



ارزیابی ناحیه‌ای و انتخاب نواحی مناسب اکتشاف اورانیوم در ایران مرکزی با استفاده از GIS^(۱)

پرویز رهنما*، نادر واقفی، احمد رضا اسدی

امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۱۳۳۹

چکیده: در این پژوهش با استفاده از تلفیق اطلاعات اکتشافی موجود در منطقه ایران مرکزی شامل کلیه اطلاعات اکتشافی ژئوفیزیک هوایی، زمین شناختی، فلززایی (متالوژنی) منطقه و سنجش از دور سعی شده است به کمک مدل زایشی اورانیوم در منطقه، مدل اکتشافی مناسبی تهیه شود و مناطق مستعد برای اکتشاف اورانیوم تعیین گردند.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، معیار، میانگیر، درخت چهارتایی، لایه اطلاعاتی، مدل زایشی، مدلسازی اکتشافی

Regional Evaluation & Selection of Target Areas for Uranium in Central Iran Using GIS

P. Rahnema*, N. Vaghefi, A.R. Assadi

Exploration & Mining Division, AEOI, P.O. Box: 14155-1339, Tehran - Iran

Abstract: In this research we tried to prepare Exploration model and select target areas based on Genetic model of Uranium in Central Iran through integration (GIS) of exploration data including Airborne Geophysical data, Geology, Metallogeny and Remote Sensing.

Keywords: GIS, criteria, buffer, quadtree, information layer, conceptual model, exploration modelling

*- e-mail: Prahnema@scai.neda.net.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۰/۲/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۰/۱۲/۱۸

۱- مقدمه

آبریز و کویر درانجیر را شامل می‌شود و ۹ قطعه ۱/۵۰۰۰۰ آن وضعیت این نواحی را نشان می‌دهد (شکل ۱). تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (TM^(۲)) باندهای ۱، ۴ و ۷ در شکل ۲ نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه قسمتی از پهنه ایران مرکزی است. این منطقه به لحاظ وضعیت زمین‌ساختی دارای شرایط ویژه‌ای است که در برگیرنده و تنظیم‌کننده شرایط اصلی فلززایی در آن در دورانهای مختلف می‌باشند. هماتیت^(۳)‌های چاپدون، بنه‌شورو و سازند تاشک قدیمی‌ترین سنگهای منطقه (پرکامبرین) را تشکیل می‌دهند که شامل گنایس، میگماتیت، آمفیبولیت، کوارتزیت، شیسیت، فیلیت، اسلیت و ... می‌باشند. براساس مطالعات کارشناسان، سه واحد چاپدون، بنه‌شورو و تاشک به عنوان هماتیت واحدی به نام سازند ناتک معرفی شده است. روی سازندهای پرکامبرین یک رشته از سنگهای "پیش کامبرین"^(۴) شامل سنگهای آذرآواری و گدازه‌های بازی تا اسیدی با تناوبی از سنگهای آهک دولومیتی، برش و گچ قرار گرفته که با سری ریزو قابل مقایسه است. سنگهای آذرین دورنی در این منطقه نیز به مقدار زیاد پراکنده‌اند که مشتمل بر نوریت، الوین‌گابرو، تونالیت، دیوریت، کوارتز دیوریت، گرانیت پگماتیت و گرانیت دومیکایی می‌باشند. گرانیت زیریگان که گسترش وسیعی در منطقه دارد، تشکیلات دگرگونی و آذرین را قطع کرده است.

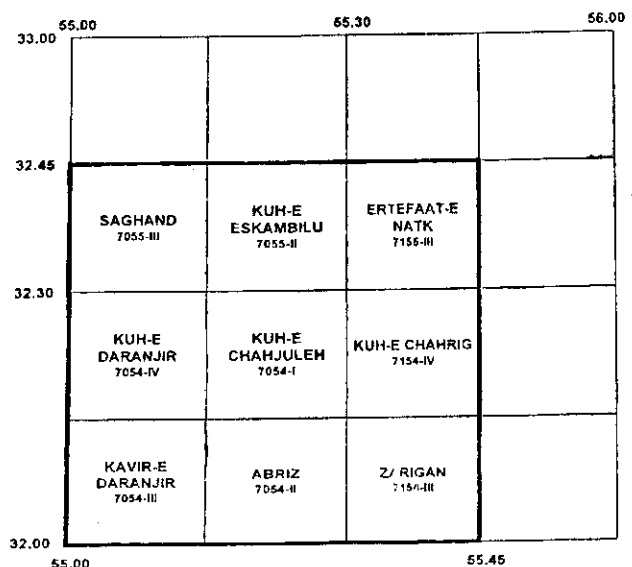
این منطقه تحت تأثیر نیروی زمین‌ساخت شدید اصلی و غالب با روند شمالی - جنوبی و سیستم ساختاری فروزمین^(۵) و فرازمین^(۶) حاصل از کوهزایی آسینیتیک قرار گرفته است که الگوهای ساختاری بعدی منطقه را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند. فرازمین‌های حاصل از آسینیتیک در منطقه با امتداد شمالی - جنوبی به وسیله شکستگیها و فروزمین‌ها با همین روند از یکدیگر جدا می‌شوند. بعضی از فروزمین‌های حاشیه‌ای جنب بلوک‌های فرازمین به علت حرکات توازنی بعدی در قبل از «پیش کامبرین» حالت کششی و بازشدگی پیدا کرده‌اند. در اینگونه حوزه‌ها که سرشت کافتی شدن^(۷) قاره‌ای داشته‌اند، نهشته‌های «پیش کامبرین» و جوانتر، فرازمین را احاطه کرده یا پوشش حاشیه‌ای آنها را تشکیل داده‌اند.

