

## برآورد عدم قطعیت در مدل سازی داده های ژئوفیزیکی با روش Dempster-shafer

محمد فرزامیان<sup>۱</sup>؛ ابوالقاسم کامکار روحانی<sup>۲</sup>؛ منصور ضیایی<sup>۲</sup>؛ حسنعلی فرجی سبکبار<sup>۳</sup>،

۱- کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود mohamad\_farzamian@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- عضو هیئت علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده:

عدم قطعیت با جهان واقعیت آمیخته است و ارائه دقیق از واقعیت همیشه ممکن نیست. مدل سازی و تخمین گسترش کانی سازی به سبب حضور ابهامات در داده های اکتشافی نیز از این اصل مستثنی نیست و اجتناب از عدم قطعیت در مدل سازی داده های اکتشافی معمولاً مشکل بوده و ارائه میزان تقریبی آن در تصمیم گیری نهایی امری ضروری محسوب می گردد. در این مقاله روش Dempster-Shafer جهت ارائه میزان عدم قطعیت در پتانسیل یابی کانسارهای سرب و روی، با به کارگیری روشهای مقاومت ویژه و قطبش القایی در شرق تکاب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بررسی حضور منطقه ای امید بخش را در ناحیه مورد مطالعه با تخمین محتاطانه ۴۵٪ و میزان عدم قطعیت ۴۵٪ ارائه می دهد.

کلمات کلیدی: تئوری Dempster-Shafer، عدم قطعیت، تخمین محتاطانه، تابع برآورد، کانی سازی سرب و روی، مقاومت ویژه، قطبش القایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی

### Assessment of Uncertainty in Modeling Geophysical Data Using Dempster-Shafer Method

M. Farzamian, A. Kamkar Rouhani, M. Ziaie and H.A Faraji Sabokbar

#### Abstract

Uncertainty is a part of real world, and obtaining an exact picture from real world is not always Possible. Modeling and estimation of the extent of mineralization, due to the ambiguities in exploration data, is not an exception. Avoiding uncertainty in modeling exploration data, is usually impossible, and assessment of uncertainty for final decision is a necessity Dempster-Shafer method has been used for assessment of uncertainty in prospecting Lead and Zinc ore deposits using resistivity and induced polarization methods in east of takab. The results imply the presence of a prospect zone in the study area with an approximation belief of 45% and uncertainty of 45%.

**Keywords:** Dempster-shafer theory, Uncertainty, Belief assessment, belief function, Lead and Zinc mineralization, Resistivity, Induced polarization, Geographic Information System (GIS)

## ۱- مقدمه

داده‌های اکتشافی می‌تواند ناقص، غیردقیق، مبهم و متناقض باشد. عدم توجه به این ابهامات می‌تواند سبب ایجاد نتایج نادرستی در مدل‌سازی این داده‌ها گردد، بنابراین به کارگیری روش‌هایی که میزان عدم قطعیت و خطا را ارائه دهد ضروری به نظر می‌رسد. فرموله کردن شرایط عدم قطعیت از سال ۱۹۶۰ با کارهای پرفسورزاده در تئوری منطق فازی و در سال ۱۹۶۸ به وسیله Dempster با تئوری تابع برآورد (belief function) آغاز گردیده است. تئوری Dempster-Shafer بر طبق نظر Bonham-Carter یکی از روش‌های متکی بر دانش است که جهت تلفیق داده‌های اکتشافی در محیط GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نسبت به روش منطق فازی که روش مرسوم در تلفیق داده‌های اکتشافی است دارای یک مزیت عمده است و آن این است که به کارشناس اجازه می‌دهد تا خطای احتمالی در تخمین یا (uncertainty) را به سبب تفاوت بین تخمین محتاطانه (Belief) و تخمین خوش بینانه (Plausibility) را جهت اطمینان بیشتر ارائه نماید. این تئوری به بینش و استدلال ذهن بشری نزدیک بوده و روش دقیقی برای تخمین کمی عدم آگاهی می‌باشد. این روش جهت تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی در منطقه چیچکلو مورد توجه قرار گرفته است.

