(\upsilon_{1},\upsilon_{2},...,\upsilon_{n}) = \prod_{i=1}^{n} \upsilon_{i} = \sqrt[n]{\upsilon_{1}\upsilon_{2}...\upsilon_{n}}$$
(A)

در تهیه نقشه پتانسیل معدنی، پارامترهای معادله ارایه شده در رابطه ۸ برای یک سلول واحد و یا هر پیکسل اعمال میشود. به این صورت که $f_1 = f_1$ مقدار فازی مربوط به یک معیار اکتشافی (به عنوان مثال مقدار فازی عنصر آرسنیک) در هر سلول واحد، $\mathcal{O}_2 = f_2$ مقدار فازی منبوط به یک معیار اکتشافی دیگر (در اینجا عنصر دیگر) و به همین صورت مقدار فازی برای f_i وزن فازی برای n معیار اکتشافی لحاظ میشود. بنابراین f_i وزن میانگین هندسی محاسبه شده است. بنابراین ناحیه مورد مطالعه فازی مربوط به شاخص ام در هر سلول است که با روش میانگین هندسی محاسبه شده است. بنابراین ناحیه مورد مطالعه باید به عنوان ماتریسی از پیکسلها در تصویر رستری در نظر گرفته شود، تا مقدار میانگین هندسی به صورت رابطه ۹ محاسبه شود [۱۳].

$$G_{A}[X] = G_{A} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} = = \begin{bmatrix} G_{A}(x_{11}) & G_{A}(x_{12}) & \dots & G_{A}(x_{1n}) \\ G_{A}(x_{21}) & G_{A}(x_{22}) & \dots & G_{A}(x_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{A}(x_{n1}) & G_{A}(x_{n2}) & \dots & G_{A}(x_{nn}) \end{bmatrix}$$

$$(9)$$

برای ناحیه مورد مطالعه رابطه میانگین هندسی به این صورت رابطه ۱۰ محاسبه شد.

$$G_{A_{Cu-Porphys}}(F_{Ag}, F_{As}, F_{Au}, F_{Cu}, F_{Mo}, F_{Pb}, F_{Zn})$$

= $7\sqrt{F_{Ag}F_{As}F_{Au}F_{Cu}F_{Mo}F_{Pb}F_{Zn}}$ (1.)

که در آن $(F_{Ag}, F_{As}, F_{Au}, F_{Cu}, F_{Mo}, F_{Pb}, F_{Zn})$ به ترتیب بیانگر مقادیر وزن فازی برای هر یک از عناصر نقره، آرسنیک، طلا، مس، مولیبدن، سرب و روی در هر پیکسل از تصویر رستری است. این مقادیر با استفاده از توابع لجستیکی و عang که در بخش فازیسازی با روشهای پیوسته مطرح شدند، حاصل شدهاند [۹]. پس از محاسبه مقادیر میانگین هندسی برای هر یک از پیکسلها، نقشه تلفیقیافته ترسیم شد (شکل ۹). همان طور که مشاهده می شود مقادیر پر پتانسیل در نقشه تلفیقیافته با اوزان تابع Large، اغلب منطبق بر کانسارهای مس پورفیری شناخته شده در ناحیه مورد مطالعه است (شکل ۹).

۷- اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی نقشه تلفیق یافته، از نمودار آهنگ پیشبینی- مساحت اشغال شده [۱۳] استفاده شد. در این نمودار، محل تقاطع منحنیها، بیانگر این است که نقشه حاصل از فازیسازی با تابع Large، با ۲۰ درصد از مساحت اشغال شده ناحیه مورد مطالعه، توان پیشبینی ۸۰ درصد از کانسارهای شناخته شده وجود دارد (شکل ۱۰). همچنین، نقشه حاصل از فازیسازی با تابع لجستیک، ۳۰ درصد از مساحت اشغال شده میتواند ۷۰ درصد از کانسارهای شناخته شده را پیشبینی کند. از اینرو میتوان عنوان کرد که روش میانگین هندسی برای تلفیق نقشههای فازیشده با تابع Large جواب بهتری

ارایه میدهد، بنابراین در مورد مناطقی که کانسار شناخته شدهای وجود ندارد، میتوان با احتمال نسبتا بالایی این مناطق را نیز مستعد تلقی کرد و برای اکتشاف در مقیاس بزرگتر معرفی کرد.



