





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف مواد معدنی

تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در برکه یکصد هزار گناباد با رویکرد
ترکیب اطلاعات

نگارنده : احمد رضا بسکابادی

اساتید راهنما :

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر رضا قوامی‌ریابی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۹۸

ب

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف مواد معدنی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احمدرضا بسکابادی

تحت عنوان:

تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در برکه یکصدهزار گناباد با رویکرد ترکیب اطلاعات

در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		دکتر بهزاد تخم‌چی
	نام و نام خانوادگی :		دکتر رضا قوامی‌ریایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		دکتر احمد واعظیان
			دکتر حمید آقاجانی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من درس زندگی آموخت او که
بالیدم از عشق وجودش و تنیده شد روحم از تار
و بودش و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق
که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم
همه مهر.

سپاسگزاری:

رسول خدا فرمودند:

”مَنْ عَلَّمَني حَرْفًا فَقَدْ سَيَّرني عَبْدًا“

بر خود لازم میدانم از راهنمایی‌های اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی و آقای دکتر رضا قوامی‌ریابی که در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه مرا یاری نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم. از اساتید عزیز جناب آقای دکتر حمید آقاجانی و آقای دکتر احمد واعظیان که داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از اساتید محترم دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود و همه دوستان عزیزی که به هر نحوی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، نهایت تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب احمدرضا بسکابادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تفکیک آنومالی های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه ای در برگه یکصد هزار گناباد بارویکرد ترکیب اطلاعات تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخم چی و دکتر رضا قوامی ریابی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده فارسی

ترکیب داده‌های اکتشافی اهمیت بسیاری در تعیین مناطق امید بخش کانی سازی و پتانسیل‌های معدنی دارد. از جمله ابزارهایی سودمند در تلفیق داده‌های اکتشافی می‌توان به دو روش بیزین و دمپسترشفر اشاره کرد. هدف از این تحقیق تعیین مناطق امید بخش کانی سازی فلزی با استفاده از ترکیب اطلاعات اکتشافی در منطقه ورکه یکصد هزار گناباد است. در این تحقیق پس از بررسی و پردازش داده‌های سنجش از دور، زمین‌شناسی، ساختاری و ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه، نقشه اکتشافی احتمال وجود آنومالی در روش بیزین و نقشه اعتقاد به وجود آنومالی و همچنین عدم قطعیت وجود ذخیره در این منطقه استخراج گردید.

به منظور مشخص کردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی از روش‌های دندوگرام و تحلیل فاکتوری در محیط نرم‌افزار *SPSS* استفاده شد. همچنین برای تفکیک زمینه و آنومالی از رسم نمودار احتمال در محیط نرم‌افزار *MATLAB* استفاده گردید.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار *ENVI* و برای آشکارسازی دگرسانی‌ها در منطقه انجام شد. واحدهای سنگی با اهمیت منطقه مرتبط کانی‌زایی مس، سرب و روی و همچنین گسل‌ها از روی نقشه زمین‌شناسی منطقه برداشت شد.

جهت اعتبار سنجی و دادن مقادیر احتمال اولیه نقشه معادن مس، سرب و روی منطقه تهیه شد. لایه‌های اطلاعات بدست آمده تحت برنامه‌های نوشته شده در نرم‌افزار *MATLAB* به دو روش بیزین و دمپسترشفر تلفیق شد. نتایج با نقشه معادن منطقه مقایسه شد و میزان خطا در هر روش محاسبه گردید. در انتها از خروجی هر روش ده نقطه با اهمیت بالاتر انتخاب و جهت حفاری و عملیات معدنی پیشنهاد گردید.

کلید واژه: تلفیق، آنومالی ژئوشیمی، تصاویر ماهواره‌ای، بیزین، دمپسترشفر، گناباد

فهرست

۱	..... فصل اول: کلیات	
۲	..... ۱-۱ مقدمه	
۲	..... ۲-۱ پیشینه تحقیق	
۶	..... ۳-۱ مطالعات انجام شده در منطقه	
۱۰	..... ۴-۱ نوآوری تحقیق	
۱۰	..... ۵-۱ ساختار پایان نامه	
۱۱	..... فصل دوم: معرفی محدوده مورد مطالعه و داده‌های تحقیق	
۱۲	..... ۱-۲ مقدمه	
۱۲	..... ۲-۲ موقعیت جغرافیایی عمومی گناباد	
۱۳	..... ۳-۲ زمین شناسی منطقه	
۱۴	..... ۱-۳-۲ مزوزوئیک (تریاس و ژوراسیک)	
۱۴	..... ۱-۱-۳-۲ سازند شتری Rs	
۱۴	..... ۲-۱-۳-۲ سازند نایبند	
۱۶	..... ۳-۱-۳-۲ سازند شمشک	
۱۸	..... ۲-۳-۲ رسوبات کرتاسه (مزوزوئیک)	
۱۸	..... ۱-۲-۳-۲ واحد آهکی کرتاسه زیرین K^1I	
۱۹	..... ۲-۲-۳-۲ واحد آهکی کرتاسه فوقانی K^12	
۱۹	..... ۳-۳-۲ سنوزئیک	
۲۰	..... ۱-۳-۳-۲ سنگ‌های آذر آواری آگلومرای E^a	
۲۰	..... ۲-۳-۳-۲ بازالت آندزیت‌ها E^{ba}	
۲۰	..... ۳-۳-۳-۲ ولکانیک‌های ائوسن E^v	
۲۰	..... ۴-۳-۳-۲ برش اسیدی تا بازیک E^b	
۲۱	..... ۵-۳-۳-۲ واحدهای اسیدی E^{ig}, E^g, E^r	
۲۱	..... ۶-۳-۳-۲ ریولیت، داسیت و تراکیت E^{rd}	
۲۱	..... ۷-۳-۳-۲ برش و توف اسیدی E^{bt}	
۲۲	..... ۸-۳-۳-۲ سنگ جوش ائوسن E^c	
۲۲	..... ۹-۳-۳-۲ ماسه سنگ‌های ائوسن E^{sa}	
۲۲	..... ۱۰-۳-۳-۲ سنگ جوش میوسن M^c	
۲۳	..... ۱۱-۳-۳-۲ سنگ ماسه و سنگ فورس میوسن M^{sc}	
۲۳	..... ۱۲-۳-۳-۲ سنگ جوش و ماسه سنگ پلیوسن - کواترنری PLQ^{ca}	
۲۳	..... ۱۳-۳-۳-۲ سنگ جوش کواترنری Q^c	

۲۴	.....رس وسيلت Q^{cl}
۲۴	.....آبرفت‌های پادگان‌های Q^{ll}
۲۴	.....لسها Q^l
۲۴	.....مخروط افکنه‌ها Q^{lf}
۲۴	.....پهنه‌های گلی و باتلاقی Q^c
۲۵	.....ماسه بادی‌ها Q^s
۲۵	.....انباشته‌های آواری رودخانه‌ای Qal
۲۵	.....پادگان‌های آبرفتی جوان $Qt2$
۲۵	.....توده‌های نفوذی
۲۵	.....گرانیت‌های ائوسن
۲۵	.....آندزیت‌های ائوسن
۲۶	.....دیوریت‌های ائوسن Ed
۲۶	.....دایک‌ها
۲۶	.....دایک میکروگرانودیوریت و میکروگرانیت ائوسن
۲۶	.....دایک با ترکیب میکروسینیت ژوراسیک
۲۷	.....زمین‌شناسی ساختاری و کانه‌زایی
۳۴	.....فعالیت‌های اکتشافی
۳۵	.....تصاویر ماهواره‌ای
۳۶	.....سنجنده استر
۳۶	.....سنجنده لندست ۷
۳۹	.....جمع بندی لایه‌های اطلاعاتی
۴۱	فصل سوم: مروری بر روشهای تحلیل داده‌ها
۴۲	.....۱-۳ مقدمه
۴۲	.....۲-۳ مطالعات دورسنجی
۴۳	.....۱-۲-۳ ترکیب رنگی کاذب (FCC)
۴۳	.....۲-۲-۳ نسبت‌گیری بانندی ($B.R$)
۴۴	.....۳-۲-۳ آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی یا روش کروستا
۴۶	.....۳-۳ روشهای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی
۴۶	.....۱-۳-۳ نمودار احتمال
۴۸	.....۲-۳-۳ تحلیل خوشه‌ای
۴۹	.....۳-۳-۳ آنالیز فاکتور
۵۰	.....۴-۳ داده کاوی
۵۱	.....۵-۳ ترکیب اطلاعات

۵۱	۳-۵-۱ احتمال شرطی.....
۵۲	۳-۵-۲ قانون ضرب احتمال.....
۵۲	۳-۵-۳ قانون احتمال کل.....
۵۲	۳-۵-۴ قانون بیز.....
۵۳	۳-۵-۵ کاربرد قانون بیز در تلفیق داده‌ها.....
۵۴	۳-۵-۶ روش دمپسترشفر.....
۵۶	۳-۵-۷ کاربرد روش دمپستر شفر در تلفیق داده‌ها.....
۵۹	فصل چهارم : نتایج تحقیق.....
۶۰	۴-۱ مقدمه.....
۶۰	۴-۲ اکتشافات ژئوشیمیایی.....
۶۰	۴-۲-۱ آماده سازی و پیش پردازش و نتایج حاصل از داده های ژئوشیمیایی.....
۶۴	۴-۲-۲ نمودار احتمال.....
۶۶	۴-۲-۳ تحلیل خوشه‌ای.....
۶۷	۴-۲-۴ آنالیز فاکتور.....
۷۳	۴-۳ لایه شکستگی ها و گسل های منطقه.....
۷۴	۴-۴ لایه اطلاعات واحدهای سنگی با اهمیت منطقه.....
۷۵	۴-۵ لایه اطلاعات معادن فلزی شناخته شده در منطقه.....
۷۶	۴-۶ لایه اطلاعات دگرسانی‌های منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای.....
۷۷	۴-۶-۱ دگرسانی پروپلتیک.....
۸۰	۴-۶-۲ دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته.....
۸۳	۴-۶-۳ دگرسانی فیلیک.....
۸۵	۴-۷ ترکیب اطلاعات.....
۸۹	۴-۷-۱ ترکیب اطلاعات به روش بیزین.....
۹۲	۴-۷-۱-۱ اعتبارسنجی نتایج روش بیزین.....
۹۳	۴-۷-۲ ترکیب اطلاعات به روش دمپستر شفر.....
۹۹	۴-۷-۲-۱ اعتبارسنجی نتایج روش دمپسترشفر.....
۱۰۱	۴-۸ توصیف یافته ها و مقایسه روشها.....
۱۰۳	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۰۴	۵-۱ نتیجه گیری.....
۱۰۵	۵-۲ پیشنهادات.....
۱۰۷	منابع:.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی گناباد ۱۳
- شکل ۲-۲ نقشه زمین شناسی ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
- شکل ۳-۲ گسلها و شکستگی های منطقه مورد مطالعه ۳۱
- شکل ۴-۲ اندیس های معدنی مشخص شده در نقشه زمین شناسی یکصد هزار گناباد ۳۴
- شکل ۵-۲ نقاط نمونه برداری کانی سنگین و رسوبات آبراهه ای گناباد ۳۵
- شکل ۶-۲ تصویر ماهواره ASTER محل مورد مطالعه (تلفیق رنگی کاذب ۱-۳-۵) ۳۷
- شکل ۷-۲ تصویر ماهواره ETM+ محل مورد مطالعه (نسبت گیری باندى) ۳۸
- شکل ۱-۳ نمودار احتمال عنصر PB ۴۷
- شکل ۲-۳ - نمودار دندروگرام داده های ژئوشیمیایی ۴۹
- شکل ۳-۳ نمودار تبدیل داده به دانش ۵۰
- شکل ۴-۳ روابط بین پارامترها در تئوری دمپستر شفر ۵۵
- شکل ۱-۴ مقادیر مختلف چولگی ۶۳
- شکل ۲-۴ مقادیر کشیدگی در توابع توزیع مختلف ۶۳
- شکل ۳-۴ نمودار هیستوگرام داده های اندازه گیری شده برخی از عناصر ۶۴
- شکل ۴-۴ میزان عیار عناصر مس، سرب و روی نقاط نمونه برداری شده در برگه یکصد هزار گناباد ۶۴
- شکل ۵-۴ نمودار احتمال عناصر مس، سرب، روی و تیتانیوم ۶۵
- شکل ۶-۴ نمودار احتمال عناصر مس، سرب و روی با این تفاوت که محور افقی لگاریتم غلظت عناصر است ۶۵
- شکل ۷-۴ نقشه نقاط آنومال به روش نمودار احتمال برای سه عنصر مس، سرب و روی ۶۶
- شکل ۸-۴ دندروگرام داده های منطقه مورد مطالعه ۶۷
- شکل ۹-۴ نمودار مقادیر ویژه در مقابل تعداد عامل ها روش PCA داده های منطقه ۷۰
- شکل ۱۰-۴ نقشه امتیازدهی فاکتور دوم استخراج شده براساس تحلیل مؤلفه اصلی ۷۲
- شکل ۱۱-۴ گسل ها و شکستگی های منطقه مورد مطالعه ۷۳
- شکل ۱۲-۴ لایه اطلاعات واحدهای سنگی مهم منطقه ۷۵
- شکل ۱۳-۴ معادن فلزی ثبت شده در سازمان صنایع، معادن و تجارت گناباد در منطقه مورد مطالعه ۷۶
- شکل ۱۴-۴ ارتباط زونهای دگرسانی هیدروترمال با ذخایر مس پورفیری ۷۷
- شکل ۱۵-۴ الف) دگرسانی پروپیلتیک ترکیب باندى 7 + 98 ASTER ۷۸
- شکل ۱۵-۴ ب) دگرسانی پروپیلتیک ترکیب باندى 6 + 97 + 8 ASTER ۷۹
- شکل ۱۵-۴ ج) دگرسانی پروپیلتیک روش کروستا 4 ASTER -PC ۸۰
- شکل ۱۶-۴ الف) دگرسانی آرژیلیک ترکیب باندى 4 + 56 ASTER ۸۱
- شکل ۱۶-۴ ب) دگرسانی آرژیلیک روش کروستا 4 ASTER PC ۸۲
- شکل ۱۶-۴ ج) دگرسانی آرژیلیک ترکیب باندى 57 ETM+ ۸۳

۸۴	شکل ۴-۱۷ الف) دگرسانی فیلیک ترکیب باندی 46 ASTER
۸۵	شکل ۴-۱۷ ب) دگرسانی فیلیک روش کروستا PC 4 ASTER-
۸۷	شکل ۴-۱۸ واحدهای سنگی مستعد کانی‌سازی
۸۷	شکل ۴-۱۹ تراکم گسل در نقاط نمونه برداری
۸۸	شکل ۴-۲۰ شدت هرکدام از دگرسانی‌ها در نقاط نمونه برداری
۸۹	شکل ۴-۲۱ لایه اطلاعات معادن منطقه
۹۰	شکل ۴-۲۲ نقشه احتمال وجود آنومالی با توجه به داده‌های ژئوشیمی
۹۱	شکل ۴-۲۵ نقشه احتمال وجود آنومالی با توجه به ترکیب‌های مختلف به روش بی‌زین
۹۲	شکل ۴-۲۶ مقایسه نقشه احتمال وجود آنومالی به روش بی‌زین و نقشه معادن موجود
۹۳	شکل ۴-۲۶ رابطه میان اعتقاد، عدم اعتقاد و عدم قطعیت
۹۴	شکل ۴-۲۷ نتایج تلفیق داده‌های CU و PB به روش دمپسترشفر AND و OR
۹۵	شکل ۴-۲۸ بلوک دیاگرام تلفیق دو به دو داده‌ها به روش دمپسترشفر
۹۶	شکل ۴-۲۹ خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها
۹۹	شکل ۴-۲۹ ادامه خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها
۱۰۰	شکل ۴-۳۰ مقایسه نقشه احتمال وجود آنومالی به روش دمپسترشفر و نقشه معادن موجود

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

امروزه روش‌های هوشمند تحلیل و تلفیق داده‌ها در اکثر رشته‌های علوم و مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اکتشافات معدنی نیز از این روش‌ها بهره برده و در تحلیل داده‌های خام برداشت شده از زمین برای جداسازی آنومالی از زمینه و کشف پتانسیل معدنی استفاده می‌کنند. به دلیل ناهمگونی در توزیع خواص فیزیکی و شیمیایی زمین، تخمین و مدل‌سازی این خواص با توجه به نوع و حجم داده‌های در دسترس معمولاً توأم با عدم قطعیت بالایی است.

سوآلی که مطرح می‌شود این است که نقشه‌های ارائه شده بر پایه این داده‌ها چقدر قابلیت اطمینان دارد؟ به عبارت دیگر ابهام موجود در تهیه داده‌ها تا چه حد بر روی پاسخ تاثیرگذار است. بدیهی است که داشتن معیاری از اطمینان و عدم قطعیت، منجر به شناخت بهتر واقعیت‌ها شده و ما را به سمت ارائه نقشه‌ای دقیق‌تر از پتانسیل‌های معدنی برای حفاری و پی‌جویی‌های بعدی راهنمایی می‌کند.

۱-۲ پیشینه تحقیق

در اکتشاف مواد معدنی، به منظور محدود کردن منطقه تحت پوشش عملیات اکتشاف، با مدل‌سازی پتانسیل‌های معدنی، نواحی هدف یا امید بخش مشخص می‌شود. برای این منظور به طور معمول از روش‌های داده محور یا دانش محور استفاده می‌شود (*Bonham-Carter, 1994; Nykänen &* *Salmirinne, 2007; Carranza, 2008*).

روش‌های دانش‌محور همچون منطق فازی (*Karimi et al., 2008*)، توابع نظر شهودی (توابع برآورد) (*Moon, 1990*) و گره وحشی (*Carranza & Hale, 2002*) هستند، که بر پایه نقطه نظرات کارشناسان، هر یک از نقشه‌های فاکتور تهیه می‌شود. روش‌های داده محور همانند شبکه عصبی (*Porwal et al., 2006*)، توابع نظر شهودی (*Carranza et al., 2009*)، رگرسیون لجستیکی (*Porwal et al., 2006*)، وزن‌های نشانگر (*Carter et al 1994*) و ماشین‌بردار پشتیبان (*Zuo & Carranza, 2006*)،

(2011) بر پایه رابطه مکانی میان فاکتورهای تهیه نقشه پتانسیل معدنی با ذخایر شناخته شده در منطقه استوار هستند.

استفاده از تئوری باور توسط دمپستر (1967) در تشریح اصول محاسباتی احتمالات بالائی و پائینی (حد بالا و پایین احتمال) آغاز شد. دمپستر نوعی عدم قطعیت درباره اندازه احتمال پیشامدها را مدل سازی نمود و شفر (1976) این نظریه را به عنوان نظریه شواهد برای ساختار نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت، فرمول بندی و تعریف ریاضی نمود. در دهه های گذشته تئوری استنباط آماری بیز (Berger, 1985; Bayes, 1763) به دلیل قدمتی که داشته تا حدودی تئوری دمپستر شفر را تحت پوشش قرار داده است. با این وجود مطالعات دمپستر شفر به عنوان یک تکنیک مدل سازی تحت شرایط عدم قطعیت، کاربردهای فراوانی دارد (Bayes, 1763). البته رویکردهای مختلفی برای مدیریت عدم قطعیت ارائه شده است. به طور مثال بوچنان و شورت لیف (1975) مدلی ارائه کردند که عدم قطعیت را مدیریت نمود و دارای فاکتورهای قطعی است، اما زمانی که دانش ناقصی داشته باشیم استفاده از روش های غیر قطعی مناسب تر است. فردریزی و کاسپرزیک (1980) مطالعاتی را روی ارجحیت بندی فازی و استفاده از ارزش فاصله ای برای نمایش نظرات و قضاوت متخصصین از طریق توزیع های تجمعی ارائه کردند. از میان این روش ها، تئوری دمپستر شفر برای زمانی که در آن اطلاعات از چند منبع گرفته می شود کاربردهای فراوانی دارد. تئوری دمپستر شفر در واقع یک چارچوب ریاضی برای توصیف داده های ناقص تهیه می کند (Neuhauser and Terhorst, 2007). لطفی زاده (1986) تئوری دمپستر شفر را ساده سازی کرد و مون (1990) برای اولین بار از این روش برای ترکیب داده های ژئوفیزیکی و زمین شناسی استفاده کرد. در ادامه، آن و همکاران (۱۹۹۴) نسبت به تلفیق داده ها در شرایط عدم قطعیت استفاده کردند.

کرم و همکاران (1999) روش فازی، بیزین و دمپستر شفر را جهت تشخیص مین در زمین پیاده سازی و مقایسه کردند، نتایج نشان داد روش دمپستر شفر بهترین نتیجه و پس از آن روش بیزین نتایج قابل قبول تری نسبت به روش فازی دارد. کوکار و همکاران (2000) در تحقیقاتی بیان کردند که روش ترکیب

اطلاعات زمانی اگر در تعامل با انسان باشد پاسخ مناسبی ارائه خواهد داد. پُرووال و همکاران (2006) از طبقه‌بندی کننده بیزین جهت ساخت نقشه‌های پتانسیل فلزات پایه استفاده نمودند.

کارانزا (2008) با استفاده از تابع اعتقاد شهودی عدم قطعیت در مدل را پیش‌بینی کرد و خواستار مطالعات بیشتری در ردیابی و رصد انتشار عدم قطعیت از نقشه‌های ورودی به نقشه خروجی گردید.

ساغری دوز (۱۳۹۳) در تحقیقی با عنوان "شناسائی زون‌های پرعیار مس در محدوده اکتشافی کانسار چاه فیروزه از طریق تلفیق داده‌های اکتشافی به روش دمپستر شفر"، به تلفیق شواهد اکتشافی در دو مقیاس ناحیه‌ای و محلی در محدوده کانسار مس پورفیری چاه فیروزه پرداخته است. همچنین برای مقایسه نتایج تلفیق لایه‌ها به روش دمپستر شفر، از روش منطق فازی نیز استفاده و نتایج بدست آمده را با هم مقایسه نمود. نقاط مستعد حاصل از روش دمپستر شفر علاوه بر نقاط مستعد بدست آمده از روش فازی، شامل بخش شمال غربی محدوده شده‌اند که می‌تواند در اکتشافات آینده مورد توجه قرار گیرد. برای بررسی صحت نتایج تلفیق محلی به روش دمپستر شفر از داده‌های عیارسنجی Zn ، Pb ، Cu و Mo در مغزه‌های حفاری استفاده شد که حاکی از تطابق نتایج می‌باشد.

لاریجانی (۱۳۹۴) به بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال با استفاده از روش‌های تلفیق بولتن، منطق فازی و دمپستر شفر در برکه یکصد هزار بستان آباد پرداخت. نتایج حاصل مناطق دارای پتانسیل بالا جهت انجام مراحل بعدی اکتشاف را مشخص نمود و مشاهده کرد که نتیجه روش‌های منطق فازی و دمپستر شفر بسیار به یکدیگر نزدیک بودند.

دو روش تصمیم‌گیری دانش مبنای فازی و دمپستر-شفر را مصطفوی کاشانی (۱۳۹۴) به کار گرفت تا نقشه پتانسیل نهایی محدوده مس سریدون کرمان را تهیه نماید. مزیت بالای روش دمپستر-شفر تهیه دو نقشه مستقل Sup (تخمین بدبینانه^۱) و Pls (تخمین خوش بینانه^۲) است که تفاضل آنها بیانگر عدم

¹ Pessimistic Estimate

² Optimistic Estimate

قطعیّت می‌باشد. برای تلفیق و همپوشانی مناسب این لایه‌ها که به بهترین نتایج منجر شود، لازم است به این لایه‌ها اوزان مناسبی اختصاص یابد. با توجه به این که هر دو روش دانش محور بوده لذا در نتیجه از تجربه متخصصین برای وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است. همچنین وجود ۷ گمانه اکتشافی در محدوده مورد مطالعه این امکان را فراهم کرد تا با تعریف یک ملاک بهره‌وری محاسبه و میزان همبستگی بین گمانه‌ها و نقشه‌های پتانسیل حاصل شده، بتوانیم قضاوتی از میزان صحت و دقت کار داشته باشیم که این میزان برای روش فازی حدود ۰/۸۶ و برای روش دمپستر شفر حدود ۰/۸۳ به دست آمدند. همچنین سه گمانه که بیشترین میزان مطابقت بین مدل و پتانسیل معدنی را داشتند در سه منطقه با پتانسیل بالا در نقشه‌نهایی قرار گرفتند که نشان از قابلیت بالای نقشه‌های پتانسیل به دست آمده برای پیشنهاد مناطقی برای کارهای اکتشافی بیشتر بود.

حسن زاده (۱۳۹۵)، از دو روش احتمالات شرطی بیزین و دمپستر شفر جهت شناسایی و جداسازی نمونه‌های آنومال معدنی در بررسی‌های اکتشافی برای مطالعه آنالیز عیار پنج عنصر طلا، نقره، مس، سرب و روی که از ترانسه و گمانه‌های اکتشافی منطقه لاطلا کرمان برداشته شده بود پرداخت. وی نتیجه گرفت که روش ترکیب اطلاعات دمپستر شفر با در نظر گرفتن فضای ابهام برای نمونه‌ها، پاسخ-های قابل قبول‌تری نسبت به بیزین نشان می‌دهد و آنومالی‌های قابل قبول تشخیص داده شد.

همچنین رضانی (۱۳۹۵) بر روی تحلیل عدم قطعیت در شناسایی مناطق تولید هیدروکربن با استفاده از تئوری دمپسترفشفر کار کرد با مقایسه نتایج حاصل از روش دمپستر شفر با نتایج بدست آمده از آزمایش چاه نشان داد که با تکیه بر ترکیب اطلاعات، شناسایی مناطق تولیدی و مدل سازی مخزن با دقت بالاتری انجام می‌گیرد.

قاسمی (۱۳۹۷)، جهت ارائه مدل عدم قطعیت در نقشه‌های پیشگوی اکتشافی ذخایر ماسیوسولفید بوانات از روش دمپسترفشفر استفاده کرد. در این تحقیق از روش تحلیل شبکه‌ای، تاپسیس و عملگر

میانی وزنی مرتبه یافته نیز جهت تولید نقشه‌ها استفاده شده و به وسیله روش ترکیب اطلاعات دمپستر- شفر تصحیح شده با دانش، مساحت محدوده‌های پیشنهادی دیگر روش‌ها محدود شده و مدل‌سازی عدم قطعیت در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است.

۱-۳ مطالعات انجام شده در منطقه

برخی از پروژه‌های اجرایی که در منطقه مورد مطالعه انجام شده‌اند به شرح زیر هستند:

امانوئل فوله (۱۳۸۳) اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ گناباد کرد. پس از آن قائمی (۱۳۸۴) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گناباد را تهیه کرد. سپس صفری (۱۳۸۶) با تهیه گزارش پی‌جویی و شناسایی مواد معدنی بر گه ۱/۱۰۰۰۰۰ گناباد برای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران این کار را تکمیل کرد.

مطالعات زمین‌شناسی معدنی و ژئوشیمیایی منطقه کبوترکوه شهرستان گناباد برای وزارت صنایع و معادن ایران سازمان صنعت و معدن خراسان رضوی توسط مهندسین مشاور آب‌یافت (۱۳۸۶) آماده گردید.

مرادی نقندر و همکاران (۱۳۸۹)، ضمن بررسی زمین‌شناسی، پترولوژی و کانی‌شناسی توده‌های نفوذی منطقه کلاته آهنی - گناباد نشان دادند واحدهای سنگی شامل توده‌های نفوذی متنوع، از ترکیب گرانیتی تا دیوریتی، سنگهای دگرگونی نظیر اسلیت و کوارتزیت و ماسه سنگ می‌باشد. گرانودیوریت به صورت باتولیت با روند تقریبی شرقی - غربی در اسلیت و کوارتزیت‌های ژوراسیک نفوذ نموده است. براساس ترکیب کانی‌شناختی و خودپذیری مغناطیسی کم توده‌های گرانیتی مربوط به سری ایلمینیت (نوع احیایی) و از گرانیت‌های نوع S است. این توده‌ها از نوع متا آلومینوس بوده، عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILE) شامل *Rb, Ba, Zr, Th, Hf, K* و عناصر کمیاب (REE) شامل *Ce, Sm* غنی شدگی و عناصر *Sr, P, Ti* تهی شدگی نشان می‌دهند. در نمودار عناصر کمیاب، غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) در حد متوسط و تهی شدگی عناصر خاکی سنگین (HREE) در حد عادی مشاهده می

شود. براساس ترکیب کانی‌شناختی و خودپذیری مغناطیسی زیاد، موزونیت‌ها مربوط به سری مگنتیت (نوع اکسیدان) و از گرانیتهای نوع *I* هستند.

ایشان در مقاله‌ای دیگر با عنوان دگرسانی، کانی‌سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی (رسوبات رودخانه و سنگ) شرق نجم‌آباد (گناباد) (۱۳۹۱) با بررسی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سنگین منطقه شرق نجم‌آباد در ۱۵ کیلومتری جنوب خاوری گناباد نشان داد که بیشترین میزان بی‌هنجاری عناصر *Au*، *W*، *Sn*، *Pb*، *Zn*، *Cu*، *As* در گرانودیوریت‌ها که در بخش شرقی منطقه رخنمون دارند شناسایی شده است.

در مقاله‌ای با عنوان "بررسی قابلیت‌های کانه‌زایی منطقه شمال غرب گناباد" زیرجانی‌زاده و همکارانش (۲۰۱۱) با اعمال روش نقشه برداری زاویه طیفی به بارزسازی کانی‌های دگرسانی‌های مختلف در منطقه پرداختند. بیشترکانی‌ها نظیر کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت، کلریت، اپیدوت و کوارتز که در دگرسانی‌های آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته و پروپیلیتیک و سیلیسی یافت می‌شوند، با پردازش تصاویر آستر شناسایی شدند. بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی رسوبات رودخانه، برخی عناصر مانند باریم بین ۳۲۸ تا ۱۱۶۰ ppm، سرب ۱۷ تا ۳۰۱ ppm، آنتیموان ۰ تا ۳۸ ppm و روی بین ۴۵ تا ۱۳۳ ppm آنومالی نشان می‌دهند. ویژگی واحدهای سنگی به لحاظ ترکیب و سن، وجود دگرسانی‌های متنوع و گسترده و آنومالی عناصر مس، روی، آنتیموان، سرب و باریم در رسوبات رودخانه‌ای، توجه بیش از پیش به این منطقه را طلب می‌کند.

همچنین هامونی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی کانی‌سازی، ژئوشیمی و پترولوژی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز، جنوب شرق گناباد پرداختند. غنی‌شدگی در عناصر *LREE* نسبت به *HREE* در همه توده‌ها دیده می‌شود که نشان دهنده تشکیل آنها در زون فرورانش است. توده‌های نفوذی منطقه تحت تاثیر آلتراسیون های کربناتی_سرسیتی ضعیف، آرژیلیک متوسط سریسیتی ضعیف، کوارتز_سرسیت_کربنات ضعیف، کربناتی ضعیف، متوسط و آرژیلیک شدید و سیلیسی متوسط قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی در منطقه شامل کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. نمونه‌برداری

ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی آنومالی‌هایی از عناصر مس (بیش از $10000(ppm)$)، قلع (بیش از $10000(ppm)$)، سرب (بیش از $10000(ppm)$)، روی (حداکثر تا $5527(ppm)$)، تنگستن (حداکثر تا $48(ppm)$)، طلا (حداکثر تا $325(ppb)$) و نقره (حداکثر تا $29(ppm)$)، نشان می‌دهد. کانی‌سازی این منطقه از نوع پلی متال رگه‌ای است.

کریم‌پور و همکارانش (2013) در مقاله‌ای با عنوان "زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی ایزوتوپ $Rb-Sr$ و $Sm-Nd$ ، سن سنجی $U-Pb$ و توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌سازی کرتاسه منطقه کلاته آهنی"، در 27 کیلومتری جنوب غرب گناباد را نشان داد. کانی‌سازی منطقه در سطح به شکل دو رگه سیلیسی-سولفیدی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی بوده که بخش اعظم کانیهای سولفیدی اکسید شده‌اند. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و کانیهای ثانویه شامل ملاکیت، کریزوکولا، هماتیت و گوتیت همراه با باطله کوارتز و سیدریت است. ناهنجاریهای بالای ژئوشیمیایی از عناصر مس، سرب، روی، قلع، آرسنیک و طلا در رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌سازی در سطح زمین و مغزه‌ها دیده می‌شود، به طوری که حداکثر مس تا بیش از 0/6 درصد، آرسنیک، سرب و روی تا بیش از 1 درصد، طلا تا 150 میلی‌گرم در تن و قلع تا 133 گرم در تن اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است مقدار قلع در رگه‌ای در شمال محدوده (رودگز) تا بیش از 1 درصد می‌رسد. براساس شواهد آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی، احتمالاً کانی‌سازیهای قلع با گرانیتوئیدهای احیایی کرتاسه در ارتباط است.

زیرجانی‌زاده و همکاران (2014)، در مقاله‌ای با عنوان "بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نهشته‌های کانی رسی منطقه کلاته نو" به مطالعه شمال غرب گناباد پرداختند. زون‌های دگرسانی سیلیسی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، سرسیتیک و کوارتز- سرسیت- پیریت در منطقه شناسایی شدند. کانی‌سازی کلاته نو، بوسیله آلتراسیون توفهای اسیدی مرتبط با ولکانیسم پالئوسن- ائوسن شکل گرفته است. این نهشته حاوی کوارتز، فازهای آهن‌دار (پیریت و هماتیت)، ایلیت، موسکویت، مونتموریونیت، آلبیت، ارتوکلاز و ژیپس است. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که میزان SiO_2

در منطقه معدن کلاته نو نسبتاً بالا بوده و به طور میانگین ۶۶/۹۷٪ است و میانگین میزان Al_2O_3 ۱۷/۶۸٪ است. در نتیجه شستشو بوسیله آبهای جوی و نفوذی و محلولهای هیدروترمالی، رس‌های سوپرژن و در قسمت‌های عمیق‌تر رس‌های هیدروترمالی شکل گرفته است.

همام و همکاران (2015) در مقاله با عنوان "پترولوژی، ژئوشیمی و جایگاه تکتونیکی مجموعه گرانیتوئیدی چاه یوسف (جنوب شرق گناباد)" واقع در ۷۲ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان گناباد، شرق تا جنوب شرقی ورقه‌ی گناباد را بررسی نمودند. با توجه به آنومالی‌های منفی Eu , Sr , Ba و غنی‌شدگی $LREE$ نسبت به $HREE$ ، نتیجه گرفتند که تفریق پلاژیوکلاز و فلدسپارتاسیم عامل مهمی در تحول ماگمایی سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند. بر اساس شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی مختلف این گرانیت‌ها S -Type بوده و در موقعیتی پس از کوهزایی سازگار (POG) تشکیل شده‌اند.

زیرجانی‌زاده و همکاران (2016) ضمن بررسی کانی‌سازی، ژئوشیمی و سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی شمال غرب گناباد دگرسانی گسترده‌ای در جنوب منطقه که بیشتر از نوع آرژیلیک اند شناسایی کردند. ترکیب کانی‌شناسی این دگرسانی به ترتیب فراوانی عبارتند از کوارتز، کائولن، دیکیت، مونتموریلونیت، هماتیت و آلونیت است. بررسی‌های ژئوشیمیایی روی توده‌های سنگی نشان می‌دهد که گرانیت‌ها ماهیت آهکی-قلیایی با پتاسیم بالا داشته و در گستره پراآلومینوس و متاآلومینوس قرار می‌گیرند. الگوی عناصر خاکی نادر (REE)، غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک ($LREE$) ($3/5 - 5/5$ با میانگین $4/75$) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین ($HREE$) $[Dy/Yb]n = 0/9 - 1/4$ نشان می‌دهد. سنگ‌های آتشفشانی غنی‌شدگی $LREE/HREE$ با دامنه تغییرات LaN/YbN گستره‌ای از $3/53$ تا $15/47$ و بی‌هنجاری منفی Eu ، (با میانگین $Eu^*EuN = 0/54$) نشان می‌دهند.

۴-۱ نوآوری تحقیق

هدف از این تحقیق بدست آوردن نقشه عدم قطعیت پتانسیل معدنی است، بطوری که در نقشه خروجی علاوه بر غلظت احتمال، وجود ماده معدنی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در این تحقیق روابط اعمال شده برای بدست آوردن هر کدام از خروجی‌ها، به صورت کامل کد نویسی شده است. از مزیت‌های آن این است که در صورت نیاز می‌توان رابطه‌ای را زیاد یا کم کرد و بصورت واحد به واحد (پیکسل) نقشه را بررسی و اعمال تغییرات کرد. دو روش بیزین و دمپسترشفر نیز علاوه بر داده‌های ژئوشیمی بر روی داده‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای نیز اعمال شد.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل می‌باشد. در فصل اول به بیان پیشینه موضوع، اهداف و نوآوری‌های تحقیق پرداخته شده است. فصل دوم مشتمل به بیان موقعیت جغرافیایی منطقه، بررسی زمین‌شناسی، رسوبات آبراهه‌ای، فعالیت‌های اکتشافی و اطلاعات ماهواره‌ای پرداخته شده است. در فصل سوم با روش‌های تحلیل چند متغیره و ترکیب اطلاعات به دو روش بیزین و دمپسترشفر آشنا خواهیم شد. نتایج تحقیق شامل ترکیب اطلاعات و تحلیل چند متغیره داده‌ها را در فصل چهارم ارائه خواهیم کرد. فصل آخر هم برای نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم برای پروژه‌های آتی در نظر گرفته شده است.