## ۲- تئوری Dempster-Shafer

طبق تئوری Dempster-Shafer در تابع برآورد چهار پارامتر معرفی و بررسی می‌گردد:

۱- Plausibility یا تخمین خوشبینانه که برآورد دست بالایی از احتمال وقوع رخداد را ارائه می‌دهد. این تخمین به طور خلاصه با Pls نمایش داده می‌شود.

۲- Disbelief که میزان اعتقاد به عدم وقوع رخداد مورد نظر را مورد بررسی قرار می‌دهد. این تخمین با Dis نمایش داده شده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

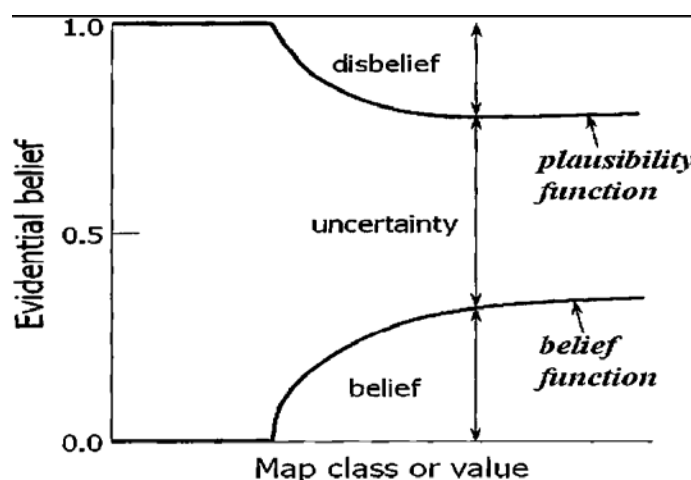
$$\text{Dis}(X) = 1 - \text{Pls}(X) \quad (1)$$

۳- Belief یا تخمین محتاطانه که حداقل برآوردی (برآورد دست پایین) از احتمال وقوع رخداد را ارائه می‌نماید و با Bel نشان داده می‌شود.

۴- Uncertainty یا عدم قطعیت که به طور خلاصه با Unc نشان داده می‌شود و از تفاوت بین برآورد دست بالا و برآورد دست پایین حاصل می‌گردد:

$$\text{Unc}(X) = \text{Pls}(X) - \text{Bel}(X) \quad (2)$$

مناطق که در مورد آن هیچ اطلاعاتی وجود ندارد با Bel صفر، Pls یک و Unc یک مشخص می‌گردد. روابط بین پارامترهای تئوری Dempster-Shafer به طور شماتیک در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- روابط شماتیک بین پارامترهای تئوری Dempster-Shafer

شواهد موجود در دو نقشه به کمک قوانین زیر مورد تلفیق قرار می گیرند:

$$Belx1x2 = \frac{Belx1Belx2 + Belx1Uncx2 + Belx2Uncx1}{\beta} \quad (۳)$$

$$Disx1x2 = \frac{Disx1Disx2 + Disx1Uncx2 + Disx2Uncx1}{\beta} \quad (۴)$$

$$Uncx1x2 = \frac{Uncx1Uncx2}{\beta} \quad (۵)$$

$$\beta = 1 - Belx1Disx2 - Disx1Belx2 \quad (۶)$$

روابط مذکور صرفاً جهت تلفیق دو لایه اطلاعاتی مورد استفاده قرار می گیرد. برای تلفیق نقشه‌های بعدی (لایه سوم تا لایه  $n$  ام)، هر لایه اطلاعاتی جدید با نتیجه تلفیق دو لایه قبلی مورد تلفیق قرار می گیرد. نکته قابل ذکر آن که این روابط شرکت پذیر و جابجاپذیر هستند. با به کارگیری این روش در مدل سازی چهار نقشه (Dis, Uns, Pls, Bel) به طور جداگانه ترسیم می گردند که تنها دو نقشه از نقشه‌های مذکور مستقل هستند.

