



## یادداشت پژوهشی

## تعیین همبستگی فضایی بین موقعیت گسلها و کانسارها با استفاده از روشهای زمین‌آماري با مطالعه موردی در استان یزد

مصطفی دهقانی احمدآباد<sup>1</sup>، سیدحسین مجتهدزاده<sup>2\*</sup>، علیرضا یاراحمدی بافقی<sup>2</sup>

(1) کارشناس ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه یزد

(2) عضو هیأت علمی دانشگاه یزد

دریافت مقاله: 1390/5/11، پذیرش: 1391/9/18

## چکیده

تعیین محدوده‌های مستعد به‌منظور مطالعات اکتشافی کانسارها، یکی از مهمترین مراحل پی‌جویی در مقیاس ناحیه‌ای است. روشهای مختلفی برای مشخص کردن این نواحی وجود دارد که از پی‌جوییهای ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی تا روشهای سنجش از دور و روشهای پیچیده آماری تغییر می‌کند. با توجه به فرضیه وجود ارتباط فضایی در الگوی پراکندگی کانسارها با ایالت‌های فلززایی، کمربندهای فلززایی، عوامل ساختاری و تکتونیکی از جمله خطواره‌ها، گسلها، و غیره، می‌توان روابط و تفسیرهایی را در این باره ارائه داد و از این نشانه‌ها در اکتشافات مقدماتی برای محدود کردن نواحی مستعد مطالعه به‌عنوان روشهای جدید استفاده کرد. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش زمین‌آماري است. این روش با در نظر گرفتن موقعیت فضایی گسلها و کانسارهای فلزی اکتشاف شده (مورد مطالعاتی کانسارهای فلزی استان یزد) به‌عنوان داده‌های اولیه و کمی کردن ارتباطات فضایی (توکورولاسیون) موجود، انجام شده است. بررسیها بر روی تعداد 807 گسل اصلی و فرعی و تعداد 76 کانسار فلزی که عمدتاً از منشأ هیدروترمال بودند، انجام گرفت. برای انجام این تحقیق، پس از جمع‌آوری اطلاعات در محیط نرم‌افزاری ArcViewGIS به‌منظور انجام بررسیهای زمین‌آماري، متغیر ناحیه‌ای (فاصله گسلها و کانسارها) توسط زیربرنامه‌ای در نرم‌افزار Mathematica منظم‌سازی گردید. عملیات واریوگرافی روی داده‌ها برای یافتن ساختار فضایی و مطالعات زمین‌آماري انجام شده در نرم‌افزار Surpac نشان داد که فرضیه وجود ارتباط فضایی برای متغیر ناحیه‌ای تعریف شده صادق است. عمده بررسیها در این تحقیق مربوط به عملیات واریوگرافی به‌منظور تعیین جهت عمومی و شعاع تأثیر گسلها و کانسارهاست. نمودار واریوگرام‌های رسم شده، احتمال وجود کانسارها را به‌صورت تابع امتداد گسلها و فاصله از آنها بیان می‌کند. بدین صورت که واریوگرام‌های جهتی و نقشه واریوگرام رسم شده، بهترین امتداد را برای بررسیهای بیشتر اکتشافی به‌صورت امتداد موازی با آنها در آزمون 130 و با فاصله تأثیر 64 کیلومتر معرفی می‌کند. با مشخص شدن ساختار فضایی در جهات گوناگون، محدوده کانی‌زایی گسلها و همچنین تعداد کانسارهای مرتبط با مهمترین گسلها مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی: کانسار، گسل، زمین‌آمار، واریوگرام، استان یزد.