فصل دوم: معرفی محدوده مورد مطالعه و داده‌های تحقیق

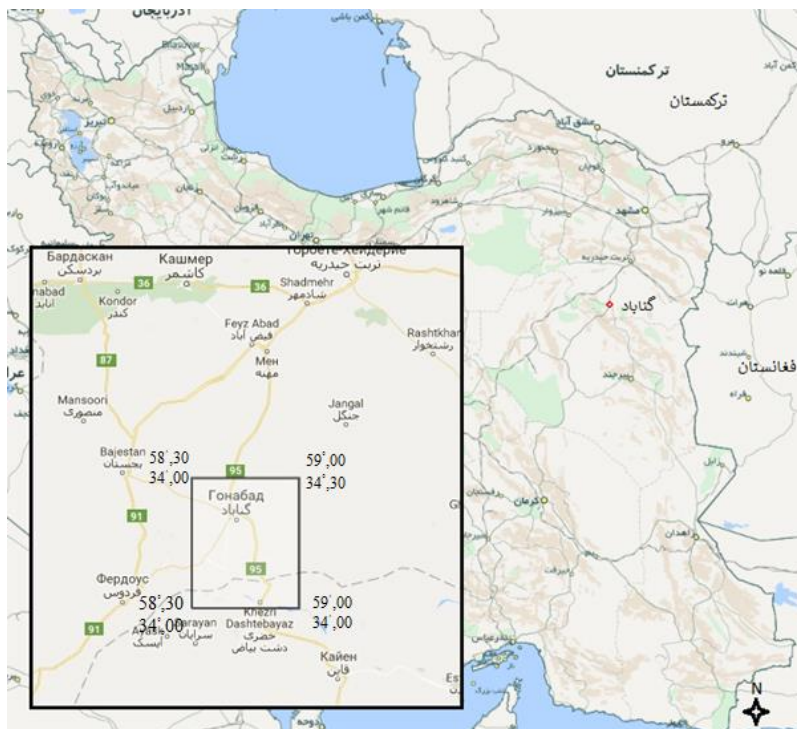
۱-۲ مقدمه

در این فصل با موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، زمین‌شناسی و فعالیت‌های اکتشافی انجام شده و دیگر داده‌های موجود از منطقه آشنا خواهیم شد. شهرستان گناباد با وسعت حدود ۷۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب استان خراسان رضوی و همجوار با شهرستانهای تربت حیدریه، کاشمر، قائن، خواف، فردوس و بجستان واقع شده است. در ادامه به بررسی جزئی‌تر می‌پردازیم.

۲-۲ موقعیت جغرافیایی عمومی گناباد

منطقه مورد مطالعه، در شرق ایران و جنوب استان خراسان رضوی، حد فاصل مختصات جغرافیایی ۳۰° و ۵۸' تا ۳۰° و ۵۹' طول شرقی، ۳۴° و ۳۰' تا ۳۴° و ۳۰' عرض شمالی قرار گرفته است. از جمله آبادیهای مهم این برکه می‌توان به شهرهای گناباد، کاخک و بیدخت اشاره کرد.

شهرستان گناباد به دلیل واقع شدن در مسیر کریدور شمال به جنوب (جاده سنتو) راه ارتباطی خراسان رضوی با خراسان جنوبی و مسیر پیشنهادی راه‌آهن در حال احداث مشهد به زاهدان (سیستان و بلوچستان) دارای اهمیت خاصی است. فاصله گناباد از شهرستان مشهد (مرکز استان) ۲۷۴ کیلومتر است. شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی گناباد

۳-۲ زمین شناسی منطقه

از نظر تقسیمات ساختاری، منطقه مورد مطالعه بخشی از ایران مرکزی و در شمال بلوک لوت واقع است. در شکل ۲-۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی، دگرگون شده سازند شمشک است که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق مونزونیتی در آنها نفوذ نموده‌اند. این توده‌های نفوذی در نمونه‌های کمتر آلتره، دارای پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از SI $10^{-5} \times 25$ است که نشان دهنده گرانیوتوئیدهای سری ایلمنیت و احیایی هستند. آلتراسیون‌های آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک و هماتیتی در سنگ‌های دگرگونی و توده‌های مونزونیتی دیده می‌شود و زون آرژیلیک، مهمترین آلتراسیون منطقه است. کانی‌سازی منطقه در سطح به شکل دو رگه سیلیسی-سولفیدی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی دیده می‌شود که بخش اعظم کانی‌های سولفیدی اکسید شده‌اند.

واحدهای زمین‌شناسی دارای رخنمون در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است که بر اساس گزارش نقشه یکصدهزار گناباد تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی شرق کشور تنظیم گردیده است.

۲-۳-۱ مزوزوئیک (تریاس و ژوراسیک)

۲-۳-۱-۱ سازند شتری R_s : برونزد این سازند در کوه شتران واقع در خاور گناباد دیده می‌شود. که به طور هم شیب بر روی سازند جمال قرار می‌گیرد. این سازند شامل آهک خاکستری تیره رنگ نازک لایه به ضخامت ۵۰ متر است که بر روی آن واحد ضخیمی از دولومیت زرد تا قهوه ای رنگ متوسط لایه قرار گرفته است. ضخامت این بخش نزدیک به ۲۵۰ متر است. در ادامه مجموعه‌ای از آهک و دولومیت متوسط تا ضخیم لایه خاکستری تیره قرار دارد که ضخامت آن به دلیل به هم ریختگی مجموعه، قابل اندازه گیری نیست.

۲-۳-۱-۲ سازند نایبند: این سازند با ضخامتی در حدود ۳۰۰ متر از دو عضو تشکیل شده که به شرح زیرند:

الف- عضو آهکی نایبند R_n^1 : این واحد در یک توالی از پایین به بالا شامل آهک شیلی با رنگ روشن، آهک ضخیم لایه به رنگ تیره، تناوب آهک نازک لایه، آهک شیلی، سنگ ماسه نازک لایه تا متوسط لایه، آهک اینتراکلاستی و آهک اونکولیت‌دار نازک لایه با رنگ کلی خاکستری تیره تا روشن است. کاملترین رخنمون مجموعه یاد شده در شمال خاور کبوترکوه دیده می‌شود. در این منطقه سازند نایبند در مرکز یک تاقدیس که یال جنوبی آن برگشتگی دارد، جای می‌گیرد. محور تاقدیس راستای تقریباً خاوری - باختری دارد.

رخنمون دیگر این واحد در کوه چنگور و کوه پوزه‌بادام قرار دارد. که، بخش آهکی ضخیم لایه سازند نایبند است و به صورت رورانده^۳ بر روی سنگ‌های آتشفشانی با سن ژوراسیک قرار گرفته است. بر پایه فسیلها^۴ سن این واحد تریاس پیشنهاد شده است.

مرز زیرین این واحد با سنگ‌های کهن‌تر در منطقه دیده نمی‌شود ولی مرز بالایی آن با عضو سنگ ماسه‌ای سازند نایبند در شمال کبوتر کوه رخنمون دارد. ضخامت این واحد در حدود ۲۱۰ متر برآورد شده است.

ب-عضو ماسه ای نایبند R_n^s : این عضو، شامل سنگ ماسه کوارتزیتی متوسط تا ضخیم لایه به رنگ تیره است. برونزد اصلی آن در شمال خاور کبوتر کوه و در یال شمالی تاقدیس برگشته عباس آباد جای دارد. این واحد به طور هم شیب بر روی عضو آهکی سازند نایبند تشکیل شده و مجموعه آتشفشانی ژوراسیک بر روی آن جای گرفته است. از این رو، از دیدگاه موقعیت چینه نگاشتی، می توان آن را بخش زیرین سازند نایبند در نظر گرفت. ضخامت این عضو نزدیک به ۹۰ متر است.

۲-۳-۱-۳ سازند شمشک: سازند شمشک بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارد. فراوانی ساختمان‌های زمین شناختی مانند چینهای برگشته^۵، چینهای خوابیده^۶، گسل‌های راستالغز و راندگی سبب شده است تا این سازند گسترش سطحی زیادی پیدا کند و ضخامت حقیقی آن نامشخص بماند. سازند شمشک در منطقه از سه عضو رسوبی سنگ ماسه ای و اسلیتی J_s^{sl} ، اسلیتی و سنگ ماسه ای J_s^{sl} و سنگ ماسه ای J_s^s و یک عضو آتشفشانی J_s^v تشکیل شده است. شواهد موجود نشان می‌دهد که سازند شمشک در محیط کم ژرفای دریایی^۷ نهشته شده‌اند. در درون محدوده نقشه گناباد و در شمال کبوتر کوه همبری مجموعه یاد شده با سازند نایبند، با واسطه سری سنگهای آتشفشانی همراه است.

³ nappe

⁴ *Aulotortus chialing chiangensis* - *Aulotortus communis* - *Gaudryina* sp. - *Trocholina* sp.

⁵ overturned fold

⁶ recumbent fold

⁷ Epicontinental shelf

در مجموعه رسوبی شمشک، سیل وتوده‌های نفوذی کوچکی با جنس میکروگابرو جایگیری با پراکندگی بسیار محدود در سطح منطقه و در سطح نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ قابل نمایش نبوده است. در سازند شمشک، بر اثر دگرگونی ناحیه ای حالت برگوارگی پدیدار شده که عمدتاً به موازات سطوح لایه‌بندی گسترش یافته است. این سازند در جنوب خاور شهر گناباد و جنوب رشته کوه ناگهانی، تحت تاثیر نفوذ گرانیات قرار گرفته و در حاشیه این همبری کوارتزیت هورنفلس ایجاد شده است.

عضو آتشفشانی شمشک J^s این عضو شامل توف، آگلومرا، سنگ‌های آتشفشانی با بافت‌های بادامی، کوارتز آندزیت، کوارتز تراکی آندزیت با رنگ کلی سبز تیره تا بنفش تیره از فعالیتی آتشفشانی حداوسط است. این واحد به بهترین شکل در جنوب کوه ناگهانی و خاور کبوتر کوه و همچنین کوه چنگور بر روی عضو نایب رخمون دارد. در محدوده چهارگوش گناباد، عضو آتشفشانی شمشک را می‌توان قاعده این سازند در منطقه معرفی نمود. ضخامت این واحد در شمال کبوتر کوه در حدود ۲۳۰ متر تخمین زده می‌شود.

عضو سنگ ماسه ای واسلیتی شمشک $J^{sl.s}$: این رخساره شامل تناوبی از ماسه‌سنگ دگرگون شده به رنگ خاکستری تیره تا سبز تیره با فیلیت واسلیت تیره تا سیاه است. ماسه‌های این مجموعه، به طور عمده، کوارتزیتی، یا فلدسپاتیک و نازک لایه تا متوسط لایه هستند. ساختمان‌های رسوبی ریپل مارک، وزنی (به فراوانی) و رخ مضرس تحت تاثیر دگرگونی ناحیه ای در این مجموعه‌ها ایجاد شده است. کانیهای تشکیل دهنده ماسه سنگ‌ها به طور عمده شامل پلاژیوکلاز، کوارتز و بیوتیت است که با سیمان کربناته یا اکسید آهن در کنار هم قرار گرفته‌اند.

عضو اسلیتی و سنگ ماسه‌ای شمشک $J^{sl.s}$: این عضو شامل تناوبی از اسلیت به رنگ خاکستری تیره و ماسه‌سنگ دگرگونه تیره رنگ نازک لایه تا متوسط لایه است. رخمون این عضو در ارتفاعات جنوبی و شمال باختری گناباد قابل مشاهده است. در ارتفاعات جنوبی این مجموعه بلندی‌های صعب العبوری را

ایجاد نموده است. شیل‌های دگرگونه، بطور عمده، سیلتی آرژیل دارند که حاوی میکا و سربیسیت فراوانی هستند. سنگ ماسه‌های دگرگونه نیز بطور عمده کوارتز فلدسپاتیک هستند.

عضو سنگ ماسه‌ای شمشک J_s^8 : این عضو شامل کوارتز آرنیت دگرگونه با رنگ تیره و متوسط لایه با میان لایه‌هایی محدود از فیلیت تیره رنگ است. ماسه سنگ دگرگونه این عضو، بطور عمده، دانه ریز و دارای میکا، فلدسپار، کوارتز و سربیسیت است. کانی‌های تورمالین زیرکن و آپاتیت به عنوان کانیهای همراه نیز در آنها یافت می‌شود. در کوه ناگهانی، بهترین رخنمون این واحد سنگی دیده می‌شود. در اینجا، عضو ماسه‌سنگی شمشک تحت تاثیر توده گرانیته (دگرگونی همبری) گرفته است. مطالعات دیرینه‌شناسی بر روی نمونه‌های برداشته شده از واحدهای شیلی دگرگونه سازند شمشک⁸ را براساس فسیل‌ها⁹ مشخص می‌کند.

۲-۳-۲ رسوبات کرتاسه (مزوزوئیک)

رسوبات کرتاسه رخنمون قابل توجهی در محدوده شهرستان بجستان دارند. این رسوبات شامل توالی قابل ملاحظه‌ای از رسوبات آهکی بوده که بیشتر به صورت دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی تر قرار گرفته (کرتاسه بالایی) و از دو بخش تشکیل شده اند که عبارتند از:

۲-۳-۲-۱ واحد آهکی کرتاسه زیرین K^1I : این مجموعه شامل آهک ضخیم لایه تا توده ای است که حاوی فسیلهای دو کفه‌ای رودیست و پکتن است. واحد یاد شده در جنوب روستای مهاباد در گذری تدریجی بر روی واحد K^m_1 جای می‌گیرد. در جنوب کوه سیاه، این مجموعه با ارتباطی گسله از نوع راندگی در همبری سازند شمشک قرار می‌گیرد. بیرون زدگی عمده این مجموعه در کوه کمرخید است. در اینجا، مجموعه کرتاسه به صورت راندگی بر روی مجموعه ژوراسیک قرار گرفته است. وجود خردشدگی شدید و برش گسله و همچنین بریدگی امتداد لایه‌های کرتاسه در همبری آنها با سازند

⁸ *Liassic تا Rhaetian* سن 8

⁹ *Cycadopites sp.-Classopollis sp.-Duplexisporites sp.-Punctatosporites sp.-Alisporites sp.*

شمشک دلیلی بر وجود این ارتباط گسله است. حذف واحد مارنی و سنگ ماسه ای کرتاسه در این منطقه را نیز می توان دلیلی دیگر بر وجود رابطه گسله میان مجموعه کرتاسه و ژوراسیک دانست.

رخنمون دیگر این واحد در باختر کبوترکوه قرار دارد. در اینجا، آهک کرتاسه در همبری نهشته‌های سنوزوئیک جای دارد. برپایه فسیلهای یافت شده در این واحد^{۱۰}، سن کرتاسه زیرین^{۱۱} را می توان برای آن پیشنهاد نمود.

۲-۲-۳-۲ واحد آهکی کرتاسه فوقانی K¹²: این واحد شامل سنگ آهک هیپوریت‌دار، آهک ماسه-ای، آهک تخمی و آهک اینتراکلاستی به رنگ کرم تا قهوه‌ای و لایه‌بندی متوسط تا ضخیم است. رخنمون این واحد در کوه سمعلی و پیرامون روستای شوراب دیده می شود. مجموعه یاد شده به گونه هم شیب بر روی واحد مارنی کرتاسه بالایی جای می گیرد.

فسیلهای^{۱۲} بدست آمده از این مجموعه سن کرتاسه بالایی^{۱۳} را برای آن مشخص می سازند. ضخامت واحد یاد شده در کوه سمعلی و شمال گناباد نزدیک به ۱۲۰ متر تخمین زده می شود.

۲-۳-۳ سنوزوئیک

واحدهای سنگی با سن سنوزوئیک در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گناباد شامل مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی نیمه عمیق و نفوذی و سنگهای رسوبی آواری است. محدوده سنی دقیقی برای سنگهای آذرین نمی توان مشخص کرد ولی چون این مجموعه، واحد سنگی با سن کرتاسه بالایی را تحت تاثیر قرار داده است و واحد سنگی با سن میوسن تحت تاثیر این فازهای ماگمایی نبوده، محدوده

¹⁰ *Orbitolina concave - Lenticulina sp. - Textularia sp. - Miliolids - Rudist*

¹¹ *Aptian - Albian*

¹² *Orbitoides sp. - Daxia cenmanan - Rotalia cf. skeurensis - Broeckina dufreynoyi - Lenticulina sp. - Valvulammina picurdi - Oalveolina sp. - Dicyclina sp..*

¹³ *Cenomanian تا Maastrichtian*

سنی پالئوسن تا ائوسن برای آنها در نظر گرفته می‌شود. یادآوری می‌شود که شرح این واحدها براساس تقدم یا تاخر در سن آنها نیست.

۲-۳-۳-۱ سنگهای آذر آواری آگلومرای E^a : این واحد با رنگ سبز تیره تا قرمز به همراه توف است. قطعات تشکیل دهنده آگلومرا شامل تراکی آندزیت و کوارتز تراکی آندزیت است که حاصل فوران آتشفشانی با ترکیب حدواسط هستند. رخنمون این واحد در شمال گناباد و در کنار جاده گناباد - مشهد و کوه شکسته چاه سد دیده می‌شود. ضخامت این واحد از ۹۰ تا ۲۰۰ متر در تغییر است.

۲-۳-۳-۲ بازالت آندزیتها E^{ba} : این مجموعه شامل بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت‌های منشوری، توف و آگلومرا است. رنگ کلی آن سبز تیره تا بنفش تیره است و در بعضی نقاط بر روی ژوراسیک جای می‌گیرد. گسترش واحد یاد شده، در شمال گناباد به نسبت بالا است و در جنوب کوه کمرخید و شمال کوه ناگهانی نیز رخنمون آن دیده می‌شود. در شمال کوه ناگهانی، این واحد تحت تاثیر گرانیت قرار می‌گیرد. در حاشیه نفوذ گرانیت، آلتراسیون کائولن ایجاد شده است. این واحد بر روی مجموعه E^a جای می‌گیرد و شاید بتوان آن را یک فوران ماگمایی با ترکیب مافیک تا حدواسط پس از واحد E^a ، که واحدی آذر آواری است، دانست. ضخامت این مجموعه از ۸۰ تا ۱۸۰ متر متغیر است.

۲-۳-۳-۳ ولکانیکهای ائوسن E^v : شامل بازالت، شیشه آتشفشانی، توف و آگلومرا به رنگ سبز تیره است. این مجموعه که در حاشیه جاده مشهد به گناباد و در شمال باختر کوه شرحصار و کوه شکسته چاه سد دیده می‌شود، در حقیقت، بخش قابل تفکیک از واحد E^{ba} است که در پاره‌ای نقاط تفکیک شده است. ضخامت این مجموعه از ۸۰ تا ۱۰۰ متر تغییر است.

۲-۳-۳-۴ برش اسیدی تا بازیگ E^b : این واحد آذر آواری شامل برش اسیدی تا بازیگ با رنگ کرم است که به گونه ای محدود در کوه اتابک رخنمون دارد. واحد E^a مجموعه آذر آواری در رابطه با فعالیت آتشفشانی با ترکیب اسیدی است. ضخامت این واحد از ۵۰ تا ۹۰ متر در تغییر است.

۲-۳-۳-۵ واحدهای اسیدی E^{ig} , E^g , E^r پس از فعالیتهای آتشفشانی با ترکیب حدواسط E^{ba} فرآیندهایی با ترکیب اسیدی در منطقه دیده می‌شود. این فعالیت با واحد E^{ig} مشخص می‌شود. واحد فوق شامل سنگهای آذر آواری همانند ایگنمبریت بنفش تا قرمز رنگ، آگلومرا به رنگ قرمز، توف اسیدی و سنگهای آتشفشانی شامل ریولیت، داسیت و تراکیت است که بر روی واحد E^{ba} جای می‌گیرند. مجموعه یاد شده در شمال گناباد و جنوب روستای شیرازوند گسترشی به نسبت بالا دارد. در نقاطی چند، واحد یاد شده با واسطه واحد E^g که شامل سنگ شیشه، پرلیت و اسفرولیت است، بر روی واحد E^{ba} جای می‌گیرد. واحد E^r آذرآواری و شامل توف اسیدی با رنگ کرم است. برونزد آن در کوه اتابک دیده می‌شود. این واحد همزمان با فوران آتشفشانی اسیدی، بر روی مجموعه‌های کهن تر جای گرفته است. واحد E^{ig} در شمال جاده بجستان، بر اثر دگرسانی تبدیل به کائولن شده و زمینه مناسبی را برای کارهای اقتصادی در منطقه آماده ساخته است. ضخامت این مجموعه در حدود ۱۵۰ تا ۲۲۰ متر متغیر است.

۲-۳-۳-۶ ریولیت، داسیت و تراکیت E^{rd} : این مجموعه شامل ریولیت، داسیت و تراکیت است که در جنوب خاوری گناباد رخنمون دارد و توسط رسوبات کواترنر پوشیده می‌شود. در جنوب باختری گناباد و در جنوب کوه شرحصار نیز برونزدهایی از آن دیده می‌شود که توسط کنگلومرای میوسن پوشیده شده است. این مجموعه نشان دهنده فوران ماگمایی با ترکیب اسیدی تا حدواسط است که قسمت‌هایی از منطقه را زیر تاثیر قرار داده است.

۲-۳-۳-۷ برش و توف اسیدی E^{bt} : این واحد آذر آواری شامل برش و توف اسیدی به رنگ سفید تا شیری رنگ است. قطعات برش شامل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازیک تا حدواسط و سنگ ماسه و فیلیت است که توسط سیمانی آتشفشانی با ترکیب اسیدی به یکدیگر جوش خورده‌اند. واحد سنگی

یاد شده بر روی مجموعه اسلیت و سنگ ماسه ژوراسیک و واحد E^{ba} جای گرفته و رخنمون آن در ناحیه شمال باختر گناباد قابل مشاهده است. ضخامت این واحد حدود ۵۰ تا ۷۰ متر است.

۲-۳-۳-۸ سنگ جوش ائوسن E^c : این واحد شامل سنگ جوش ضخیم با رنگ قرمز است. قطعات تشکیل دهنده آن شامل آهک کرتاسه و ماسه سنگ و اسلیت و سنگهای آتشفشانی است. واحد یاد شده در کوه کمرخید رخنمون دارد که در این نقطه واحد یاد شده بر روی آهک کرتاسه و واحد E^{ba} گذاشته شده است. ضخامت این واحد حدود ۱۲۰ متر برآورد شده است.

۲-۳-۳-۹ ماسه سنگهای ائوسن E^{sa} : این مجموعه شامل سنگ جوش متوسط لایه با رنگ قرمز، ماسه سنگ متوسط تا نازک لایه به رنگ قرمز تا سبز، سنگ فورس قرمز رنگ، توف آرژیلی شده به رنگ سبز و صورتی و عدسی های گچ است. واحد یاد شده در جنوب کبوتر کوه و جنوب کوه سیاه و جنوب کوه کمر خید دیده می شود. در این نقاط، این مجموعه بر روی واحد E^c قرار گرفته و توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده است. توف آرژیلیتی شده نشان از فوران آتشفشانی زیردریایی دارد که به سبب آن خاکستر آتشفشانی در محیطی دریایی راسب شده و توف با آلتراسیون آرژیلیکی را ایجاد نموده است. ضخامت این واحد در حدود ۲۴۰ متر تخمین زده می شود.

۲-۳-۳-۱۰ سنگ جوش میوسن M^c : این واحد شامل سنگ جوش با میان لایه هایی از ماسه سنگ به رنگ قرمز است. قطعات تشکیل دهنده سنگ جوش شامل سنگهای آتشفشانی، سنگ آهک کرتاسه، اسلیت، فیلیت و سنگ ماسه با گردشگی ضعیف و سیمانی، به نسبت، سخت است. این واحد در جنوب کوه هنگام با ناپیوستگی زاویه ای بر روی سنگهای آتشفشانی ژوراسیک جای گرفته است. در جنوب خاور نجم آباد نیز این واحد با ناپیوستگی زاویه ای بر روی گرانیت E^{sf} جای دارد. در خاور منطقه و بیرون از محدوده نقشه گناباد، سنگ جوش یاد شده به گونه تدریجی به واحد M^{sc} تبدیل می شود و بر

این پایه، برای واحد نامبرده سن میوسن را می‌توان پیشنهاد کرد. ضخامت این واحد در جنوب کبوتر کوه، در حدود ۷۰ متر تعیین شده است.

۲-۳-۳-۱۱ سنگ ماسه و سنگ فروش میوسن M^{sc} : این مجموعه شامل تناوب ماسه سنگ و سنگ فروش به رنگ قرمز تا خاکستری با درون لایه‌هایی از گچ است. این واحد بر روی واحد M^c جای دارد و در جنوب کوه چنگور هم ارز آن جای می‌گیرد. گسترش اصلی آن در جنوب کوه هنگام است. ضخامت واحد نامبرده، در حدود ۲۸۰ متر است. فسیلهای بدست آمده از این مجموعه سنگی^{۱۴} سن میوسن را برای آن مشخص می‌کنند.

۲-۳-۳-۱۲ سنگ جوش و ماسه سنگ پلیوسن - کواترنری PLQ^{ca} : این واحد شامل تناوب سنگ جوش و ماسه سنگ به رنگ قرمز روشن است. قطعات تشکیل دهنده سنگ جوش شامل سنگهایی با سن پالئوزوئیک، مزوزوئیک و آتشفشانی سنوزوئیک است که توسط سیمانی، به نسبت سست در کنار هم جای گرفته‌اند. رخنمون این واحد در کوه ناگهانی و کوه سیاه جای دارد. این مجموعه به گونه دگرشیب بر روی واحدهای کهن تر جای می‌گیرد. برپایه موقعیت چینه نگاری و وضعیت ساختمانی، این واحد را می‌توان در محدوده سنی پلیوسن تا کواترنر قرار داد. این مجموعه در سطح منطقه به شکل تپه‌های منفرد و کم شیب دیده می‌شود. ضخامت این واحد از ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر متغیر است.

۲-۳-۳-۱۳ سنگ جوش کواترنری Q^c : این واحد شامل سنگ جوش درشت دانه با رنگ کرم و توده‌ای است. قطعات آن از سنگهای قدیمی‌تر تشکیل می‌شود که اندازه قطعات از قلوه تا پلمه متفاوت است. رخنمون آن در جنوب خاوری کوه چنگور است. در اینجا، واحد یاد شده، با ناپیوستگی زاویه ای بر روی واحدهای قدیمی‌تر جای گرفته است. در همین نقطه، واحد نام برده به گونه هم شیب بر روی واحد PLQ^{ca} جای می‌گیرد و تبدیل این دو واحد به یکدیگر با گذری تدریجی انجام می‌پذیرد.

¹⁴ *Amphistegina sp. - Miogypsina sp*

۲-۳-۳-۱۴ رس وسیلت Q^{el} : این رسوبات شامل رس و سیلت سخت نشده با رنگ قرمز هستند. بیشترین گسترش آن در دشت و حاشیه دشتها است. این انباشته‌های آواری حاصل فرسایش ارتفاعات هستند که توسط سیلابها و جریانهای فصلی حمل و در قسمتهایی از دشت که سیلابها فروکش کرده‌اند نهشته شده‌اند. نهشته‌های یاد شده فاقد لایه‌بندی و به صورت توده‌ای هستند.

۲-۳-۳-۱۵ آبرفتهای پادگانه‌ای Q^{ll} : این واحد شامل آبرفتهای پادگانه‌ای سخت نشده و کهن است. انباشته‌های فوق شامل ماسه و سنگ جوش سخت نشده است که در ارتفاعات و کناره‌های دشت و در پای دامنه ارتفاعات، بر اثر فرسایش سنگهای قدیمی‌تر بر جای نهاده شده‌اند.

۲-۳-۳-۱۶ لس‌ها Q^l : این واحد شامل لس است. واحد یاد شده انباشته‌های آواری نرم و سست با دانه‌بندی در اندازه‌های رس تا سیلت است. این خاک برای کشاورزی بسیار مناسب است به همین‌رو، بیشترین سطح زیر کشت در منطقه گناباد بر روی این واحد است.

۲-۳-۳-۱۷ مخروط افکنه‌ها Q^{lf} : این واحد شامل انباشته‌های مخروط افکنه است. این انباشته‌ها حاصل فرسایش نواحی مرتفع است. رسوبات آواری حاصل فرسایش توسط جریان آب و سیلاب حمل شده و در پای ارتفاعات با کم شدن شدت سیلاب، بر جای نهاده می‌شوند.

۲-۳-۳-۱۸ پهنه‌های گلی و باتلاقی Q^e : این واحد شامل پهنه‌های گلی و باتلاقی است. در بخشی از دشت که کمترین ارتفاع را داراست، آبهای سطحی حاصل از نزولات جوی زهکشی شده و در سطح زمین جاری می‌شوند. این آب سبب ایجاد باتلاق و پهنه‌های گلی در این مناطق می‌شود. نیاز به یادآوری است که این پدیده، بطورعمده، در فصولی ویژه از سال که بارندگی در منطقه انجام می‌گیرد دیده می‌شود و در دیگر فصل‌ها این پهنه‌ها زمین‌هایی خشک هستند.

۲-۳-۳-۱۹ ماسه بادی‌ها Q_s : این انباشته‌ها شامل دانه‌هایی در اندازه ماسه است که بر اثر وزش باد به حرکت درآمده و در نقاط مختلف دشت تپه‌های ماسه‌ای و یا ماسه بادی را بر پا می‌کنند. این ماسه‌ها با حرکت خود جاده، برونزد سنگها و حتی زمینهای کشاورزی و منازل مسکونی را نیز زیر می‌پوشانند.

۲-۳-۳-۲۰ انباشته‌های آواری رودخانه‌ای Qal : انباشته‌های آواری توسط رودخانه‌های دائمی و فصلی و یا سیلابها حمل شده و در طول مسیر کانالها و مجاری عبور آب بر جای گذاشته می‌شوند. اندازه آنها از حد ماسه تا حد پلمه و قلوه سنگ متفاوت است. اندازه دانه‌های این انباشته‌ها بستگی به فاصله آنها از منشاء تشکیل آنها و همچنین شدت آب در نواحی مختلف مسیر آب دارد.

۲-۳-۳-۲۱ پادگانهای آبرفتی جوان $Qt2$: این واحد شامل پادگانهای آبرفتی جوان است. انباشته‌های یاد شده، سخت نشده اند و شامل ذرات در حد سیلیت، ماسه و پلمه است که بر فراز نقاط پست و در کنار دشت و کناره‌های رودخانه‌ها بر جای گذاشته شده‌اند.

۲-۳-۴ توده‌های نفوذی

۲-۳-۴-۱ گرانیت‌های ائوسن E^{gr} : این مجموعه شامل گرانیت، تونالیت و مونزوگرانیت با رنگ روشن است. این واحد در سنگهای ژوراسیک نفوذ کرده و آنها را بریده است. جایگیری آن به شکل یک توده با روندی خاوری - باختری است. ماسه سنگ و شیلها در مجاورت این توده نفوذی اسیدی دگرگون شده و تشکیل کوارتز هورنفلس را داده‌اند. کانیهای زیرکن، تورمالین، آپاتیت و گارنت علاوه بر کانیهای متداول، در این گرانیت دیده می‌شوند. مجموعه یاد شده در شمال کوه ناگهانی جای دارد. بررسیهای پتروگرافی و ژئوشیمیایی انجام شده گرانیت‌ها را نوع I معرفی کرده است.

۲-۳-۴-۲ آندزیت‌های ائوسن E^{an} : این مجموعه سنگی شامل آندزیت با بلورهای درشت هورنبلند با رنگ سبز روشن تا سبز تیره است. واحد یاد شده به صورت نیمه عمیق در مجاورت سنگهای دیگر جای گرفته است. در کوه سمعلی، این مجموعه نفوذی در همبری آهک کرتاسه است ولی هیچگونه

تأثیر چشم‌گیری در آهک پدید نیاورده است. در شمال روستای عمرانی، واحد نام برده در مجموعه E^{ba} نفوذ کرده است ولی تأثیری بر آن نگذاشته است.

۲-۳-۴-۳ دیوریت‌های ائوسن Ed: این مجموعه شامل دیوریت، میکروگرانودیوریت و میکروسینیت، با رنگ خاکستری روشن است که به شکل توده ای در راستای خاور - باختر است، واحدهای سنگی و آتشفشانی با سن ائوسن را در محدوده شمال و واحد E^{gr} و اسلیت و سنگ ماسه‌های ژوراسیک را در خاور و جنوب خاور گناباد زیر نفوذ خود برده است. در اثر نفوذ این واحد در سنگهای میزبان، در حاشیه نفوذ توده، پهنه دگرسانی کائولنی پدیدار شده است.

۲-۳-۵ دایک‌ها

دو نوع دایک قابل تفکیک در منطقه دیده می‌شوند که عبارت است از:

۲-۳-۵-۱ دایک میکروگرانودیوریت و میکروگرانیت ائوسن: رخنمون این دایک در کوه هنگام و شمال کوه شکسته چاه سرو در امتداد شکستگی‌های موجود در سازند شمشک تزریق شده است. در شمال گناباد، این واحد مجموعه سنگهای آتشفشانی ائوسن را زیر نفوذ برده است. پیدایش این دایک را می‌توان وابسته به فاز نهایی نفوذ گرانیات در منطقه دانست. لذا سن ائوسن برای آن پیشنهاد می‌شود. همانگونه که در نقشه زمین‌شناسی نیز مشخص است، در پاره ای نقاط در امتداد نفوذ دایک، دگرسانی سبب ایجاد کائولن شده است. کانی‌سازی مس و سرب نیز از موارد دیگری است که به سبب نفوذ دایک در سازند شمشک پدیدار شده است.

۲-۳-۵-۲ دایک با ترکیب میکروسینیت ژوراسیک: رخنمون آن در شمال جاده گناباد - بجستان است. این دایک در درون پارگی و شکستگی موجود در واحد فیلیت و سنگ ماسه دگرگونه با سن ژوراسیک تزریق شده است. بر اثر نفوذ این دایک کانی‌سازی گالن، باریت و فلوریت در مجموعه شمشک ایجاد شده است.

۲-۴ زمین شناسی ساختاری و کانه‌زایی

گستره نقشه گناباد بخشی از بلوک لوت است، که بلوک لوت خود بخشی از خرد قاره شرق ایران به شمار می‌آید. نیاز به یادآوری است که برخی نیز بلوک لوت را واحدی مستقل در زمین شناسی ایران می‌دانند. به طور کلی، بلوک لوت واحد سخت شده‌ای است که سخت شدن آن را می‌توان در رابطه با کوه‌زایی کمترین دانست (علوی، جزوه تکتونیک ایران، ۱۳۹۹).

این بلوک به سان یک توده میانی عمل کرده است (داوود زاده، ۱۹۸۱). بلوک یاد شده از باختر به گسل نایبند و کوه‌های چین خورده شتری و ایران مرکزی و از خاور به ارتفاعات خاور ایران و ملانژ و فلیش محدود می‌شود. مرز شمالی بلوک لوت، گسل درونه و حد جنوبی آن گودال جازموریان و مجموعه آتشفشانی شاهسواران است. (نقشه زمین شناسی ایران - سازمان زمین شناسی کشور). داوودزاده و همکاران (۱۹۸۱) در ادامه مطالعات زمین شناسان دیگر، چرخش ۱۳۰ درجه ای در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت را برای خرد قاره ایران مرکزی قائل شده‌اند و این چرخش را در فاصله زمانی تریاس و اواسط ترسیر در نظر می‌گیرند. همانگونه که در آغاز نیز گفته شد، بلوک ایران مرکزی از اطراف با پهنه‌های ساختاری متفاوتی مرزبندی شده است. بلوک ایران به عنوان بلوکی پایدار، توسط این پهنه‌ها از جهات متفاوت زیر تاثیر فشارش قرار می‌گیرد. ساختمان‌های تکتونیکی اصلی در منطقه، گسل‌های راستا لغز عمیق با حرکت خمیده است. خرد قاره ایران به بلوک‌های کوچکتر تقسیم شده است که هریک از آنها حالت خمیده پیدا کرده و نسبت به یکدیگر نیز از خود حرکت انجام می‌دهند.

با بررسی گسل‌های اصلی موجود در محدوده گناباد نیز مشخص می‌شود که ساختارهای اصلی تکتونیکی، گسل‌های راستا لغزند که با حرکت خود ریخت ساختاری منطقه را شکل می‌دهند.

بررسی ساختمان‌های چین خورده در منطقه، روند همگانی آنها را مشخص می‌سازند. راستای محور چین خوردگی‌ها بطور غالب، خاوری- باختری است. چین خوردگی‌های موجود در واحدهای کرتاسه تا

عهد حاضر، بطور عمده، از نوع چین‌های باز^{۱۵} با زاویه بین بالی ۷۰ تا ۱۲۰ درجه است. سطح محوری این چین‌ها مایل است و به طور عمده، دارای گرایش^{۱۶} به سمت شمال هستند. چین‌های موجود در واحدهای سنگی تریاس و ژوراسیک، بطور عمده، از نوع چین‌های بسته^{۱۷} با زاویه بین بالی ۷۰ - ۳۰ درجه است. چین‌ها در این محدوده، بیشترشان، از نوع چین‌های برگشته^{۱۸} یا چین‌های خوابیده^{۱۹} است. گرایش سطح محوری در این چین‌ها، به طور عمده، به سوی شمال است. این نوع چین خوردگی سبب پیدایش ضخامت غیر واقعی در رسوبات ژوراسیک تریاس شده است.

بررسی درزه‌ها در منطقه دو سیستم متفاوت شکستگی را مشخص می‌سازد. یک سری از شکستگی‌ها، درزه‌های کششی هستند. این درزه‌ها دارای دو روند ناهمسانند، یک سری از آن‌ها دارای راستای شمال باختر - جنوب‌خاور و سری دیگر دارای راستای شمال‌خاور - جنوب‌باختر هستند. در امتداد این درزه‌ها، بازشدگی در واحدهای سنگی ایجاد شده است که در پاره‌ای نقاط این بازشدگی‌ها توسط کلسیت، سیلیس و باریت پر شده است.

سری دوم درزه‌ها، گسل‌ها هستند. یک دسته یا مجموعه از این نوع گسل‌ها دارای راستای خاوری - باختری‌اند و سری دیگر دارای روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری می‌باشند. در سطح این گسل‌ها آثار لغزش، بطور کامل، هویدا است. مطالعه سامانه‌ای ساز و کار این گسل‌ها جهت نیروی تشکیل دهنده آنها را مشخص کرد. براین پایه، راستای بیشترین تنش ایجاد کننده این گسل‌ها، جنوب‌خاوری است.