آشکوب زمین‌ساختی «اپسی آسینیتیک» که با

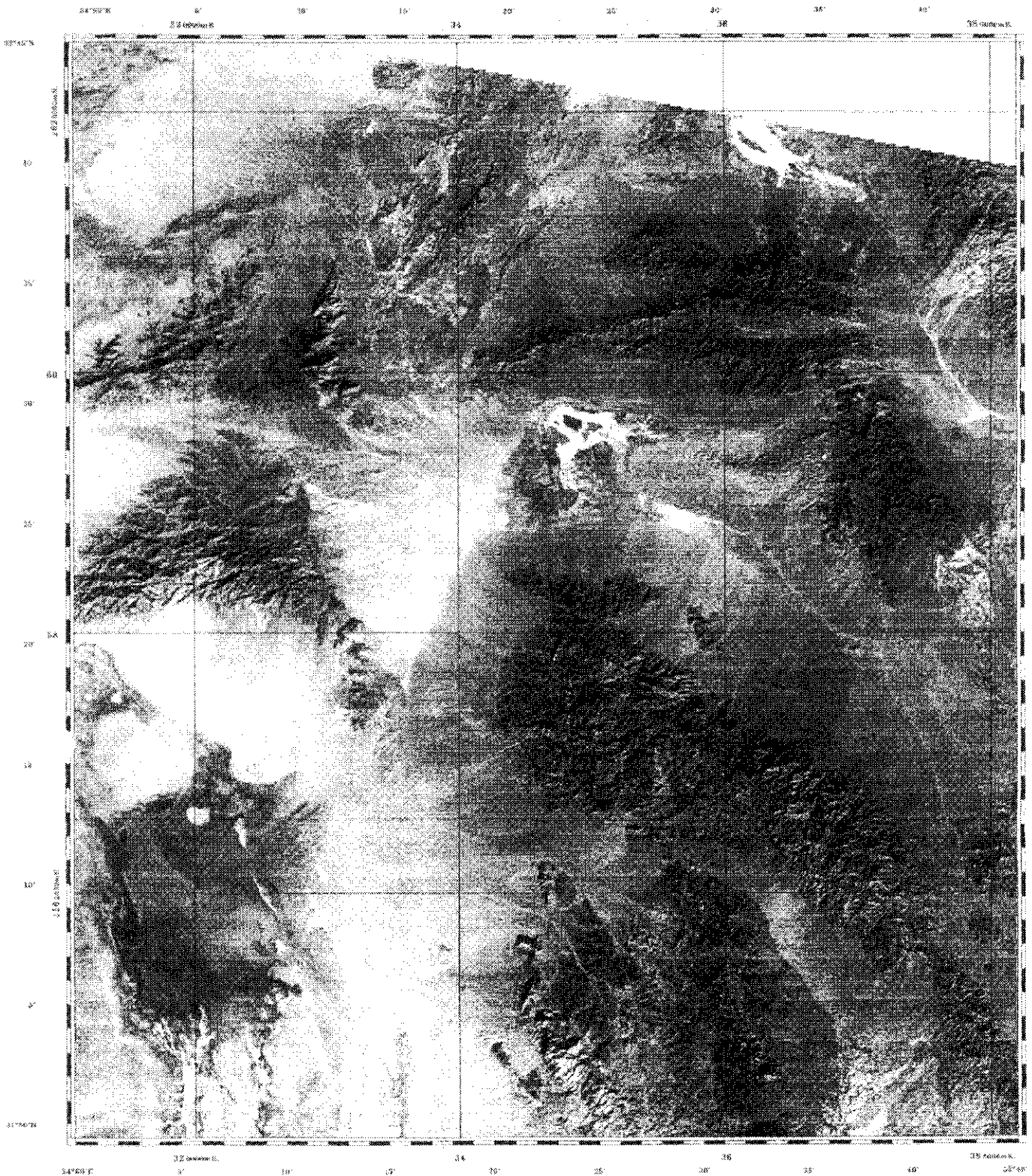
هدف مطالعات علمی روی هر کانسار پی بردن به چگونگی تشکیل آن یا مدل فلززایی کانسار است. منظور از این مطالعات در کانسارهای اورانیوم پی بردن به منبع یا منابع کانیها، طرز جابجاشدن، سازوکار نهشته شدن، طریقه غنی شدن آنها، فرایندهای زمین - فیزیکی و زمین - شیمیایی مترتب بر کانسار و در آخر، دانستن وضعیت جایگیری کانسار می باشد. برای پیش‌بینی و قانونمند کردن فلززایی معمولاً باید سیستم مقایسه‌ای وجود داشته باشد که به لحاظ شرایط فلززایی، به اندازه کافی با شرایط فلززایی منطقه مورد بررسی تطبیق کند. مطالعات انجام گرفته منجر به این نتیجه‌گیری شد که بهترین روش برای انتخاب مناطق اکتشافی در ایران مرکزی تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی موجود و تلفیق آنها «GIS» با یکدیگر است.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و خلاصه‌ای از زمین‌شناسی آن

منطقه مورد مطالعه دارای مختصات جغرافیایی ۳۲°،۰۰ - ۳۲°،۴۵' شرقی و ۵۵°،۰۰ - ۵۵°،۴۵' شمالی است. این منطقه مساحتی حدود ۵۶۰۰ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد که نواحی ۹ گانه ارتفاعات ناتک، کوه اسکمیلو، ساغند، کوه چاه‌ریگ، کوه چاه‌جوله، کوه دره‌انجیر، زیریگان،



شکل ۱- قطعه‌های ۱/۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

۳-۱- مدل زمین شناختی حوزه کار

کانسار اورانیوم در منطقه ایران مرکزی، که ناحیه ساغند آن به صورت مدل در نظر گرفته شده است، به طور کلی به شرایط سه گانه اصلی زیر بستگی دارد:

الف) شرایط ساختاری: تشکیل کانسار بستگی به تقاطع ساختاری سیستم‌های گسل‌های پوسته‌ای شمالی - جنوبی و شرقی - غربی با ترکیبی از مناطق گسلی پی‌سنگ که در توزیع فضایی نقش داشته‌اند دارد.

ب) شرایط چینه‌شناختی: مجموعه کافتی شده و اثر فلززایی متاسوماتیسم قلیایی، محیط مناسب سنگ‌شناختی بخش چهارم سری ساغند برای توسعه گسل‌های ساختاری، متاسوماتیسم قلیایی و قابلیت نفوذناپذیری لایه‌های فوقانی و تحتانی این بخش، شرایط چینه‌شناسی کانسار ساغند را تشکیل می‌دهند.

ج) شرایط سنگ میزبان: تالک - سرپانتین - مگنیت متاسوماتیت مهم‌ترین میزبانی است که ارتباط بسیار نزدیکی با کانی سازی دارد.

۳-۲- مدل ژئوفیزیکی حوزه کار

بر اساس مطالعات کارشناسان چینی بر روی کانسار اورانیوم ساغند و گزارش‌های آنان، مشخصات ژئوفیزیکی این کانسار با ویژگی‌های زیر مشخص می‌شوند:

الف) کانسار در تقاطع دو مجموعه گسل‌های پوسته‌ای شمالی - جنوبی و شرقی - غربی قرار دارد که به صورت مکانهایی با شدت مغناطیسی بالا منعکس می‌شوند. گسل‌های پی‌سنگ با روند شمالغربی و شمالشرقی این ساختارها را قطع می‌کنند. این گسل‌ها را عوامل بسیار مهمی در کنترل مکان کانسار و توزیع متاسوماتیسم قلیایی و کانی سازی اورانیوم همراه آن به شمار می‌روند.