## مقدمه

در تخمین ذخیره و تکنیک‌های فرکتال و فرای در تشخیص الگوهای ناحیه‌ای و در زمین‌شناسی ساختمانی کاربرد بهتری دارند. گاهی چنین روشهایی به‌عنوان مکمل یکدیگر به‌کار برده می‌شوند. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مکمل روشهای فراکتال و فرای در زمینه تحلیل‌های زمین‌شناسی ساختمانی در اکتشاف به‌کار برده شود. در این

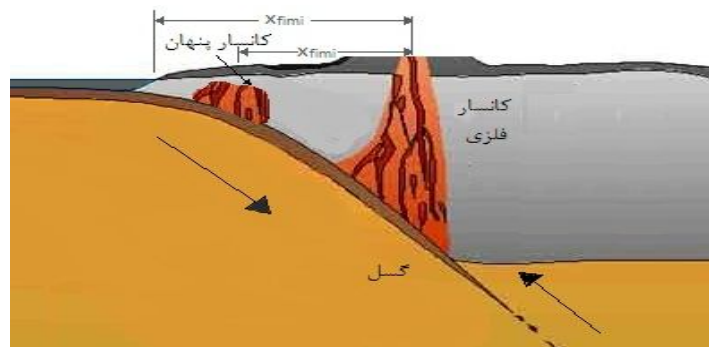
در پروژه‌های اکتشافی از فاز ناحیه‌ای تا تخمین ذخیره، تشخیص توزیع فضایی کانی‌سازی از موارد با اهمیت تلقی می‌شود. تکنیک‌های متنوعی برای شناخت چنین توزیعی وجود دارد که هر یک بنا به نقاط ضعف و قوت خود در زمینه معینی کاربرد مناسبتری دارند. برای مثال تکنیک زمین‌آمار

معدنی فلزی و تشکیل کانسارها می‌شود (شکل 1). یکی از روشهای پی‌جویی کانسارها، استفاده از تکنیک‌های غیرمستقیم است. به عبارتی، تعدادی از کانسارها در ارتباط مستقیم با گسلها و فعالیت‌های تکتونیکی تشکیل شده‌اند، از این رو می‌توان با شناسایی این گسلها محل احتمالی تشکیل کانسارهای پنهان را پیش‌بینی کرد.

روشهای زمین‌آماری در چند دهه اخیر با گسترش روزافزون در علوم مختلف، جنبه‌های کاربردی خود را به نحو احسن اثبات کرده است. یکی از کاربردهای عمده زمین‌آمار، تعیین همبستگی بین متغیرها و در نتیجه یافتن الگوی فضایی حاکم بر آنهاست. بر این اساس می‌توان بود یا نبود ارتباط فضایی بین متغیرها را تعیین کرد. در این تحقیق روابط فضایی بین موقعیت دو متغیر (گسلها و کانسارها) با رسم واریوگرام برای داده‌های موجود تعیین شده که معرف میزان همبستگی فضایی آنهاست.

روش که در اصل یک روش هندسی - زمین‌آماری است، از خودهمبستگی فضایی داده‌ها استفاده می‌شود. به طوری که می‌توان به هر نقطه از فضا، ویژگی معینی را نسبت داد و سپس بر اساس فاصله و جهت، روابط هندسی را بین نقاط برقرار کرد که منعکس‌کننده ارتباط فضایی بین آنهاست. از آن جا که در این روش متغیرهای اصلی از جنس فاصله و امتداد هستند، عملکرد این روش شبیه به واریوگرام جهتی است. همان‌طور که واریوگرام جهتی می‌تواند توزیع فضایی کانی‌سازی را نمایان سازد، این روش نیز قادر به تشخیص الگوی کانی‌سازی و توزیع فضایی آن است.