بررسی گسل‌های اصلی موجود در منطقه مشخص می‌سازد که ساختار اصلی گسل‌ها، از نوع راستالغز است. یکی از مهم‌ترین این گسل‌ها، گسل دشت‌بیاض با روند خاوری - باختری و دارای مولفه راستالغز چپ بر است. مولفه شیبی آن از نوع معکوس است. گسل یاد شده در شمال خضری و در جنوب کبوترکوه

¹⁵ *Open fold*

¹⁶ *vergence*

¹⁷ *close fold*

¹⁸ *overturned fold*

¹⁹ *recumbent fold*

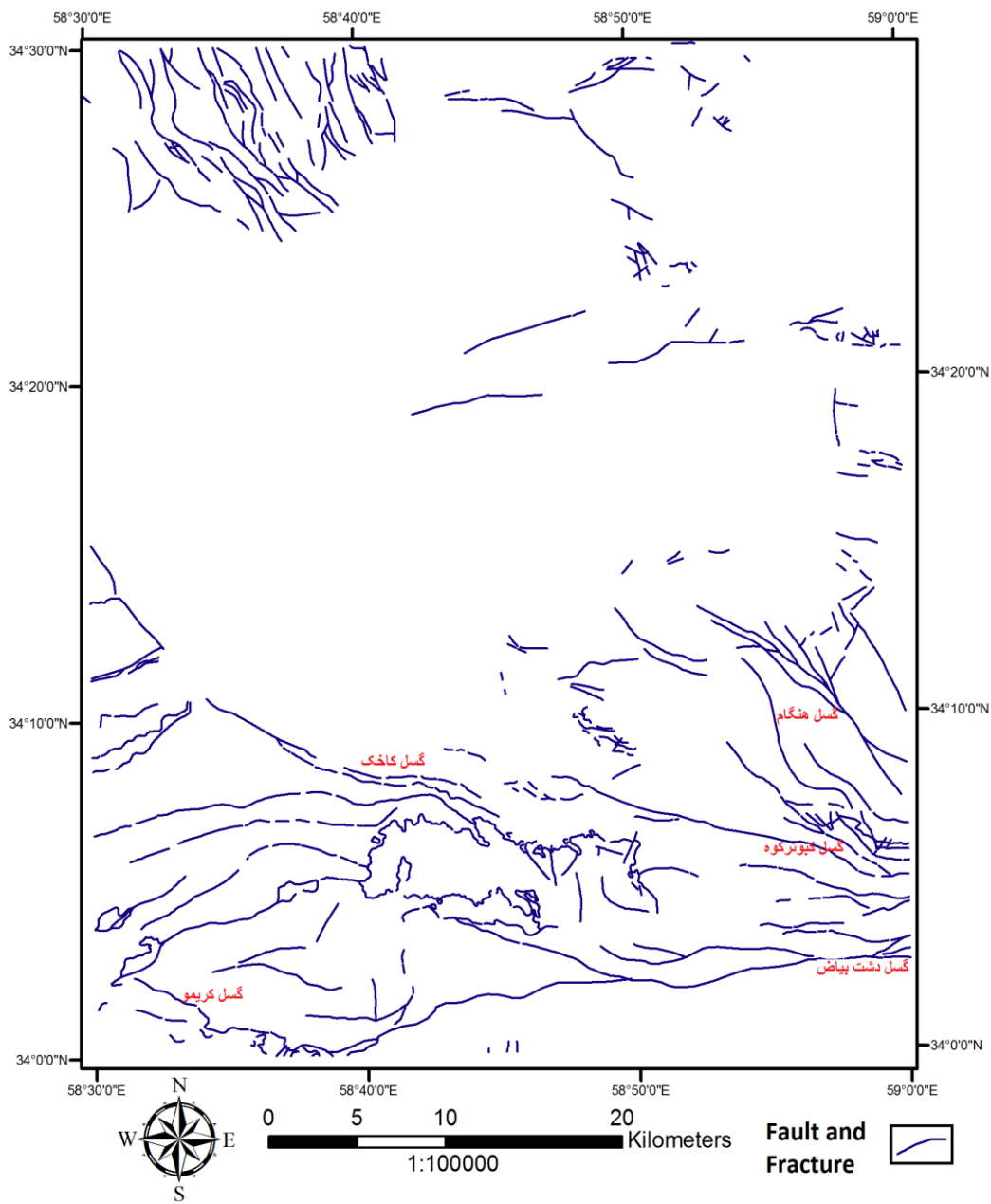
واقع می‌شود. در خاور، خارج از محدوده نقشه، گسل کریزان به گسل دشت‌بیاض متصل می‌شود. در باختر، گسل دو شاخه می‌شود. یک شاخه گسل به سوی شمال باختر کج می‌شود و شاخه دیگر آن به سوی جنوب باختر انحناء می‌یابد و به گسل راندگی کریمو می‌پیوندد. گسل راندگی کریمو، که گسلی فشارشی با شییبی به سوی شمال است، حرکتی از شمال به سوی جنوب را نشان می‌دهد. گسل یاد شده در رده گسل‌های جنب‌است. تازه‌ترین فعالیت آن مربوط به زمین لرزه سال ۱۳۴۷ است که سبب ویرانی کاخک و شمار زیادی روستا در منطقه شد.

حرکت گسل دشت بیاض سبب کج شدگی در مسیر آبراهه‌ها و بریدگی در واحدهای رسوبی کواترنر شده است. از گسل‌های عمده دیگر در منطقه می‌توان به گسل راستالغز کاخک با مولفه چپ بر اشاره کرد. این گسل دارای راستای جنوب-خاور-شمال باختر است و از رده گسل‌های جنب‌است و کواترنری محسوب می‌گردد که در مسیر حرکت خود سبب بریدگی در واحدهای سنگی و کج شدگی در مسیر آبراهه شده است. گسل پارچ، اریب لغز بود و مولفه چپیره در آن راستا لغز و از نوع چپ بر می‌باشد. این گسل دارای روندی باختری - خاوری است. گسل ترنج، از گسل‌های عمده دیگر ناحیه است. راستای خاوری-باختری دارد و مولفه اصلی آن راستالغز چپ بر است. در حد فاصل گسل‌های کاخک، پارچ، ترنج و دشت بیاض، شمار بالایی گسل به موازات آنها قرار دارند که دارای ساز و کار مشابه آن‌ها هستند. در کوه هنگام، مجموعه ای از گسل‌های راستالغز موازی که دارای راستای شمال باختر-جنوب خاور هستند دیده می‌شوند.

از این مجموعه می‌توان به گسل راستالغز میان با ساز و کار راست بر اشاره کرد. گسل دیگر در این مجموعه، گسل اریب لغز هنگام است. گسل مورب لغز کبوتر کوه نیز در جنوب کوه هنگام واقع شده است. این گسل دارای راستای شمال باختری-جنوب خاوری است که در خاور منطقه روند آن خاوری-باختری می‌شود. شماری گسل نیز به موازات گسل کبوتر کوه، در جنوب کوه هنگام، واحدهای سنگی را متاثر کرده‌اند.

در شمال باختر گناباد و در کوه شکسته چاه سد، مجموعه‌ای از گسل‌های راستالغز وجود دارند. این گسل‌ها، بطور عمده، اریب لغزند که مولفه امتدادی حرکت، در آن‌ها چیره و غالب است. همانگونه که در نقشه زمین شناسی نیز دیده می‌شود، حرکت در بیشتر این گسل‌ها از نوع چپ بر است. گسل‌های راستالغز در بخش پایانی خود که حالت منحنی به خود می‌گیرند می‌توانند مناطق تحت فشار را به شکل گسل‌های راستالغز همگرا ایجاد نمایند. در این صورت مولفه شیبی حرکت گسل، بر مولفه امتدادی آن چیره می‌شود. به همین دلیل گسل‌های راستالغز در انتهای خود می‌توانند به گسل‌های راندگی تبدیل شوند. در این مناطق فشارشی، حتی سفره‌های راندگی^{۲۰} نیز ایجاد می‌شوند.

مجموعه آهکی کرتاسه در کوه کمر خید و مجموعه آهک نایبند در جنوب کوه هنگام، سفره‌های راندگی هستند که تحت چین ساز و کاری ایجاد شده‌اند. این منطقه از دیدگاه فعالیت‌های ساختاری فعال بوده و از توان لرزه خیزی به نسبت بالایی نیز برخوردار است. نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه (نقشه زمین شناسی یکصد هزار گناباد، سازمان زمین‌شناسی) محدوده گناباد از دیدگاه کانه سازی منطقه‌ای غنی به شمار می‌آید که در این مبحث سعی شده تا به طور مختصر کانی سازی‌های عمده در منطقه معرفی گردد. واحدهای آهک دولومیتی با سن پرمین و تریاس واجد درزه‌های کششی فراوانی هستند. فضای این درزه‌ها توسط کلسیت و باریت پر شده است. رگه‌های کلسیت دارای ضخامت‌های متفاوت بوده و از چند سانتیمتر تا حدود ۴ متر متغیر هستند. رگه‌های باریت به طور عمده در آهکهای تریاس مجتمع شده‌اند و رگه‌های با ضخامت ۲ تا ۱۰ سانتیمتر

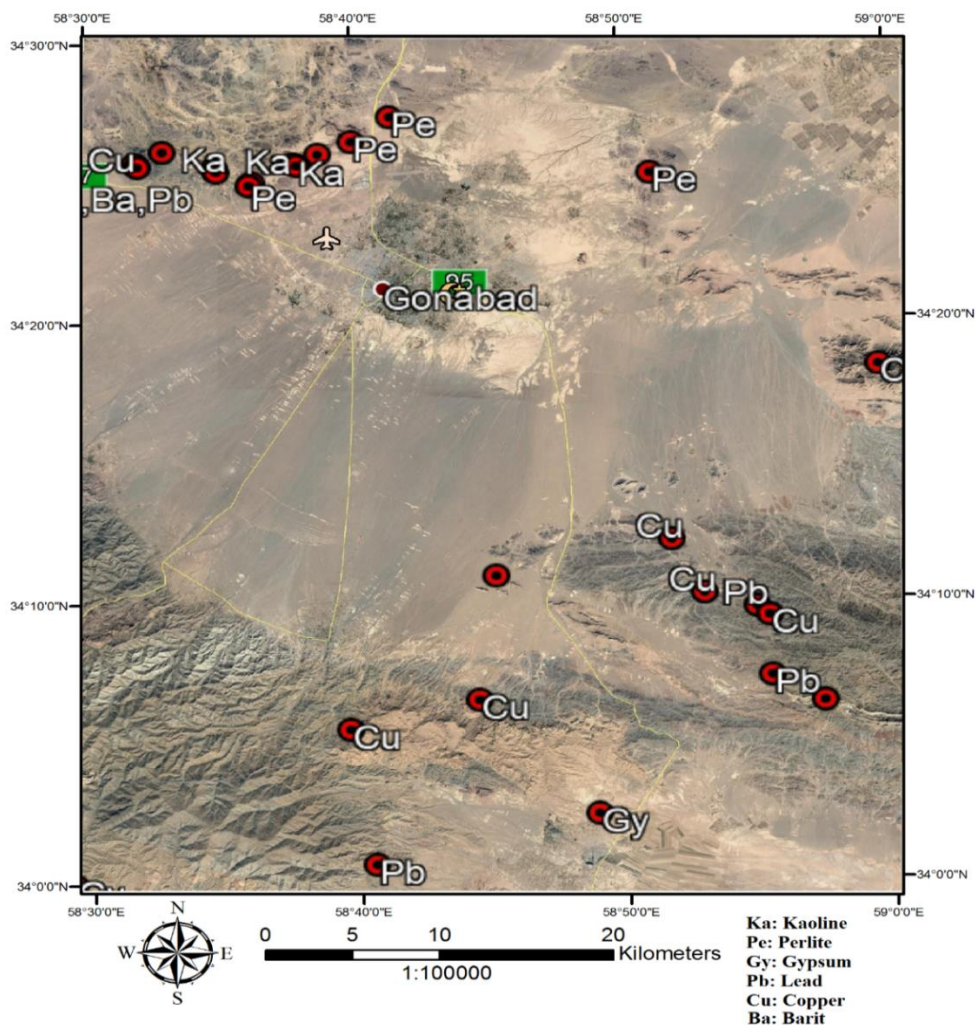
را ایجاد نموده اند که از گسترشی به نسبت ناچیز برخوردارند. بیشترین گسترش رگه های کلسیت و باریت در کوه شتران واقع در خاور نقشه قرار دارد. عامل ایجاد این رگه های را می توان حرکت محلول های گرمابی در امتداد درزه های کششی دانست. همانگونه که پیش تر نیز گفته شد، در شمال کوه هنگام جایگیری توده نفوذی (واحد E^{gr}) و دایکهای منشعب شده از آن، درون واحد سنگی سازند شمشک دیده می شود. در مراحل نهایی ماگماتیسم، نفوذ محلول های کانه دار در شکستگی های سنگ میزبان، کانی سازی را در آنها سبب شده است. کانی سازی مس و سرب از آن جمله اند. در کوه هنگام و در مجموعه سنگی سازند شمشک، در امتداد درزه های کششی، کانی سازی یاد شده به صورت گالن و ملاکیت به همراه سیلیس و هماتیت دیده می شود. در چند نقطه نیز آثار حفاری های معدنی قدیمی دیده می شود. سنگ آهک کرتاسه در کوه کمر خید به دلیل توده ای و ضخیم بودن، زمینه مناسبی جهت تهیه سنگ نما را ایجاد کرده است. توفهای آرژیلیکی شده در واحد E^{sa} در باختر خضری و خاور کریمو براساس آنالیزها و مطالعات انجام شده، زمینه مناسبی را برای برداشت خاک صنعتی و بنتونیت ایجاد نموده اند. بنتونیت از نظر گسترش و حجم ماده معدنی به سمت جنوب افزایش می یابد. در مجموعه سنگهای آتشفشانی (واحد E^g) عدسی های محدودی از پرلیت واپسیدین دیده می شود. این عدسی ها ضخامتی در حدود حداکثر ۲ متر و درازای ۵۰۰ متر را دارا هستند. در پاره ای از سنگهای آتشفشانی (همانند واحد E^{ig}) و دایکهای نفوذی در واحدهای سنگی ژوراسیک، دگرسانی پتاسیک سبب ایجاد کائولن شده است. بیشترین حجم کائولن در شمال باختری گناباد متمرکز است. در جنوب خاور گناباد در کبوتر کوه، کائولن در اثر نفوذ دایکها و در امتداد آنها ایجاد شده است. در شمال باختری گناباد در امتداد شکستگی های موجود در واحد ژوراسیک-تریاس، کانی سازی که شاید بتوان آن را در ارتباط با نفوذ دایک های میکروسینتی در این واحدها دانست، سبب ایجاد باریت، فلوریت و گالن در امتداد شکستگی ها شده است.

فعالیت رسمی بهره برداری از ذخایر معدنی گناباد از حدود سالهای ۳۶-۱۳۳۵ شمسی با بهره برداری از معادن خاک نسوز گناباد آغاز شد لیکن فعالیت گسترده در جهت شناسایی و بهره برداری از ذخایر

معدنی و مشارکت بخش خصوصی در این زمینه بعد از انقلاب آغاز شده است. بر این اساس تا سال ۱۳۵۷ تنها چهار معدن در منطقه گناباد فعالیت رسمی داشته و در حال حاضر با انجام عملیات اکتشافی برای ۲۴ معدن با ذخیره قطعی ۵۸/۲۶ میلیون تن پروانه بهره برداری صادر شده است.

از این میزان ذخیره قریب به ۲/۵ میلیون تن مربوط به کانیهای غیر فلزی (شامل کائولن، بنتونیت، خاک نسوز، باریت، فلورین) و حدود ۵۵/۸ میلیون تن مربوط به گروه مصالح ساختمانی (شامل سنگهای تزئینی و نما، سنگ گچ و گچ خاکی) می باشند.

تاکنون تعداد ۱۴ فقره گواهینامه کشف برای ذخایر معدنی شامل ۹ فقره مواد معدنی طبقه دو با ذخیره ۱/۳۷۲ میلیون تن و ۳۱ درصد سنگهای تزئینی و نما با ذخیره قطعی ۱۱۸/۰۶۶ میلیون تن صادر شده است. علاوه بر این تعداد ۸۵ مورد پروانه به منظور اکتشاف مواد معدنی شامل ۲۰ مورد طبقه دو و ۶۵ مورد سنگهای تزئینی و نما برای متقاضیان صادر گردیده است. آمارهای موجود نشان می دهد که قریب به ۱۲/۸۶ درصد ذخایر شناخته شده سنگ تزئینی و نما و نیز ۱ درصد ذخایر شناخته شده مواد معدنی طبقه دو در استان خراسان مربوط به شهرستان گناباد است. شکل ۲-۴ نشان دهنده اندیس های معدنی شناخته شده و مشخص شده در نقشه زمین شناسی یکصد هزار گناباد است.



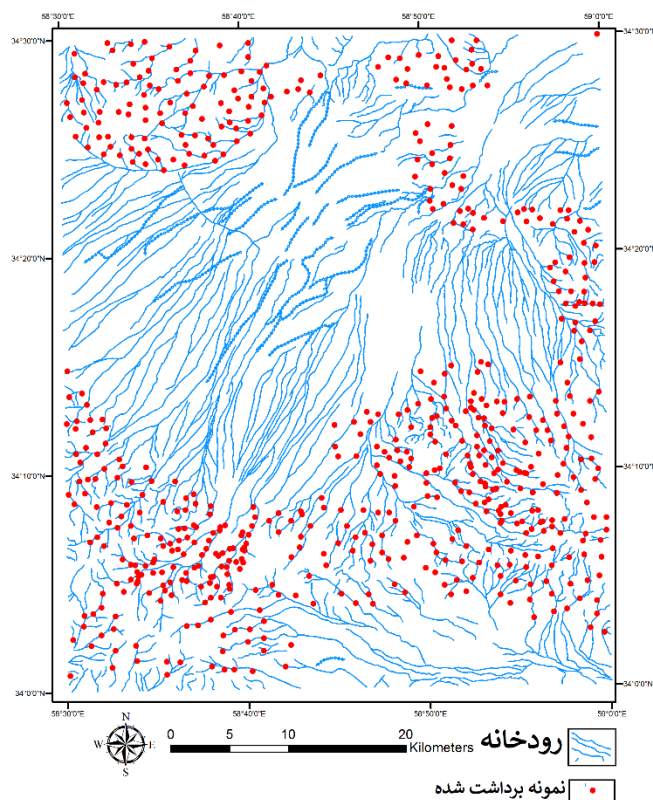
شکل ۲-۴ اندیس‌های معدنی مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی یکصدهزار گناباد

۲-۵ فعالیت‌های اکتشافی

اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای یکی از متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی است که در مقیاس کوچک تا متوسط کاربرد دارد. رسوبات آبراهه‌ای در واقع یک نمونه ترکیبی از مواد فرسایش یافته از سنگ‌های بالادست حوضه آبریز است که وجود ناهنجاری در این رسوبات از وجود یک منبع پرعیار در بالادست آن حکایت می‌کند. با توجه به قابلیت تحرک عناصر می‌توان منشأ اولیه آنها (توده کانساری) را شناسایی کرد. از جمله کارهای اکتشافات ژئوشیمیایی انجام شده در منطقه، توسط

موسسه تحقیقات زمین‌شناسی فرانسه (BRGM) برداشت تعداد ۶۰۹ نمونه ژئوشیمی آبراهه‌ای در وره

$\frac{1}{100000}$ گناباد است (شکل ۲-۵)، که برای ۳۳ عنصر به روش ICP-MS آنالیز شده است.



شکل ۲-۵ نقاط نمونه برداری کانی‌سنگین و رسوبات آبراهه‌ای گناباد

۲-۶ تصاویر ماهواره‌ای

امروزه سنجش از دور به عنوان ابزاری قدرتمند در جهت اکتشاف ذخایر مواد معدنی، شناسایی دگرسانی‌های سطحی و تفکیک واحدهای سنگی به شمار می‌رود. داده‌های دورسنجی به دلیل پوشش دادن یک منطقه گسترده و پوشش‌های چند طیفی و چند زمانی، می‌تواند در اکتشافات مواد معدنی و کانسارها و نقشه‌برداری واحدهای سنگی مورد استفاده قرار گیرند (گوپتا، ۲۰۰۳).

امواج الکترومغناطیس هنگام برخورد با سطح زمین بر اساس نوع سنگ، خاک و یا پوشش گیاهی، طول‌موج‌های خاصی را جذب می‌کنند و سایر موج‌ها را منعکس می‌کنند. از آنجایی که سنگ‌ها از کانی‌های متفاوت تشکیل شده‌اند و خاصیت جذب و انعکاس کانی‌ها با یکدیگر متفاوت است، بنابراین با

پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای می‌توان سنگ‌ها و برخی از کانی‌های آنها را تشخیص داد (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). برای این منظور سنجنده‌های متفاوتی از جمله (*ASTER, ETM+, ...*) وجود دارند.

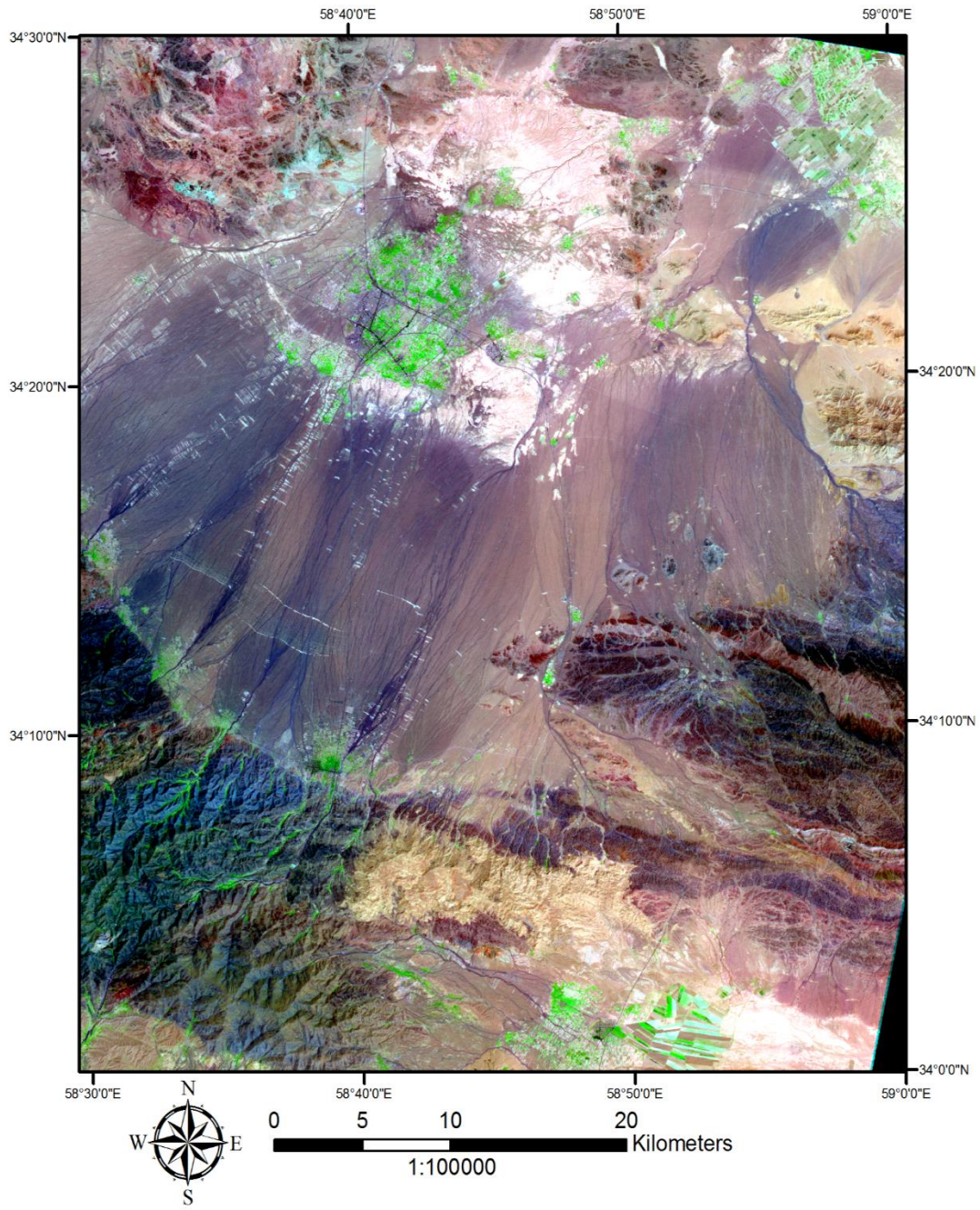
۲-۶-۱ سنجنده استر

سنجنده (*ASTER*) محصول مشترک آمریکا و ژاپن می‌باشد، که بر روی ماهواره ترا (*Terra*) قرار دارد و در سال 1999 به فضا پرتاب شد. این سنجنده اطلاعات منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا تهیه می‌نماید. از ۱۴ باند، سه باند در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک با تفکیک مکانی ۱۵ متر و قابلیت دید سه بعدی که توسط دو مولفه *NADIR* و *BACKWARD* فراهم می‌شود، قرار گرفته است. در محدوده فرورسرخ موج کوتاه، این سنجنده دارای شش باند با تفکیک مکانی ۳۰ متر است. این باندها دارای بیشترین پتانسیل برای بررسی ترکیب مواد زمینی بوده و طیف جذبی کانی‌های هیدروکسیدی، سولفاتی و کربناتی در این محدوده قرار دارد؛ در محدوده فرورسرخ گرمایی دارای پنج باند با تفکیک مکانی ۹۰ متر می‌باشد (*ASTER user's guide, 2005*).

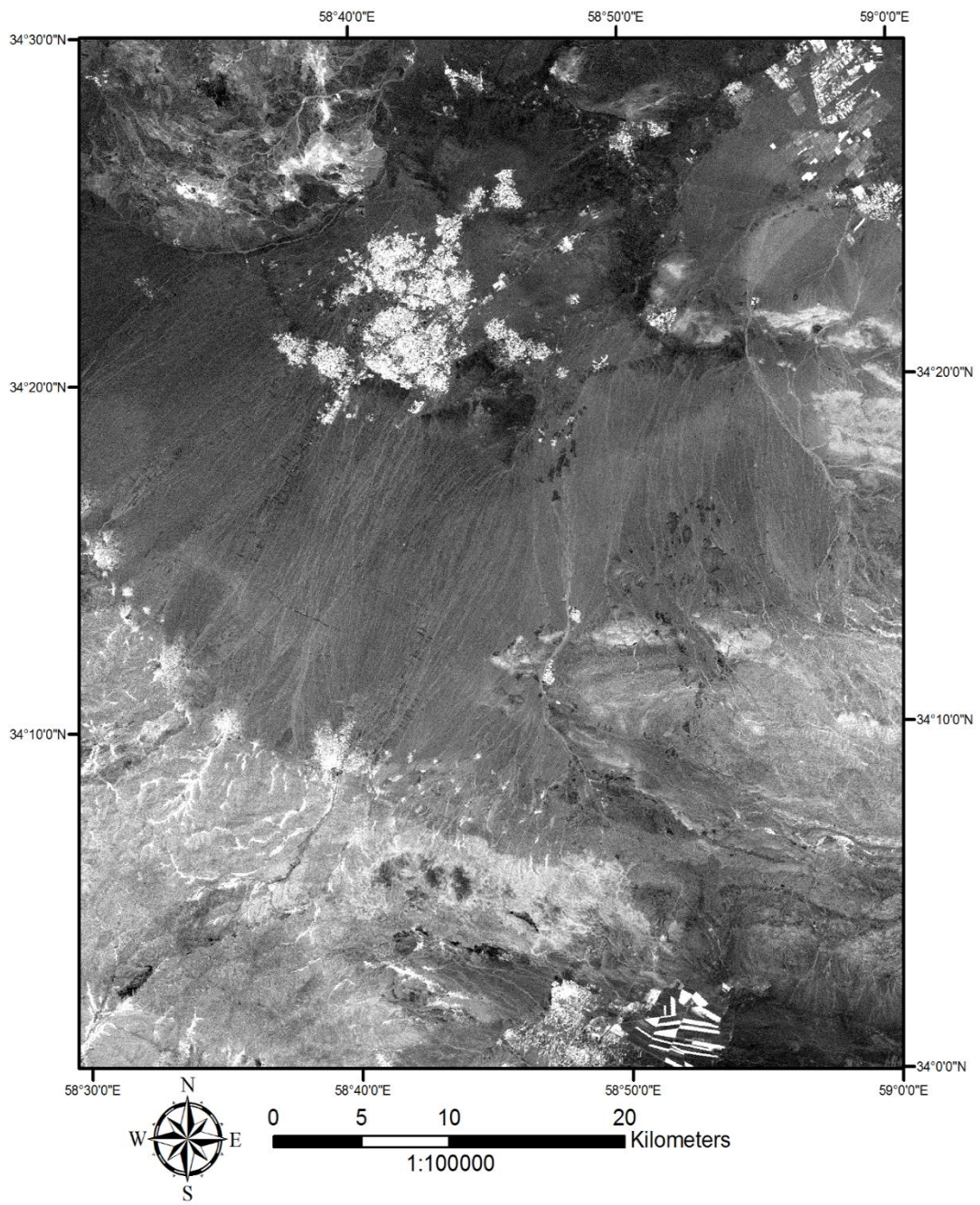
شکل ۲-۶ نشان دهنده یک نمونه تصویر پردازش شده ۳ باند استر از منطقه مورد نظر است. رنگ‌های این تصویر با روش ترکیب رنگی کاذب ایجاد شده و رنگ سبز در آن نشان دهنده پوشش گیاهی و مزارع کشاورزی است و رنگ آبی روشن نشان دهنده مناطق کائولینیتی است.

۲-۶-۲ سنجنده لندست ۷

هفتمین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست است که در ۱۵ آوریل 1999 توسط آمریکا به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای ۸ باند از جمله باند پانکروماتیک با تفکیک‌پذیری مکانی ۱۵ متر (باند ۸)، باندهای طیف مرئی آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی با تفکیک‌پذیری مکانی ۳۰ متر (باندهای ۱، ۵ و ۷) و باند فرورسرخ حرارتی تفکیک‌پذیری مکانی ۶۰ متر (باند ۶) است. شکل ۲-۷ نسبت بانندی $\frac{5}{7}$ ، که در آن مناطق سفید رنگ کانی‌های رسی و دگرسانی آرژیلیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶ تصویر ماهواره *ASTER* محل مورد مطالعه (تلفیق رنگی کاذب ۱-۳-۵)



شکل ۷-۲ تصویر ماهواره ETM+ محل مورد مطالعه (نسبت‌گیری باندهی $\frac{5}{7}$)

۷-۲ جمع بندی لایه‌های اطلاعاتی

در این فصل به لایه‌های مختلف اطلاعاتی که امکان استفاده و دسترسی به آنها وجود داشته اشاره شد. جدول زیر به صورت خلاصه به ذکر آنها می‌پردازد:

جدول ۱-۲ لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در پایان‌نامه

منبع	کاربرد در پایان‌نامه	نام لایه اطلاعاتی
سازمان زمین شناسی ایران	سنگ شناسی، گسل‌ها، اندیس‌های معدنی	نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار
سایت زمین شناسی آمریکا <i>USGS</i> ماهواره‌های <i>ASTER</i> و <i>ETM+</i>	دگرسانی‌ها، اکسیدهای آهن	عکس‌های ماهواره‌ای
موسسه زمین‌شناسی معدنی فرانسه <i>BRGM</i>	عیار عناصر	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای
سامانه کاداستر معدن (ثابت و صدور مجوزهای معدنی ایران)	پتانسیل‌های معادن فعال	معادن فلزی

فصل سوم: مروری بر روشهای تحلیل داده‌ها

۳-۱ مقدمه

در ابتدای این فصل به مروری بر روش‌های آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی دورسنجی پرداخته شده که با استفاده از آنها نقشه محدوده دگرسانی‌ها ارائه می‌شود. پس از آن به سه روش برای تحلیل اطلاعات ژئوشیمی پرداخته شده است. در نهایت دو روش بیزین و دمپسترشفر جهت ترکیب اطلاعات اکتشافی و تشکیل نقشه پتانسیل معدنی مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است.

۳-۲ مطالعات دورسنجی

داده‌های دورسنجی به دلیل پوشش دادن یک منطقه گسترده و پوشش‌های چند طیفی و چند زمانی، می‌توانند در اکتشافات مواد معدنی و کانسارها و نقشه‌برداری واحدهای سنگی مورد استفاده قرار گیرند (Gupta, 2003). تحقیقات نشان می‌دهد داده‌های سنجنده $ETM+$ به خاطر دارا بودن گستره طیف آبی از قابلیت بهتری برای تعیین مناطق حاوی اکسید آهن نسبت به داده‌های سنجنده $ASTER$ برخوردار است. داده‌های $ASTER$ با محدوده طیفی متعدد در گستره فرسرخ موج کوتاه، قابلیت زیادی در شناسایی مناطق رسی دارند (رنجبر و شهریاری، ۱۳۸۵).

پردازش تصاویر ماهواره‌ای با هدف شناسایی مناطق مستعد کانی‌سازی با استفاده از روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. روش‌هایی همچون ترکیب رنگی کاذب^{۲۱}، آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی^{۲۲}، نسبت باندهای^{۲۳} و کمترین مربعات رگرسیون شده^{۲۴} در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به کار برده می‌شوند (عسگری، ۱۳۹۳).

²¹ False Color Composite

²² Selective Principle components Analysis (Crosta)

²³ Band Ration

²⁴ Least Square Fit

۳-۲-۱ ترکیب رنگی کاذب^{۲۵} (FCC)

استفاده از رنگ‌ها اطلاعات بسیاری در اختیار قرار می‌دهد از آنجایی که بیشتر تصاویر ماهواره‌ای به شکل چند باندهی در دسترس‌اند، تجزیه و تحلیل تک باند به تنهایی نمی‌تواند اطلاعات بصری مفیدی را در اختیار قرار دهد. استفاده از این روش در تهیه تصاویر رنگی مرکب رایج می‌باشد که در آن سه باند قرمز، سبز و آبی به کار می‌رود.

در این روش با قرار دادن باندهای مناسب تصویر در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، عوارض مورد نظر مفسر به رنگهای دلخواه در تصویر حاصل پدید می‌آیند، تا به راحتی و با تفسیر چشمی، عوارض مطلوب از تصویر حاصله استخراج شود (آلیانی و همکاران، ۱۳۹۱).

برخی از ترکیب باندهای مورد استفاده در این پایان‌نامه در جدول ۳-۱ آمده است.

جدول ۳-۱ تعدادی از ترکیب‌های رنگی کاذب که در تکنیک سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرد

(SankaranRajendran et al., 2011)

R	G	B	کاربرد	سنجنده
4	6	8	دگرسانی پروپیلنیک به رنگ سبز لجنی و دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی نمایان می‌شود.	ASTER
5	3	1	دگرسانی سریسیتی به رنگ زرد و کانولینیتی به رنگ قرمز است.	
$\frac{5}{7}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{3}{1}$	دگرسانی‌های رسی به رنگ قرمز، گیاهان به رنگ سبز تا زرد و سطوح غنی از آهن آبی تیره	ETM+

۳-۲-۲ نسبت‌گیری باندهی^{۲۶} (B.R)

در این روش با شناخت خصوصیات طیف جذب-انعکاسی کانی‌ها با استفاده از نمودار طیفی، باندهایی که دارای بیشترین انعکاس و جذب می‌باشند جهت شناسایی کانی‌های مختلف انتخاب می‌شوند. در این روش از نسبت باند با بیشترین انعکاس به باند با بیشترین جذب برای بارزسازی کانی‌ها مختلف استفاده می‌شود (Gupta, 2003). در جدول ۳-۲ برخی نسبت باندهای کاربردی آمده است.

²⁵ False Colour Composite

²⁶ Band ratio

جدول ۳-۲ برخی نسبت‌های باندی برای شناسایی دگرسانی‌ها (Ason & Rubinstein, 2007)

نسبت باندی	کاربرد	سنجنده
$\frac{6+9}{7+8}$	دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت، کلریک، آمفیبول)	ASTER
$\frac{7+9}{8}$	بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک	
$\frac{4+5}{6}$	آرژیلیک	
$\frac{4}{6}$	دگرسانی فیلیک (موسکوویت)	
$\frac{13}{12}$	دگرسانی سلیسی	
$\frac{3}{1}$	اکسیدهای آهن و لیمونیت	ETM+
$\frac{5}{7}$	کانیهای رسی و دگرسانی آرژیلیک	

همچنین از این روش برای بارزسازی اختلاف طیفی بین باندها و کاهش اثرات سایه و توپوگرافی در تصاویر نیز استفاده می‌شود (Sabins, 1999). در این روش به کمک عملیات ساده ریاضی تأثیرات مناطق هدف را نسبت به دیگر مناطق افزایش می‌دهیم.