### ۳- منطقه مورد مطالعاتی

منطقه مورد مطالعاتی در جنوب غربی زنجان و ۳۰ کیلومتری شرق تکاب با مختصات جغرافیایی ۳۰، ۵۰، ۴۷ طول شرقی و ۱۱، ۲۵، ۳۶ عرض شمالی و از نظر ساختاری در محل برخورد زونهای البرز - آذربایجان و سنج - سیرجان قرار گرفته است، (شکل ۱) که از نظر معدنی مستعد پتانسیل فلزی سرب و روی می باشد که بخش عمده ای از کانی سازی این منطقه در واحدهای کربناتی متمرکز گردیده است. کانی های اصلی منطقه گالن و اسفالریت، و کانی های گانگ باریت، کوارتز، اکسیدهای آهن و دولومیت بوده و وجود کانه های آرسنوپیریت (FeAsS) و پیریت در عمق محتمل بنظر می رسد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (چیچکلو)

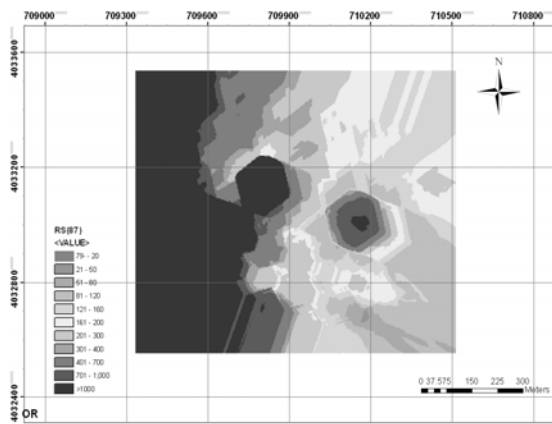
### ۴- مطالعات ژئوفیزیکی

به منظور تخمین گسترش کانسارهای فلزی برداشت‌های ژئوفیزیکی (مقاومت ویژه و قطبش القایی) با کمک روش دو قطبی دو قطبی با فواصل جابجایی الکترودی ۲۵ متر و با گامهای دو قطبی ۱۵۰ متر و با  $n=1$  تا  $n=5$  در ۸ خط پروفیل با فاصله ۵۰

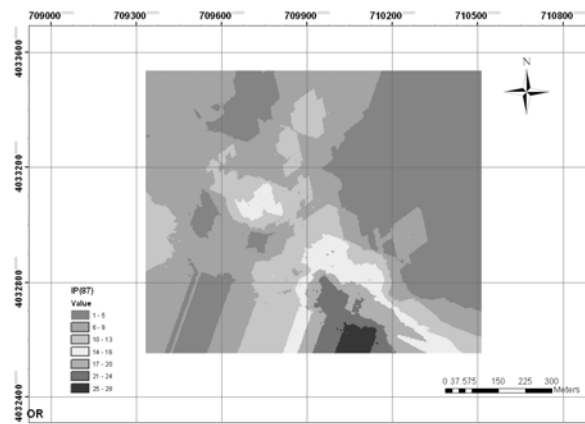
متر بر روی واحدهای کربناتی انجام پذیرفته است. تفسیر اولیه داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در نرم افزار Res2dinv که مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه را به طور توأم (Joint Interpretation) انجام می دهد صورت پذیرفت.

### ۵- ایجاد لایه های اطلاعاتی

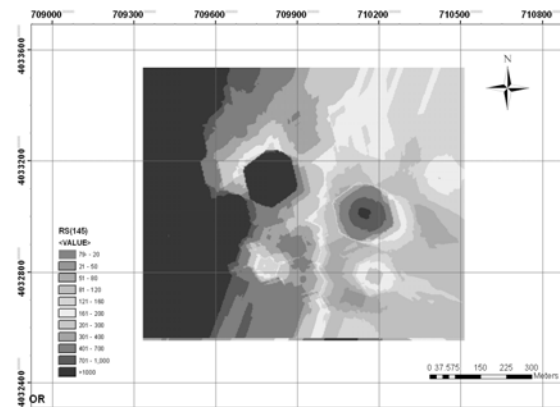
برای ایجاد لایه های نهایی مقاومت ویژه و قطبش القایی ابتدا خروجی نتایج عددی مدل سازی هر یک از پروفیلها از نرم افزار Res2dinv گرد آوری شد. نتایج نشانگر مقادیر مدل سازی شده مقاومت ویژه و قطبش القایی در شش عمق ۱۱، ۲۵، ۵۱، ۸۷، ۱۴۵ و ۱۸۲ متری می باشد. سپس با استفاده از Analyst Spatial در محیط GIS مقاطع افقی هر یک از عمق های مذکور با استفاده از روش kriging درونیایی و ترسیم شد و شش لایه مقاومت ویژه و قطبش القایی در شش عمق مذکور تهیه (مقاطع مقاومت ویژه و قطبش القایی در اعماق ۸۷ متری در شکل ۲ آورده شده است.) و در نهایت لایه نهایی قطبش القایی و مقاومت ویژه از تلفیق نتایج شش عمق حاصل گردید.