شکل ۹: نقشه شاهد ژئوشیمی کانسارهای مس پورفیری، فازی شده با تابع Large و تلفیق یافته به روش میانگین هندسی



شکل ۱۰: نمودار مساحت اشغال شده- نرخ پیش بینی، نقشههای فازی شده با تابع Large و تلفیق یافته با روش میانگین هندسی

۸- نتیجهگیری

در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد روش میانگین هندسی، از دو روش فازیسازی با توابع Large و لجستیک، برای فازیسازی دادههای ژئوشیمی استفاده شد. بر این اساس تغییراتی در نحوه انتخاب پارامترهای توابع فازیساز اعمال و نتایج مطلوبی حاصل شد. با توجه به این که مقدار f_{a} برای تابع Large، اغلب برابر میانگین دادههای ورودی لحاظ می شود، در این پژوهش با در نظر گرفتن مقادیر میانگین به اضافه انحراف استاندارد که حد آستانه مقادیر آنومالی از زمینه است، نتایج قابل قبولی به دست آمد. در ادامه با به کارگیری تابع لجستیک، نقشههای فازی شده عناصر شاخص کانسارهای مس پورفیری حاصل شد و با به کارگیری روش میانگین هندسی برای تلفیق نقشههای هر دو روش فازیسازی و اعتبارسنجی با روش آهنگ پیشبینی- مساحت اشغال شده، مشاهده شد که روش میانگین هندسی نتایج بهتری برای فازیسازی با تابع Large و در نظر گرفتن $f_2 = \overline{X} + S$ ارایه می کند. Large و در نظر گرفتن اعتبارسنجی نقشه فازی شده با تابع Large، نشان میدهد که این روش با آهنگ پیش بینی ۸۰ درصد و مساحت اشغال شده ۲۰ درصد، توان اکتشاف کانسارهای مس پورفیری را در این ناحیه دارد. از اینرو با اعمال روش یاد شده برای تهیه نقشههای شاهد ژئوشیمی، میتوان اعتبار نقشههای پتانسیل معدنی کانسارهای مس پورفیری را تا حد زیادی بهبود بخشید.

۹- مراجع

- Yousefi, M., and Carranza, E. J. M. (2015). "Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping". Computers & Geosciences, 74: 97–109.
- [7] یوسفی، م.؛ کامکار روحانی، ۱.؛ ۱۳۸۹؛ "اصول روشهای مدلسازی پتانسیل معدنی (در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی)". جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، جلد اول، ص ۸۰–۴۱.
- [3] Almasi, A., Yousefi, M., and Carranza, E. J. M. (2017). "Prospectivity analysis of orogenic gold deposits in Saqez-Sardasht Goldfield, Zagros Orogen, Iran". Ore Geology Reviews, 91: 1066-1080.
- [4] Jamali, H., and Mehrabi, B. (2014). "Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran Magmatic Belt". Ore Geology Reviews, 487–501.
- [5] Hezarkhani, A., and Williams-Jones, A. E. (1998).

83: 72-79.

- [12] Wang, Y. M., Chin, K. S., and Yang, J. B. (2007). "Measuring the performances of decision making units using geometric average efficiency". Journal of the Operational Research Society, 58: 929–937.
- [13] Yousefi, M., and Carranza, E. J. M. (2015). "Predictionarea (P-A) plot and C-A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling". Computers and Geosciences, 79: 69-81.
- [۱۴] مهرپرتو، م.؛ امینی فضل، آ.؛ رادفر، ج.؛ ۱۳۷۱؛ "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ورزقان". سازمان زمینشناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- [1۵] آقانباتی، ع.؛ ۱۳۸۳؛ "نشر سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور". زمینشناسی ایران.

- [\]Tsoukalas& Uhrig
- ^r Spread
- ^r Midpoint
- * Wang

"Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran; evidence from fluid inclusions and stable isotopes". Economic Geology, 93: 651–670.

- [6] Sillitoe, R. H. (2010). "Porphyry copper systems". Economic Geology, 105: 3–41.
- [7] Chiang, W., Lee, J. (1995). "Fuzzy logic for the application to complex systems". World scientific publishing, 20-75.
- [8] Tsoukalas, L. H., and Uhrig, R. E. (1997). "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering". John Wiley & Sons, New York, NY, p. 606.
- [٩] حسنی پاک، ع. ۱، شرف الدین، م.؛ ۱۳۹۰؛ "تحلیل دادههای اکتشافی". انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم،ص ۱۶۰–۷۰.
- [10] Yousefi, M., and Carranza, E. J. M. (2015a). "Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping". Computers & Geosciences, 74: 97–109.
- [11] Yousefi, M., and Carranza, E. J. M. (2015b). "Geometric average of spatial evidence data layers: A GIS-based multi-criteria decisionmaking approach to mineral prospectivity mapping". Computers and Geosciences,