گسلها شکستگی‌هایی هستند که بلوک‌های زمین را جابه‌جا می‌کنند. این پدیده در اثر نیروهای تکتونیکی به وجود می‌آید. این نیروها معمولاً از فعالیت‌های ماگمایی و آتشفشانی در زیر پوسته زمین منشأ گرفته که گسلهای به وجود آمده می‌توانند به عنوان مجرای برای عبور سیالات کانه‌دار فلزی یا غیرفلزی عمل کنند. فضاهای خالی در زون گسله باعث تجمع مواد



شکل 1. مقطعی از ارتباط یک گسل و کانسار پنهان

جغرافیایی  $52^{\circ} 48'$  و  $56^{\circ} 36'$  شرقی و عرضهای  $36^{\circ} 29'$  و  $32^{\circ} 22'$  شمالی، واقع شده است. منطقه عمدتاً دارای رشته کوههایی با روند تقریبی شمال غربی - جنوب شرقی است. از لحاظ چینه‌شناسی، قدیمی‌ترین سازندهای دگرگونی فلات ایران در دوره پرکامبرین در این قسمت قرار گرفته‌اند که مهمترین آنها مجموعه چاپدونی، پشت‌بادام، بنه‌شورو، تاشک و سرکوه است که عمدتاً در شمال استان رخنمون دارند. مجموعه سنگهای دگرگونی پالئوزوئیک در بخش غربی هرات و مروست بیرون‌زدگی دارند. اُفیولیت‌های مربوط به کرتاسه پایانی در مجاورت گسل دهشیر - بافت در جنوب استان دیده می‌شود. گرانیته اسماعیل‌آباد در پشت‌بادام و باتولیت گرانیتی

## هدف

هدف از این تحقیق، تعیین میزان همبستگی بین موقعیت گسلها و کانسارها با مطالعه موردی در استان یزد است. بدین معنی که بتوان مشخص کرد، در چه فاصله و جهتی از یک گسل می‌توان انتظار یک نهشته معدنی را داشت. با توجه به این که تمام گسلها الزاماً با ذخایر اقتصادی یا نهشته‌های معدنی در ارتباط نیستند، لذا در این تحقیق منطقه از لحاظ این پتانسیل بررسی شده است.

## مشخصات عمومی منطقه

استان یزد بخشی از زون ایران مرکزی است که بین طولهای

می‌آید. واریوگرام یک گشتاور مرتبه دوم است که مطابق رابطه (1) تعریف می‌شود، [1]، [2].

(1):

$$2\gamma(\bar{h}) = \text{Var}[Z(x + \bar{h}) - Z(x)] = E[Z(x + \bar{h}) - Z(x)]^2$$

به صورت تجربی می‌توان با استفاده از رابطه عددی (2) نمودار واریوگرام را رسم کرد

(2):

$$2\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{N(\bar{h})} \sum_{i=1}^{N(\bar{h})} [Z(x + \bar{h}) - Z(x)]^2$$

در رابطه فوق  $N(\bar{h})$  تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه و مقدار  $Z(x)$  برابر مقدار متغیر ناحیه‌ای است. در این تحقیق، مقدار  $Z$  به صورت کوتاهترین فاصله بین گسلها (عنصر خطی) و کانسارها (عنصر نقطه‌ای) تعریف شده است.

#### اطلاعات اولیه

برای انجام این پژوهش از اطلاعات تعداد 76 کانسار فلزی که عمدتاً سرب، روی، آهن و مس هستند، استفاده شده است. با بررسی منشأ این کانسارها مشخص شده که پیدایش آنها مستقیم یا غیرمستقیم با فعالیتهای کوهزایی و تکتونیکی ارتباط داشته است. بخشی از اطلاعات مورد استفاده از این کانسارها و معادن در جدول 1 آورده شده است. همچنین از اطلاعات تعداد 183 گسل اصلی به همراه 624 گسل فرعی شناخته شده در منطقه استفاده شده است. جهت عمومی گسلهای منطقه، به صورت شمال غربی - جنوب شرقی در امتداد تقریبی گسل بزرگ دهشیر - بافت و دیگری به صورت شمال شرقی - جنوب غربی در امتداد گسلهای بزرگ پشت بادام و کلمرد است [7]، [20]. همچنین نقشه موقعیت گسلها و کانسارها، مطابق شکل 2 تهیه شده است.