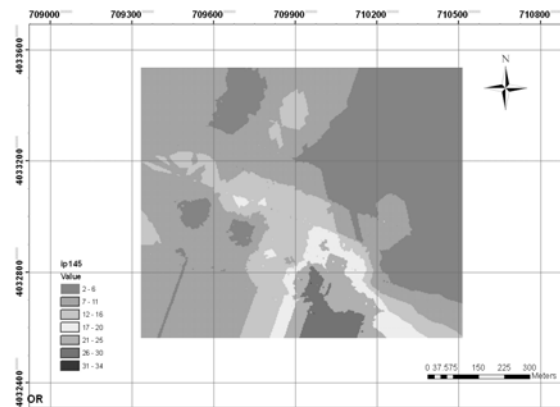
شکل ۲- ب: مقطع افقی مقاومت ویژه در عمق ۸۷ متری



شکل ۲- الف: مقطع افقی قطبش القایی در عمق ۸۷ متری



شکل ۳- ب: مقطع افقی نهایی قطبش القایی



شکل ۳- الف: مقطع افقی نهایی مقاومت ویژه

### ۶- به کارگیری روش Dempster-Shafer در اختصاص مقادیر تابع برآورد

مقادیر تابع برآورد مربوط به هر یک از روش های اکتشافی با توجه به ماهیت هدف و دامنه تغییرات در جداول ۱ و ۲ آمده است. به عنوان مثال محدوده ای که در برداشت های قطبش القایی به عنوان آنومالی شناخته شده است می تواند Pls بالایی از حضور آنومالی سرب و روی به همراه داشته باشد، اما با توجه به حضور پیریت و حتی احتمال حضور سولفیدهای فلزی دیگر که در منطقه به عنوان فلز باطله محسوب می شود و می تواند قطبش القایی بالایی نشان دهند میزان Bel مقدار بسیار کمتری از Pls را به خود اختصاص می دهد. اما مناطقی که مقاومت ویژه بسیار پایینی دارند نیز احتمال کانی سازی فلزی بالایی را به خود

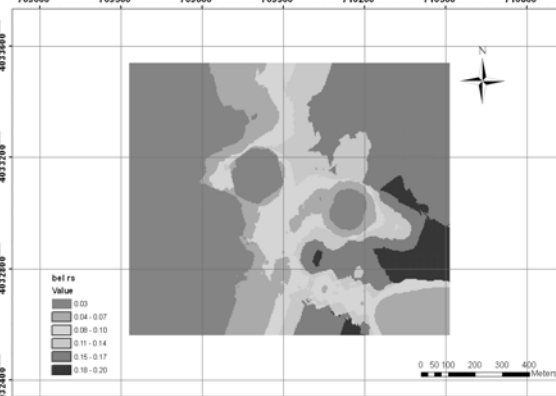
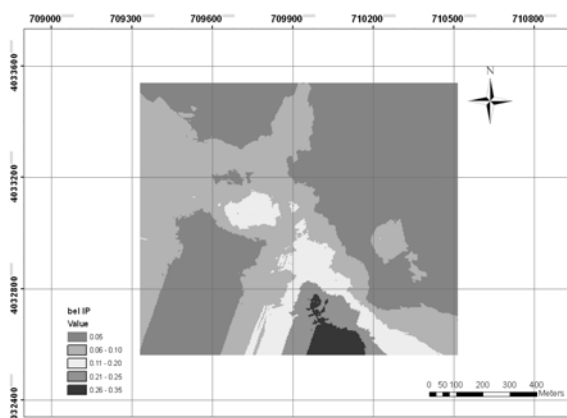
اختصاص می‌دهند، اما با توجه به این که گسترده وسیعی از کانی‌ها و رسوبات دارای مقاومت پایینی هستند (بسیار گسترده‌تر از پارامترهایی که در افزایش قطبش القایی نقش دارند) بنابراین میزان Bel پایین تری از قطبش القایی را می‌توان برای آنومالی‌های مقاومت ویژه (مقاومت ویژه پایین) مد نظر گرفت. با توجه به مقادیر تابع برآورد اختصاص داده شده به بازه تغییرات مقاومت ویژه و قطبش القایی، چهار نقشه Dis Uns, Pls, Bel مربوط به هر یک از روش‌های اکتشافی تعیین گردیده است. شکل ۵ (الف، ب) به ترتیب نقشه Bel مربوط به قطبش القایی و مقاومت ویژه و شکل ۶ (الف، ب) نیز به ترتیب مربوط به Unc قطبش القایی و مقاومت ویژه می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر تابع برآورد مقاومت ویژه