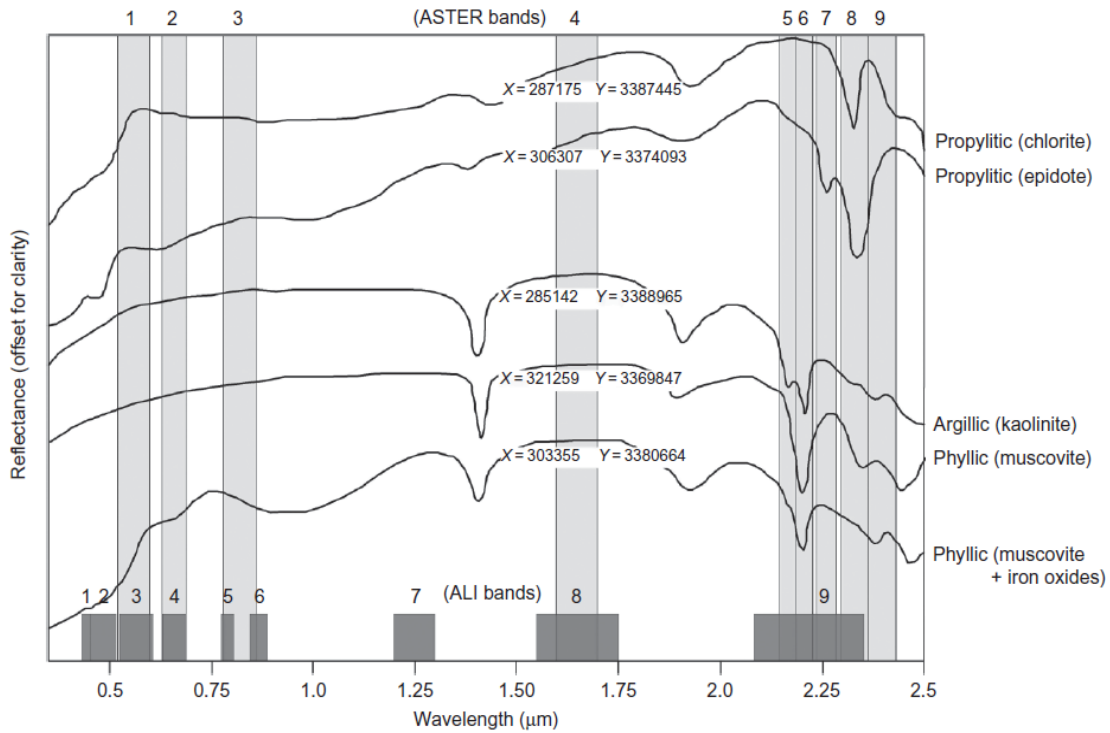
۳-۲-۳ آنالیز مؤلفه‌های اصلی انتخابی^{۲۷} یا روش کروستا^{۲۸}

هدف اصلی استفاده از این روش کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها، ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آن‌ها است (Seo et al., 2005). مهمترین فایده PCA، جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه کمتر است. به عبارت دیگر، برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد. این توانایی کاهش ابعاد، یعنی کم کردن داده‌ها و باندهایی که برای تولید نتایج قابل استفاده تجزیه می‌شوند، از نظر صرف وقت و هزینه حائز اهمیت

²⁷ Principal components analysis (PCA) Selective

²⁸ Crosta

است، به ویژه اگر قابلیت استخراج اطلاعات از مؤلفه‌های جدید، بالاتر از قابلیت استخراج اطلاعات از داده‌های اولیه و خام باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲).



شکل ۳-۱ پاسخ طیفی برخی مواد شاخص دگرسانی در باندها سنجنده ASTER (Mars & Rowan, 2010)

با توجه به شکل ۳-۱ برای بارز سازی هر آلتراسیون باندهایی که دارای بیشترین انعکاس و جذب هستند انتخاب می‌شود تا حداکثر تغییرات را داشته باشیم.

جدول ۳-۳ برخی باندهای انتخابی مناسب برای شناسایی دگرسانی‌ها در روش کروستا (سدیسی و همکاران، ۱۳۹۴)

باندها				کاربرد	سنجنده
۱	۳	۶	۹	دگرسانی فلیک (موسکویت)	ASTER
۱	۴	۶	۷	دگرسانی آرژیلیک (کانولیت)	
۱	۲	۵	۸	دگرسانی پروپلیتیک (کلریت)	

به عنوان مثال برای دگرسانی آرژیلیکی داریم:

جدول ۳-۴ انتخاب باندهای ۱،۴،۶،۷ برای شناسایی دگرسانی آرژیلیکی

Band 7	Band 6	Band 4	Band 1	Eigenve ctor
-0.51453	-0.55772	-0.53003	-0.37853	PC1
0.290956	0.204844	0.159619	-0.92082	PC2
-0.80504	0.386531	0.440494	-0.09203	PC3
0.050168	-0.7054	0.706792	-0.01855	PC4

همانطور که در جدول مشاهده می‌شود بیشترین اختلاف را در $PC4$ مشاهده می‌کنیم.

۳-۳ روشهای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی

در اکتشافات ژئوشیمیایی کشف آنومالی ژئوشیمیایی مد نظر است. یک ناهنجاری (آنومالی) ژئوشیمیایی به عنوان منطقه‌ای که در آن غلظت عنصر خاصی بیشتر از مقدار حد آستانه باشد تعریف می‌شود. برای این منظور می‌بایست به شناخت مقدار زمینه عیار در محیط اقدام کرد.

۳-۳-۱ نمودار احتمال

روش نمودار احتمال، برای جداسازی زیر جوامع و تعیین مقدار حد آستانه آنومال، داده‌های ژئوشیمیایی را مدل می‌کند (طالش حسینی، ۱۳۹۵). یکی از مزایای استفاده از این روش در کنار شبیه سازی های زمین آماری، بهبود تفسیر منطقه مورد نظر است. از جمله مزیت‌های این روش عبارتند از:

الف. مشخص شدن توزیع داده‌های مربوط به یک عنصر؛

ب. تعیین پارامترهای چند سری داده نرمال یا لاگ نرمال؛

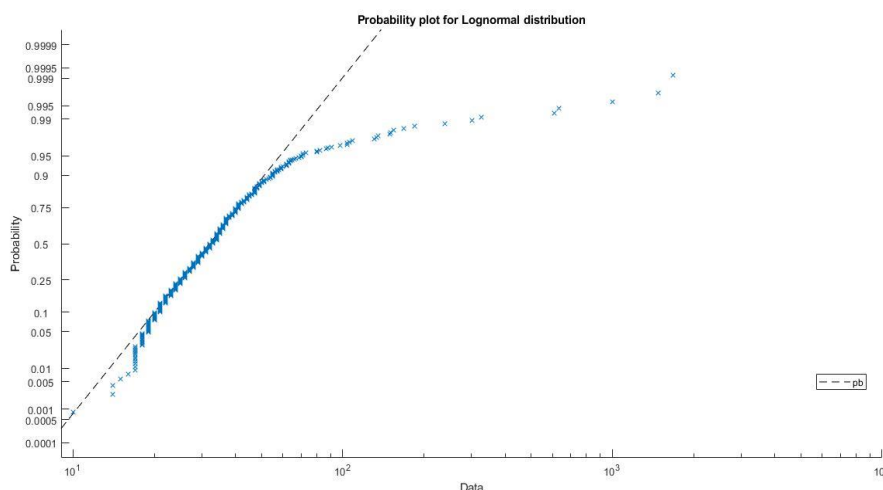
ج. مقایسه چند سری داده در منطقه بوسیله هیستوگرام چندگانه.

مدل برازش شده در روش نمودار احتمال از دو بخش روند انطباق داده شده بر داده‌های خام (که براساس تکنیک‌های مدل گذاری داده‌ها مشخص می‌گردد) و بخش تصادفی یا خطا (انحراف بین روند محاسبه

شده یا مدل و داده های خام یا اندازه گیری شده) تشکیل شده است. میزان خطا به اندازه انطباق مدل بر داده ها یا مقادیر مشاهده ای کاهش خواهد یافت.

بررسی نرمال یا لاگ نرمال بودن داده ها، در مدلسازی نمودار احتمال، اهمیت زیادی دارد. توزیع نرمال از متداول ترین توزیع های آماری است که در آن چولگی برابر صفر می باشد. توزیع لاگ نرمال در داده های حاوی آنومالی های ژئوشیمیایی دیده می شود و در این توزیع داده ها دارای چولگی هستند. از آنجا که مهمترین کار این روش جداسازی زیر جوامع در یکسری داده ی ژئوشیمیایی است، همپوشانی جوامع در مواردی مشکل ساز است. شناخت روندهای زیر جوامع و مدل سازی داده ها این مشکل را برطرف نموده و حد آستانه تفکیک زیر جوامع را شناسایی می کنند. باید توجه شود که مدلی درست است که بیشترین انطباق را بر داده ها داشته باشد (بهنام، ۱۳۹۳).

به عنوان نمونه شکل ۱-۳ نمودار احتمال داده های ژئوشیمیایی سرب در منطقه گناباد است. همانطور که مشاهده می شود این داده ها نسبت به خط برازش شده در آنها در یک نقطه شکستگی دارد که این مقدار نشان دهنده غلظت زمینه می باشد و جامعه را به دو بخش غلظت نرمال و آنومال تقسیم می کند. تقریباً ۵٪ از غلظت نمونه های برداشت شده بالای این مقدار قرار می گیرند.



شکل ۱-۳ نمودار احتمال عنصر Pb

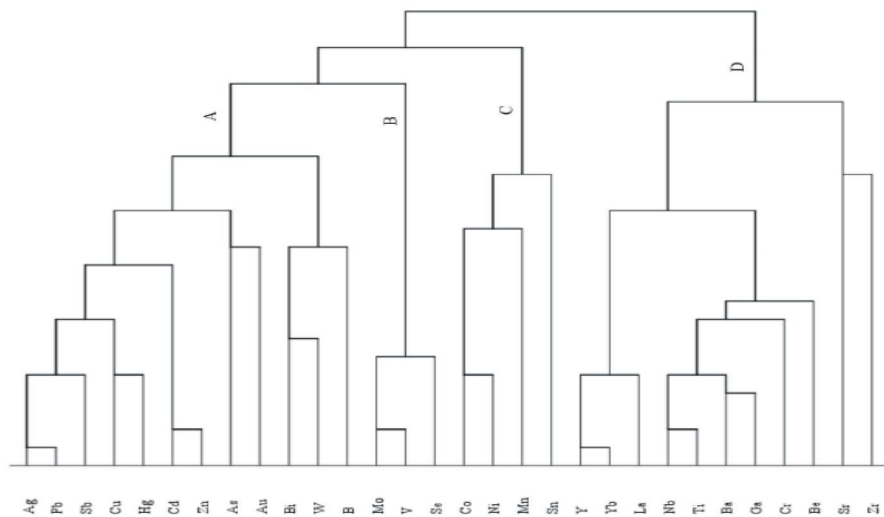
۳-۳-۲ تحلیل خوشه‌ای

در این تحقیق از روش تحلیل خوشه‌ای برای تجزیه و تحلیل ژئوشیمی عناصر استفاده شده است. خروجی این تحلیل، نمودار خوشه بندی سلسله مراتبی^{۲۹} یا دندروگرام نامیده می‌شود که در فصل بعدی ارائه خواهد شد. گروه بندی خوشه ای روشی است که برای دسته بندی داده های ژئوشیمیایی به کار می‌رود. تحلیل خوشه‌ای، دو مشاهده‌ای که با هم شباهت زیادی دارند (متغیرها مرتبط به هم) را به یکدیگر مرتبط دانسته و سپس به طور متوالی مشاهداتی را که بیشترین شباهت نسبت به مشاهدات قبلی را دارند به آنها متصل می‌نماید. در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های درون هر خوشه حداکثر و شباهت بین داده‌های درون خوشه‌های مختلف حداقل شود. در روش خوشه‌بندی هیچ دسته‌ای از قبل وجود ندارد و در واقع متغیرها به صورت مستقل و وابسته تقسیم نمی‌شوند، بلکه در این جا جستجو برای دستیابی به گروه‌هایی از داده‌ها انجام می‌شود که به هم شباهت دارند و با کشف این شباهت‌ها می‌توان متغیرهای پارائنز شناسایی کرد و از آنها در کشف مناطق آنومال ژئوشیمیایی کمک گرفت.

به عنوان مثال شکل ۳-۲ که برگرفته از مقاله (Yongquan Li et al., 2016) است، داده‌های ژئوشیمیایی منطقه‌ای در کشور چین را بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که منطقه دارای ۴ دسته‌بندی از عناصر وابسته به هم می‌باشد که در زیر، این فاکتورها آمده‌اند :

- A. Ag, Pb, Sb, Cu, Hg, Cd, Zn, As, Au, Bi, W, B
- B. Mo, V, Se
- C. Co, Ni, Mn, Sn
- D. Y, Yb, La, Nb, Ti, Ba, Ga, Cr, Be, Sr, Zr

²⁹ Hierarchical Cluster Analysis



شکل ۳-۲ - نمودار دندروگرام داده‌های ژئوشیمیایی (Yongquan Li et al., 2016)

۳-۳-۳ آنالیز فاکتور

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) روشی برای خلاصه کردن مجموعه داده‌ها از طریق کاهش مجموعه داده‌های چند بعدی به ابعاد کمتر برای تجزیه و تحلیل و از بین بردن اطلاعات اضافی است (Amara, 2007). این روش اولین بار توسط کارل پیرسون (1901) و چارلز اسپیرمن (1904) هنگام اندازه‌گیری هوش مطرح شد و برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانیکه تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آنها ناشناخته بود مورد استفاده قرار گرفت. بطور کلی هدف از تجزیه‌ی عامل‌ها عبارت است از:

الف) تفسیر وجود همبستگی درونی بین تعدادی صفت قابل مشاهده از طریق عواملی که قابل مشاهده نیستند و آنها را مولفه گویند. در واقع این مولفه‌ها غیرقابل مشاهده دلیل مشترک همبستگی بین متغیرهای اصلی هستند؛

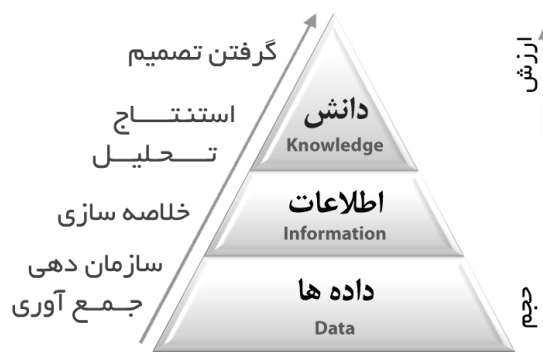
ب) ارائه روش ترکیب و خلاصه کردن تعداد زیادی از متغیرها در تعداد محدودی مولفه متمایز؛

ج) از بین متغیرهای مختلف به نحوی که تأثیرگذارترین آنها تعیین و در پژوهش‌های بعدی با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به موارد بالا، عمده ترین هدف استفاده از تحلیل مولفه‌ها، کاهش حجم داده‌ها و تعیین مهمترین متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌های خاصی از جمله کانی‌سازی است (محمدی، ۱۳۹۶).

۳-۴ داده کاوی

داده‌های اکتشافی اغلب حجم بوده و تفسیر هر کدام از آنها به تنهایی صحیح نمی‌باشد، بلکه دانش نهفته در هر سری از این داده‌ها ارزش زیادی دارند. داده‌کاوی فرآیندی پیچیده جهت شناسایی الگوها و مدل‌های صحیح برای حجم وسیعی از داده می‌باشد. شکل ۳-۳ نشان دهنده مسیر تبدیل داده به دانش جهت اخذ تصمیم است.



شکل ۳-۳ نمودار تبدیل داده به دانش (غلامشاهی، ۱۳۹۳)

مشکل استفاده از الگوریتم‌هایی مانند درخت تصمیم آن است که به صورت نمایی با زیاد شده داده‌های مسئله بزرگ می‌شوند و معمولاً تک متغیری هستند، یعنی تنها یک متغیر را در هر زمان در نظر می‌گیرند. تلفیق اطلاعات، ترکیب تجمعی اطلاعات به دست آمده از منابع متعدد دانش، به منظور فراهم ساختن درک صحیح و بهتر از موضوع می‌باشد (Dasarathy, 1991). بر اساس تعاریف ارائه شده یکی از ویژگی‌های مهم ترکیب داده، دریافت اطلاعات از منابع مختلف است. ترکیب اطلاعات در سه سطح داده، ویژگی و تصمیم ممکن است. اگر بنا باشد ترکیب در سطح داده انجام شود باید داده‌های متناسب و همسان ترکیب شوند. در صورت عدم دسترسی به داده‌های همسان از ترکیب بردار ویژگی‌های

استخراج شده از داده‌ها استفاده می‌شود (ترکیب در سطح ویژگی). در ترکیب سطح تصمیم‌گیری، هر لایه اطلاعاتی تصمیم جداگانه‌ای اتخاذ می‌کند سپس این تصمیمات با یکدیگر برای بدست آوردن نتایج نهایی، ترکیب می‌شوند. در این روش نیاز به همسان بودن داده‌ها نیست. همچنین قدرت پردازش کمتری برای تحلیل آن نیاز است. اما هر چه این روند ادامه پیدا کند دقت نتایج پایین‌تر خواهد بود زیرا در هر مرحله بخشی از اطلاعات حذف می‌شود (غلامشاهی، ۱۳۹۳).

به عنوان مثال در اکتشافات ژئوشیمیایی اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف به جای مقدار یک عنصر خاص بکار گرفته شوند هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف توده کانسار بهتر مشخص می‌شوند.

۳-۵ ترکیب اطلاعات

مهمترین مزیت استفاده از ترکیب اطلاعات از منابع چندگانه، این است که معمولاً منابع اطلاعاتی عدم قطعیت^{۳۰} دارند و یا دقیق نیستند. همچنین معمولاً یک ویژگی نمی‌تواند به تنهایی هدف مورد نظر را تامین کند (Tahani et al., 1990). بطور کلی، هدف از پردازش داده‌های حاصل از منابع مختلف، تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت می‌باشد (صفری، ۱۳۸۶). با استفاده از تئوری احتمال یک ارتباط بین قسمت‌ها فراهم می‌شود و با استفاده از آن، امکان استنتاج داده به دست می‌آید. البته توجه می‌شود که کل سیستم باید یکپارچه بوده و سازگار باشند.

۳-۵-۱۱ احتمال شرطی

احتمال وقوع یک رویداد براساس تعدادی از مشاهدات را احتمال شرطی می‌نامند. اساس این روش بر این اصل استوار است که برای هر کمیتی یک توزیع احتمال وجود دارد که با مشاهده یک داده جدید و استدلال در مورد توزیع احتمال آن می‌توان تصمیمات بهینه‌ای اتخاذ کرد.

³⁰ Uncertain

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1-3)$$

که در آن $P(A|B)$ احتمال A به شرط رخ دادن B است.

۳-۵-۲ قانون ضرب احتمال

$$P(A \cap B) = P(A)P(B|A) \quad (2-3)$$

۳-۵-۳ قانون احتمال کل

$$\begin{aligned} P(A) &= P(B_1)P(A|B_1) + P(B_2)P(A|B_2) + \dots + P(B_n)P(A|B_n) \\ &= \sum_{k=1}^n P(B_k)P(A|B_k) \end{aligned} \quad (3-3)$$

۳-۵-۴ قانون بیز

روش‌های بیزی فرضیه‌هایی ارائه می‌دهند که قادر به پیش‌بینی احتمالی هستند. وقتی شما برای اولین بار با فردی آشنا می‌شوید، پیش‌فرض‌هایی از میزان صداقت او دارید. در طول زمان که اعمال و رفتار او را می‌بینید این پیش‌فرض‌ها به شکل مثبت یا منفی تغییر می‌کند. قانون بیز که از مهم‌ترین قوانین در علم احتمال است، این موضوع را به زبان ریاضی فرمول‌بندی می‌کند.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (4-3)$$

که در این فرمول $P(A|B)$ احتمال ثانویه و $P(B|A)$ احتمال اولیه نامیده می‌شود.

۳-۵-۵ کاربرد قانون بیز در تلفیق داده‌ها

به عنوان مثال برای تلفیق داده‌های دو سنسور جایی که Z مقدار اندازه‌گیری شده توسط سنسور و X پارامتر اندازه‌گیری باشد داریم:

$$P(x|Z_1^1 Z_1^2) = \frac{P(x|Z_1^1)P(x|Z_1^2)P(x|Z_0^1 Z_0^2)}{P(x|Z_0^1)P(x|Z_0^2)} \times (\text{normalization factor}) \quad (5-3)$$

که در آن Z_1^1 نشان دهنده میزان فعلی اندازه‌گیری شده توسط سنسور یک و Z_0^1 نشان دهنده عدد قبلی اندازه‌گیری شده توسط سنسور یک است.^{۳۱} همچنین در آن Z_1^2 نشان دهنده میزان فعلی اندازه‌گیری شده توسط سنسور دوم و Z_0^2 نشان دهنده عدد قبلی اندازه‌گیری شده توسط سنسور دوم است (*Koks et al., 2004*).

در تئوری بیز عدم قطعیت و نادیده گرفتن مطرح نیست. نتایج به احتمال اولیه وابستگی دارند. توجه شود که احتمال اولیه مستقل از داده آموزشی است ولی احتمال ثانویه تاثیر داده آموزشی را منعکس میکند. مشاهده هر مثال می‌تواند بصورت جزئی باعث افزایش و یا کاهش احتمال درست بودن یک فرضیه گردد. برای بدست آوردن احتمال یک فرضیه می‌توان دانش قبلی را با مثال مشاهده شده ترکیب کرد.

³¹ Z sensor number
time step

۳-۵-۶ روش دمپستر شفر

نقطه ضعف تئوری بیزین آن است که عدم قطعیت منابع اطلاعاتی را در نظر نمی‌گیرد و با توجه به پیچیدگی در اندازگیری احتمالات پسین، می‌تواند خطا داشته باشد (Carter, 1994).

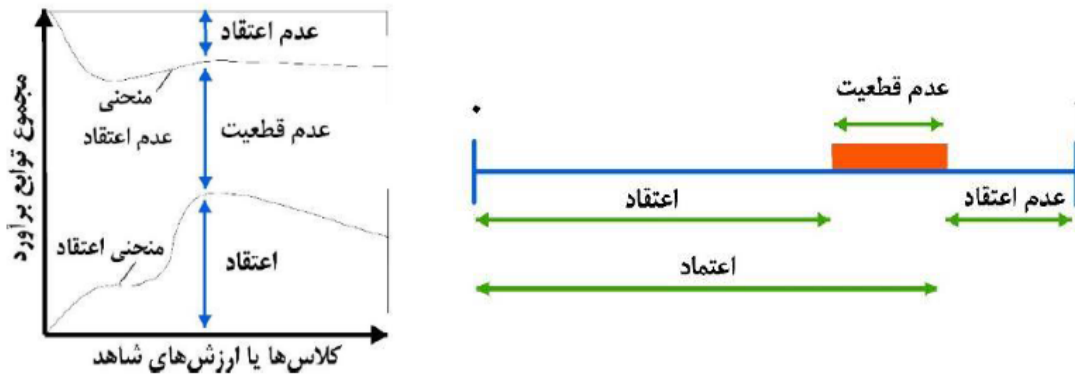
از این رو نظریه شواهد دمپستر شفر به عنوان ابزاری قوی و منعطف برای مدلسازی عدم قطعیت برای یادگیری مفهوم مورد توجه قرار می‌گیرد. نظریه شواهد در سال 1967 توسط دمپستر با نظریه حدود بالا و پایین احتمال ارائه گردید. دمپستر در واقع نوعی عدم قطعیت در بیان اندازه احتمال پیشامدها را مدلسازی نمود. پس از آن شفر در سال 1976 این نظریه را با عنوان نظریه شواهد به عنوان ساختاری برای نمایش اطلاعات ناکامل و استدلال تحت عدم قطعیت، فرمول‌بندی نمود (Nykänen and Salmirinne, 2007).

اگر بخواهیم نحوه برخورد با فقدان دانش و اطلاعات (جهل) در تئوری احتمالات و دمپستر شفر را باهم مقایسه کنیم مشاهده می‌شود که در تئوری احتمالات، از هر چیزی که پشتیبانی نمی‌کند، باید رد کند (Carranza, 2008). زیرا در این تئوری جهل و غفلت مجاز نیست. بنابراین در تئوری احتمالات داریم:

$$P(H)+P(\bar{H})=1 \quad (۳-۶)$$

مثلا در حالتی که اطلاعاتی نداریم، ۵۰٪ احتمال دارد که در منزل شما نفت پیدا شود! اما تئوری دمپستر شفر شما را مجبور نمی‌کند که باوری را برای جهل یا رد فرضیه اختصاص دهید. فقط جرم به زیر مجموعه‌هایی از محیط تعلق می‌گیرد که شما می‌خواهید به آن باور داشته باشید. هر باوری که به هیچ زیر مجموعه‌ای اختصاص نیابد به عنوان ناباوری یا بی‌باوری تلقی می‌گردد و فقط به محیط برمی‌گردد. برای درک روابط دمپستر شفر نیاز به تعریف توابع زیر داریم:

تابع اعتماد^{۳۲} (*Pls*) یا برآورد خوش بینانه یا دست بالا یا توجیه پذیری، تابع عدم اعتقاد^{۳۳} (*Dis*) یا شک، تابع اعتقاد^{۳۴} (*Bel*) یا حداقل برآورد، تابع عدم قطعیت^{۳۵} (*Unc*) یا درجه نایقینی. شکل ۳-۴ نشان دهنده ارتباطات موجود بین متغیرهای تعریف شده است.



شکل ۳-۴ روابط بین پارامترها در تئوری دمپستر شفر (Khatri,2013)

$$Bel + Unc + Dis = 1 \quad (۷-۳)$$

$$Pls + Dis = 1 \quad (۸-۳)$$

اگر مقدار عدم قطعیت برابر صفر باشد یعنی دانش و اطلاعات کامل در مورد شاهد موجود باشد، آنگاه داریم:

$$Bel + Dis = 1 \quad (۹-۳)$$

که یادآور نظریه احتمال است. اگر مقدار عدم قطعیت حداکثر و برابر یک باشد یعنی شاهد کاملاً مجهول و ناشناخته است. اما در عمل هیچ‌گاه عدم قطعیت برابر صفر یا یک نیست و همیشه در بازه $[0,1]$ خواهد بود (Yager et al.,2007).

³² Plausibility
³³ Disbelief
³⁴ Belief
³⁵ Uncertainty

در مقایسه با روش فازی در این روش می‌تواند از هر کدام از کمیت‌های باور، عدم باور، توجیه پذیری و عدم قطعیت به صورت جداگانه نقشه خروجی تهیه شود، در حالی که روش فازی فقط یک نقشه به عنوان خروجی می‌دهد. نقشه خروجی روش فازی تنها میزان مطلوب بودن شرایط هدف مورد نظر را در سطوح مختلف بیان می‌دارد، اما روش دمپستر - شفر یک مقدار محافظ کارانه، یک مقدار بهینه و عدم قطعیت مرتبط با هر تصویر را به عنوان خروجی می‌دهد.

۳-۵-۷ کاربرد روش دمپستر شفر در تلفیق داده‌ها

روابط تلفیق دو دسته شاهد بر اساس عملگر *AND* (به منظور تعیین حد پایین توابع برآورد) در روش دمپستر شفر به صورت زیر تعریف می‌شود (Carranza, 2009).

$$Bel_{X_1 X_2} = \frac{(Bel_{X_1} \times Bel_{X_2})}{\beta} \quad (11-3)$$

$$Dis_{X_1 X_2} = \frac{(Dis_{X_1} \times Dis_{X_2})}{\beta} \quad (12-3)$$

$$Unc_{X_1 X_2} = \frac{(Unc_{X_1} \times Unc_{X_2}) + (Bel_{X_1} \times Unc_{X_2}) + (Unc_{X_1} \times Bel_{X_2}) + (Dis_{X_1} \times Unc_{X_2}) + (Unc_{X_1} \times Dis_{X_2})}{\beta} \quad (13-3)$$

روابط تلفیق دو دسته شاهد بر اساس عملگر *OR* (به منظور تعیین حد بالا توابع برآورد) در روش دمپستر شفر به صورت زیر تعریف می‌شود (Carranza, 2009).

$$Bel_{X_1 X_2} = \frac{(Bel_{X_1} \times Bel_{X_2}) + (Bel_{X_1} \times Unc_{X_2}) + (Unc_{X_1} \times Bel_{X_2})}{\beta} \quad (14-3)$$

$$Dis_{X_1 X_2} = \frac{(Dis_{X_1} \times Dis_{X_2}) + (Dis_{X_1} \times Unc_{X_2}) + (Unc_{X_1} \times Dis_{X_2})}{\beta} \quad (15-3)$$

$$Unc_{X_1X_2} = \frac{(Unc_{X_1} \times Unc_{X_2})}{\beta} \quad (۱۶-۳)$$

که در رابطه‌های بالا، β یک فاکتور نرمال کننده است تا مطمئن باشیم رابطه $Bel + Unc + Dis = I$ برقرار است. مقدار β طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = 1 - (Bel_{X_1} \times Dis_{X_2}) - (Dis_{X_1} \times Bel_{X_2}) \quad (۱۷-۳)$$

طبق قانون تلفیق دمپسترشفر در هر زمان فقط دو نقشه از شواهد فضایی، توابع برآورد، قابل ترکیب می‌باشند. بنابراین برای تلفیق نقشه‌های بیشتر باید نقشه‌ها را یکی پس از دیگری با بکار بردن معادلات ذکر شده تلفیق نمود. در نهایت مقدار نهایی Bel به عنوان شاخصی برای کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شود (حسینی، ۱۳۹۴).

فصل چهارم : نتایج تحقیق

۱-۴ مقدمه

یکی از مشکلات اساسی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی، کمبود داده‌های اکتشافی است. تلاش ما این است که با استفاده از تلفیق داده‌های موجود، اطلاعات اکتشافی ناقص را پوشش دهیم و بیشترین اطلاعات را از کمترین داده‌های موجود کسب نماییم. برای تهیه نقشه پتانسیل، مراحلی چون تعیین فاکتورهای تشخیص کانی سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه فاکتور و تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج نیاز است (Karimi et al, 2008).

۲-۴ اکتشافات ژئوشیمیایی

۱-۲-۴ آماده سازی و پیش پردازش و نتایج حاصل از داده های ژئوشیمیایی

همان‌طور که در فصل دوم اشاره شد از جمله کارهای اکتشافی انجام شده در منطقه، می‌توان به نمونه برداری رسوبات آبراهه‌ای که توسط موسسه تحقیقات زمین‌شناسی فرانسه (BRGM) انجام شده اشاره نمود. این داده‌ها شامل تعداد ۶۰۹ نمونه ژئوشیمی آبراهه‌ای برداشت شده از این برکه است که برای ۳۳ عنصر به روش *ICP-MS* آنالیز شده است. این داده‌ها از طریق سازمان زمین‌شناسی شرق کشور تهیه و سپس قبل از شروع کار بر روی آن، پیش پردازش و حذف داده‌های سنسورد انجام گرفت. پیش پردازش‌ها شامل مواردی مانند شناسایی و جایگزینی مقادیر سنسورد، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و نرمال سازی داده‌ها برای فرایندهای بعدی می‌باشند (Bonham-Carter, 1994).

بعد از حذف مقادیر سنسورد و خارج از ردیف، پارامترهای آماری داده‌های حاصل از آنالیز *ICP-MS* در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱-۴ آورده شده است.

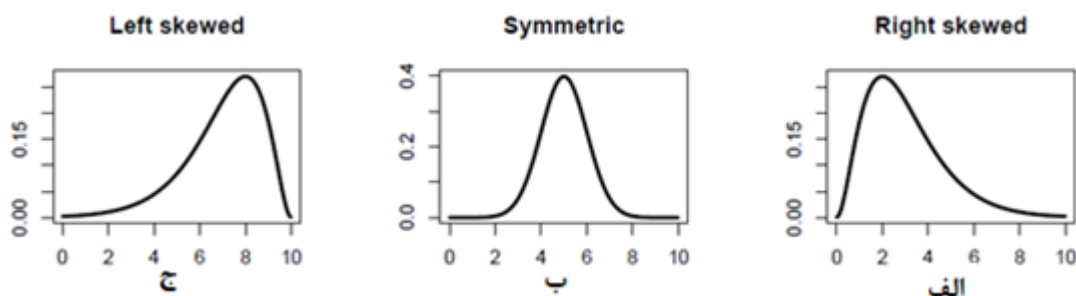
در تابع توزیع نرمال انتظار داریم مقادیر چولگی برابر صفر گردد (شکل ۱-۴ ب) و مقادیر کشیدگی برابر با ۳ باشد (شکل ۲-۴ ب). مقدار کشیدگی زمانی که همه داده‌ها یکسان باشد برابر صفر است که کمترین مقدار برای کشیدگی است و مقدار آن همیشه بزرگتر یا مساوی صفر است.

مقدار F در جدول ۱-۴ نمایانگر شاخص نرمال بودن یا نبودن داده‌های هر گروه می‌باشد که از رابطه ۱-۴ بدست می‌آید. این مقدار هر چه به صفر نزدیکتر باشد نشان دهنده نرمال‌تر بودن تابع توزیع است.

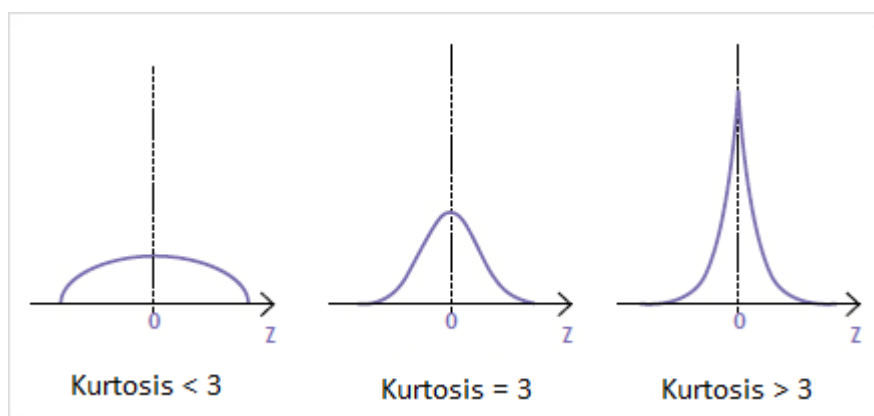
$$F = 2 \times |\text{skewness}| + |3 - \text{kurtosis}| \quad (1-4)$$

جدول (۴-۱) - پارامترهای آماری تک متغیره دادههای منطقه مورد مطالعه

Background	F	Skewness	Kurtosis	Variance	S/Deviation	Mod	Median	Mean	Max	Min	
100-3000	122/58	9/05	107/48	50964/58	225/75	396	401	436/19	3844	152	Ba(ppm)
2-100	3/76	0/50	0/25	1192/81	34/54	57	96	97/38	239	5	B(ppm)
1_40	3/10	0/58	1/06	16/22	4/03	10	13	13/45	32	5	Co(ppm)
5-1000	4/62	1/50	4/61	2916/64	54/01	165	178	189/29	502	25	Cr(ppm)
2-100	32/10	3/62	27/86	184/59	13/59	22	31	32/93	177	2	Cu(ppm)
850	3/54	0/14	-0/25	0/0004	0/02	0/0945	0/0926	0/09	0/1503	0/0335	Mn(ppm)
5-500	0/74	0/13	3/48	260/96	16/15	81	79	79/94	173	3	Ni(ppm)
	1/48	0/49	2/50	0/00	0/01	0/0562	0/0619	0/06	0/1256	0/01	P(ppm)
2-200	184/92	12/12	163/68	11097/93	105/35	34	32	45/83	1680	10	Pb(ppm)
50-1000	24/65	2/73	22/20	25054/38	158/29	494	502	503/92	1957	143	Sr(ppm)
20-500	1/88	-0/28	1/68	690/25	26/27	118	129	128/99	194	3	V(ppm)
10-300	4/30	1/45	4/39	1071/84	32/74	62	76	86/17	300	3	Zn(ppm)
300	10/07	1/98	9/10	3037/53	55/11	109	124	135/79	585	30	Zr(ppm)
	3/54	0/74	0/93	4/09	2/02	6/7	8/3	8/68	16/3	1/5	Al ₂ X(%)
	6/01	1/16	6/69	86/64	9/31	22	21/2	19/97	87/2	1/5	CaO(%)
	3/46	0/36	0/26	1/49	1/22	4/8	5/1	5/23	9/2	0/9	Fe ₂ X(%)
	1/91	0/55	2/18	0/30	0/55	2/4	2/9	2/91	5/4	0/6	K ₂ O(%)
	32/68	3/69	28/30	0/30	0/55	3	3/1	3/12	8/5	1	MgO(%)
	1/44	-0/55	2/67	0/12	0/35	2/1	2	2/03	3/1	0/3	Na ₂ O(%)
	12/74	-2/05	11/65	41/27	6/42	57/7	57/9	58/08	72/6	8/6	SiO ₂ (%)
0/5	2/46	0/13	0/80	0/01	0/10	0/47	0/47	0/48	0/88	0/04	Ti(%)



شکل ۱-۴ الف) چولگی مثبت معمولاً تابع توزیع عناصری مانند طلا و مس پورفیری به این شکل هستند. ب) چولگی صفر توزیع نرمال ج) چولگی منفی معمولاً تابع توزیع عناصر غیرفلزی و آهنک به این شکل هستند.

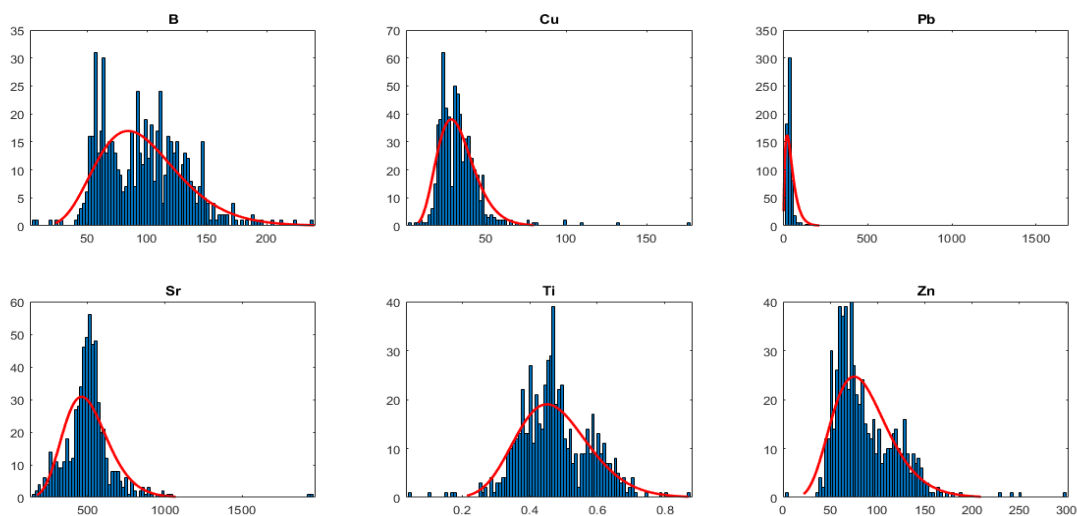


شکل ۲-۴ مقادیر کشیدگی در توابع توزیع مختلف

معمولاً غلظت عناصر شیمیایی در پوسته زمین از یک توزیع نرمال و در ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی غالباً از توزیع لاگ نرمال پیروی می‌کند. در این مرحله پتانسیل احتمالی هر یک از متغیرها در سطح منطقه با تکیه بر مقادیر زمینه مشخص گردید. با بررسی مقادیر جدول ۱-۴ و مقایسه مقادیر زمینه عناصر و مقادیر غلظت برداشت شده در منطقه بنظر می‌رسد که آنومالی، عناصر مس، سرب و روی در این منطقه می‌باشد و این عناصر دارای توزیع غیر نرمالند.