به منظور انجام تحقیق ابتدا اطلاعات تمامی کانسارهای یادشده به همراه گسلها جمع‌آوری و در محیط نرم‌افزاری ArcViewGIS به صورت فایل‌های قابل استفاده توسط نرم‌افزار Surpac مرتب شدند. سپس بانک اطلاعاتی متشکل از موقعیت گسلها، کانسارها و فیلدهای مورد نیاز ساخته شد. برای بررسیهای بیشتر زمین‌آماري، اطلاعات به صورت فایل استرینگی تبدیل شدند. این فایل‌ها تمام منطقه را پوشش داده و انجام تجزیه و تحلیلها را میسر می‌سازد.

شیرکوه یزد از توده‌های آذرین بسیار معروفی هستند که به دوران مزوزوئیک بر می‌گردند. فاز کوهزایی سیمیرین پیشین که در تریاس میانی رخ داده نیز دگرگونی وسیعی را در ساغند ایجاد کرده است [7].

در دوران سنوزوئیک فعالیتهای آتشفشانی مهمی به خصوص در ائوسن رخ داده که سنگهای آندزیت، ریولیت، لاتیت و توف را در غرب عقدا به وجود آورده است. آتشفشان نیمه فعال ارنان در جنوب یزد و توده‌های نفوذی گرانیته تا دیوریتی جنوب نائین (غرب عقدا) از مهمترین توده‌های نفوذی کواترنر استان هستند. از نظر ساختمانی، فازهای کوهزایی مهمی چون آسنطیک، سیمیرین پیشین و پسین، آلپین و لارامین، پیرنه و پاسادنین در نقاط مختلف استان یزد تأثیر داشته‌اند و توده‌های آذرین و دگرگونی مهمی را موجب شده‌اند که به آنها اشاره شد. از گسلهای مهم استان یزد نیز می‌توان به گسل دهشیر - بافت، کلمرد، کوهبنان، بهاباد، چشمه‌رستم، پشت‌بادام، چاپدونی، مهریز و تفت اشاره کرد. از دید اقتصادی نیز استان یزد از نظر ذخایر معدنی به خصوص آهن، سرب و روی از غنی‌ترین مناطق کشور است. وجود مناطقی همچون ناحیه معدنی بافق که از لحاظ انواع مواد معدنی غنی است مؤید این مطلب می‌باشد [7] و [4].

#### روش تحقیق

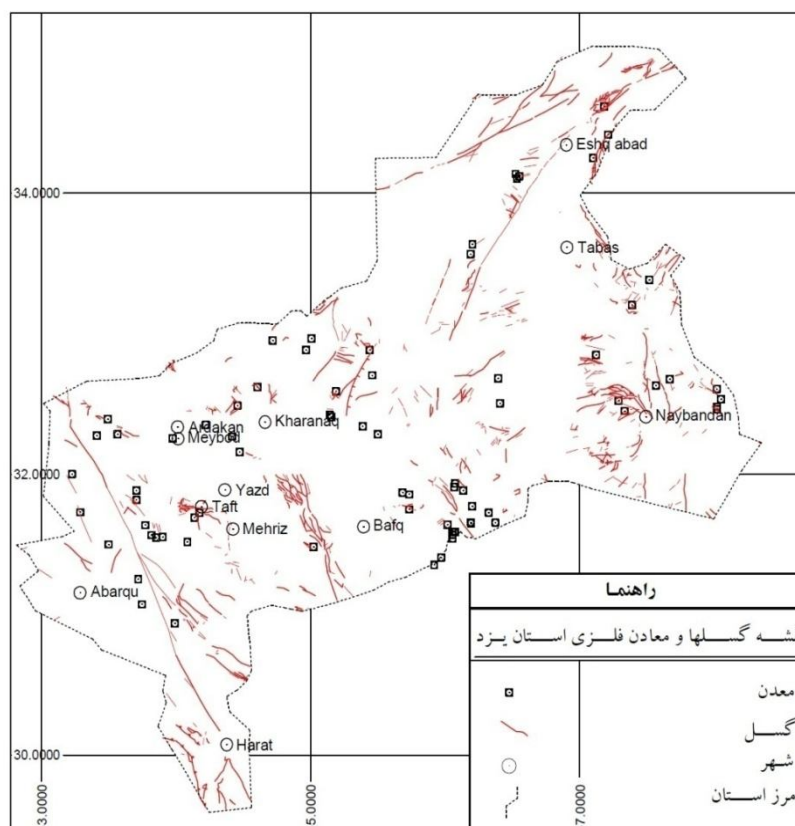
به منظور انجام این تحقیق، پس از جمع‌آوری اطلاعات، برای انجام بررسیهای زمین‌آماري، متغیر ناحیه‌ای با توجه به اهداف پژوهش تعریف شد. عملیات واریوگرافی روی داده‌ها به منظور یافتن ساختار فضایی صورت گرفت. به منظور تعیین جهت عمومی این تأثیر نیز بررسیهای ناهمسان‌گردی و رسم واریوگرام‌های جهتی ضروری بود. در مرحله بعد پس از استخراج مؤلفه‌های مورد نیاز، به تفسیر و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