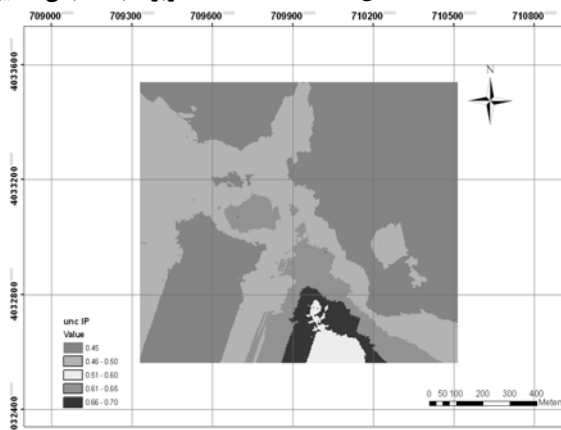
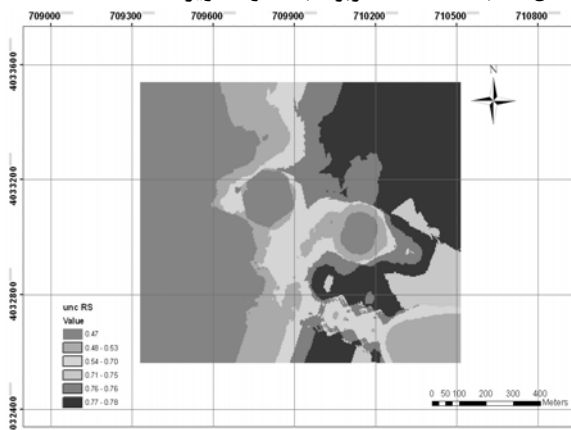
RS(Ω.m)	Bel	Dis	Unc	Pls
<۵۰	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۷۰	۰/۹۵
۵۰-۱۰۰	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۷۵	۰/۹۵
۱۰۰-۲۰۰	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۷۸	۰/۹۵
۲۰۰-۳۰۰	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۷۱	۰/۸۵
۳۰۰-۵۰۰	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۰
>۵۰۰	۰/۰۷	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۵۰

جدول ۲- مقادیر تابع برآورد بار پذیری قطبش القایی

IP(msec)	Bel	Dis	Unc	Pls
>۲۴	۰/۴۰	۰/۰۵	۰/۵۵	۰/۹۵
۲۰-۲۴	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۶۰	۰/۹۵
۱۶-۲۰	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۷۰	۰/۹۵
۱۲-۱۶	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۸۵
۸-۱۲	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۰
<۸	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۵۰



شکل ۵- الف: نقشه Bel مربوط به قطبش القایی شکل ۵- ب: نقشه Bel مربوط به مقاومت ویژه