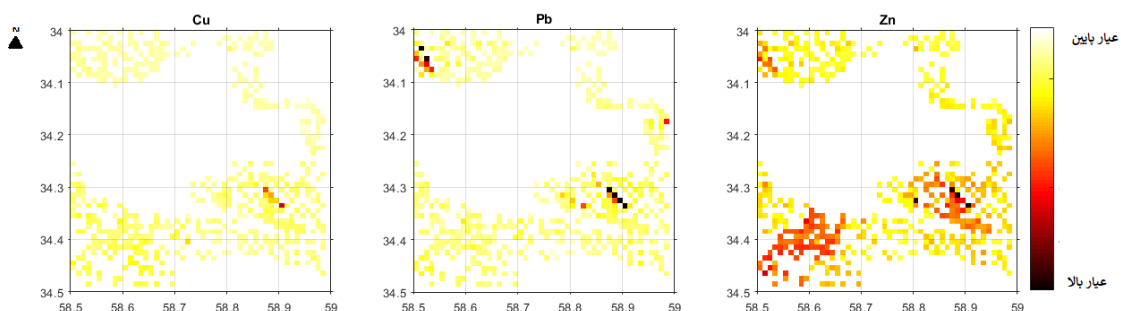
داده‌ها پس از فراخوانی در محیط نرم افزار SPSS مورد پردازش‌های آماری قرار گرفتند به طوری که از داده‌های خام هیستوگرام تهیه گردید (شکل ۳-۴).

هیستوگرام مس، سرب و روی گویای وجود نمونه‌های غیر معمول در بین داده‌هاست که سبب چولگی و کشیدگی و غیر نرمال بودن توزیع گردیده است.



شکل ۳-۴ نمودار هیستوگرام داده‌های اندازه‌گیری شده برخی از عناصر

مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده در جدول ۱-۴ برای سه عنصر مس، سرب و روی در شکل ۴-۴ رسم شده‌اند.

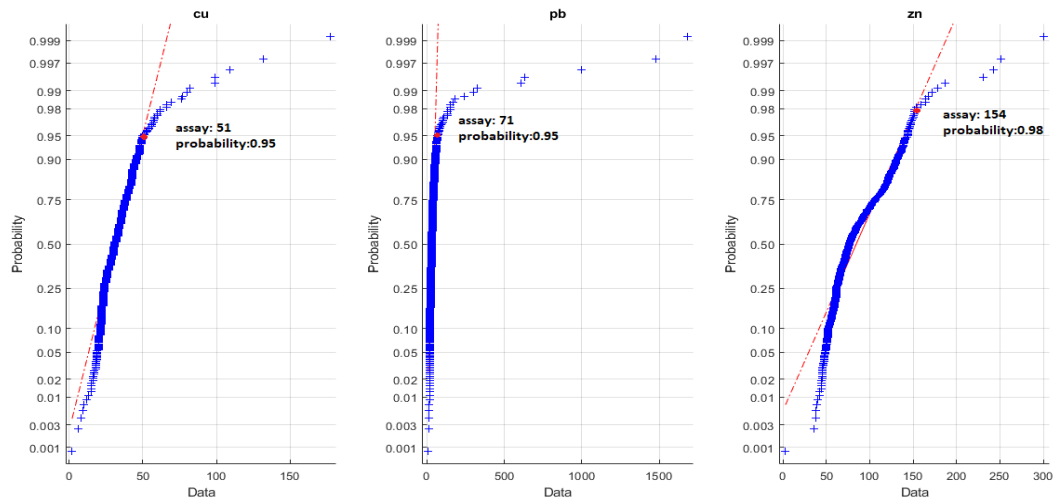


شکل ۴-۴ میزان عیار عناصر مس، سرب و روی نقاط نمونه برداری شده در برگه یکصد هزار گناباد

۴-۲-۲ نمودار احتمال

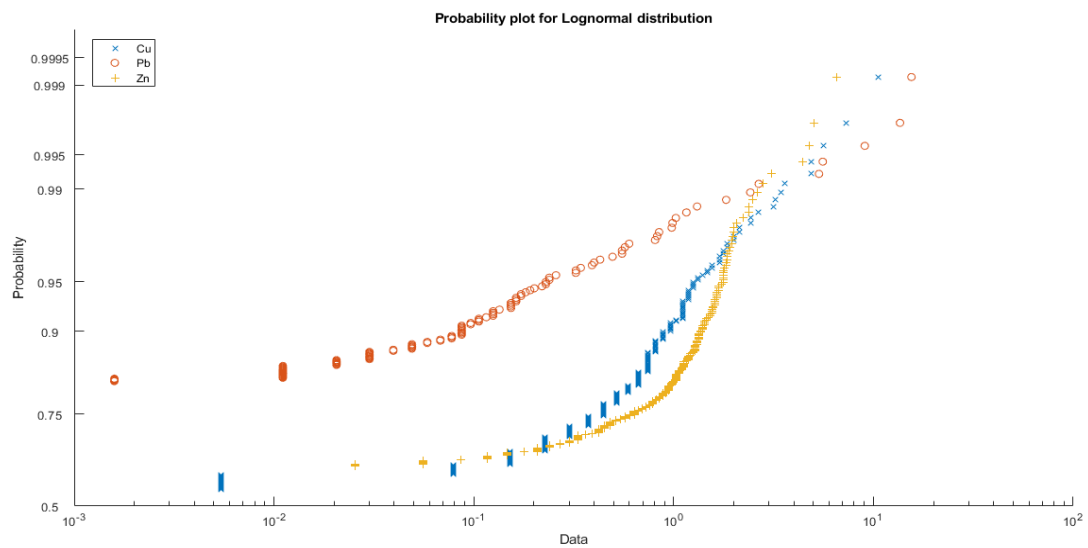
ابتدا با استفاده از بررسی آماری، لاگ نرمال بودن داده‌ها مشخص گردید و سپس به مدلسازی سه عنصر مس، سرب و روی پرداخته شد. علامت (+) در شکل ۴-۵، گروه‌های مختلف داده‌های خام را نشان می‌دهد. در این نمودار محور عمودی درصد احتمال (فراوانی تجمعی) و محور افقی مقادیر غلظت عناصر می‌باشد. مدلسازی نمودارهای احتمال معرف روند و رفتار واقعی جامعه مورد نظر است. در این راستا به

منظور انجام بهترین برازش مدل بر داده‌ها، تکنیک‌های حداقل مربعات انحرافات به کار گرفته می‌شود تا مدل مربوطه معرف ویژگی‌های جامعه مورد نظر باشد.



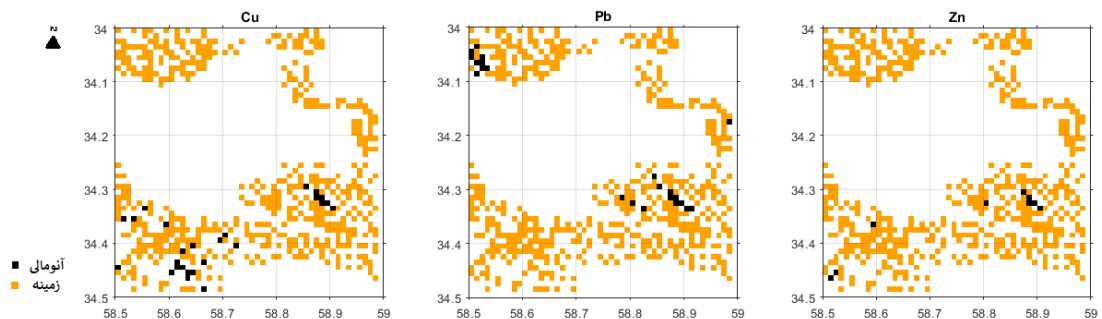
شکل ۴-۵ نمودار احتمال عناصر مس، سرب و روی

تغییرات شیب منحنی از خط برازش شده بر آن نشان می‌دهد که تعدادی از نمونه‌ها روند غیر نرمال دارند. با بررسی نمودارها می‌توان اینگونه گفت که احتمال عضویت در جامعه آنومال در عنصر روی ۰.۲٪ و در عنصر سرب و مس هر کدام ۰.۵٪ خواهد بود.



شکل ۴-۶ نمودار احتمال عناصر مس، سرب و روی با این تفاوت که محور افقی لگاریتم غلظت عناصر است

با توجه به مقادیر عیارحد آنومالی و زمینه بدست آمده از این نمودارها نقشه آنومالی سه عنصر مس، سرب و روی در شکل ۷-۴ رسم گردید.



شکل ۷-۴ نقشه نقاط آنومال به روش نمودار احتمال برای سه عنصر مس، سرب و روی

۴-۲-۳ تحلیل خوشه‌ای

الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی^{۳۶} یا خوشه‌ای به دو الگوریتم‌های تجمیعی^{۳۷} (پایین به بالا) و الگوریتم‌های تقسیمی^{۳۸} (بالا به پایین) تقسیم می‌شوند. برای هر دو نوع الگوریتم، ما نیاز به شرط پایانی داریم که این شرط اغلب رسیدن به k خوشه می‌باشد. داده‌های اصلاح شده را با استفاده از تحلیل خوشه‌ای محیط نرم افزار *SPSS* بررسی کردیم. دندروگرام نتایج حاصل شکل ۸-۴ گویای آن است که عناصر *Pb* و *Zn* و *Cu* در یک گروه قرار گرفته‌اند به این معنی که بیشترین ارتباط را بهم داشته و از یک فرایند تاثیر پذیرفته‌اند. فرایند مذکور سنگ‌ها با زمینه *Ni, Co, Ti, Fe* را متاثر نموده است که بیشتر بایستی در سنگ‌های آذرین خروجی-نفوذی حد واسط تا بازیک باشند.

³⁶ Hierarchical Algorithm

³⁷ Agglomerative

³⁸ Divise

۴-۲-۴ آنالیز فاکتور

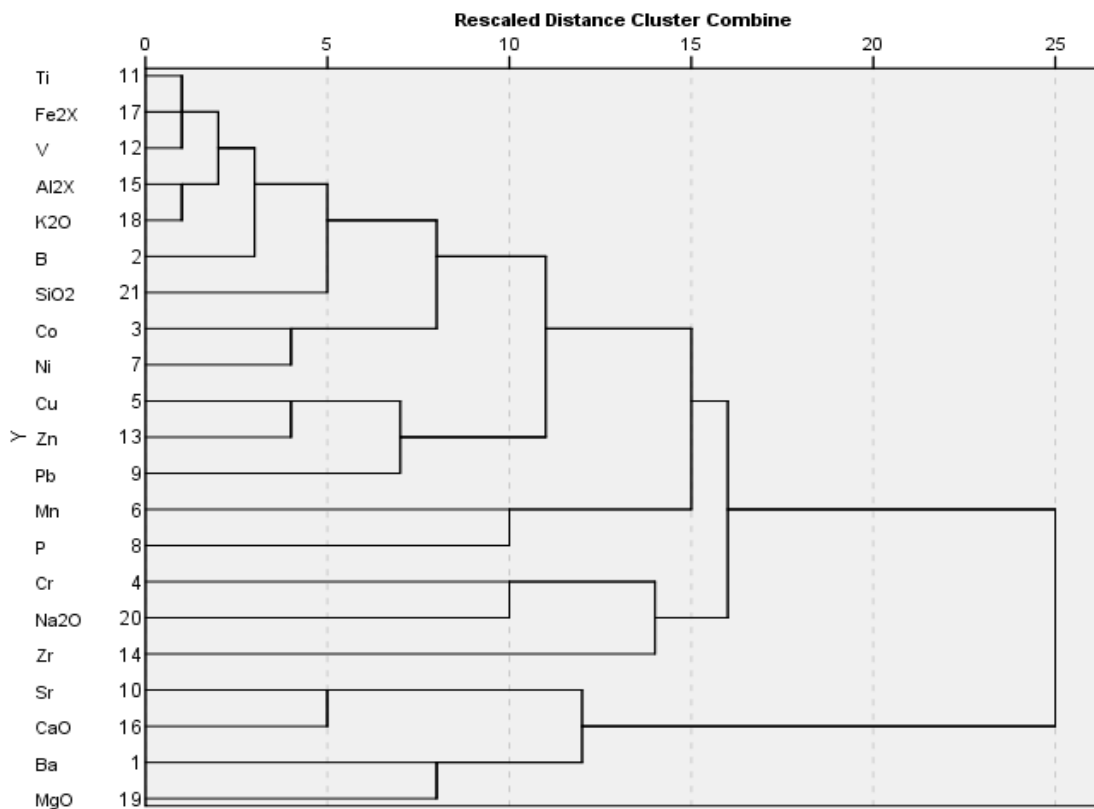
پردازش داده‌های ژئوشیمی منطقه با روش تحلیل عاملی^{۳۹} بر اساس تجزیه و تحلیل مولفه اصلی^{۴۰} عناصر در محیط نرم افزار SPSS انجام شد. تجزیه و تحلیل فاکتوری در چهار مرحله صورت می‌گیرد:

الف. محاسبه ضرایب همبستگی،

ب. استخراج عامل‌ها،

ج. دوران و اعمال تبدیلات خاص روی عامل‌ها برای آنکه ارتباط میان داده‌ها بهتر تفسیر شود،

د. محاسبه امتیاز هر عامل برای تک‌تک متغیرها



شکل ۴-۸ دندروگرام داده‌های منطقه مورد مطالعه

³⁹ Factor analysis

⁴⁰ principal components analysis (pca)

جدول (۲-۴) شامل مقادیر اولیه^{۴۱} متناظر با عامل‌ها، واریانس تبیین شده عامل‌ها^{۴۲} (عامل‌هایی که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک هستند) و ستون مقادیر عامل‌های استخراج شده بعد از چرخش^{۴۳} است. در ستون مقادیر ویژه اولیه، برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد می‌شود. واریانس تبیین شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. مقادیر ویژه هر عامل، نسبتی از واریانس کل متغیرها است. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است، از این رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است.

⁴¹ *Initial Eigenvalues*

⁴² *Extraction Sums of Squared Loadings*

⁴³ *Rotation Sums of Squared Loadings*

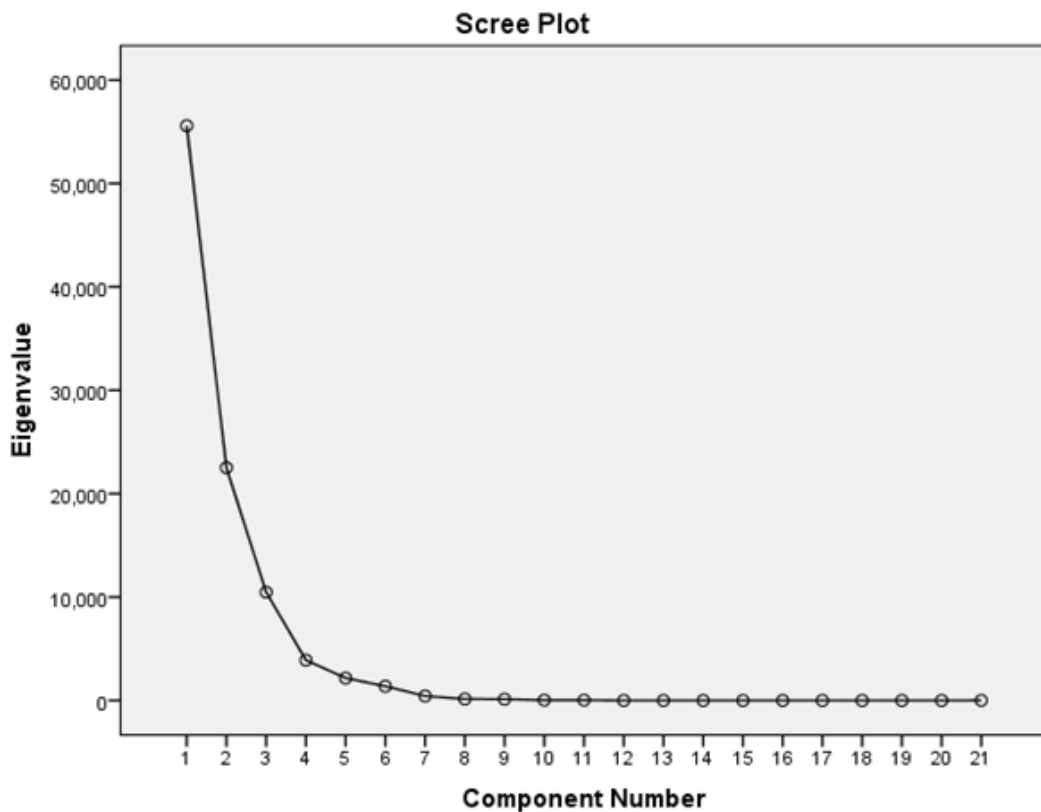
جدول ۴-۲ مقادیر ویژه عامل‌های مختلف و سه عامل اصلی کنترل کننده تغییرپذیر با داده‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس PCA

مولفه	مقادیر اولیه متناظر با عامل‌ها			واریانس تبیین شده عامل‌ها			عامل‌های استخراج شده بعد از چرخش		
	کل	% واریانس	تجمعی %	کل	% واریانس	تجمعی %	کل	% واریانس	تجمعی %
۱	۵۵۵۸۴/۹۱	۵۷/۴۳	۵۷/۴۳	۵۵۵۸۴/۹۱	۵۷/۴۳	۵۷/۴۳	۲۹۹۱۶/۳۷	۳۰/۹۱	۳۰/۹۱
۲	۲۲۵۱۲/۴۰	۲۳/۲۶	۸۰/۶۹	۲۲۵۱۲/۴۰	۲۳/۲۶	۸۰/۶۹	۱۱۵۶۲/۶۶	۱۱/۹۵	۴۲/۸۶
۳	۱۰۴۷۶/۰۴	۱۰/۸۲	۹۱/۵۲	۱۰۴۷۶/۰۴	۱۰/۸۲	۹۱/۵۲	۴۷۰۹۷/۳۳	۴۸/۶۶	۹۱/۵۲
۴	۳۸۹۶/۵۳	۴/۰۳	۹۵/۵۵						
۵	۲۱۶۸/۳۲	۲/۲۴	۹۷/۷۹						
۶	۱۳۷۱/۹۷	۱/۴۲	۹۹/۲۰						
۷	۴۳۱/۶۵	۰/۴۵	۹۹/۶۵						
۸	۱۴۳/۰۲	۰/۱۵	۹۹/۸۰						
۹	۱۲۲/۵۹	۰/۱۳	۹۹/۹۲						
۱۰	۳۷/۶۲	۰/۰۴	۹۹/۹۶						
۱۱	۳۰/۷۴	۰/۰۳	۹۹/۹۹						
۱۲	۳/۳۷	۰	۱۰۰						
۱۳	۱/۲۵	۰	۱۰۰						
۱۴	۰/۱۹	۰	۱۰۰						
۱۵	۰/۱۵	۰	۱۰۰						
۱۶	۰/۰۸	۰	۱۰۰						
۱۷	۰/۰۳	۰	۱۰۰						
۱۸	۰/۰۱	۰	۱۰۰						
۱۹	۰	۰	۱۰۰						
۲۰	۰	۰	۱۰۰						
۲۱	۰	۰	۱۰۰						

همچنانکه مشاهده می شود سه عامل اصلی قابلیت تبیین ۹۱/۵ درصد از تغییرپذیرهای موجود در منطقه است. اگر عامل‌های به دست آمده را با روش *Varimax* چرخش دهیم، عامل‌های اول، دوم و

سوم به ترتیب ۳۰/۹، ۴۸/۶، ۱۱/۹، و در مجموع ۹۱/۵۱۹ درصد از واریانس را در بر دارند. بنابراین سه مولفه اول برای تجزیه و تحلیل فاکتوری انتخاب می‌شوند.

نمودار خزش^{۴۴} مقادیر ویژه در مقابل مولفه‌ها (شکل ۴-۹) تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با عامل‌ها نشان می‌دهد. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که از عامل سوم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان سه عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.



شکل ۴-۹ نمودار مقادیر ویژه در مقابل تعداد عامل‌ها روش *PCA* داده‌های منطقه

جدول ۴-۳ سهم متغیرها را در عامل‌ها بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالایی معنی داری (بالای ۰/۵ یا ۰/۶) داشته باشد.

⁴⁴ Scree plot

جدول ۳-۴ ماتریس عاملی دوران یافته مولفه‌ها برای هر متغیر داده‌های منطقه مورد مطالعه به روش PCA

دوران یافته			خام			
مولفه			مولفه			
۳	۲	۱	۳	۲	۱	
-۰/۹۵	۰/۰۶۹	-۰/۲۸۴	-۲۱۶/۰۵۵	۱۵/۶۲۵	-۶۴/۱۶۷	Ba_ppm
۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۵۰۷	۴/۱۴۴	۷/۶۰۷	۱۷/۵۲۱	B_ppm
۰/۰۹۸	۰/۲۲۴	۰/۳۰۵	۰/۳۹۶	۰/۹۰۱	۲/۰۱۴	Co_ppm
۰/۰۹۷	-۰/۰۱۷	-۰/۰۱۶	۵/۲۶۷	-۰/۹۱۸	۰/۱۸۷	Cr_ppm
۰/۰۱۳	۰/۷۰۶	۰/۳۵۰	۰/۱۷۵	۹/۵۹۸	۴/۷۶۰	Cu_ppm
۰/۰۱۶	۰/۰۲	۰/۰۲۱	.	.	.	Mn_ppm
۰/۲۱۷	۰/۱۹۴	۰/۳۱۶	۳/۵۱۵	۳/۱۳۷	۵/۱۱۱	Ni_ppm
۰/۱۷۸	۰/۱۲۹	۰/۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	P_ppm
-۰/۱۶۴	۰/۹۸۲	-۰/۰۶۵	-۱۷/۳۲۸	۱۰۳/۵۷۳	-۶/۸۸۷	Pb_ppm
-۰/۰۰۴	-۰/۰۶	-۰/۹۹۷	-۰/۶۵۲	-۹/۴۵۱	-۱۵۸/۰۱۲	Sr_ppm
۰/۱۳۷	۰/۱۴۸	۰/۶۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۶۳	Ti_ppm
۰/۱۸۷	۰/۱۵۵	۰/۵۷۷	۴/۹۱۹	۴/۰۸۱	۱۵/۱۷۴	V_ppm
-۰/۰۵۷	۰/۵۴۶	۰/۳۴۶	-۱/۸۵۹	۱۷/۹۰۴	۱۱/۳۴۲	Zn_ppm
۰/۰۸۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۵۳	۴/۶۳۵	۰/۱۳۸	۲/۹۰۹	Zr_ppm
۰/۰۷۳	۰/۰۹	۰/۶۲۱	۰/۱۴۹	۱/۱۸۳	۱/۲۵۷	Al2O3
-۰/۲۱۱	-۰/۱۳۳	-۰/۶۶۷	-۱/۹۶۸	-۱/۲۴۱	-۶/۲۱۲	CaO
۰/۱۰۲	۰/۱۶۵	۰/۶۵۳	۰/۱۲۵	۰/۲۰۱	۰/۷۹۷	Fe2O3
۰/۱۶۸	۰/۱۱۷	۰/۵۹۶	۰/۰۹۳	۰/۰۶۵	۰/۳۳	K2O
-۰/۴۹۵	-۰/۰۷۱	-۰/۲۵۷	-۰/۲۷۱	-۰/۰۳۹	-۰/۱۴۱	MgO
۰/۲۴۷	۰/۰۲۵	۰/۳۷۶	۰/۰۸۷	۰/۰۰۹	۰/۱۳۳	Na2O
۰/۲۷۸	۰/۱۲۸	۰/۵۹۸	۱/۷۹	۰/۸۲۲	۳/۸۴۵	SiO2

با نگاه به جدول ۳-۴ عناصری که با هر فاکتور همبستگی بالایی دارند استخراج شده که به شرح زیر است:

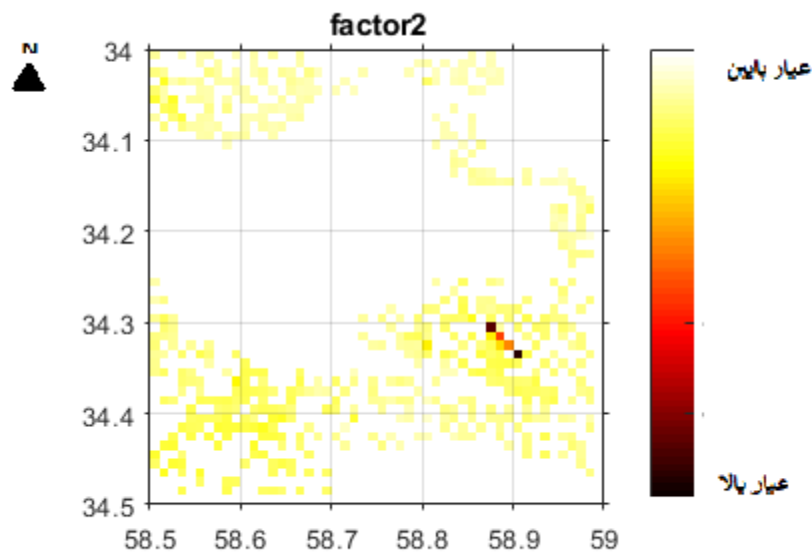
فاکتور اول: شامل عناصر Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، Ti است.

فاکتور دوم: شامل عناصر Pb ، Cu و تا حدودی Zn است.

فاکتور سوم: شامل عنصر Ba با امتیاز منفی است.

در نتیجه برای بررسی آنومالی عناصر سرب و مس می توان از فاکتور دوم استفاده کرد.

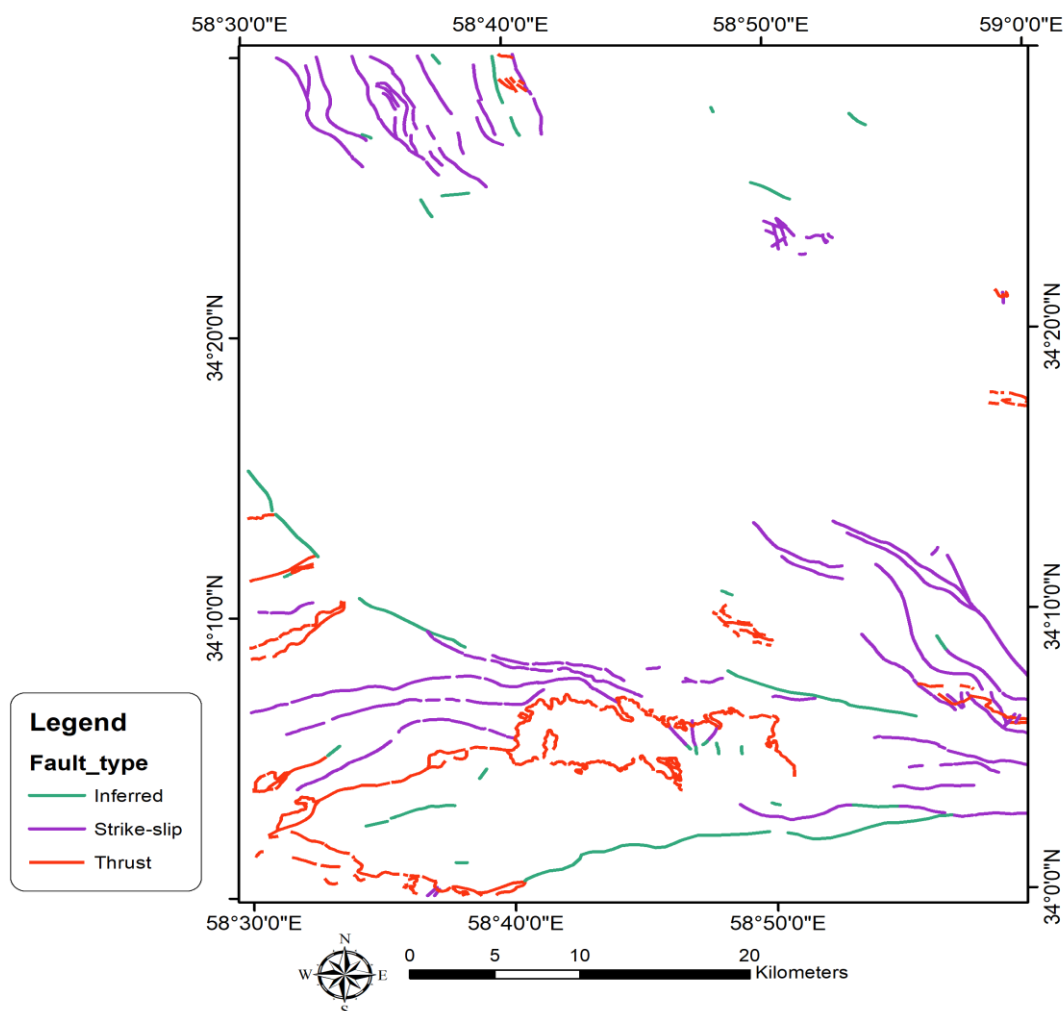
حال نقشه امتیاز دهی فاکتورهای استخراج شده براساس تحلیل مؤلفه اصلی را میتوان با اطلاعات بالا بدست آورد (شکل ۴-۱۰) و به عنوان یکی از لایه های اطلاعاتی استفاده کرد.



شکل ۴-۱۰ نقشه امتیازدهی فاکتور دوم استخراج شده براساس تحلیل مؤلفه اصلی

۳-۴ لایه شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه

لایه رقومی گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه گردید. همانطور که پیش از این گفته شد شکستگی‌ها و گسل‌ها و به خصوص محل تلاقی آن‌ها از مناطق با اهمیت برای تشکیل ذخایر معدنی می‌باشد. مهمترین سیمای کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه، پهنه‌های کانی‌سازی رگه‌ای-رگچه‌ای نجم‌آباد می‌باشد که توسط گسل‌ها و پهنه‌های گسلی هنگام و کبوترکوه و کاخک کنترل شده است. شکل ۴-۱۱ گسل‌ها و شکستگی‌های مهم منطقه را نشان می‌دهد که توضیحات و اسامی آنها در شکل ۲-۳ فصل دوم قبل آمده است.



شکل ۴-۱۱ گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۴ لایه اطلاعات واحدهای سنگی با اهمیت منطقه

با توجه به مقاطع عرضی نقشه زمین شناسی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی آذرین و رسوبی مهم منطقه در شکل ۴-۱۰ آمده است و عبارتند از:

- واحد E^{gr} : موزو گرانیتهای ائوسن؛

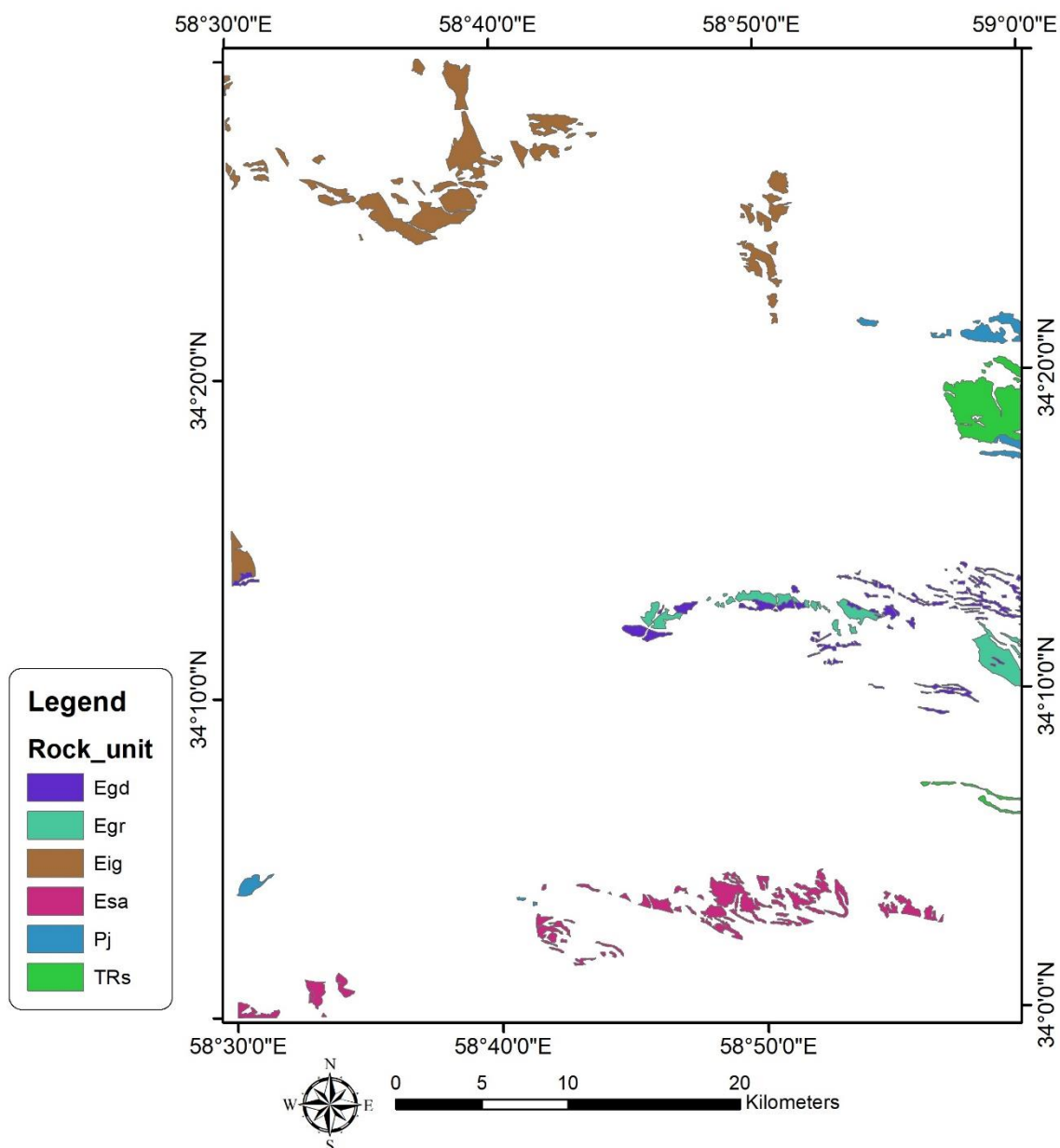
- واحد E^{gd} : میکرو گرانودیوریت و سینیت ائوسن؛

- واحد E^{sa} : کنگلومرا قرمز و ماسه سنگهای قرمز تا سبز روشن و توفهای آرژلیک همراه با لنزهای ژئپس؛

- واحد E^{ig} : آگلومراها، ایگنیمبریت، توفهای اسیدی، ریولیت، داسیت و تراکیت؛

- واحد T_{Rs} : آهک و دولومیت های تریاس؛

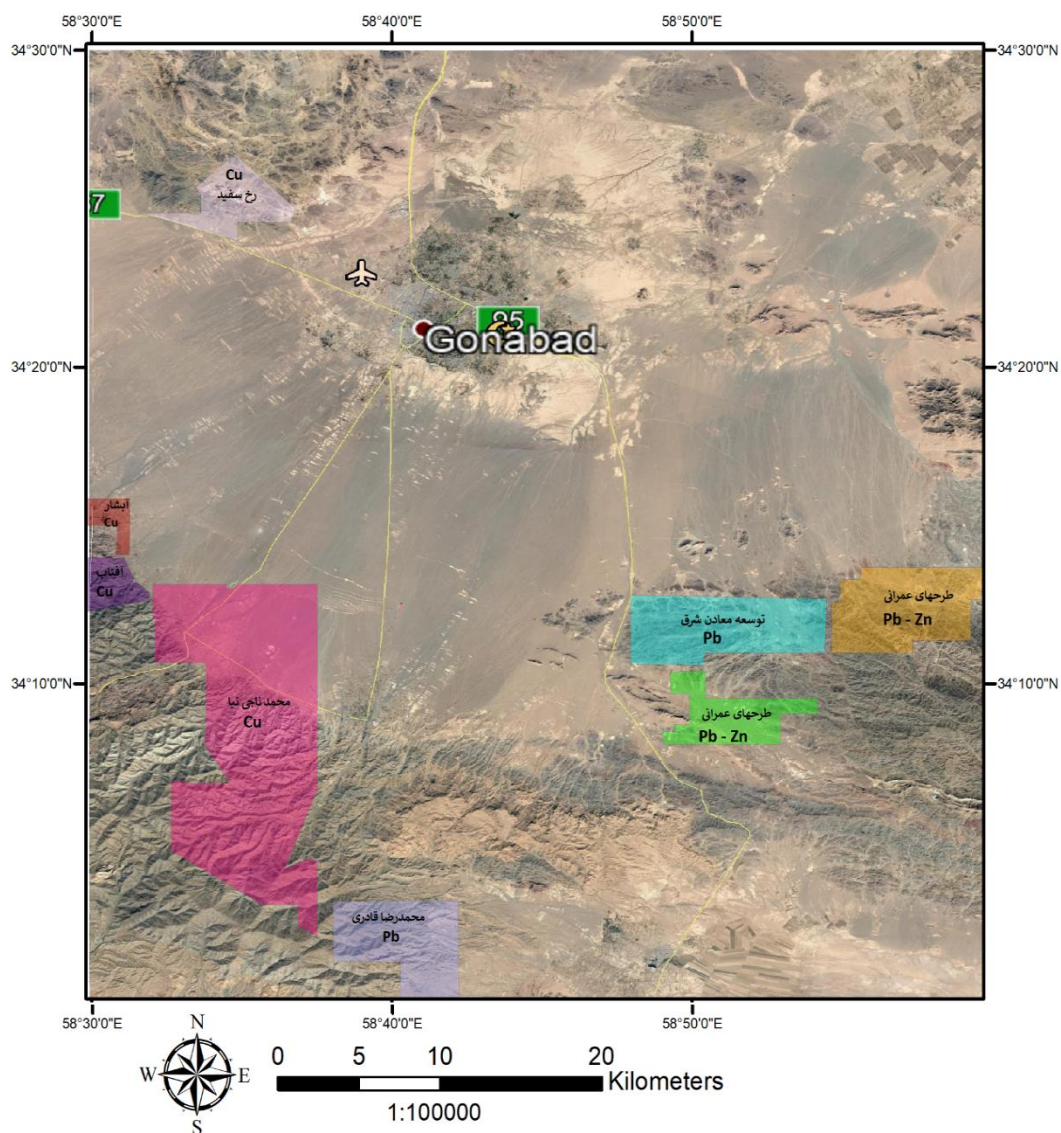
- واحد P_J : آهک و دولومیت های پرمین؛



شکل ۴-۱۲ لایه اطلاعات واحدهای سنگی مهم منطقه

۴-۵ لایه اطلاعات محدوده‌های اکتشافی فلزی در منطقه

اطلاعات این لایه شامل معادن ثبت شده و ماده معدنی موجود در هر کدام در منطقه از سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی جمع آوری گردید. شکل ۴-۱۳ معادن با پتانسیل مس و سرب و روی منطقه مشخص شده است. از این لایه جهت اعتبار سنجی نتایج استفاده خواهد شد.