ب) کانسار در مجاورت منطقه‌ها و یا در نواحی دارای شدت مغناطیسی بالا قرار گرفته است.

ج) کانی سازی اورانیوم در ارتباط نزدیکی با حوزه‌های کم پتاسیوم دار است. در محدوده کانی سازی ساغند، مناطق دارای پتاسیوم کمتر از مقدار ۱٪ به طور کلی با

رسوب گذاری در پرکامبرین پسین (پیش کامبرین) شروع شده با جنبش کوهزایی کیمیری پیشین (در تریاس فوقانی) به پایان رسیده است. سنگهای ایجاد شده در پرکامبرین پسین که پوشش بلوکهای فرازمین و کرانه‌های آنها را تشکیل داده‌اند دارای رخساره قاره‌ای می‌باشند، ولی نهشته‌ها در حوزه‌های فروزمین، رخساره ژرف تری دارند که همراه با سنگهای آتشفشانی اسیدی - بازی حتی سنگهای فرابازی بوده و گرانیتم نیمه عمیق (زریگان) در آن نفوذ کرده است. در پی فعالیت آتشفشانی در «پیش کامبرین» (ریزو)، یک دگرگونی ساکن و درجا (استاتیک) در ناحیه با ویژگیهای دگرنهادی متاسوماتیسمی، باعث ایجاد کانسارها در چرخه‌های مختلف فلززایی خاص خود به لحاظ زمانی و مکانی شده است. در بعضی از این ساختارهای کافتی شده، ذخایر حجیم غیرعادی که با ذخایر سگوها (پلات فرم‌ها) تفاوت دارند به وجود آمده است. کانی سازی اورانیوم در منطقه بیشتر به همین ساختارهای کافتی شده پیش کامبرین بوده و از چرخه فلززایی اولیه آهن‌گرا^(۸) و سنگ‌گرا^(۹) نشأت گرفته است.

۳-۳- روش مدل سازی و قانونمندی جامع برای ارزیابی

یکی از روشهای مورد استفاده در انتخاب نواحی اکتشافی، بر مبنای اصل قیاس، یا پی بردن به ناشناخته از شناخته شده استوار است. بنا بر این اصل، محیط‌های زمین شناختی مشابه باید منابع معدنی مشابهی داشته باشند. در این صورت به هنگام ارزیابی فلززایی ابتدا باید یک دسته کانسار شناخته شده به عنوان مرجع به منظور ساخت مدل ارزیابی کانسار انتخاب شود؛ سپس باید محیط زمین شناختی مشابه با محیط مرجع مشخص گردد. به این ترتیب، بر اساس مطالعات گروه کارشناسان چینی و ایرانی در ایران مرکزی و گگرد آوری اطلاعات درست و معقول زمین شناختی و ژئوفیزیکی از کانسار ساغند به عنوان مدل این گروه با دستیابی به عوامل اصلی و نقش کلیدی پدیده‌های زمین شناختی در رابطه با کانی سازی اورانیوم و سرانجام تعیین درجه اهمیت و ویژگیهای ترکیبی آنها در ایجاد کانسار، مدل و روش قانونمندی علمی - اجرایی را فراهم کردند.



- عمق فرسایش

- کانی‌های همراه: کانی‌سازی اورانیوم به لحاظ موضعی ارتباط نزدیکی با مگنتیت و آپاتیت نشان می‌دهد (این پدیده در جنوب منطقه کاری در ناحیه اسفوردی کاملاً مصداق دارد).

۴- تشکیل پایگاه‌های اطلاعاتی

لایه‌های اطلاعاتی که برای تشکیل پایگاه‌های اطلاعاتی در منطقه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

اطلاعات ژئوفیزیکی: اصلی‌ترین لایه‌های اطلاعاتی را تشکیل می‌دهند و شامل لایه‌های U، Magnetic، Th، K و نسبت‌های U/K، U/Th، Th/K می‌باشند.

لایه زمین‌شناختی: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه (چهارگوش اردکان)؛ این نقشه یکی از اصلی‌ترین لایه‌های زمین‌شناختی بود که وارد پایگاه اطلاعاتی شد.

لایه ساختارهای فلرزایی: این نقشه حاوی ساختارهای بزرگ خطی و حلقوی در منطقه است که حوزه‌های کافتی شده و کافتی نشده را مشخص می‌کند.

لایه سری‌های کافتی شده و کافتی نشده: این نقشه شامل سری‌های ریزو، ساغند، و هم‌تافت‌های کافتی نشده می‌باشد.

لایه اندیس‌های معدنی: این لایه شامل اطلاعاتی از نواحی اندیس‌های معدنی مختلف در منطقه مورد مطالعه است.

لایه زمین‌شناختی ۱:۵۰۰۰ ساغند: این لایه صرفاً بخش کوچکی از منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد و به سبب داشتن اطلاعاتی درباره سری ساغند مفید است.

لایه زمین‌چهر^(۱): این لایه شامل حاشیه مرزهای موضوع‌نگاری و دشت است که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده‌اند. در واقع این لایه نمایی کلی از منطقه را

مناطق متاسوماتیسم سدیوم مطابقت می‌کنند، در صورتی که مناطق دارای پتاسیوم بیشتر از ۳٪ با مکان‌های متاسوماتیسم پتاسیوم مطابقت دارند.

(د) درجه متاسوماتیسم سدیوم با نسبت U/K بالا نیز مشخص می‌شود.

(ه) وجود پرتوزایی نسبتاً شدید و همچنین شدت میدان مغناطیسی بالا در منطقه، عوامل مشخص مجموعه کافتی شده (یعنی مجموعه سری‌های ساغند و ریزو) می‌باشند و در اینگونه حوزه‌ها همواره نشانه‌هایی از مناطق معدنی اورانیوم وجود دارد.

۳-۳- معیارهای پیشگویی

معیارهای پیشگویی در منطقه مورد مطالعه به دو دسته ضروری و کمکی تقسیم می‌شوند:

۱- معیارهای ضروری: این معیارها برای تشکیل کانسار کاملاً ضرورت دارند. یعنی اگر یکی از آنها هم وجود نداشته باشد، کانی‌سازی نمی‌تواند صورت گیرد. این معیارها عبارتند از:

- تقاطع گسل‌های شمالی - جنوبی و شرقی - غربی که در مکانی عمیق پوسته را برش داده‌اند
- مجموعه کافتی شده‌ای که در منطقه با سری ساغند مرتبط شده است

- متاسوماتیسم قلیایی و سری‌هایی که بطور گسترده تحت تأثیر این متاسوماتیسم قرار گرفته‌اند.