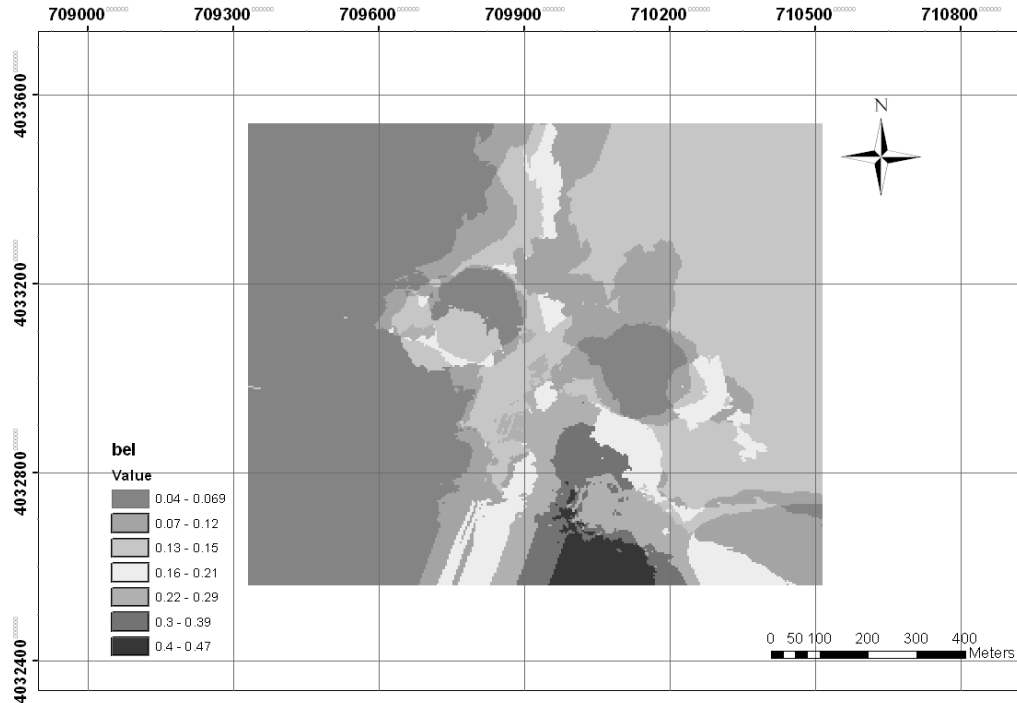


شکل ۶- ب: نقشه Unc مربوط به مقاومت ویژه

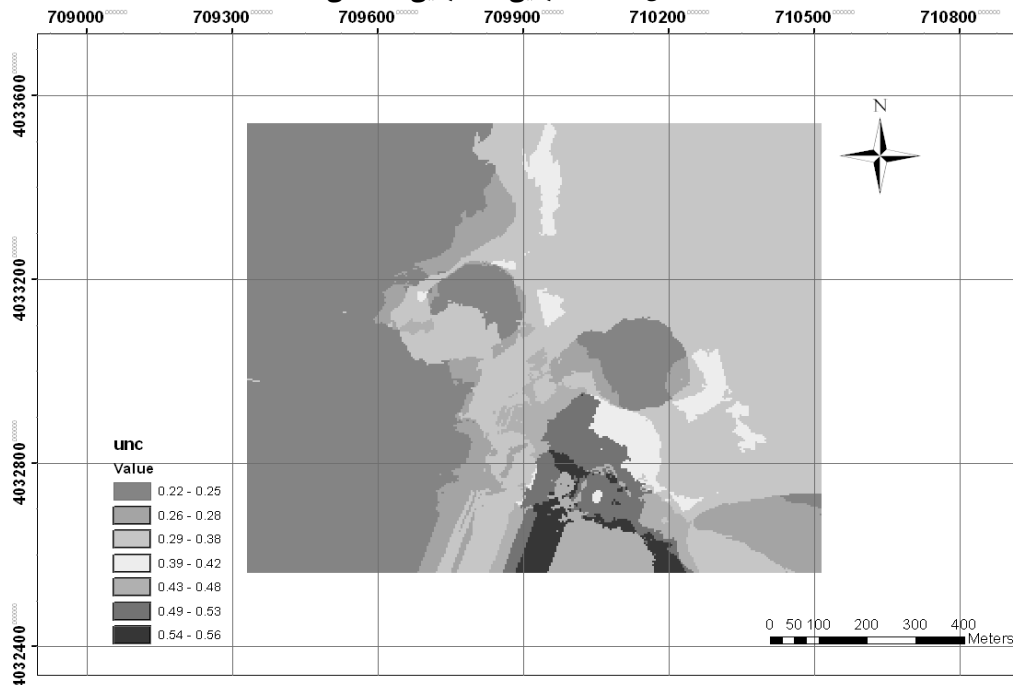
شکل ۶- الف: نقشه Unc مربوط به قطبش القایی

۷- تلفیق نتایج داده‌های اکتشافی

چهار نقشه نهایی اکتشافی Dis, Uns, Pls, Bel با به کارگیری روابط (۳) تا (۶) در تلفیق های قطبش القایی و مقاومت ویژه محاسبه و ترسیم گردیده است. شکل ۷ و ۸ به ترتیب نقشه Bel و Unc نهایی اکتشافی حاصل از تلفیق دو لایه مذکور را نمایش می دهد.