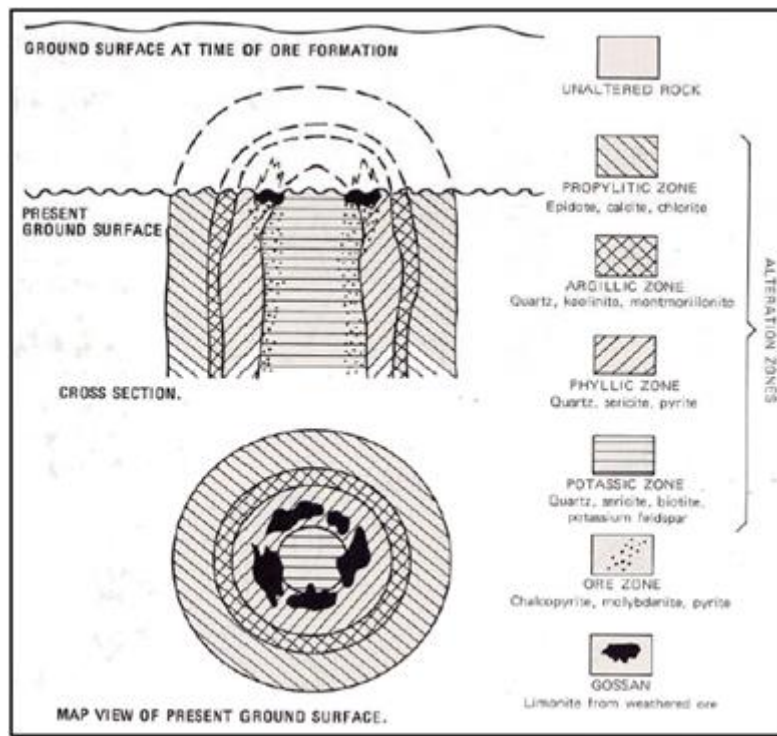


شکل ۴-۱۳ معادن فلزی ثبت شده در سازمان صنایع، معادن و تجارت گناباد در منطقه مورد مطالعه

۴-۶ لایه اطلاعات دگرسانی‌های منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به وجود اندیس‌ها و معادن مس، سرب و روی و غیر فلزی باریت و کائولنیت، منطقه‌بندی دگرسانی پروپلیتیک، آرژیلیک، فیلیک و پتاسیک مد نظر قرار گرفته‌اند. البته بنا به نوع و سطح فرسایش ممکن است که همه این زون‌های دگرسان در سطح زمین یافت نشوند. از طرف دیگر فرایند اکسایش سطحی باعث پیدایش کانی‌های گروه اکسید آهن می‌شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و انتخاب

روش‌های مناسب پردازش تصویر، میتوان برخی از کانی‌های همراه با زون‌های دگرسان را تشخیص داد
(Abrams et al., 1983).

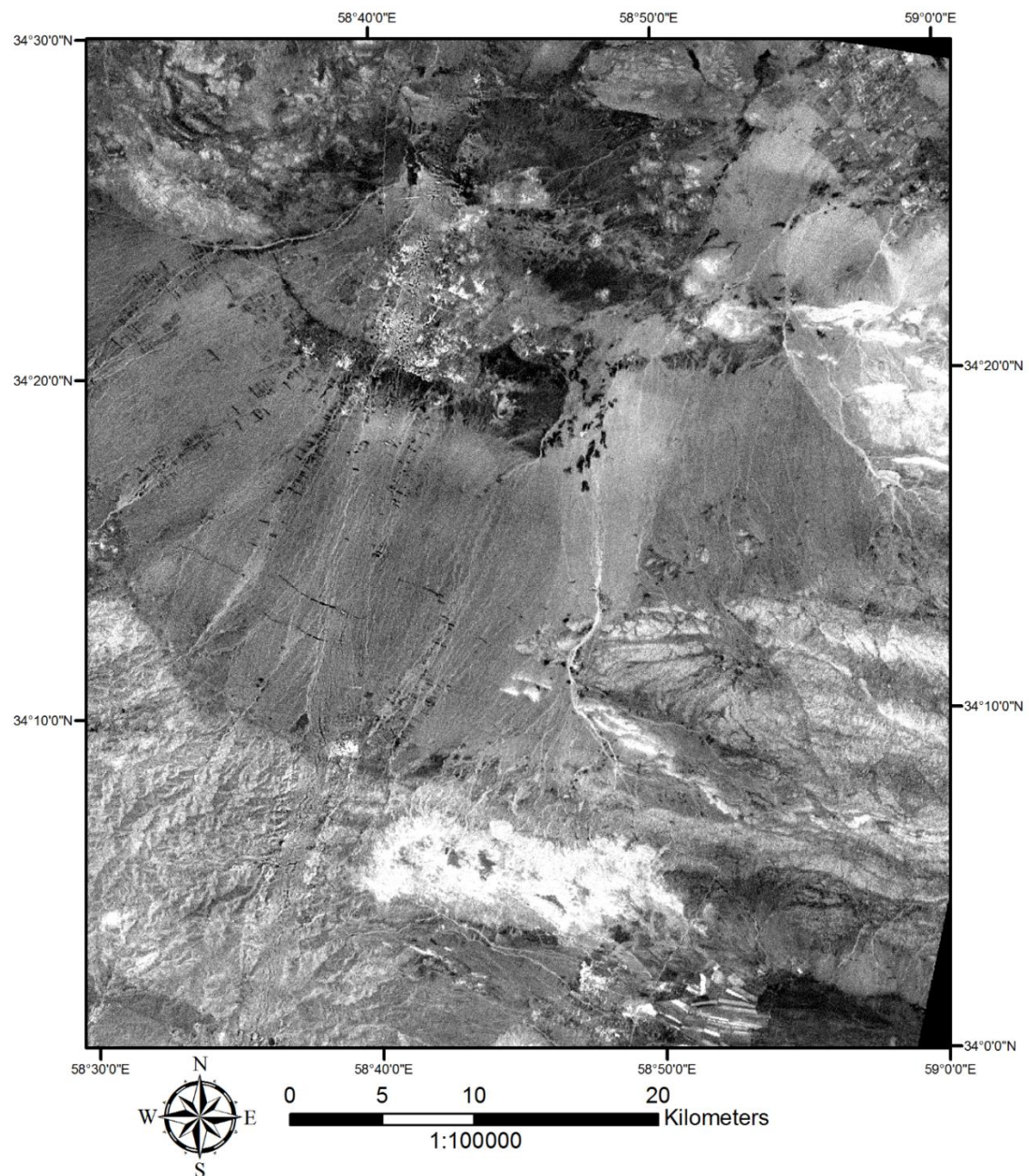


شکل ۴-۱۴ ارتباط زون‌های دگرسانی هیدروترمال با ذخایر مس پورفیری (Lowell and Guilbert, 1970)
در این بخش به شرح انواع دگرسانی در محدوده مورد مطالعه پرداخته می‌شود. از آنجا که در پی‌جویی این عناصر می‌توان از نقشه‌های راهنمای دگرسانی‌هایی چون سرسیتیک، آرژیلیتیک، پتاسیک، پروپلیتیک، آلونیت و اکسیدهای آهن استفاده کرد در این بخش سعی کردیم با استفاده از روش‌های بیان شده فصل قبل به تولید این نقشه‌ها پردازیم.

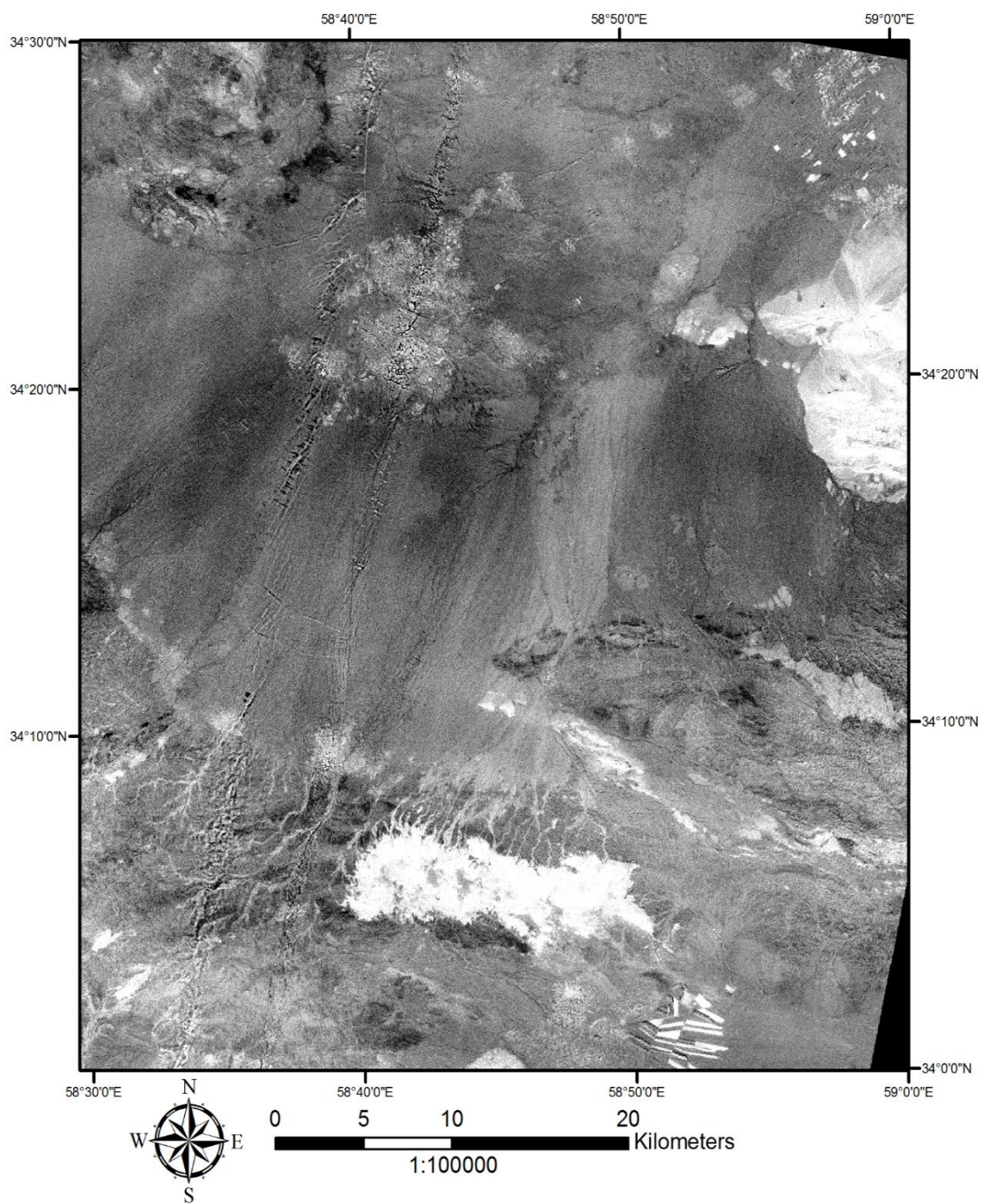
۴-۶-۱ دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک به مجموعه‌ای از دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، زئوزیتی همراه با کلسیت اطلاق می‌گردد. کانی‌های مهم دگرسانی پروپلیتیک عبارتند از: اپیدوت، زئوزیت، کلینو زئوزیت، کلریت و کلسیت، آلونیت می‌باشد. در این دگرسانی اکسیدهای آهن، سرسیت و کائولن به مقدار جزئی یافت می‌شوند. در

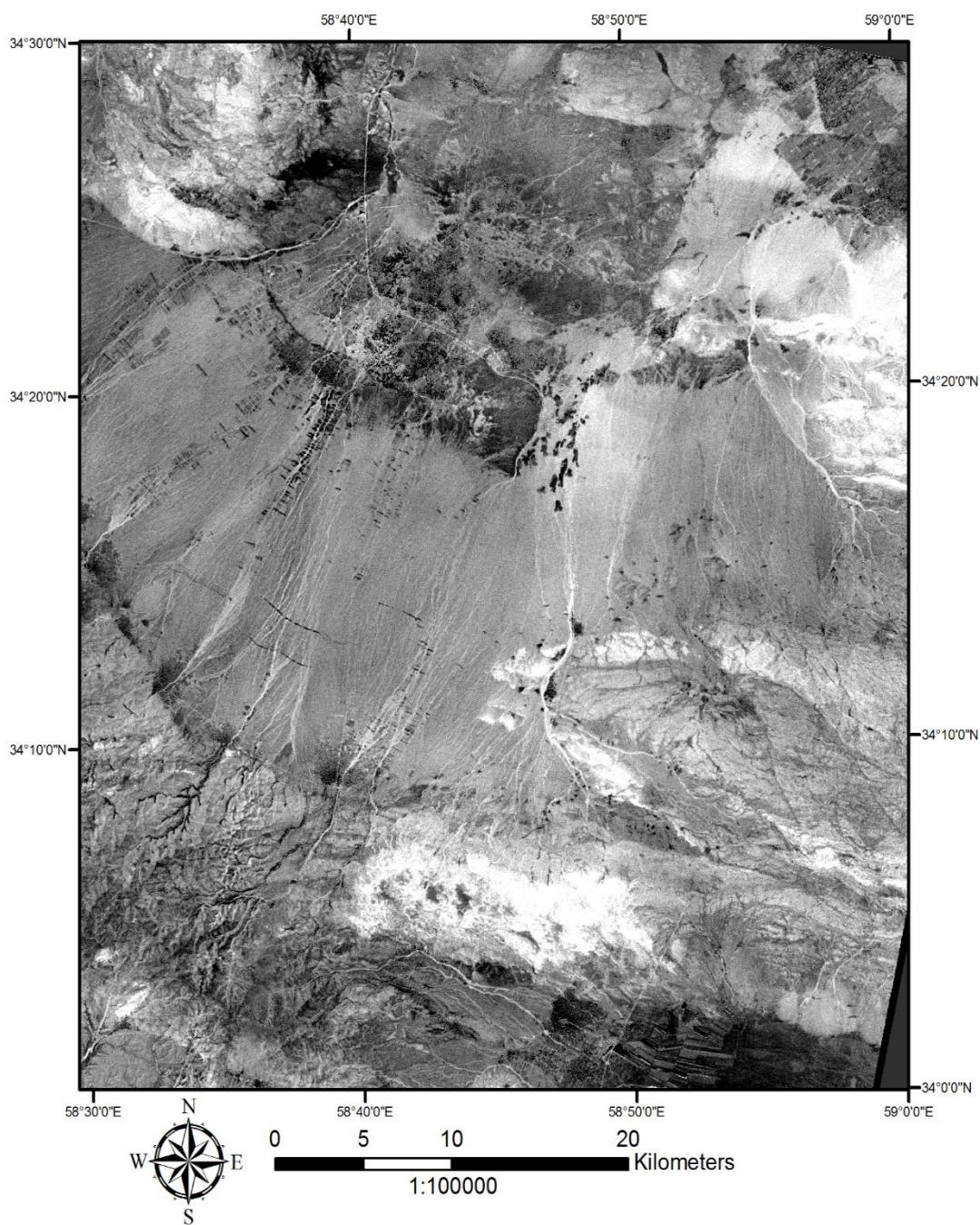
صورت بالا رفتن درصد فراوانی اپیدوت، زئوزیت، کلریت و یا آلبیت به جای واژه پروپلیتیک، از نام کانی مربوطه استفاده خواهد شد. زون دگرسانی پروپلیتیک در بیشتر ذخایر ماگمایی و گرمابی یافت می‌شود و گسترش این دگرسانی معمولاً در اطراف ذخایر بسیار زیاد است (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴).



شکل ۴-۱۵ الف) مشخص نمودن دگرسانی پروپلیتیک به رنگ روشن با استفاده از ترکیب باندهی $ASTER_{7+9}$



شکل ۴-۱۵ ب) مشخص نمودن دگرسانی پروپیلتیک به رنگ روشن با استفاده از ترکیب باندهی $\frac{6+9}{7+8}$ ASTER

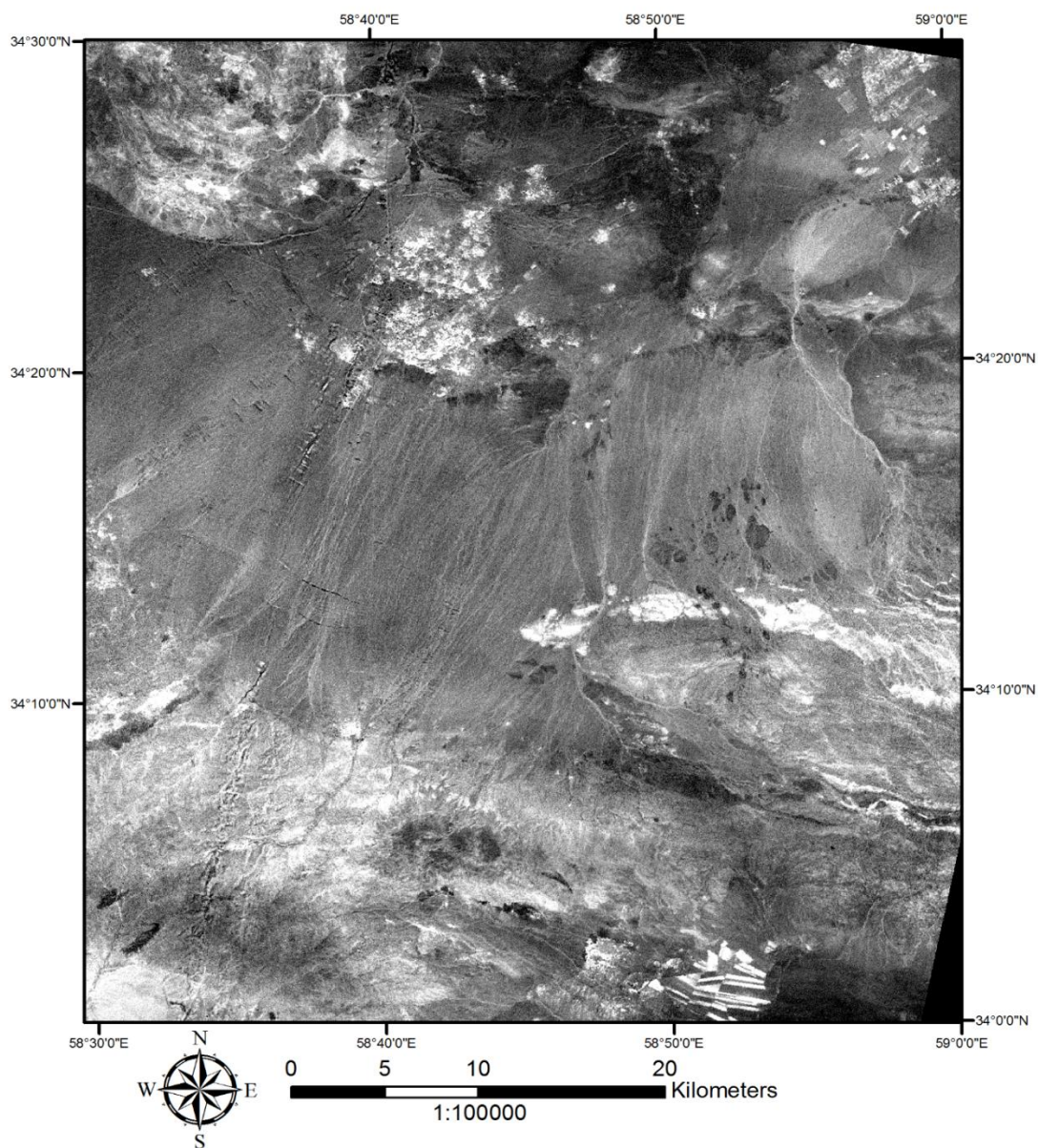


شکل ۴-۱۵ ج) مشخص نمودن دگرسانی پروپیلتیک به رنگ روشن با استفاده از روش کروسا *PC 4 ASTER* -

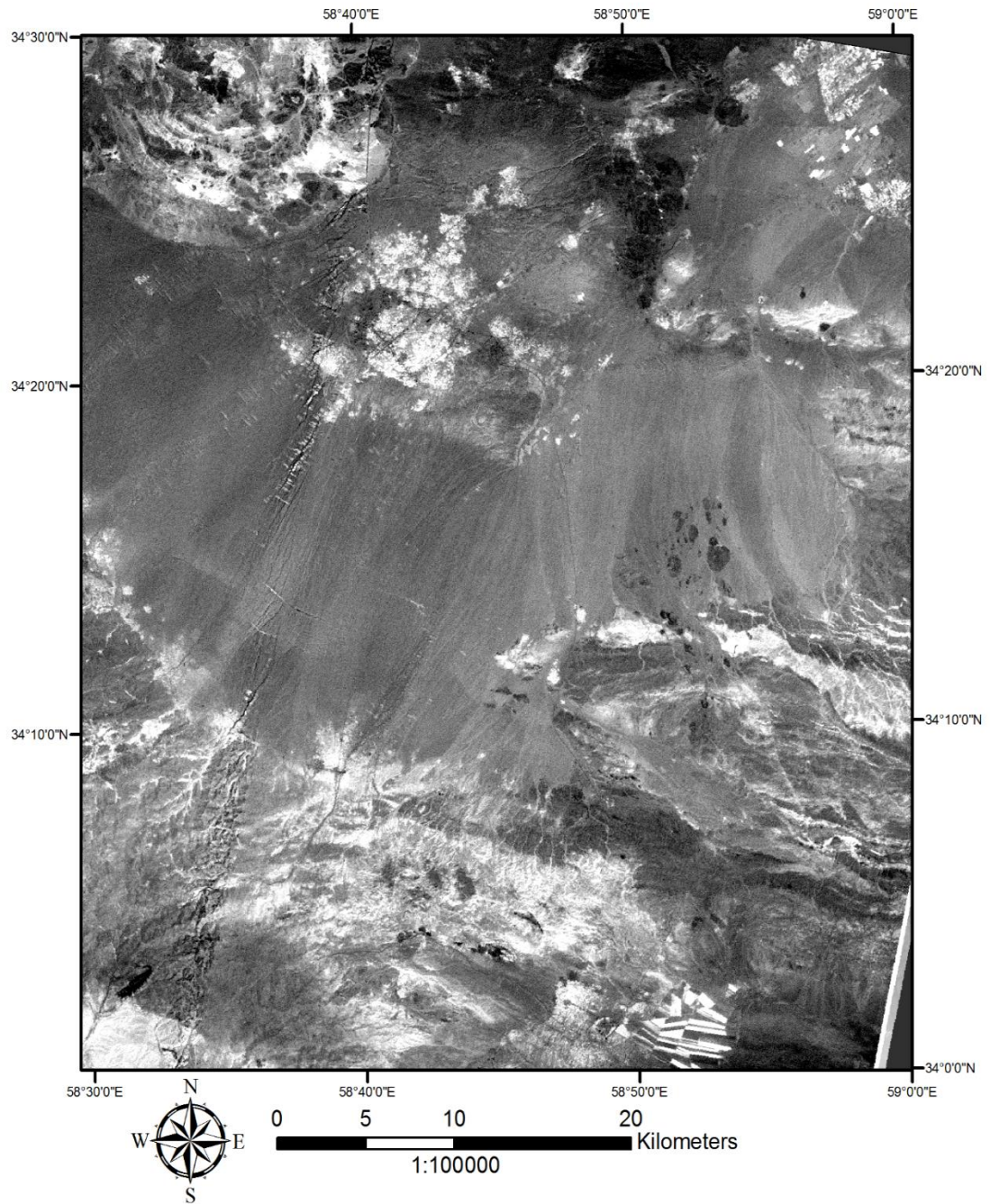
۴-۶-۲ دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته

کانی‌های مهم آن عبارتند از: دیکیت ، کائولینیت ، هالوزیت ، آلفان ، مونتموریونیت و مقدار جزئی سرسیت. فلدسپات‌ها بطور عمده به کانی‌های رسی آلتره می‌شوند. بیوتیت به رنگ سبز تا قهوه‌ای

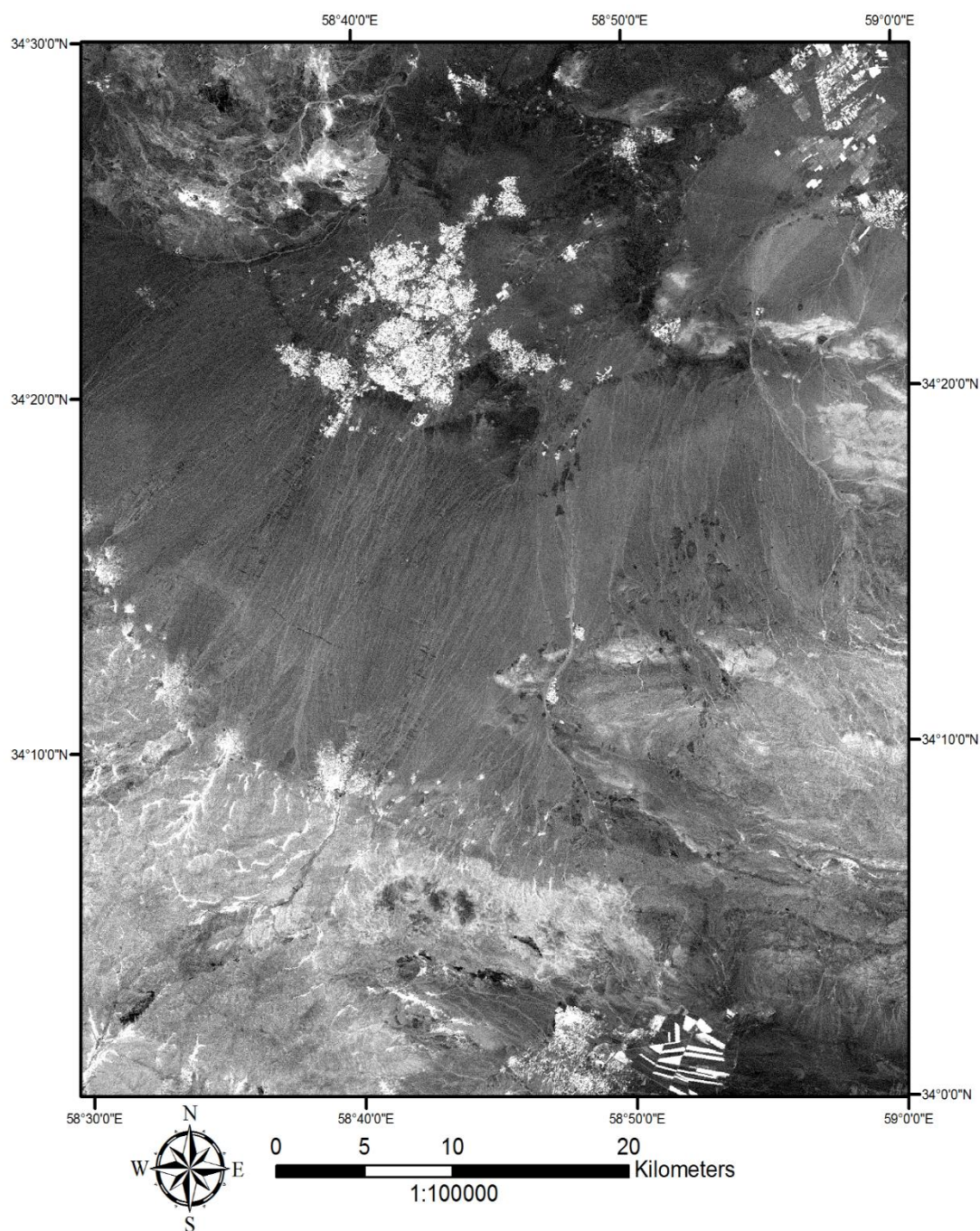
یافت می شود. پلاژیوکلاز بطور عمده آلتیره شده اما پتاسیم فلدسپات به مقدار جزئی آلتیره می شود. مخصوص کانسارهای رگه‌ای می‌باشد. در دگرسانی آرژیلیک پیشرفته کانیهای شاخص این دگرسانی عبارتند از: کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پیروفیلیت و گاهی سرسیت، کوارتز، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز می‌باشد (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴). مشاهده دگرسانی آرژیلیک می‌تواند به شناسایی مناطق با کانی‌زایی مس از نوع پورفیری و گرمابی کمک شایانی کند (Seedorf et al, 2005).



شکل ۴-۱۶ الف) مشخص نمودن دگرسانی آرژیلیک به رنگ روشن با ترکیب باندهی $\frac{4+5}{6}$ ASTER



شکل ۴-۱۶ ب) مشخص نمودن دگرسانی آرژیلیک به رنگ روشن با روش کروسا *PC 4 ASTER*

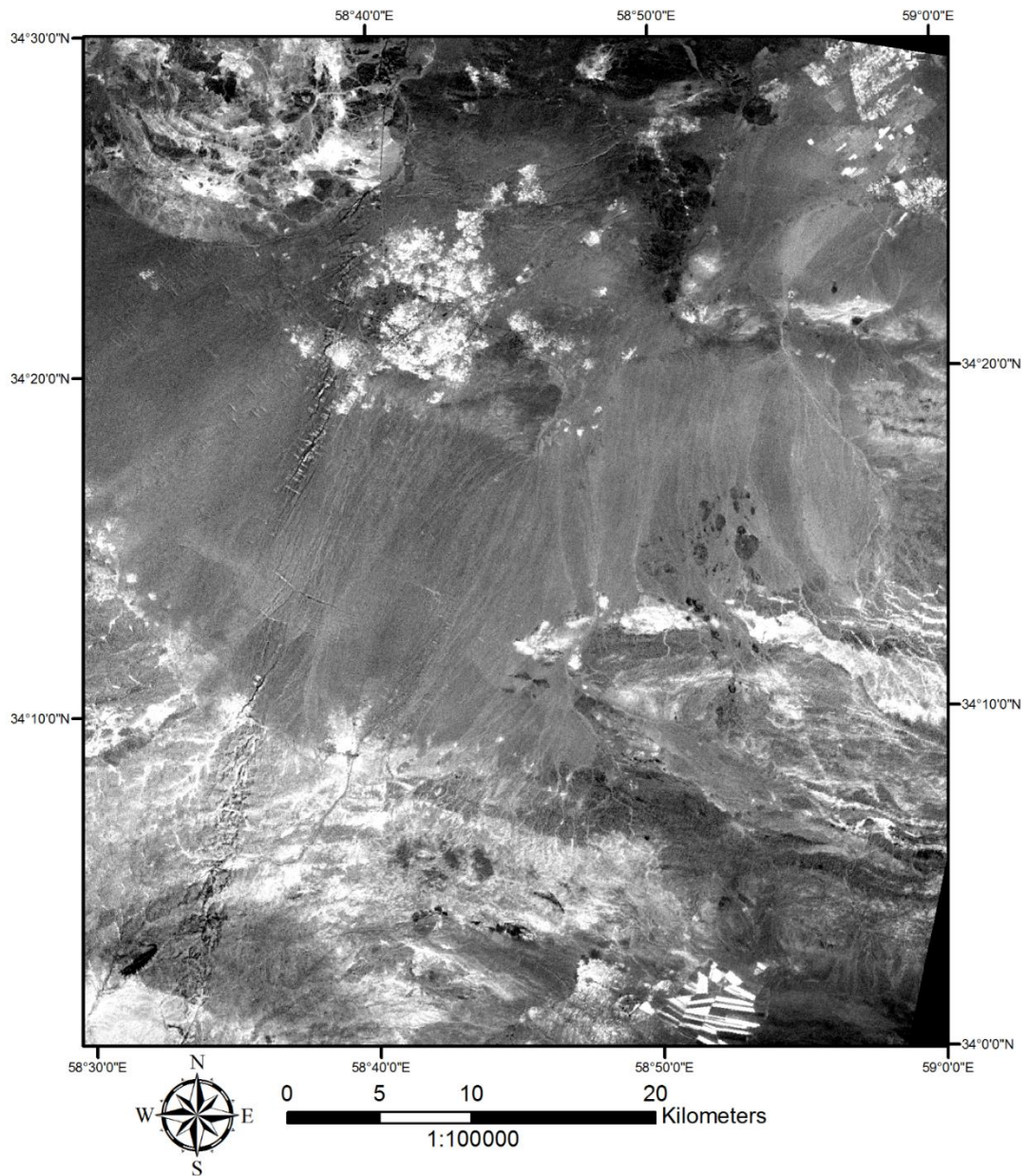


شکل ۴-۱۶ ج) مشخص نمودن دگرسانی آرژیلیک به رنگ روشن با ترکیب باندی $ETM+ \frac{5}{7}$

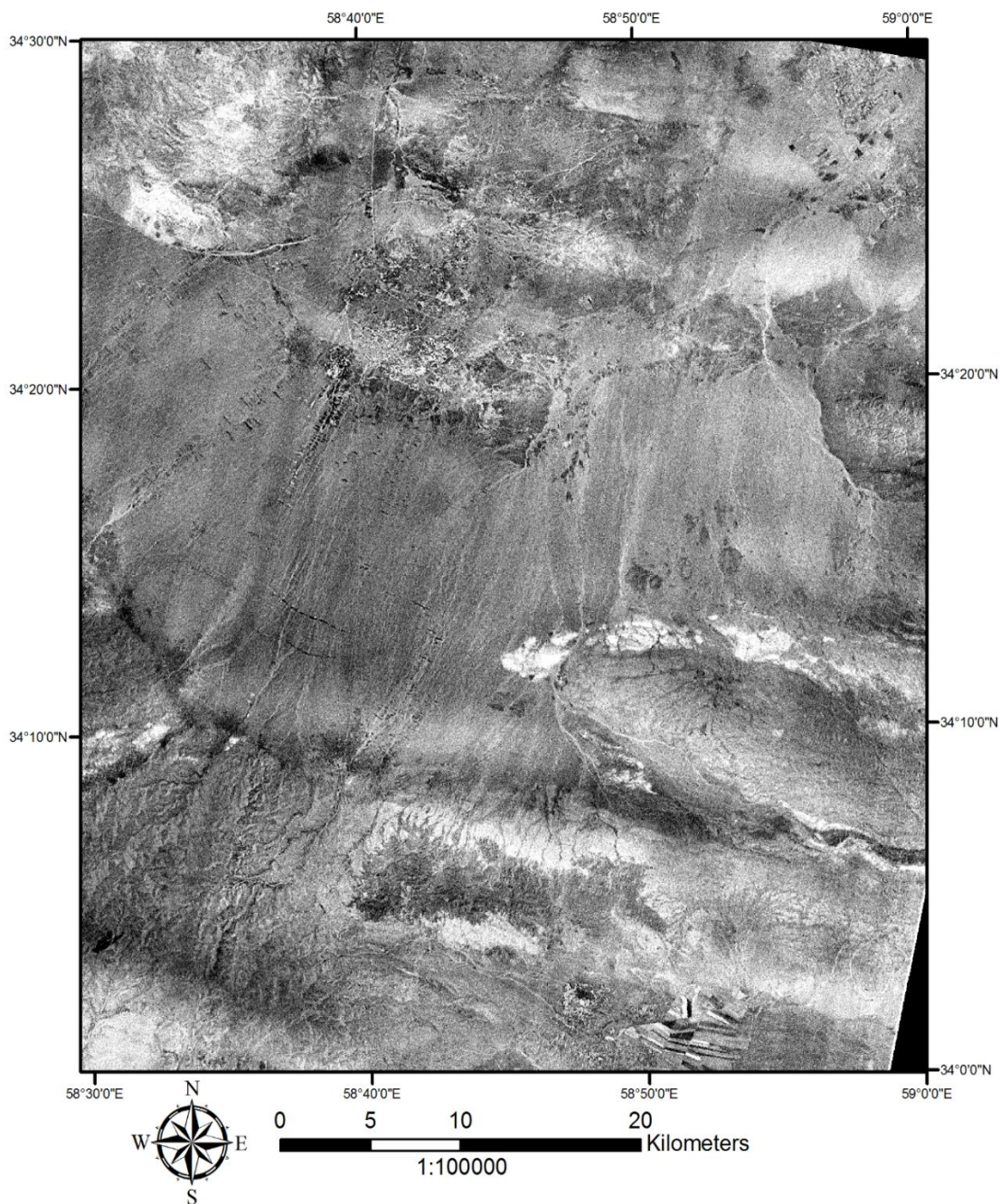
۴-۶-۳ دگرسانی فیلیک

این زون به نوع فیلیک و در بعضی از ذخایر به دگرسانی کوارتز، سرسیت و پیریت نیز معروف است. کانیهای مهم این زون عبارتند از: سرسیت، کوارتز، پیریت، دیکیت، مقدار جزئی کائولین و آندالوزیت، که

مقدار سرسیت از همه بیشتر است. کانیه‌های فرعی شامل کلسیت، آپاتیت و انیدریت است (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴).