۲- معیارهای کمکی: این معیارها در کنار معیارهای ضروری مورد استفاده قرار گرفته‌اند و عبارتند از:

- گسل‌های پی‌سنگ با روند شمالغرب
- بخش چهار سری ساغند که اغلب از سنگ‌های پیروکلاستیک بازی با درون - لایه‌هایی از کربنات دولومیتی تشکیل شده‌اند

- متاسوماتیسم قلیایی (تالک - سرپانتین - مگنتیت).

- موضوع‌نگاری (توپوگرافی): چون سنگ‌های کانی شده متاسوماتیت هستند، نسبت به سنگ بستر مقاومت متفاوتی در برابر هوازدگی از خود نشان می‌دهند.



مناسب لایه‌های اطلاعاتی، معیار (۱۳) نامیده می‌شود. ایجاد معیار از هر لایه اطلاعاتی منحصرأ با توجه به ویژگیهای فلززایی منطقه صورت می‌گیرد. و در مورد هر لایه شکل پذیری متفاوتی خواهد داشت. چون ویژگیهای فلززایی اورانیوم در منطقه مورد مطالعه قبلاً توسط کارشناسان ایرانی و چینی تعیین شده است، بنابراین براساس نتایج بدست آمده، معیارهای ضروری از لایه‌های اطلاعاتی استخراج شده‌اند. این معیارها برای منطقه مورد مطالعه به شرح زیرند:

معیار ساختارهای منطقه: بنابر مطالب پیش گفته، محل تقاطع گسلهای پوسته‌ای و پی‌سنگ از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، به همین جهت در محل تقاطع این ساختارها شعاع مؤثر ۱۰۰۰ متر تعیین شده است که به چهار دسته‌بندی مساوی ۱۰۰۰، ۷۵۰، ۵۰۰، ۲۵۰ میانگیر شده‌اند. بطوری که بیشترین احتمال کانی‌سازی در محل تقاطع ساختارها می‌باشد و هرچه از محل تقاطع دور شویم احتمال آن کمتر خواهد بود

معیار مغناطیس هوایی: چون همبندی نسبی قابل قبولی بین کانی‌زایی مگنتیت و اورانیوم در این منطقه ایران مرکزی وجود دارد، بنابراین با توجه به مطالعات انجام گرفته، داده‌های مگنتیت بالاتر از ۵۰۰۰nt را از لایه اطلاعاتی مربوط جدا کرده و از آن به عنوان معیاری مهم در مدل‌سازی استفاده کرده‌ایم.

معیار U: لایه اطلاعاتی U حاصل از اندازه‌گیری‌های هوایی ژئوفیزیکی در برخی مناطق ایران مرکزی و منطقه مورد مطالعه ممکن است نقش مؤثری در یافتن محیطهای مناسب اکتشاف اورانیوم داشته باشد. بنابراین داده‌های بیش از ۴/۶ppm (میانگین + دو انحراف معیار) به عنوان معیار مهم اورانیوم از لایه اطلاعاتی مربوط استخراج شد.

معیار K: با توجه به فلززایی اورانیوم و نقش مهمی که متاسوماتیسم سدیک در بوجود آوردن ذخایر اورانیوم در آن دارد، می‌توان دریافت که لایه اطلاعاتی K به لحاظ

بدست می‌دهد که محل هر عارضه را می‌توان روی زمین مشخص کرد.

۵- پردازش اطلاعات

پس از وارد کردن کلیه داده‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه به بانک اطلاعاتی، لازم است آنها را به صورت قابل استفاده تبدیل کرد تا بتوان مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. بنابراین، کلیه لایه‌های اطلاعاتی را به آرایش (فرمت) Quadtree^(۱۱) (درخت چهارتایی) تبدیل کرده‌ایم تا بتوانیم از آنها به بهترین وجه در تجزیه و تحلیل داده‌های موجود و مدل‌سازی استفاده کنیم.

برای تبدیل داده‌های مربوط به کاوش اورانیوم در منطقه مورد مطالعه ایران مرکزی به داده‌های قابل استفاده و تجزیه و تحلیل پذیر، از برنامه‌های مختلفی در نرم‌افزار Spans استفاده شده است. داده‌های ژئوفیزیکی شامل کلیه اجزای مربوط (Total count, U, Th, K, U/Th, U/K, Th/K, magnetic) که به صورت نقطه‌ای هستند (پیکسل ۱۲۵ x ۱۲۵m) با استفاده از دو برنامه contour mapping و potential mapping موجود در نرم‌افزار spans به فرمت Quadtree تبدیل شده‌اند. برای تبدیل سایر داده‌ها، از جمله داده‌های سطحی و خطی از برنامه میانگیری^(۱۲) استفاده شده است. به عنوان مثال، به منظور تلفیق لایه‌های سطحی مانند واحدهای سنگ‌شناختی و یا واحدهای کافتی با سایر لایه‌های اطلاعاتی، آنها را از طریق این برنامه پردازش کرده و به صورت قابل استفاده برای تجزیه و تحلیل آورده‌ایم.

۵-۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها و تشکیل معیار از لایه‌های اطلاعاتی

پس از جمع‌آوری کلیه لایه‌های کاوشی موجود از منطقه اکتشافی و وارد کردن آنها به صورت لایه‌های رقومی به بانک اطلاعاتی و قابل عرضه کردن آنها، می‌بایست براساس ویژگیهای زمین‌شناختی و فلززایی منطقه و هدف کاوش، این لایه‌های مختلف را به صورت قابل استفاده و مناسب برای تجزیه و تحلیل به منظور رسیدن به هدف درآورد، تا این که در مرحله بعد، با تعیین ضریب وزنی هر لایه، بتوان عملیات تلفیق را بر روی لایه‌های اطلاعاتی انجام داد. این شکل



معیار گرانیته: توده‌های گرانیته در محدوده مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ اردکان استخراج و با شعاع ۴۰۰ متر میانگیر شدند.