شکل ۷- نقشه نهایی Bel اکتشافی



شکل ۸- نقشه نهایی Unc اکتشافی

## ۸- نتیجه

- ۱- نتایج بررسی حضور منطقه ای امید بخش را در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه با Bel تقریبی ۴۵٪ و Unc ۴۵٪ ارائه می دهد.
- ۲- همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، Bel مربوط به قطبش القایی و مقاومت ویژه در ناحیه مذکور به ترتیب برابر ۳۵٪ و ۱۵٪ بوده در صورتی که این مقادیر برای نقشه نهایی Bel (شکل ۷) به حدود ۴۵٪ می رسد که حاکی از نواحی است که شواهد دو نقشه همدیگر را مورد تأیید قرار می دهد. از سوی دیگر میزان Unc مربوط به قطبش القایی و مقاومت ویژه در ناحیه مذکور نیز به ترتیب برابر ۶۰٪ و ۷۵٪ بوده (شکل ۶) و در نقشه نهایی Unc (شکل ۸) به مقدار ۴۵٪ کاهش می یابد که حاکی از کاهش نرخ Unc در تلفیق شواهد است.
- ۳- میزان Bel نسبتاً پایین منطقه معرفی گردیده همراه با نرخ بالای Unc به این نکته تاکید دارد که اطلاعات ما نسبت به منطقه مذکور ناکافی و جهت اثبات مطلوبیت ناحیه همچنان کم است و خطای عملیات حفاری بالاست و جمع آوری اطلاعات دیگر از جمله برداشتهای ژئوشیمی می تواند سبب افزایش میزان Bel و کاهش نرخ بالای Unc گردد.
- ۴- روش Dempster-Shafer می تواند به عنوان ابزاری مناسب در ارائه میزان عدم قطعیت در مدل سازی داده های ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار گیرد.
- ۵- به طور آشکار این روش بستگی به تخمین مقادیر تابع برآورد دارد. بنابراین هر گونه تخمین نادرستی از این مقادیر ممکن است به اشتباهات فاحشی در ارزیابی پتانسیل های معدنی در منطقه مورد مطالعه منجر شود.

## ۹- مراجع

- ۱- کاسکو، ب. ترجمه، غفاری، ع.، مقصود پور، ع.، پور ممتاز، ع.، و قسیم، ع.، (۱۳۷۷)، **تفکر فازی**، تهران، انتشارات دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
- ۲- کریم پور، ح.، ملک زاده، الف.، وحیدریان، م.، ۱۳۸۴، **اکتشاف ذخایر معدنی**، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- بونهام کارتر، گ. ترجمه، گروه اطلاعات زمین مرجع، ۱۳۷۹، **سیستمهای اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین**، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدن.

- 4- Carranza, E. J. M., and Hale, M., 2003, *Evidential belief functions for geologically constrained mapping of gold potential*, Baguio, district, Philippines: Ore Geol. Rev. v. 22, nos. 1-2, p. 117-132.
- 5- E. J. M. Carranza, T. Woldai, and E. M. Chikambwe (2005) *Application of Data-Driven Evidential Belief Functions to Prospectivity Mapping for Aquamarine-Bearing Pegmatites, Lundazi District, Zambia*, Natural Resources Research, vol. 14, No. 1
- 6- Tangestani, M.H., Moore, F., (2002) *The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. v. 4, p. 65-74
- 7- Wright, D.F., Bonham-Carter, G.F., 1996. VHMS favorability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake-Anderson Lake area. in: Bonham-Carter, Galley, Hall (Eds.), EXTECHI: A Multidisciplinary Approach to Massive Sulfide Research in the Rusty Lake-Snow Lake Greenstone Belts, Manitoba. Geol. Survey Can. Bull. 426, 339-376.