شکل ۴-۱۷ الف) مشخص نمودن دگرسانی فیلیک منطقه به رنگ روشن با ترکیب باندهی $\frac{4}{6}$ ASTER



شکل ۴-۱۷ ب) مشخص نمودن دگرسانی فیلیک منطقه به رنگ روشن با روش کروسا *PC 4 ASTER*

۴-۷ ترکیب اطلاعات

برای اینکه بتوان از تمام داده‌ها در ترکیب اطلاعات استفاده کرد نیاز هست برخی پیش پردازش‌ها روی آنها انجام شود. ابتدا باید تمام لایه‌ها از لحاظ سائز ابعاد لایه، نقاطی که اطلاعات از آن داریم و واحد

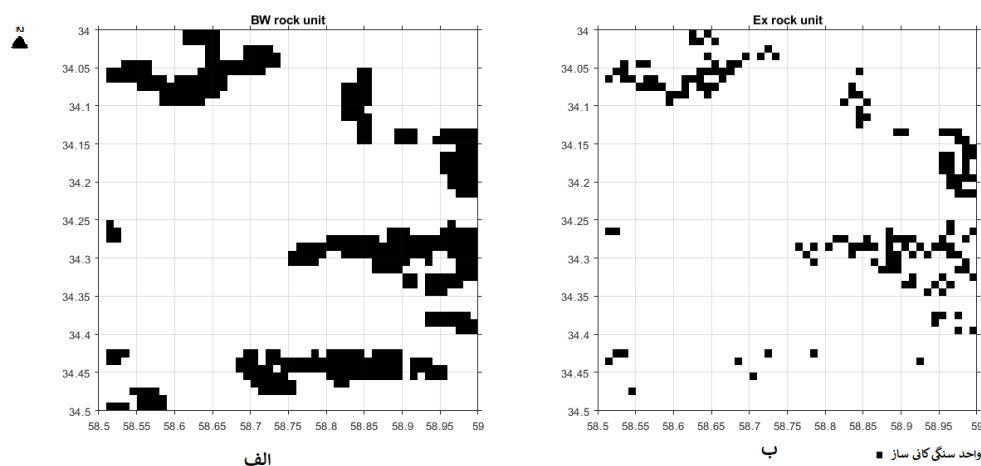
اندازگیری شدت داده در آن نقطه هم گام شوند. در نمونه برداری ژئوشیمی انجام شده فرض بر این شد که نتایج حاصل از هر نمونه گیری معرف مساحت یک کیلومتر مربعی از واحد سطح منطقه است. با این فرض حدوداً ۶۰۰ نقطه منتخب (پیکسل) دارای اطلاعات ژئوشیمی در منطقه ایجاد شد. از آنجایی که ممکن است درون‌یابی داده‌های ژئوشیمی دارای خطا باشد و این خطا در نتایج خروجی تاثیر گذار باشد فقط واحدهایی که دارای داده‌های ژئوشیمی واقعی برداشت شده باشند، استفاده گردید. به همین دلیل برنامه‌ای به منظور تهیه نمونه از لایه‌های ژئوشیمی، زمین‌شناسی، گسل‌ها، دگرسانی و معادن تهیه گردید و برای نقاط مذکور مقدار هر متغیر مشخص گردید.

لایه ژئوشیمی (غلظت عناصر و نقشه فاکتوری)

با توجه به بررسی‌های انجام شده در خروجی اطلاعات دندروگرام و آنالیز فاکتور، داده‌ها برای عناصر Zn و Pb ، Cu برای ما اهمیت ویژه دارند (شکل ۴-۴). پس از بررسی با نمودار احتمال عیار حد زمینه و آنومالی نقشه‌های جدید استخراج شد (شکل ۴-۷). علاوه بر آن نقشه امتیازدهی فاکتور دوم استخراج شده براساس تحلیل مؤلفه اصلی عناصر نیز به عنوان یک لایه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴-۸).

لایه زمین‌شناسی (واحدهای سنگی)

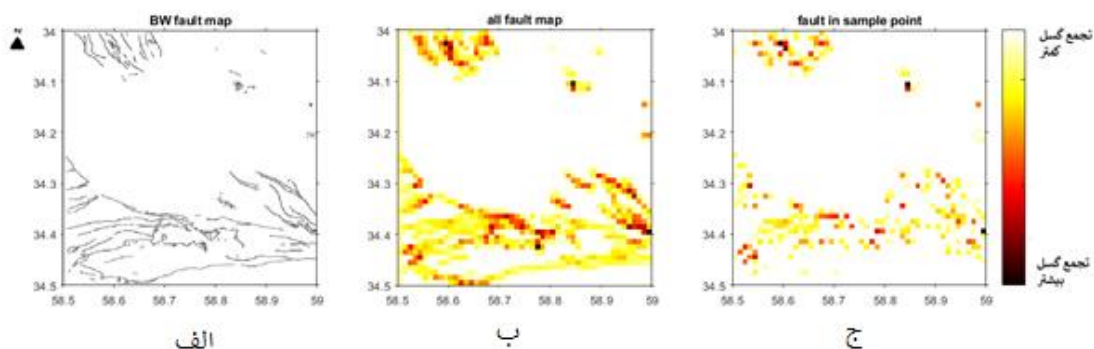
در این لایه پس از جدا کردن واحدهای سنگی مستعد کانی‌سازی (شکل ۴-۱۰)، مشخص شد کدام یک از نقاط نمونه برداری ژئوشیمی هم ارز این نقاط هستند تا اهمیت واحد مورد نظر در لایه زمین‌شناسی لحاظ شود.



شکل ۴-۱۸ الف) کل واحدهای سنگی مستعد کانی سازی ب) نقاط نمونه برداری که با این واحدها همپوشانی دارد

لایه گسل‌ها

با توجه به اهمیت گسل‌ها برای این لایه بافر در نظر گرفته می‌شود. به این معنی که به واحدهایی که طول گسل بیشتری از آن‌ها گذشته امتیاز بیشتری داده می‌شود.

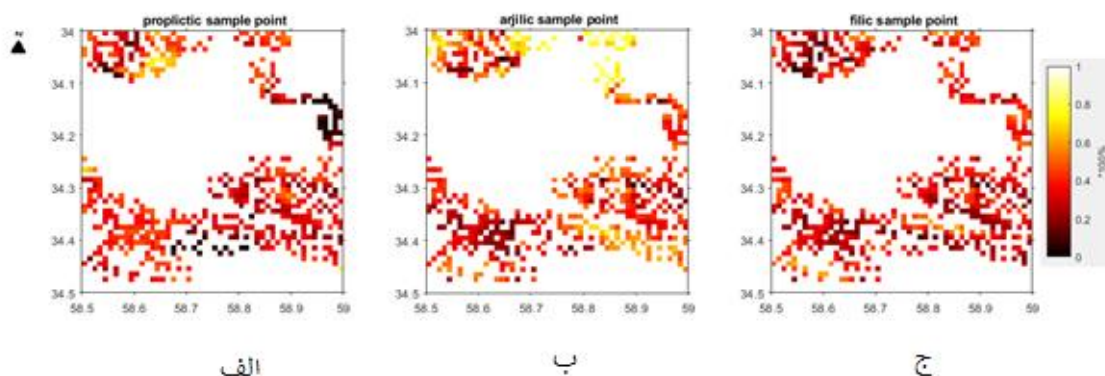


شکل ۴-۱۹ الف) نقشه گسترش گسل‌ها در منطقه ب) تراکم کل گل‌های منطقه ج) تراکم گسل در نقاط نمونه برداری

لایه دگرسانی

پس از اعمال تصحیحات برای بدست آوردن یک نقشه واحد برای هر دگرسانی عکس‌های تهیه شده را با هم ترکیب و برای هر پیکسل بیشترین شدت دگرسانی ظاهر شده را در نظر می‌گیریم. در این روش

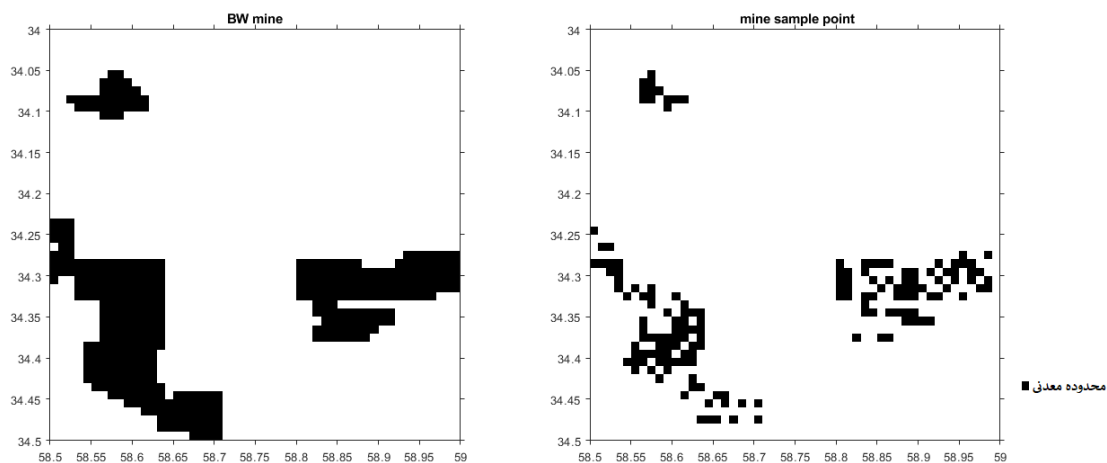
نقاط ناقص در تصاویر (نقاط ابری یا حاشیه‌های تصویر)، پس از ترکیب تصاویر با یکدیگر با داده مطلوب جایگزین می‌شوند. از آنجا که این نقشه از هم پوشانی چند نقشه دیگر بوجود می‌آید و با توجه به این که نقاط شهری و زمین‌های کشاورزی اغلب باعث انحراف در داده های دگرسانی می‌شود، برای رفع این مشکل تنها داده‌ها در نقاط نمونه برداری مورد توجه قرار گرفت و نقشه‌های خروجی تهیه گردید. با این روش می‌توان گفت که مناطق مشخص شده با احتمال بیشتری جزو دگرسانی‌های واقعی می‌باشند.



شکل ۴-۲۰ الف) شدت دگرسانی پروپیلیتیک در نقاط نمونه برداری ب) شدت دگرسانی آرژیلیک در نقاط نمونه برداری ج) شدت دگرسانی فیلیک در نقاط نمونه برداری

لایه معادن:

در هر روش ترکیب اطلاعاتی نیاز به داشتن به لایه خروجی حقیقی برای اعتبار سنجی روش به کار گرفته شده است. در این بخش لایه‌ای از اطلاعات معادن فعال یا ثبت شده به منظور اکتشاف و استخراج عناصر مس، سرب و روی منطقه ایجاد می‌کنیم. معمولاً در روش‌های هوشمند بخش بیشتر از اطلاعات این لایه به جهت آموزش سیستم و درصد کمی از آن برای اعتبار سنجی استفاده می‌شود.



شکل ۴-۲۱ لایه اطلاعات معادن منطقه

۴-۷-۱ ترکیب اطلاعات به روش بیزین

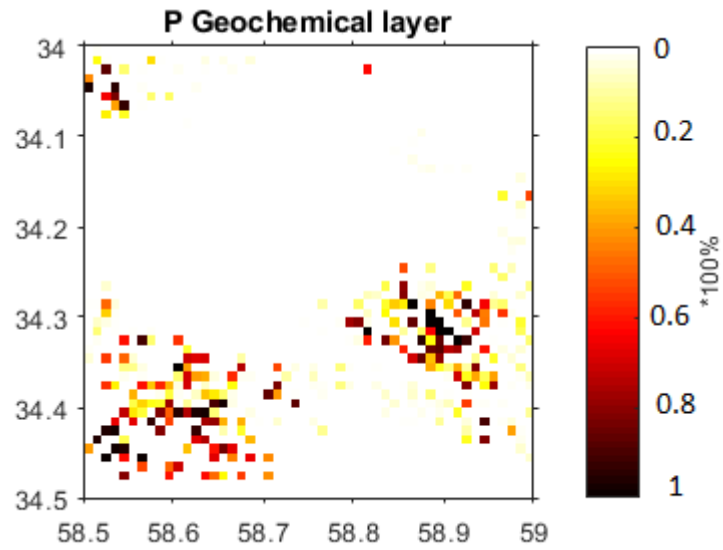
در این روش برای داده‌های ژئوشیمی ابتدا میزان فراوانی تجمعی (CDF) غلظت هر یک از عناصری که برای تلفیق انتخاب کردیم را بدست می‌آوریم { به عنوان مثال برای سه عنصر مس، سرب و روی داریم $\{p(zn/o), p(pb/o), p(cu/o)\}$. سپس با استفاده از لایه اطلاعات معادن، احتمال وجود محدوده معدنی $\{p(o)\}$ یا عدم وجود آن $\{p(\bar{o})\}$ را تهیه می‌کنیم. احتمال اولیه برابر خواهد بود با:

$$O(o|s_{cu} \cdot s_{pb} \cdot s_{zn}) = \frac{P(o)}{P(\bar{o})} \times \frac{P(s_{cu}|o)}{P(s_{cu}|\bar{o})} \times \frac{P(s_{pb}|o)}{P(s_{pb}|\bar{o})} \times \frac{P(s_{zn}|o)}{P(s_{zn}|\bar{o})} \quad (۲-۴)$$

در نتیجه احتمال ثانویه و نتیجه ترکیب این سه لایه برابر می‌شود با:

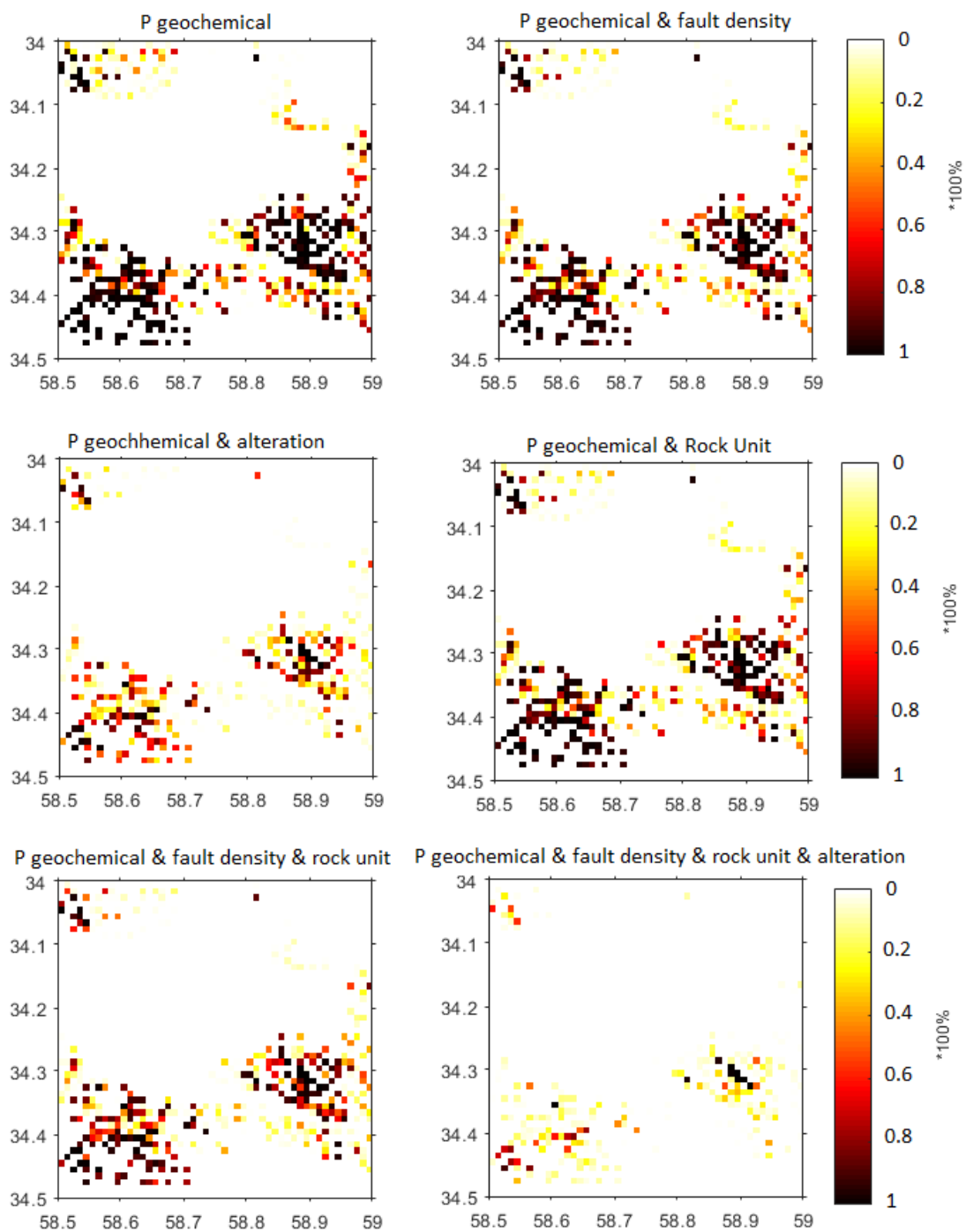
$$p(o|s_{cu} \cdot s_{pb}) = \frac{O(o|s_{cu} \cdot s_{pb} \cdot s_{zn})}{1 + O(o|s_{cu} \cdot s_{pb} \cdot s_{zn})} \quad (۳-۴)$$

خروجی این روش برای ترکیب داده‌های ژئوشیمی در شکل ۴-۲۲ آمده است.



شکل ۴-۲۲ نقشه احتمال وجود آنومالی با توجه به داده‌های ژئوشیمی

برای بالا بردن دقت نتایج می‌توان تعداد لایه‌های اطلاعاتی را بیشتر کرد. این کار را مرحله به مرحله انجام می‌دهیم تا تغییرات مشخص گردد. شکل ۴-۲۳ چند نمونه از ترکیب‌های مختلف را برای اطلاعات موجود نشان می‌دهد.

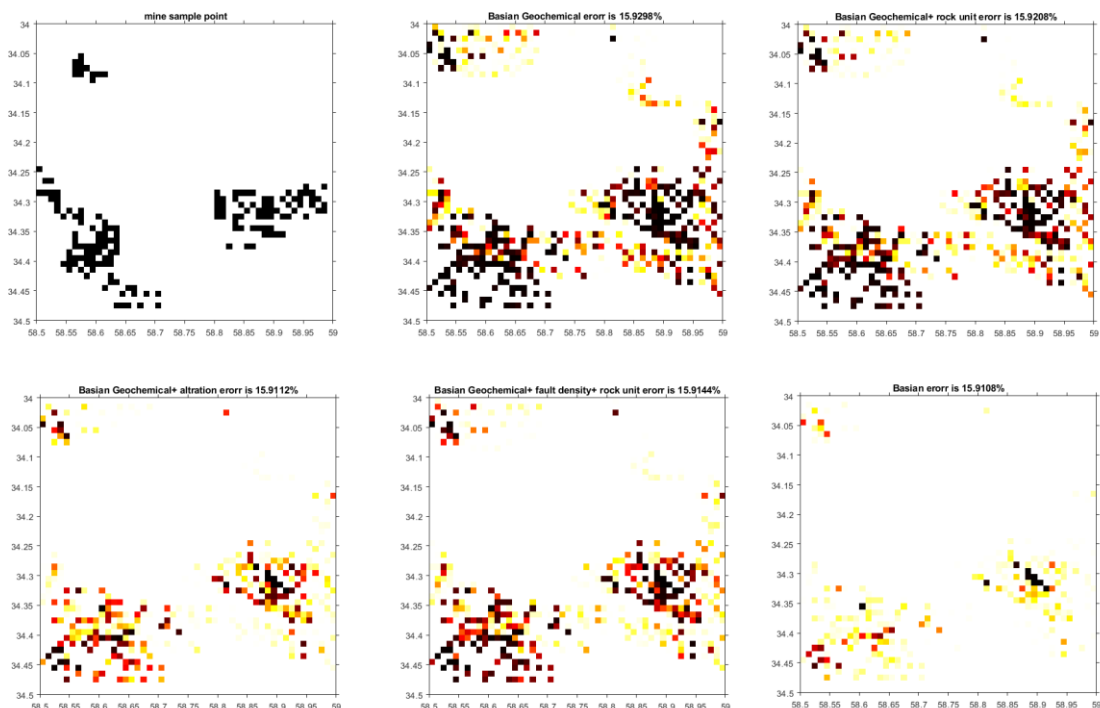


شکل ۴-۲۵ نقشه احتمال وجود آنومالی با توجه به ترکیب‌های مختلف داده‌های ژئوشیمی، گسل‌ها، واحدهای سنگی

و دگرسانی‌ها به روش بیزین

۴-۷-۱-۱ اعتبارسنجی نتایج روش بیزین

با مقایسه نتایج خروجی مدل سازی با واقعیت منطقه مشاهده می شود که هر چه تعداد لایه های اطلاعات و داده های محیطی بیشتر شود دقت خروجی بالا می رود. برای اندازه گیری دقت نتایج می توان نقشه خروجی در هر مرحله را با نقشه معادن موجود مقایسه کرد. از آنجایی که خروجی مدل ما احتمال ماده معدنی را فقط برای نقاط نمونه گیری اعلام می کند، نقشه معادن انطباق داده شده با نقاط نمونه برداری برای ما مهم است.



شکل ۴-۲۶ مقایسه نقشه احتمال وجود آنومالی به روش بیزین و نقشه معادن موجود

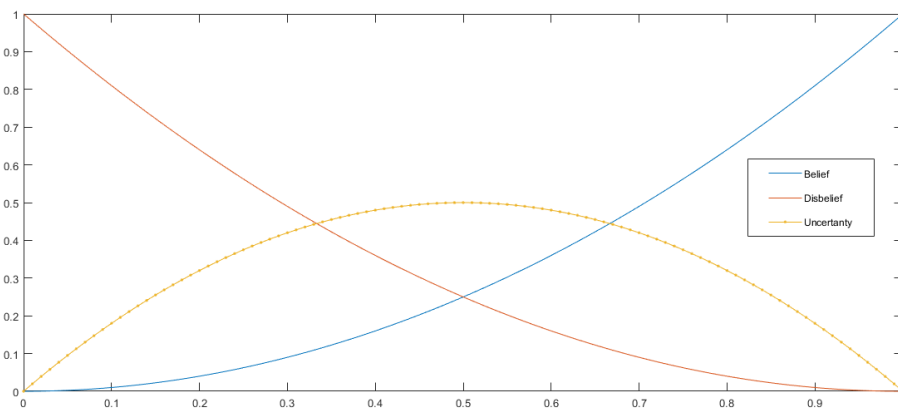
میزان خطا هر کدام از نقشه های شکل ۴-۲۶ در بالای آن درج شده است. این عدد که نشان دهنده درصد اختلاف تصویر خروجی با نقشه معادن است. همانطور که ملاحظه می گردد با اضافه شدن لایه ها این عدد کوچکتر می شود و در نهایت کمترین مقدار خود را در زمانی دارد که تمام لایه ها در محاسبات اعمال می شود. در جدول ۴-۴ میتوان این مقادیر را مشاهده کرد.

جدول ۴-۴ میزان خطا با افزودن ترکیب‌های مختلف از لایه‌های اطلاعاتی

لایه‌های استفاده شده در ترکیب بیزین	لایه ژئوشیمی	لایه ژئوشیمی و واحدهای سنگی	لایه ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها	لایه ژئوشیمی و واحدهای سنگی	لایه ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها	میزان خطا %
لایه ژئوشیمی، واحدهای سنگی، چگالی گسل‌ها، دگرسانی	لایه ژئوشیمی و دگرسانی‌ها	لایه ژئوشیمی و واحدهای سنگی و چگالی گسل‌ها	لایه ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها	لایه ژئوشیمی و واحدهای سنگی	لایه ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها	۱۵/۹۲۹۸
						۱۵/۹۲۰۸
						۱۵/۹۲۰۳
						۱۵/۹۱۴۴
						۱۵/۹۱۱۲
						۱۵/۹۱۰۸

۴-۷-۲ ترکیب اطلاعات به روش دمپستر شفر

در این تحقیق از تئوری اعتقاد دمپستر شفر به عنوان یک رویکرد داده‌محور تصحیح شده به وسیله دانش کارشناسی برای مدل‌سازی عدم قطعیت حضور ماده معدنی در منطقه تحت بررسی استفاده می‌شود. برای این کار ابتدا داده‌های هر لایه را نرمال کرده و به بازه صفر تا یک برده می‌شود. با توجه به توضیحی که در فصل قبل آمد سه مقدار اعتقاد، عدم اعتقاد و عدم قطعیت را با استفاده از توابع هر کدام که در شکل ۴-۲۶ آمده، محاسبه می‌شود.



شکل ۴-۲۶ رابطه میان اعتقاد، عدم اعتقاد و عدم قطعیت

بنابراین برای هر لایه مقادیر اعتقاد، عدم اعتقاد و عدم قطعیت را استخراج می‌کنیم. به عنوان نمونه روابط تلفیق دو دسته شاهد بر اساس عملگر *AND* (به منظور تعیین حد پایین توابع برآورد) برای دو لایه اطلاعات مس و سرب به صورت زیر است.

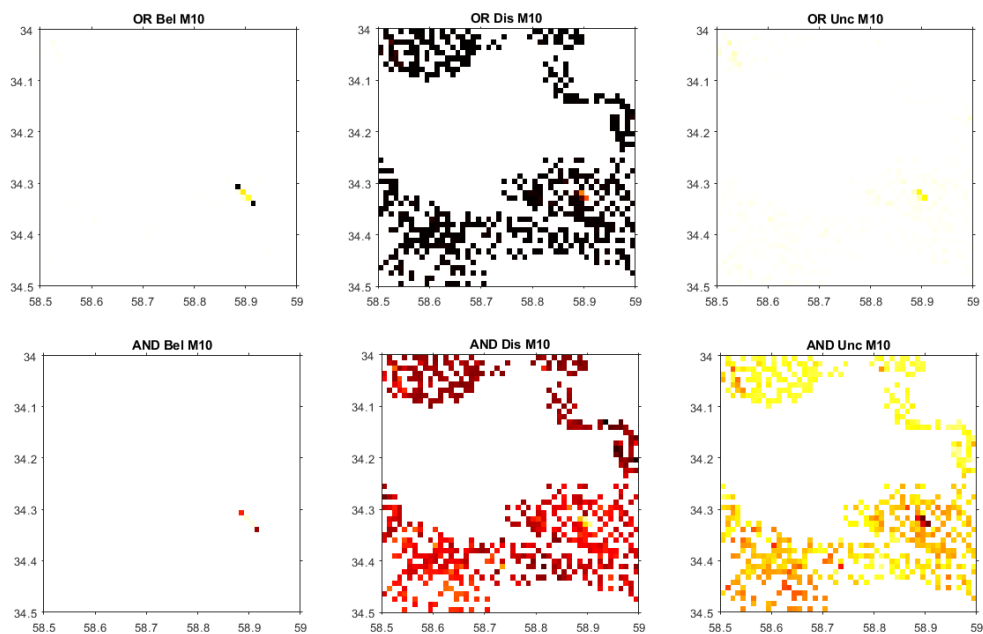
$$Bel_{scu\text{spb}} = \frac{(Bel_{scu} \times Bel_{spb})}{\beta} \quad (4-4)$$

$$Dis_{S_{Cu}S_{Pb}} = \frac{(Dis_{S_{Cu}} \times Dis_{S_{Pb}})}{\beta} \quad (5-4)$$

$$Unc_{S_{Cu}S_{Pb}} = \frac{(Unc_{S_{Cu}} \times Unc_{S_{Pb}}) + (Bel_{S_{Cu}} \times Unc_{S_{Pb}}) + (Unc_{S_{Cu}} \times Bel_{S_{Pb}}) + (Dis_{S_{Cu}} \times Unc_{S_{Pb}}) + (Unc_{S_{Cu}} \times Dis_{S_{Pb}})}{\beta} \quad (6-4)$$

$$\beta = 1 - (Bel_{S_{Cu}} \times Dis_{S_{Pb}}) - (Dis_{S_{Cu}} \times Bel_{S_{Pb}}) \quad (7-4)$$

روابط برای عملگر *OR* نیز در فصل گذشته مرور شد، فقط به نمایش نتایج در شکل ۴-۲۷ بسنده می‌کنیم.



شکل ۴-۲۷ نتایج تلفیق داده‌های *Cu* و *Pb* به روش دمپسترشفر *AND* و *OR*

معرفی نماد برای هر کدام از لایه‌ها

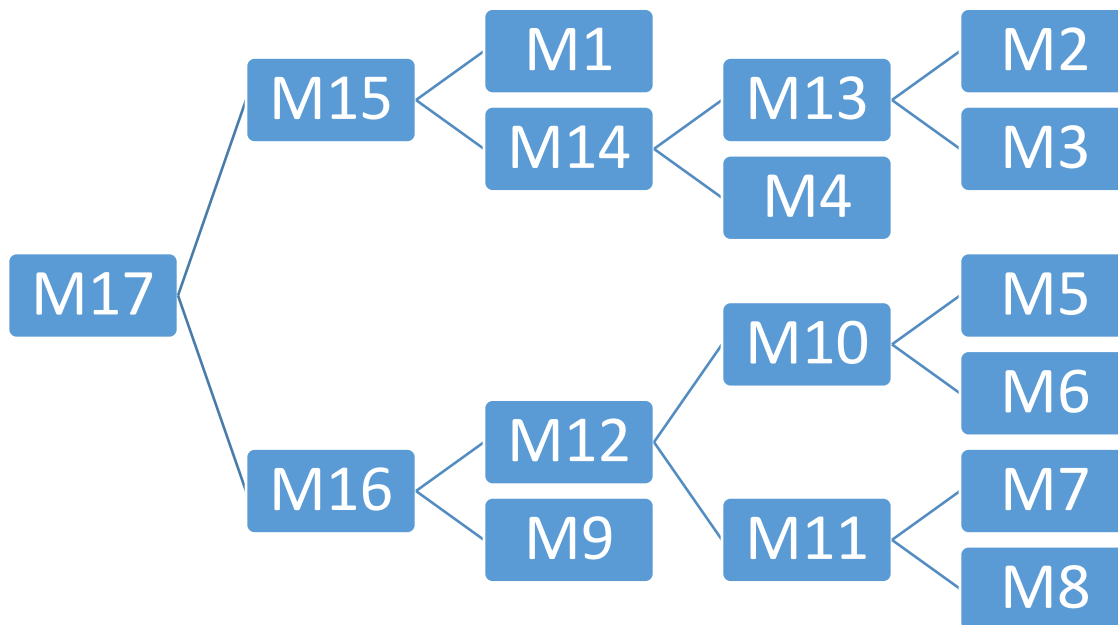
در جدول زیر برای ساده‌سازی نمایش لایه‌ها اطلاعات استفاده شده در پایان‌نامه، به هر کدام از داده‌ها یک علامت اختصاری داده می‌شود.

جدول ۴-۵ معرفی نماد برای لایه‌های مختلف

ردیف	علامت	نام لایه	ردیف	علامت	نام لایه
۱	M1	زمین‌شناسی- واحدهای سنگی با اهمیت	۱۰	M10	تلفیق- غلظت مس و سرب
۲	M2	پردازش تصاویر ماهواره‌های- دگرسانی آرزلیک	۱۱	M11	تلفیق- غلظت روی و فاکتور ۲
۳	M3	پردازش تصاویر ماهواره‌های- دگرسانی فیلیک	۱۲	M12	تلفیق داده‌های ژئوشیمی (M11 و M10)
۴	M4	پردازش تصاویر ماهواره‌های- دگرسانی پروپلیتیک	۱۳	M13	تلفیق دگرسانی آرزلیک و فیلیک
۵	M5	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای- غلظت مس	۱۴	M14	تلفیق داده‌های دگرسانی‌ها (M13 و M4)
۶	M6	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای- غلظت سرب	۱۵	M15	تلفیق دگرسانی و واحدهای سنگی (M1 و M14)
۷	M7	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای- غلظت روی	۱۶	M16	تلفیق چگالی گسلها و ژئوشیمی (M9 و M12)
۸	M8	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای- فاکتور ۲	۱۷	M17	تلفیق تاثیر کل لایه‌ها (M16 و M15)
۹	M9	چگالی گسل‌ها			

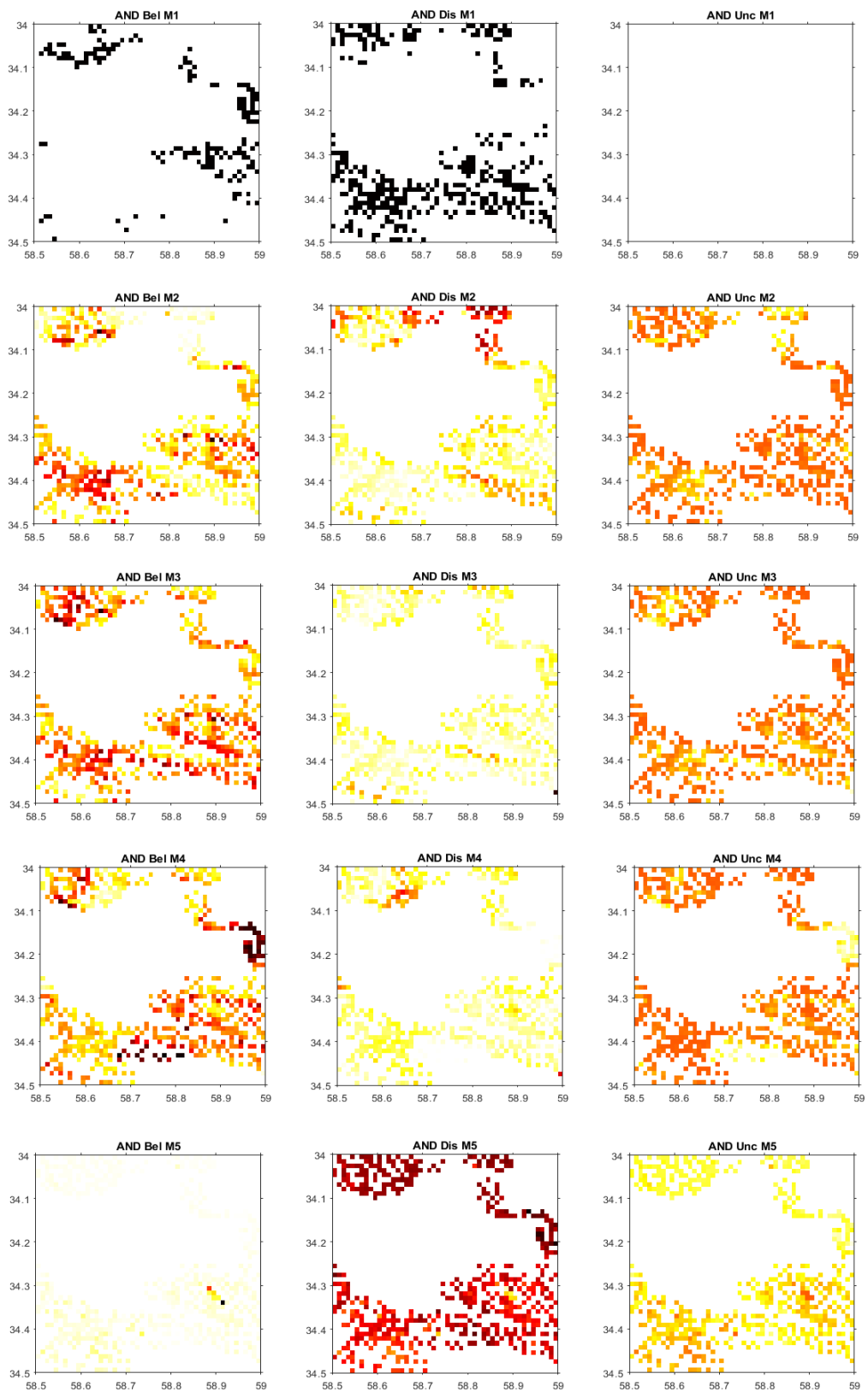
به دلیل اینکه تلفیق به این روش در هر لحظه فقط برای دو دسته از داده‌ها امکان پذیر است به طریقی

که در شکل ۴-۲۸ بصورت بلوک دیاگرام آمده اقدام می‌کنیم.