۶- مدلسازی چند معیاری

ساختن مدل در دو مرحله صورت می‌گیرد: ابتدا معیارهایی را که برای تجزیه و تحلیل مورد نیازند انتخاب کرده، سپس به هر یک از آنها وزن و امتیاز مربوط را اختصاص می‌دهیم. در واقع وزن معیار، مقدار یا عددی است که نشانگر اهمیت نسبی معیار در خروجی نهایی آن می‌باشد. هر چه مقدار آن بیشتر باشد تأثیر آن در تجزیه و تحلیل بیشتر است. امتیاز، به عددی اطلاق می‌شود که نشانگر درجه اهمیت و دسته‌های مختلف یک معیار است.

اینک براساس معیارهای پیش‌گفته (معیارهای ضروری برای جایگیری کانسار اورانیوم) و تلفیق آنها با یکدیگر، مدل‌هایی برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

۶-۱-۱- مدل ۱:

در این مدل از پنج معیار شامل تقاطع گسل‌های شمالی - جنوبی و شرقی - غربی، داده‌های مگنتیت بیشتر از ۵۰۰۰ nT، مناطق پتاسیوم‌دار کمتر از یک درصد، نواحی کافتی شده، و محدوده‌های دارای اورانیوم بیش از ۴/۶ ppm استفاده شده است. ابتدا وزن هر معیار به روش مقایسه معیارها با یکدیگر و تعیین ارزش هر یک به لحاظ نقشی که در کانی‌سازی دارند تعیین می‌گردد، بر این اساس عدد وزن این پنج معیار به ترتیب ۳۰، ۲۲، ۲۲، ۱۶، ۱۱ حساب شده است. در مرحله بعد، امتیاز مربوط به زیر دسته‌های هر معیار بر اساس اهمیت آنها مشخص می‌گردد. چون این معیارها هر یک دارای چهار دسته‌اند، نسبت به ترتیب اهمیت هر دسته امتیازهای ۱ تا ۴ در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال در معیار پتاسیوم کمتر از یک درصد، چون متاسوماتیسم سدیک در رابطه با منطقه‌های پتاسیوم‌دار پایین است، هر چه طیف دسته‌بندی پتاسیوم پایین تر باشد امتیاز مربوط به آن بیشتر خواهد بود. مدلی که از تلفیق این معیارها ساخته شود نشانگر نواحی است که بالقوه دارای اورانیوم مشابه با الگوی ساغند می‌باشند (شکل ۳)

یافتن حوزه‌های متاسوماتیسم نوع سدیک تا چه اندازه مفید خواهد بود. به بیان دیگر، حوزه عملکرد متاسوماتیسم سدیک در محدوده‌هایی قرار می‌گیرد که میزان تمرکز پتاسیوم بسیار کم باشد. بنابراین، با توجه به مطالعات انجام گرفته، محدوده‌های کمتر از ۰/۷ درصد به عنوان معیار پتاسیوم انتخاب شده است.

معیار Th : ناهنجاری‌های تورنیوم در منطقه مورد مطالعه را در پاره‌ای از موارد می‌توان رهنمون محل‌های مستعد برای اکتشاف اورانیوم دانست. از این رو داده‌های بیش از ۱۶ ppm (میانگین + دو انحراف معیار) به عنوان معیار Th از لایه اطلاعاتی مربوط به آن استخراج شد.

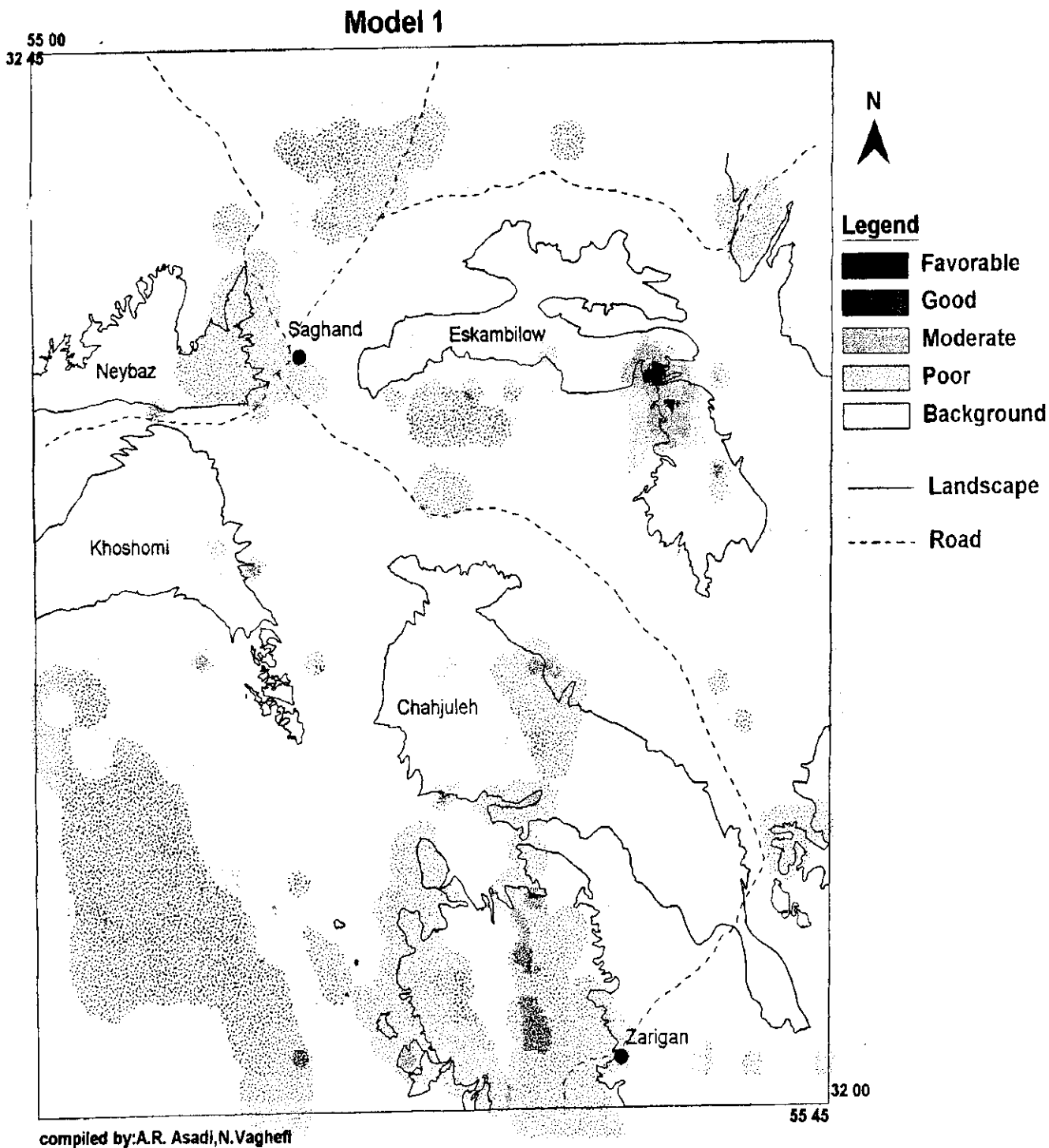
معیار شمارش کلی: مقادیر ۱۶ ppm (میانگین + دو انحراف معیار) از لایه اطلاعاتی شمارش کلی^(۱۴) جدا شد.