#### روشهای زمین‌آماري

زمین‌آمار شعبه‌ای از آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به جامعه تحت بررسی و به تبع آن ساختار فضایی داده‌های مربوط، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مفهومی که می‌تواند ساختارهای فضایی موجود را به صورت کمی بیان کند، واریوگرام است و پارامترهای آن از عملیات واریوگرافی به دست

جدول 1. خلاصه‌ای از اطلاعات تعدادی از معادن فلزی در محدوده استان یزد [5 و 20].

نام معدن	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع کانی‌زایی
انجیره	54°28'34"	32°09'44"	Pb-Zn
پشت‌سرخ	55°23'27"	32°20'38"	polymetal
جنگ‌دینا	55°09'24"	32°24'40"	polymetal
چادرملو	55°30'00"	32°17'00"	Fe
چاه‌سرخو	55°08'55"	32°25'30"	polymetal
چغارت	55°27'39"	32°42'20"	Fe
حوض سفید	54°14'00"	32°21'00"	Pb-Zn
خوت	53°42'30"	31°53'00"	Cu
خود	53°43'16"	31°15'06"	Cu
دره‌زن‌جیر	54°09'00"	31°41'00"	Pb-Zn
ده‌مغستان	55°11'25"	32°35'35"	Pb-Zn
سه‌چاهون	55°41'03"	31°52'09"	Fe
سه‌جنگی	58°03'00"	32°32'00"	Cu