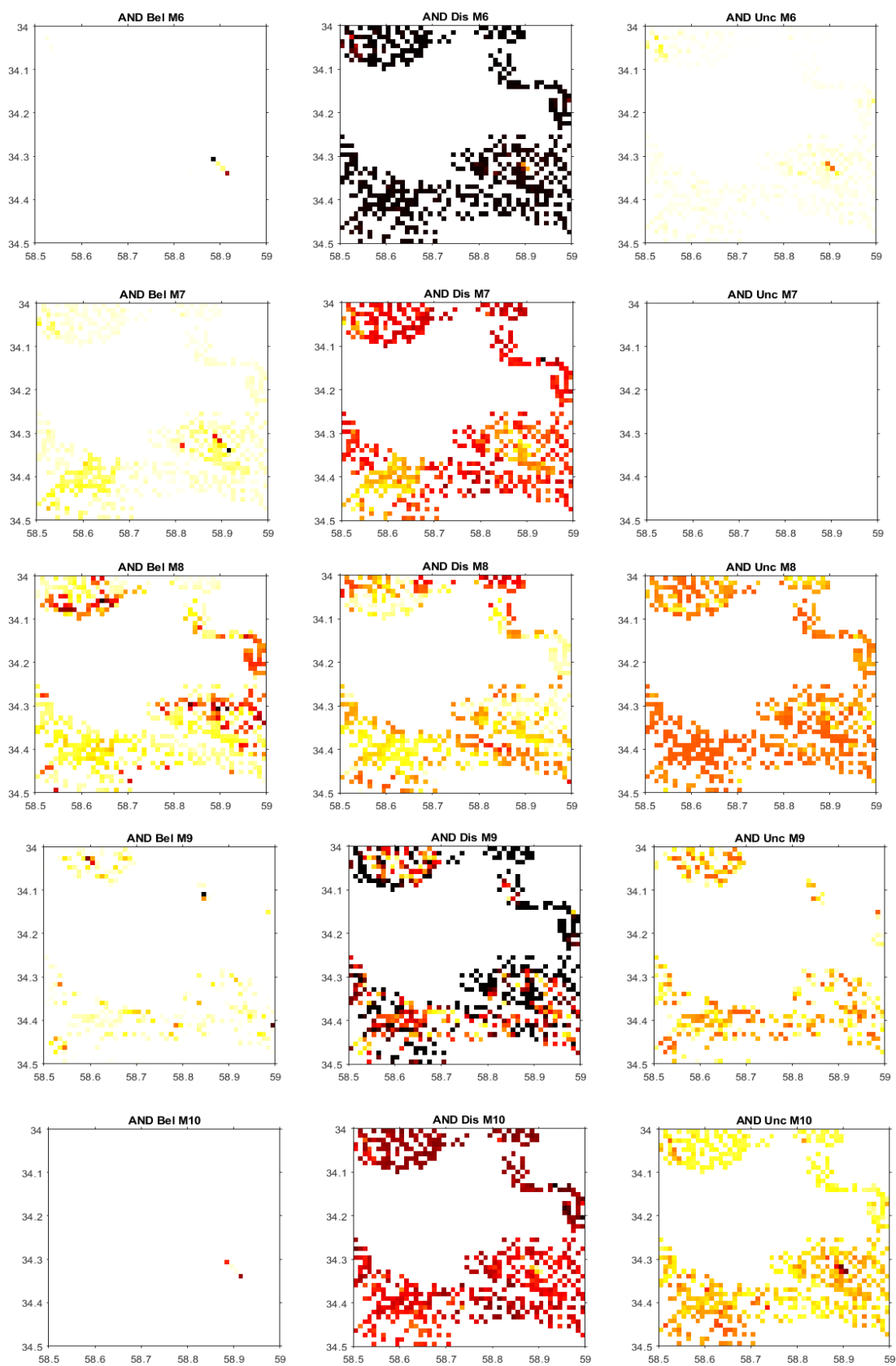


شکل ۴-۲۸ بلوک دیاگرام تلفیق دو به دو داده‌ها به روش دمپسترشفر

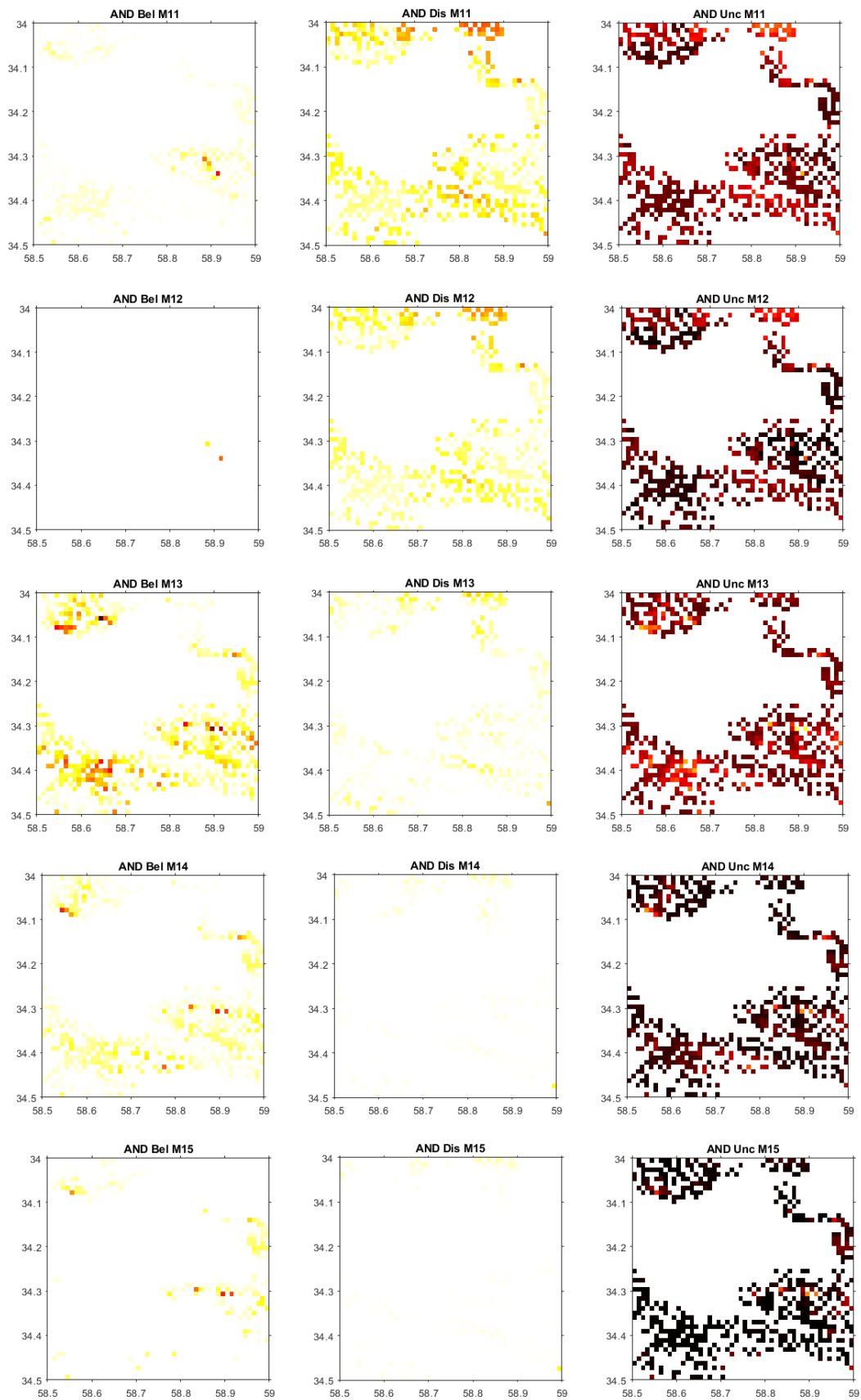
خروجی اعمال روابط دمپسترشفر داده‌های اولیه و همچنین تلفیق آن‌ها در شکل ۴-۲۹ آمده است.



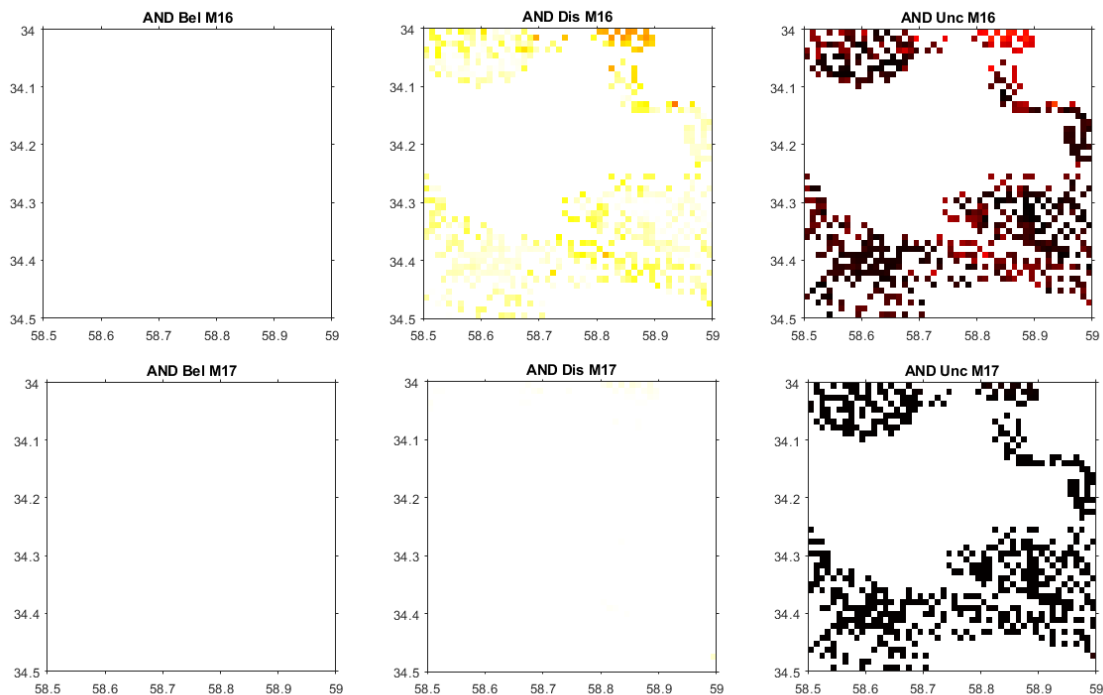
شکل ۴-۲۹ خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها



شکل ۴-۲۹ ادامه خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها



شکل ۴-۲۹ ادامه خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها



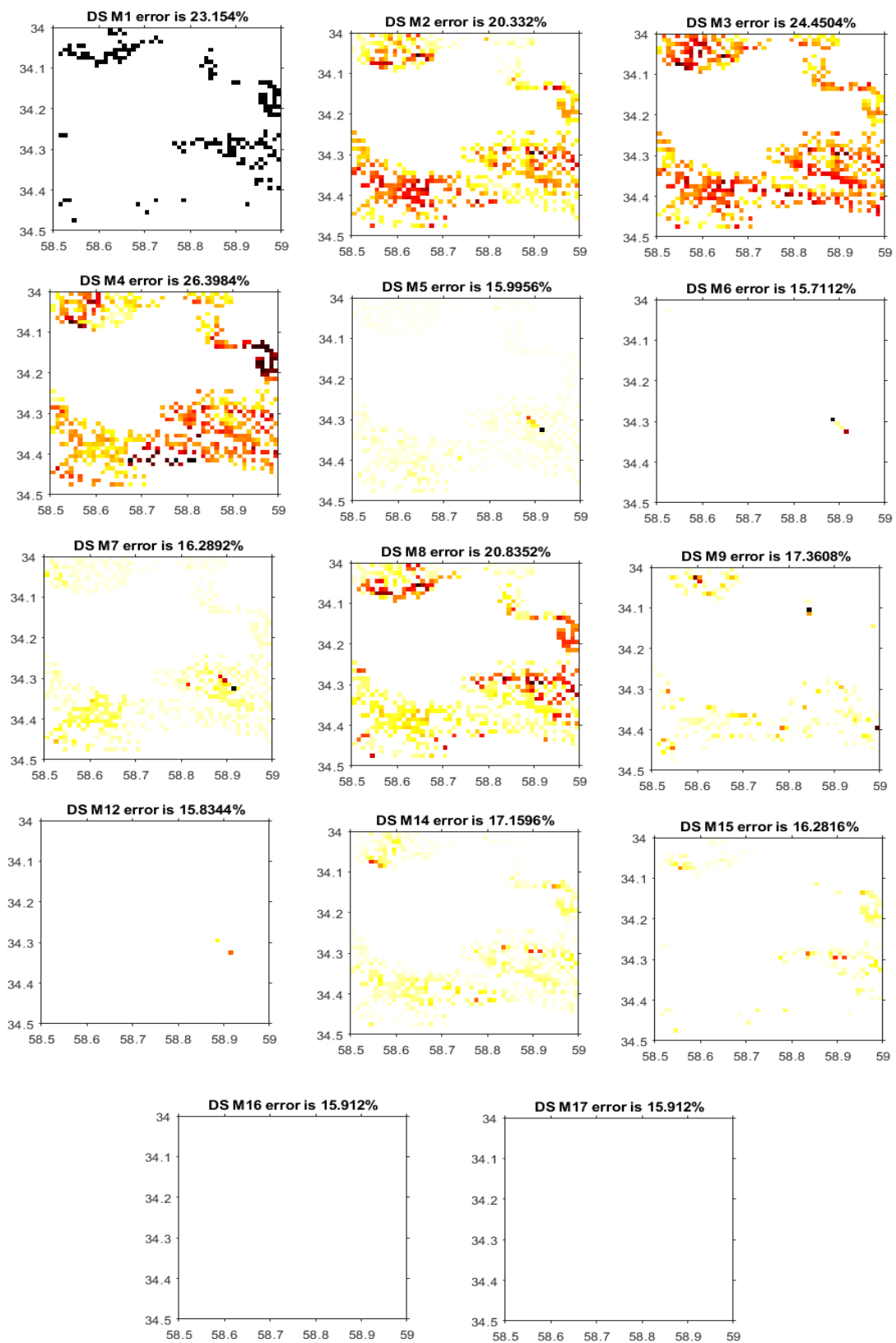
شکل ۴-۲۹ ادامه خروجی اعمال روابط روش دمپسترشفر بر روی داده‌ها

۴-۷-۲-۱ اعتبارسنجی نتایج روش دمپسترشفر

برای اعتبار سنجی مقادیر تابع باور خروجی هر روش لایه اطلاعات معادن منطقه مقایسه می‌کنیم.

جدول ۴-۵ میزان خطا با افزودن ترکیب‌های مختلف از لایه‌های اطلاعاتی

نام لایه	واحدهای سنگی (M1)	لایه چگالی گسل‌ها (M9)	لایه ژئوشیمی (M12)	لایه آلتراسیون (M14)	لایه واحدهای سنگی و دگرسانی‌ها (M15)	لایه ژئوشیمی واحدهای سنگی، چگالی گسل‌ها، دگرسانی (M17)	غلظت سرب (M6)	غلظت مس (M5)	دگرسانی پروپیلنیک (M4)	دگرسانی فلیک (M3)	دگرسانی آرژیلیک (M2)	غلظت روی (M7)
میزان خطا %	۲۳/۱۵۴	۲۰/۳۳۲	۲۴/۴۵۰۴	۲۶/۳۹۸۴	۱۵/۹۹۵۶	۱۵/۷۱۱۲	۱۶/۲۸۹۲					
نام لایه	فاکتور ۲ (M8)	لایه چگالی گسل‌ها (M9)	لایه ژئوشیمی (M12)	لایه آلتراسیون (M14)	لایه واحدهای سنگی و دگرسانی‌ها (M15)	لایه ژئوشیمی، واحدهای سنگی، چگالی گسل‌ها، دگرسانی (M17)	غلظت سرب (M6)	غلظت مس (M5)	دگرسانی پروپیلنیک (M4)	دگرسانی فلیک (M3)	دگرسانی آرژیلیک (M2)	غلظت روی (M7)
میزان خطا %	۲۰/۸۳۵۲	۱۷/۳۶۰۸	۱۵/۸۳۴۴	۱۷/۱۵۹۶	۱۶/۲۸۱۶	۱۵/۹۱۲	۱۵/۹۱۲					



شکل ۴-۳۰ مقایسه نقشه احتمال وجود آنومالی به روش دمپسترشفر و نقشه معادن موجود

۸-۴ توصیف یافته ها و مقایسه روش ها

خروجی روش بیزین یک نقشه است که احتمال وجود آنومالی مورد نظر را در هر یک از نقاط نمونه برداری مشخص می کند. این خروجی در روش دمپسترشفر شامل سه نقشه است که نشان دهنده میزان اعتقاد به وجود آنومالی، عدم اعتقاد به وجود آنومالی و عدم قطعیت وجود آنومالی است. برای اندازه گیری میزان خطا در این روش از مقایسه نقشه میزان اعتقاد به وجود آنومالی و معادن موجود استفاده شده است.

همانطور که مشاهده می شود میزان خطا برای تلفیق تمام لایه ها به روش بیزین برابر با ۱۵/۹۱۰۸ است و در روش دمپسترشفر این مقدار برابر ۱۵/۹۱۲۰ می باشد. این نشان دهنده این است که در این مورد خطا در نتیجه بیزین به مقدار بسیار ناچیز کمتر است بنابراین دو روش تقریباً به یک اندازه برای تلفیق مناسب می باشند. باید در نظر گرفت که روش دمپسترشفر نقشه عدم قطعیت را علاوه بر دیگر اطلاعات در اختیار ما می گذارد که از این نظر برتری دارد. از این لایه اطلاعاتی می توان برای نشان دادن موجه بودن اطلاعات استفاده کرد.

با توجه به محدودیت هزینه و زمان در معدن کاری، می توان طول و عرض نقاط معدنی با پتانسیل بالاتر را از روی خروجی پایانی هر روش انتخاب کرد. ده نقطه با اهمیت روش بیزین در جدول ۴-۶ و برای روش دمپسترشفر در جدول ۴-۷ آمده است.

جدول ۴-۶ نقاط با اهمیت بالا در خروجی نقشه بیزین برای بررسی زمینی و شروع کار معدنی

مختصات جغرافیایی	اولویت ۱	اولویت ۲	اولویت ۳	اولویت ۴	اولویت ۵
طول جغرافیایی (DD)	۵۸/۷۲۰۰	۵۸/۷۱۰۰	۵۸/۷۰۰۰	۵۸/۷۰۰۰	۵۸/۶۹۰۰
عرض جغرافیایی (DD)	۳۴/۳۳۰۰	۳۴/۳۲۰۰	۳۴/۳۲۰۰	۳۴/۳۱۰۰	۳۴/۳۰۰۰
مختصات جغرافیایی	اولویت ۶	اولویت ۷	اولویت ۸	اولویت ۹	اولویت ۱۰
طول جغرافیایی (DD)	۵۸/۴۱۰۰	۵۸/۶۹۰۰	۵۸/۶۲۰۰	۵۸/۶۷۰۰	۵۸/۳۳۰۰
عرض جغرافیایی (DD)	۳۴/۳۶۰۰	۳۴/۳۱۰۰	۳۴/۳۲۰۰	۳۴/۲۹۰۰	۳۴/۴۶۰۰

جدول ۴-۷ ده نقطه با اهمیت بالا در خروجی نقشه دمپسترشفر برای بررسی زمینی و شروع کار معدنی

اولویت ۵	اولویت ۴	اولویت ۳	اولویت ۲	اولویت ۱	مختصات جغرافیایی
۵۸/۳۲۰۰	۵۸/۳۳۰۰	۵۸/۶۴۰۰	۵۸/۷۲۰۰	۵۸/۷۲۰۰	طول جغرافیایی (DD)
۳۴/۴۴۰۰	۳۴/۴۳۰۰	۳۴/۲۹۰۰	۳۴/۳۰۰۰	۳۴/۳۳۰۰	عرض جغرافیایی (DD)
اولویت ۱۰	اولویت ۹	اولویت ۸	اولویت ۷	اولویت ۶	مختصات جغرافیایی
۵۸/۶۹۰۰	۵۸/۳۵۰۰	۵۸/۷۵۰۰	۵۸/۷۱۰۰	۵۸/۶۹۰۰	طول جغرافیایی (DD)
۳۴/۲۹۰۰	۳۴/۴۸۰۰	۳۴/۳۸۰۰	۳۴/۲۹۰۰	۳۴/۳۱۰۰	عرض جغرافیایی (DD)

مقادیر طول و عرض بر حسب درجه بیان شده است. همان طور که مشاهده می شود اهمیت اول در هر

دو روش یکسان است مابقی نقاط هم بسیار نزدیک به هم هستند.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

با توجه به عملکرد دو روش بیزین و دمپسترشفر جهت تلفیق داده‌های اکتشافی، نتیجه گرفته می‌شود می‌توان برای درک بهتر مساله، افزایش دقت، کاهش نایقینی و در نتیجه اتخاذ تصمیم مناسب در اکتشاف پتانسیل‌های معدنی از ترکیب اطلاعات استفاده کرد. مشاهده شد که تفاوت اصلی دو روش بیزین و دمپسترشفر وجود نایقینی در مشاهدات روش دمپسترشفر است. به این معنی که خروجی روش بیزین یک نقشه است که احتمال وجود آنومالی مورد نظر را در هر یک از نقاط نمونه برداری مشخص می‌کند، حال آنکه این خروجی در روش دمپسترشفر شامل سه نقشه است که نشان دهنده میزان اعتقاد به وجود آنومالی، عدم اعتقاد به وجود آنومالی و عدم قطعیت وجود آنومالی است.

در روش بیزین میزان خطا در لایه ژئوشیمی برابر با ۱۵/۹۲۹۸ بود با اضافه کردن لایه واحدهای سنگی با اهمیت منطقه این مقدار به ۱۵/۹۲۰۸ کاهش پیدا کرد. همچنین با افزودن لایه چگالی گسل‌های منطقه به لایه‌های پیشین این مقدار به ۱۵/۹۱۴۴ تقلیل می‌یابد. با افزودن لایه پردازش شده دگرسانی‌ها به مجموع داده‌های قبلی میزان خطای نهایی به ۱۵/۹۱۰۸ خواهد رسید. با بررسی حالت‌های مختلف نشان داده می‌شود که بیشترین تاثیر در کاهش خطا بیزین را بترتیب لایه ژئوشیمی، دگرسانی‌ها، گسل‌ها و واحدهای سنگی دارند.

همچنان که بیان شد تلفیق در روش دمپسترشفر به دلیل محدودیت روابط در هر مرحله فقط دو به دو انجام می‌شود. بنابر این میزان خطای اولیه لایه ژئوشیمی در این روش برابر با ۱۵/۸۳۴۴ و در صورت ترکیب با لایه چگالی گسل‌ها با ۱۵/۹۱۲۰ برابر خواهد بود. در صورتی که دو لایه واحدهای سنگی داری اهمیت و دگرسانی‌های منطقه را با هم ترکیب کنیم مقدار خطا ۱۶/۲۸۱۶ خواهد گردید. با ترکیب این دو لایه جدید شکل گرفته میزان خطا کل به عدد ۱۵/۹۱۲۰ خواهد رسید. با بررسی خطا در لایه‌های مختلف نشان داده می‌شود که بیشترین تاثیر در کاهش خطا را بترتیب لایه‌های ژئوشیمی، دگرسانی‌ها، چگالی گسل‌ها و واحدهای سنگی با اهمیت دارند. ترکیب لایه‌های دگرسانی و واحدهای سنگی به میزان

قابل توجهی کمک به کاهش خطا در هر دو لایه کرده و خطای ترکیب کمتر از خطای هر کدام از لایه‌ها به تنهایی شده است. اما در ترکیب لایه ژئوشیمی و چگالی گسل‌ها نتیجه ترکیب پاسخ عکس داده و مقادیر خطا با اینکه نسبت به خطای لایه گسل‌ها کمتر است اما نسبت به خطای لایه ژئوشیمی بیشتر شده است.

اتفاقی که در نتایج حاصل از ترکیب دو لایه ژئوشیمی و گسل‌ها افتاد با این مطلب که "بدلیل داده‌محور بودن روش‌های استفاده شده برای ترکیب اطلاعات، می‌توان با افزایش داده‌های ورودی به دقت بالاتری نیز دست یافت" مقایرت دارد. یکی از دلایل آن می‌تواند بالا رفتن حساسیت سیستم در انتخاب نقاط اعتقاد باشد. با توجه به داده‌های یکسان در این مورد خاص میزان خطا در روش بیزین کمتر شده است.

۵-۲ پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود برای بالا بردن دقت در خروجی روش‌ها به هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی وزن یا اهمیت تعلق بگیرد. این وزن می‌تواند با توجه به اهمیت این داده‌ها در تشکیل ماده معدنی مورد نظر داده شود که معمولاً با نظر کارشناس اعمال می‌شود. البته پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌هایی مانند متوسط گیری موزون مرتب شده^{۴۵} این وزن‌ها برای رسیدن به پاسخ مطلوب بهینه گردند.

همچنین در صورتی که در لایه اطلاعات معادن، اطلاعات محل پیشکارها و پیشروی ماده معدنی وجود داشته باشد، می‌توان با دقت بالاتری مقایسه بین پاسخ‌ها انجام داد.

با توجه به اینکه تلفیق فقط در نقاطی انجام گردید که داده‌ها هم‌پوشانی دارند، مقداری از اطلاعات از بین می‌رود. در صورتی که می‌توان در تحقیقی برای هر کدام از لایه‌ها در مناطقی که داده وجود ندارد از تخمین استفاده شود و در انتها خطای تخمین نیز لحاظ گردد. این کار به شناسایی مناطق جدید که در مورد آنها داده کم است کمک خواهد کرد.

⁴⁵ OWA

در بررسی خطا از قدرمطلق برای مقایسه با لایه معادن استفاده شد برای بررسی بیشتر می‌توان دید که خطای مشاهده شده ناشی از حذف نقاط آنومال است یا انتخاب نقاط کم پتانسیل به عنوان آنومالی، این بررسی‌ها دید جدیدی برای کارهای بعدی در این زمینه مشخص خواهد کرد.

منابع:

- امیدیان الف، طباطبایی ح، (۱۳۹۷)، "شناسایی مناطق آلتراسیون مرتبط با کائولن در اطراف معدن خاک نسوز آباءه"، دهمین کنفرانس زمین شناسی اقتصادی ایران
- آلیانی ف، دادفر ث، کمعانی جو م، (۱۳۹۳)، "آشکارسازی زونهای دگرسانی کانسار آهن حاجی آباد با استفاده از داده‌های سنجنده *ASTER*". زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۷۳-۸۰
- بهنام ن، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "ارزیابی و مقایسه نتایج باکس پلات و مدل‌سازی نمودار احتمال به منظور تعیین حدود آستانه ای در مناطق امید بخش معدنی کلاته تیمور-کاشمر"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود
- حسن زاده ا، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "منطقه بندی نهشته پلی‌متال لاطلا بر مبنای داده های عناصر کانی سازی به روش ترکیب احتمالات شرطی"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود
- حسینی م، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "تلفیق لایه‌های ساختاری، زمین شناسی، ژئوشیمیایی و دگرسانی ناحیه ترودمعلمان در محیط *GIS* با استفاده از تئوری تابع برآورد (دمپسترشیفر) به منظور اکتشاف ذخایر مس"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود
- رمضانی ا، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "تحلیل عدم قطعیت در شناسایی مناطق تولید هیدروکربن با استفاده از تئوری دمپستر شفر"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود
- رنجبر ح، شهریاری ه، (۱۳۸۵)، "مقایسه داده‌های سنجنده *ASTER* و *ETM+* برای نقشه برداری مناطق دگرسان شده در بخش مرکزی کمر بند دهج-ساردوییه استان کرمان"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران شماره ۲ از صفحه ۳۶۷ تا ۳۷۰.

زیرجانی زاده ص، کریم‌پور م، ابراهیمی خ، (۲۰۱۱)، "بررسی قابلیت های کانه زایی منطقه شمال غرب گناباد (جنوب استان خراسان رضوی)"، دومین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران

زیرجانی زاده ص، کریم‌پور م، ابراهیمی خ، (۲۰۱۴)، "بررسی های زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی نهشته های کانی رسی منطقه کلاته نو (شمال غرب گناباد)"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دوره ۲۲، شماره ۱، صفحات ۱۲۵-۱۳۸

زیرجانی زاده ص، کریم‌پور م، ابراهیمی خ، (۲۰۱۶)، "کانی سازی، ژئوشیمی و سنگ شناسی توده های نفوذی و سنگ های آتشفشانی شمال غرب گناباد"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دوره ۲۳، شماره ۴، صفحات ۷۹۸-۸۰۲

ساغری دوز م، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "شناسائی زون های پرعیار مس در محدوده اکتشافی کانسار چاه فیروزه از طریق تلفیق داده های اکتشافی به روش دمپستر- شفر"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

سیدیسی ج، کمانگر م، رضایی خ، بداغی م، (۱۳۹۴)، "ارزیابی روش های کروسا، نقشه بردار زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی تعدیل شده جهت استخراج نقشه زون های دگرسانی ثانویه رسوبی از داده های سنجنده ASTER"، فصلنامه علمی ژوهشی فضای جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۵۲

صفری م، (۱۳۸۶)، "گزارش پی جویی و شناسایی مواد معدنی برگه یکصد هزار گناباد"، سازمان زمین شناسی مدیریت منطقه شمال شرق

طالب حسینی س، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "کاربرد آماره فضایی U براساس مدل سازی ناهمسانگردی در تفکیک داده های ژئوشیمیایی زمینه از آنومالی و مقایسه آن با نتایج روش مدل سازی نمودار احتمال در منطقه باغ غلوم کرمان"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

عسگری ج، علی محمدی الف، نصیری ی، (۱۳۹۳)، "کاربرد سنجش از دور در اکتشاف کانسارها"، نخستین همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین

علوی پناه، (۱۳۸۲)، " کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران
غلامشاهی ر، پشتان ج، (۱۳۹۳)، "مروری بر روش ترکیب داده و کاربرد آن در اعتبار سنجی" مجله
فیلد سال ۱۷ شماره ۲-۱ صفحات ۱۵۴-۱۵۵

قاسمی ر، (۱۳۹۷)، رساله دکترا اکتشاف، "تولید نقشه های پیشگوی اکتشافی بوسیله روش های
تصمیم گیری چند معیاره مکانی فازی و ارائه عدم قطعیت در ذخایر ماسیوسولفاید بوانات"، دانشکده
معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

قائمی ف، (۱۳۸۴)، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گناباد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی
کشور

کاشانی باقر م، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "به کارگیری روش دمپستر شفر جهت
تهیه نقشه های پتانسیل یابی اکتشافی و مقایسه آن با روش فازی، مطالعه موردی پتانسیل اکتشافی مس
سربدون کرمان"، دانشکده معدن، دانشگاه تهران

کاویانی د، (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده ۱:۵۰۰۰۰
چاه گل"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کریم پور م، ملکزاده سفارودی آ، مرادی نقندر م، فارمر ل، استرن چ، (۲۰۱۳)، "زمین شناسی، کانی
سازی، ژئوشیمی ایزوتوپ $Rb-Sr$ و $Sm-Nd$ ، سن سنجی $U-Pb$ و توده های نفوذی مرتبط با کانی سازی
کرتاسه منطقه کلاته آهنی جنوب غرب گناباد"، مجله زمین شناسی اقتصادی، دوره (۵)، شماره (۲)،
صفحات (۲۶۷-۲۹۰)

لاریجانی ع، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف، "بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال با استفاده از روش های تلفیق بولتن، منطق فازی و دمپستر - شفر در برکه یکصد هزار بستان آباد"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

محمدی عبیدالله (۱۳۹۶)، "تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی منطقه افریز با استفاده از تحلیل فاکتوری و شناسایی مناطق امیدبخش"، پروژه درس مدل سازی ذخایر معدنی، دانشگاه صنعتی شاهرود
مرادی نقندر م، کریم پور م، ملک زاده شفارودی آ، (۱۳۹۱)، "دگرسانی، کانی سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی (رسوبات رودخانه و سنگ) شرق نجم آباد (گناباد)"، چهارمین همایش زمین شناسی اقتصادی ایران

هادی زاده خادر ح، (۱۳۹۰)، "مقدمه ای بر زمین شناسی و پتانسیل های معدنی شهرستان گناباد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

همام م، اکرم م، (۲۰۱۵)، "پترولوژی، ژئوشیمی و جایگاه تکتونیکی مجموعه گرانیتوئیدی چاه یوسف (جنوب شرق گناباد)"، بیست و دومین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران

یوسفی م، کامکار روحانی ا، (۱۳۸۹)، "اصول روشهای مدلسازی پتانسیل معدنی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی"، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

References

- Abrams M.J., Brown L., Lepley R., Sadoski P., (1983), "Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona", *Economic Geology*, 78, 591-604
- Amera S A, (2007), MSc thesis, "Spectral remote sensing of hydrothermal alteration associated with volcanogenic massive sulphide deposits, Gorob-Hope area, Namibia.". Enschede, ITC, The Netherlands, 54p, The Netherlands
- An, P, Moon, W.M., and Bonham-Carter, G.F., (1994), "Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function" *Nonrenewable Resources*, 3: 60-71
- Ason T. I. Di., Rubinstein, N., (2007), "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina." *Ore Geology Reviews*, Vol. 32, pp. 275–290
- ASTER user's guide (2005), part 1, ver 3.1
- B.J. Buchanan, E.H. Shortliffe. (1975) "A model of inexact reasoning in medicine ", *Mathematical Biosciences* ,23: 351–379
- Bayes Thomas. (1763) "An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances", *Philosophical Transactions of the Royal Society* 53 370-418
- Berger, James O. (1985) "Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis". New York, Springer, 109–130
- Bonham-Carter, G.F. (1994) "Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS", Pergamon Press, Oxford, p. 398
- Carranza, E. J. M. (2008) "Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS", *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, Vol. 11, Elsevier, Amsterdam
- Carranza, E. J. M., Owusu, E. A., & Hale, M. (2008). "Mapping of prospectivity and estimation of number of undiscovered prospects for lode gold, southwestern Ashanti Belt, Ghana". *Mineralium Deposita*, 44(2), 911-932
- Carranza, E.J.M. (2009), "Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry", Vol. 11 (M. Hale, Editor), Elsevier B.V., chapter 7, pp. 189- 247
- Challa, S., and D. Koks. (2004). "Bayesian and Dempster–Shafer fusion". *Sadhana* .29(2):145-76
- Cremer F, den Breejen E, Schutte K (1999) "Sensor data fusion for anti-personnel land mine detection/ Proc/ EuroFusion 98 55–60
- Dasarathy ,B.V. (1991) "Decision fusion strategies in multisensor environments" .*Systems, Man and Cybernetics*, 21(5): 1140-1154

- Dempster AP. (1967) "Upper and Lower Probabilities Induced by a Multi-valued Mapping". *Annals Mathematical Statistics*; 38: 325-39
- Fedrizzi M, Kacprzyk.J.(1980) "on measuring consensus in the setting of fuzzy preference relations making with fuzzy sets." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*; 10: 716–723
- Gupta, R.P., (2003)" *Remote Sensing Geology*", Second edition, Springer, Verlag, Berline, 656 p
- Hronsky, J.M.A., Groves, D.I., (2008), "Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement." *Australian Journal of Earth Sciences* 55(1), .p. 3-12
- Irons, J. R.,. Dwyer, J. L and. Barsi, J. A (2012) "The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity mission," *Remote Sens. Environ.*, vol. 122, pp. 11–21
- Karimi, M., Menhaj, M. & Mesgari, M., (2008), " Mineral potential mapping of copper minearls using fuzzy logic in GIS invironment" , Beijing.China: ISPRS 2008
- Khatri, K. B. (2013). " Risk and Uncertainty Analysis for Sustainable Urban Water" .Systems. UNESCO-IHE, Institute for Water Education
- Kokar M, Bedworth M, Frankel C (2000)" A reference model for data fusion systems". *Sensor fusion: Architectures, algorithms and applications IV; Proc. SPIE 4051: 191–202*
- Li, C.,Ma, T.,Shi, J.(2003) "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background". *Journal of geochemical Exploration* 77,167-175
- Lotfi A Zadeh.(1986) "A simple view of the Dempster-Shafer theory of evidence and its implication for the rule of combination", *AI Magazine archive Volume 7 Issue 2, Pages 85 – 90*
- Mars, J.C., Rowan, L.C., (2010), "Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals", *Remote Sensing of Environment*, v. 114: 2011–2025.
- Moon, W.M.(1990) "Integration of geophysical and geological data using evidential belief function", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 28, .pp.711–720, 1990
- Neuhauser, B., and Terhorst, B. (2007)" *Landslide Susceptibility Assessment Using Weightsof-evidence, Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany)*".*Geomorphology*. 86: 12-24
- Nykänen V. and Salmirinne H.(2007)" *Prospectivity analysis of gold using regional geophysical and geochemical data from the central Lapland Greenstone belt, Finland. Geol." Surv. Finland, Special Paper, 44,251-269*

- Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2006). "Bayesian network classifiers for mineral potential mapping". *Computers & Geosciences*, 38(1), 1-16
- Roland R. Yager, Liping Liu.(2007), "Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions", Springer Berlin Heidelberg, New York
- Sabins F, F. (1999)." Remote sensing for mineral exploration", *Ore Geology Reviews* .14, pp: 157-183
- Sankaran Rajendran, A., Thirunavukkarasu, G., Balamurugan, K. S., (2011), "Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 41, pp. 99–106
- Seedorff, E., Dilles, J. H., Proffett, J. M., Einaudi, M. T., Zurcher, L., Stavast, W.J. A ..Johnson, D. A., Barton, M. D., (2005), "Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features", *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, pp. 251-298.
- Seo, M., Aung Kyaw, T. & Takashima, I., (2005)." Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi Coastal Area, Myanmar", *Akita University*, v. 26, pp: 21-28
- Shafer G. (1976) " mathematical theory of evidence". Princeton: Princeton University Press
- Tahani, H. and J. M. Keller. (1990) "Information fusion in computer vision using the fuzzy integrzal", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* , Volume: 20 , Issue: 3
- Yongquan Li, Dehui Zhang, Li Dai, GuilongWan, Benjun Hou.,(2016). "Characteristics of structurally superimposed geochemical haloes at the polymetallic Xiasai silver-lead-zinc ore deposit in Sichuan Province", SW China, *Journal of Geochemical Exploration*
- Zuo, Renguang & Carranza, Emmanuel John. (2011)." Support vector machine: A tool for mapping mineral prospectivity". *Computers & Geosciences*. 37. 1967-1975. .10.1016/j.cageo.2010.09.014

Abstract

Combining exploratory data have great importance in the determination of promising areas for mineralization and mineral potentials. Bayesian and Dempster-Scheffer methods are useful tools for integrating of exploration data. The purpose of this study is determination the promising metallic mineralization areas using a combination of exploration data in the 1:100,000 Gonabad sheet. In this study, after reviewing and processing of remote sensing, geological, structural and geochemical data of the study area, exploration map of probability of anomaly in Bayesian method, belief map of anomaly and also uncertainty about existence of reserve were extracted in this area.

In order to characterize geochemical anomalies, dendrogram and factor analysis methods were used in SPSS software. Also, probability diagrams of MATLAB software were used for separating context and anomaly.

Satellite images processing is done in the ENVI software environment to detect alterations in the area. The important lithological units related to copper, lead and zinc mineralizations as well as faults were plotted from geological map of the area.

The dispersion maps of copper, lead and zinc mines were prepared for validation and initial probability values. The information layers obtained under the programs written in MATLAB software were combined by Bayesian and Dempster-Scheffer methods. The results were compared with the dispersion map of mines and the error rates were calculated for each method. At the end, 10 important points of each method were selected and proposed for drilling and mining operations.

Keywords: Integration, Geochemical Anomaly, Satellite Images, Bayesian, Dempster-Schaefer, Gonabad



Faculty of mining Eng., petroleum and geophysics

Msc Thesis in mine exploitation

***Separation of Stream Sediments Geochemical Anomalies Using Data
Fusion in Gonabad 1:100,000 Sheet, East of Iran***

By: Ahmad reza Boskabadi

Supervisors:

Dr Behzad Tokhmechi

Dr Seyed Reza Ghavami-Riabi

July 2019