معیار U/Th : نسبت‌های بالاتر از ۰/۶۵ از لایه اطلاعاتی U/Th به عنوان معیار مورد نظر جدا شدند تا در صورت لزوم در تجزیه و تحلیل ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند.

معیار U/K : چون نسبت‌های U/K بالا در منطقه نشانگر متاسوماتیسم سدیک است، مقادیر بیشتر از سه را از لایه مربوط استخراج کرده و به عنوان یکی از لایه‌ها در تلفیق لایه‌ها بکار برده‌ایم.

معیار Th/K : مقادیر نسبت‌های بالاتر از ۸/۶ به عنوان معیار Th/K از لایه اطلاعاتی مربوط به آنها استخراج شدند.

معیار اندیس‌های معدنی: لایه اطلاعاتی اندیس‌های معدنی منطقه شامل آهن، مس، سرب، روی و REE میانگیر شد. از بین اندیس‌های مذکور تنها آهن و REE به لحاظ زمانی و مکانی با کانی‌سازی اورانیوم در ارتباط هستند.



شکل ۳- مدل چند معیاری شماره ۱

۶-۲-۲- مدل ۲:

در این مدل از هفت معیار مختلف استفاده شده است که در آن علاوه بر پنج معیار مدل ۱، از دو معیار U/K و شمارش کلی (T.C) نیز بهره گرفته شده است. نسبت U/K بالا معرف مناطق دارای متاسوماتیست سدیک و TC بالا نمایانگر محدوده‌های دارای شمارش کلی بالا هستند. براساس مطالعات انجام شده، چون کانی‌سازی اورانیوم در ارتباط نزدیک با مناطق متاسوماتیست سدیم‌دار و TC بالا است، استفاده از این دو معیار همراه با معیارهای کلی مدل یک را می‌توان الگوی بهتری برای آشکارسازی مناطق پتانسیل‌دار دانست.

هفت معیار استفاده شده در این مدل عبارتند از: تقاطع گسل‌های شمالی - جنوبی و شرقی - غربی، محدوده‌های دارای مگنتیک بالاتر از 5000 nt ، نواحی دارای پتاسیوم کمتر از یک درصد، محدوده‌های کافتی شده، نقاط دارای اورانیوم بیش از $4/6 \text{ ppm}$ ، مقادیر مربوط به شمارش کلی بیش از $16/6 \text{ ppm}$ ، و نسبت‌های U/K بیش از ۳. لازم به ذکر است که همه این معیارها براساس الگوی ارائه شده برای کانسار ساغند انتخاب شده‌اند. وزن این معیارها همانند مدل ۱ از راه مقایسه‌ای و تعیین اهمیت هر یک در خروجی نهایی مشخص شده و به ترتیب ۲۲، ۱۵، ۱۵، ۷، ۱۱، ۱۵ حساب شده است. امتیاز مربوط به رتبه‌های هر معیار نیز براساس میزان اهمیت آنها از ۱ تا ۴ مشخص گردیده است. در مرحله پایانی پس از تعیین وزن معیارها و امتیازهای مربوط به رتبه‌های متفاوت معیارها، تلفیق آنها برای شناسایی نواحی پتانسیل‌دار و مستعد اورانیوم صورت گرفته است (شکل ۴).

۶-۳-۳- مدل ۳:

اختلاف عمده این مدل با دو مدل پیشین، عدم استفاده از معیارهای مگنتیک هوایی است. براساس مطالعات انجام شده، کانی‌سازی اورانیوم در منطقه خشومی و نی‌باز هیچگونه همبندی با کانی‌سازی مگنتیت نشان نداده اما با توربوم و اورانیوم و پتاسیوم بالا همراه است. در این مدل از پنج معیار شامل تقاطع گسل‌های شمالی - جنوبی و شرقی - غربی، محدوده‌های دارای پتاسیوم بیش از $2/8$ درصد، نقاط دارای

اورانیوم بالاتر از $4/6 \text{ ppm}$ ، مقادیر مربوط به شمارش کلی بالاتر از $16/6 \text{ ppm}$ و نقاط توربوم‌دار بالاتر از 16 ppm استفاده شده است.

همانند مدل‌های قبل ابتدا وزن این معیارها به روش مقایسه به ترتیب ۳۰، ۱۵، ۲۰، ۱۵، ۲۰ تعیین شده است. در مرحله بعد، امتیاز رتبه مربوط به هر معیار نسبت به اهمیت آن از ۱ تا ۴ مشخص گردیده است. در آخر، بعد از تلفیق این معیارها، نواحی مستعد اورانیوم‌دار شناسایی شده‌اند (شکل ۵).

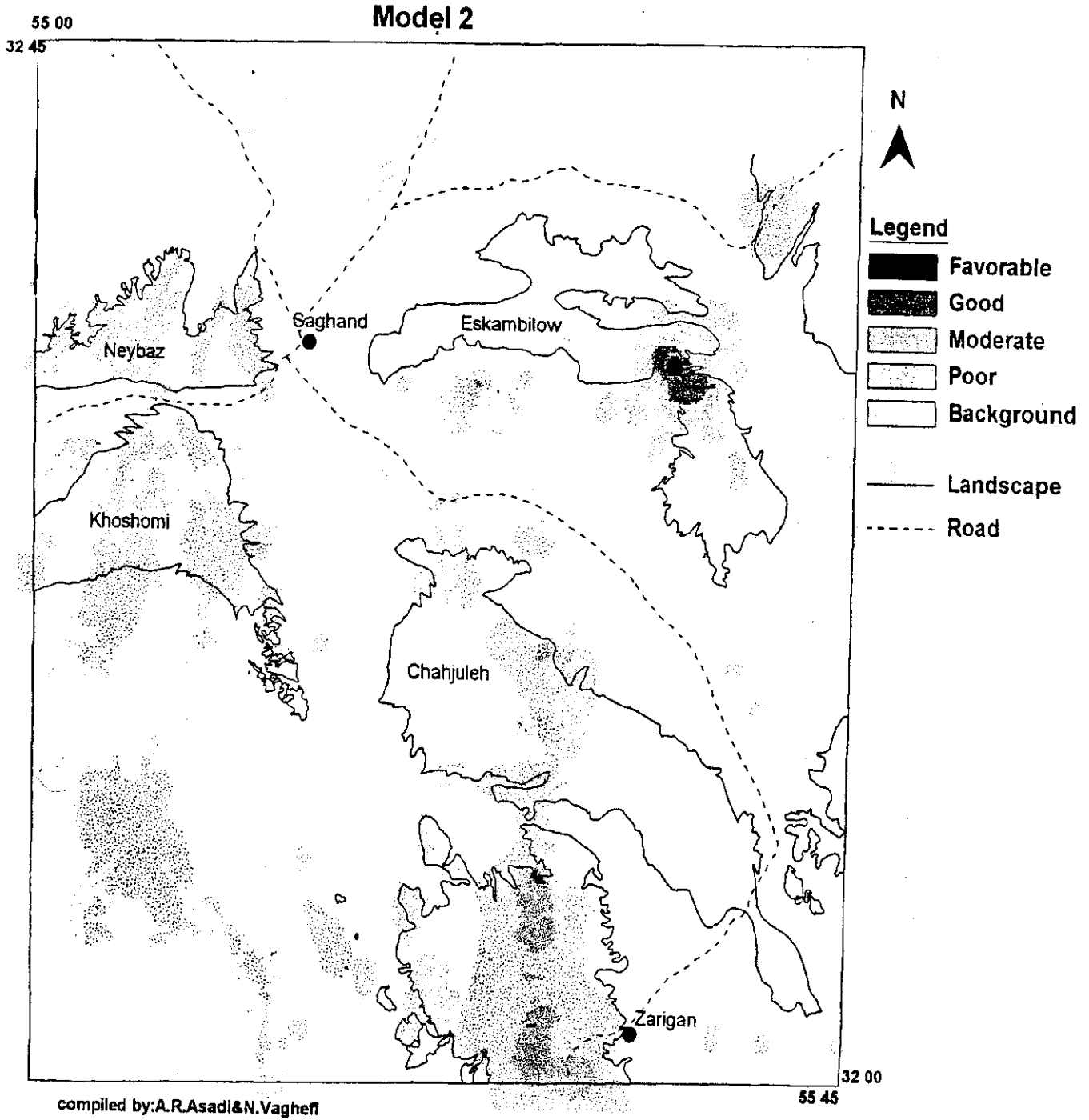
۷- نتیجه‌گیری

اصول ارزیابی نواحی مستعد معدنی بر مبنای اعتبار پدیده‌های مؤثر و تلفیق آنها در راستای مناسب بودن شرایط فلززایی در منطقه انجام می‌گیرد. این اصول شامل مناسب بودن شرایط زمین‌شناختی و کانی همراه، رابطه کانی‌سازی با پدیده خاصی از پدیده‌های مختلف دگر نهادی یا دگرسانی و غیره است. اگر مبنای ارزیابی معتبر و از نظر علمی مورد تایید باشند، ناحیه‌ای که به لحاظ فلز زایی مناسب در نظر گرفته می‌شود، دارای اعتبار بیشتری است؛ در غیر این صورت از اعتبار کمتری برخوردار و گمراه کننده خواهد بود. این ارزیابی ناحیه‌ای، چنان که گفته شد، بر اساس معیارهای کلیدی که توسط گروه کارشناسان چینی و ایرانی در رابطه با فلز زایی اورانیوم در بخش مرکزی ایران عرضه شده، به انجام رسیده است.

بر پایه لایه‌هایی که شاخص‌های اصلی (معیارها) را در بردارند و تلفیق این لایه‌ها بر مبنای ارزشیابی پدیده‌ها، عمدتاً منطقه به لحاظ فلز زایی اورانیوم به دو ناحیه اصلی ساغند - زریگان در شرق و مغستان - خشومی در غرب آن تقسیم می‌شود.

۷-۱- ناحیه ساغند

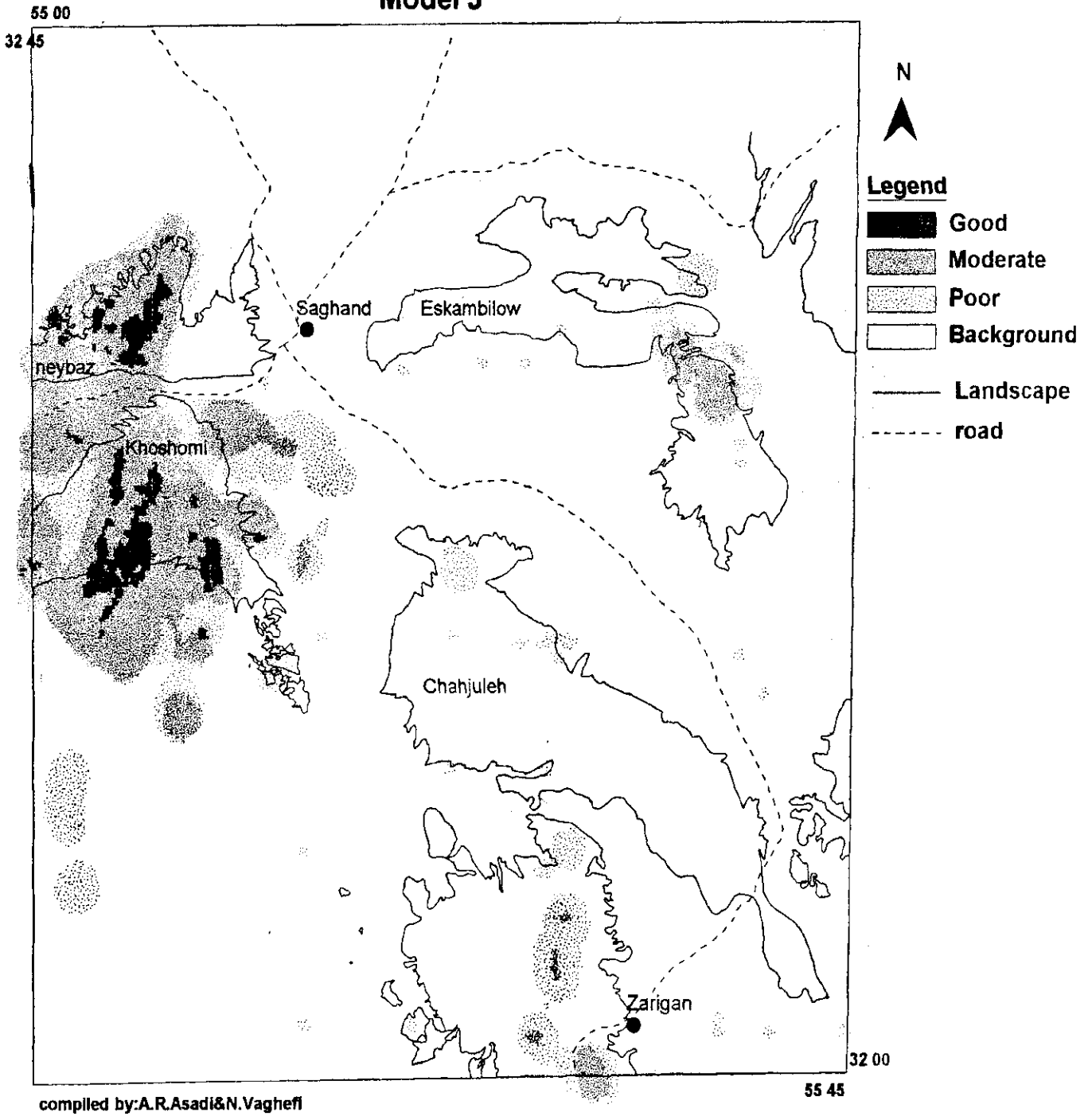
این ناحیه به دلیل وجود تنها کانسار شناخته شده اورانیوم در آن، به لحاظ شرایط فلز زایی به عنوان مدل مرجع انتخاب شد. بنابر مطالب پیش‌گفته، نقش مجموعه کافتی شده و اثر فلز زایی متاسوماتیسم قلیایی در بُعد منطقه‌ای از یکسو و محیط مناسب سنگ‌شناختی بخش چهار ساغند و انباشتگی کانی



شکل ۲- مدل چند معیاری شماره ۲



Model 3



شکل ۵- مدل چند معیاری شماره ۳



اورانیوم یا نزدیک این حوزه‌های مغناطیسی و یا بر روی این حوزه‌ها شکل گرفته است. این دو ناحیه به لحاظ فلززایی شرایط مناسبی دارند که مستلزم بررسی‌های ژئوفیزیکی اولیه است.

پی‌نوشت‌ها:

- ۱- geographic information system: کوتاه شده: سیستم اطلاعاتی مکانی
- ۲- thematic mapper
- ۳- complex
- ۴- infracambrian
- ۵- graben
- ۶- horst
- ۷- rifting
- ۸- siderophile
- ۹- lithophile
- ۱۰- landscape
- ۱۱- Quadtree: ساختار اطلاعاتی است که در تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار spans استفاده می‌شود.
- ۱۲- buffering
- ۱۳- criteria
- ۱۴- total count

اورانیت در سنگ میزبان تالک - سربانتین - مگنتیت متاسوماتیت (متاسوماتیسم ناقص) به صورت موضعی از سوی دیگر، نمایانگر شرایط مناسب در منطقه است. در این رابطه در فاصله ۱/۵ کیلومتری جنوب شرق کانسار ساغند، همچنین در نیم کیلومتری غرب این کانسار دو ناحیه مستعد اورانیوم دار شناسایی شد (شکل ۳).

۲-۷- ناحیه چاه‌گزر - زیرگان

در این ناحیه شرایط مناسبی مشاهده می‌شود. ساختارهای گسله‌ای و دگر نهادی شدیداً قلیایی همراه با کانسارهای آهن در آن به خوبی دیده می‌شود. این ناحیه تحت تأثیر دو سری متاسوماتیسم کامل قرار گرفته است که از شمال آن شروع می‌شود و توریوم‌زایی نسبت به اورانیوم شدت بیشتری داشته است. به سمت جنوب، مقدار اورانیوم نسبت به توریوم بیشتر می‌شود. در این رابطه، دو ناحیه یکی در شمال و دیگری در جنوب بخش گرانتیت‌دار زیرگان، به لحاظ بررسی‌های اولیه مستعد شناخته شد (شکل ۴).

۳-۷- ناحیه مغستان - خشومی

این ناحیه به سبب دگرگونی ناحیه‌ای و فعالیت‌های شدید زمین‌ساختی در دوران مزو - سنوزوئیک برای کانی‌سازی اورانیوم مناسب نیست. علاوه بر این، منطقه به طور کلی دارای میدان مغناطیسی ضعیف تا متوسط بوده و این خود نشانگر نامناسب بودن برای کانی‌سازی نوع اورانیوم - مگنتیت است (شکل ۵).

۴-۷- ناحیه چاه ناتک و آریز

چاه ناتک در شمال شرق منطقه کانسار ساغند در کویرالله‌آباد و آریز در کفه جنوب شرقی خشومی در کویر دره انجیر واقع شده‌اند. هر دو ناحیه به لحاظ ساختاری در تقاطع خطواره‌های اصلی پوسته‌ای و گسله‌های پی‌سنگ واقعند و زیر پوشش رسوبهای جدید قرار گرفته‌اند. هر دو ناحیه دارای حوزه مغناطیسی بسیار قوی و کانسارهای مگنتیت عمقی هستند که به احتمال زیاد، نمایانگر حوزه‌های متاسوماتیسم آلکان در عمق می‌باشند چنانکه قبلاً بیان شد، کانی‌سازی



References

۱. بارو. پی. ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترجمه دکتر حسن طاهرکیا، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها، (۱۳۷۸).
۲. ع. حقی پور، ن. وله، ج. پلیسروم، داودزاده، "شرح نقشه چهارگوش اردکان"، (۱۳۵۶).
۳. ب. سامانی، "معرفی سازند ساغند با رخساره ریفتی و جایگاه چینه‌نگاری آن در پرکامبرین پسین ایران مرکزی"، فصلنامه علوم زمین شماره ۶، (۱۳۷۲).
4. "Report on research programme at Saghand district," (1990).
5. "Regional evaluation and target area selection in central Iran, Beijing Research Institute of Uranium Geology," sept. (1992).
6. A. Haghypour, G. Pelissier, "Explanation of geological map of the Biabanak Bafq, area," (1977).
7. G. Bonham - Carter, "Modelling with GIS workshop," The 17th Symposium of Geosciences, Feb (1999).