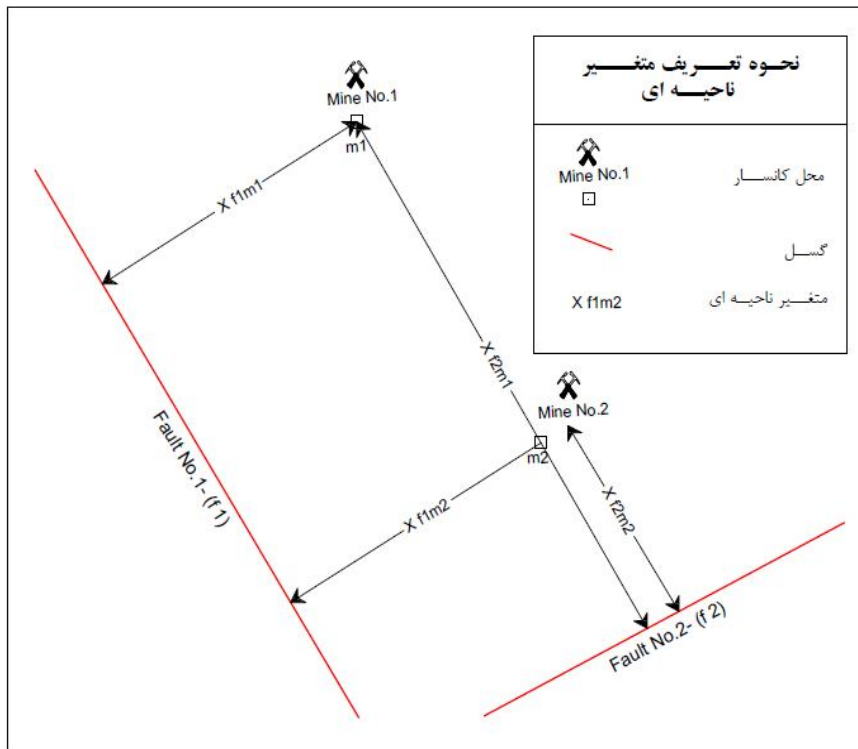


شکل 2. نقشه موقعیت معادن و گسلها در استان یزد

فضایی کانسارها و فایل‌های رقومی گسلها بوده است (شکل 3). خروجی این برنامه، کمترین فاصله بین تک‌تک گسلها و تمام کانسارها را به صورت ماتریسی محاسبه کرده است (جدول 2). در نهایت فایل آماده شده به صورت استرینگی برای مطالعات زمین‌آماري توسط نرم‌افزار Surpac مطابق شکل 4 است.

### آماده‌سازی اطلاعات ورودی به نرم افزار Surpac

به منظور بررسی‌های زمین‌آماري، ضروری بود، مقدار متغیر ناحیه‌ای با توجه به هدف مورد نظر تعریف گردد. بدین جهت ابتدا در محیط برنامه نویسی Mathematica زیربرنامه‌ای برای محاسبه کمترین فاصله بین گسلها و کانسارها ( $X_{fimi}$ ) نوشته شد. اطلاعات ورودی به این برنامه به صورت مختصات



شکل 3. نحوه تعریف مقادیر متغیر ناحیه‌ای ( $x_{fimi}$ ) برای دو گسل و معدن فرضی

از شعاع تأثیر قرار می‌گیرند، مقادیرشان از یکدیگر مستقل بوده و کواریانس آنها صفر است [1]. عملیات واریوگرافی با استفاده از نرم‌افزار Surpac انجام شده که منحنی واریوگرام‌های آن بر حسب گام<sup>4</sup> رسم شده است. بهترین مدلی که توسط نرم‌افزار از روی نقاط با استفاده از روش نرم‌افزاری برازش شده، مدل کروی است. از روی این مدل، پارامترهای مورد نیاز به دست آمده است. **واریوگرام جهتی:** معمولاً در مناطق همسان‌گرد و یا در آغاز واریوگرافی به منظور بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی مناسب، از واریوگرام‌های جهتی استفاده می‌شود. اگر در محاسبه واریوگرام فقط از زوج نقاطی که بردار آنها (برداري که دو نقطه را به هم وصل می‌کند) در امتداد معینی در نظر

### محاسبه واریوگرام

یکی از مهمترین مراحل تحلیل‌های زمین‌آماري، محاسبه و رسم منحنی واریوگرام است. از روی این منحنی می‌توان مؤلفه‌های شعاع تأثیر<sup>1</sup>، مقدار سقف<sup>2</sup>، و اثر قطعه‌ای<sup>3</sup> را به دست آورد. شعاع تأثیر به مفهوم فاصله‌ای است که در آن مقادیر متغیر ناحیه‌ای بر هم اثر دارند و در آن فاصله، ساختار فضایی قابل تشخیص است. این واریوگرام، از مقداری مخالف صفر به نام اثر قطعه‌ای شروع و تا فاصله شعاع تأثیر افزایش می‌یابد و در نهایت به مقدار ثابتی به نام سیل می‌رسد. محدوده ساختاردار داده‌ها در فاصله دامنه تأثیر آنهاست، یعنی دو داده، در فاصله شعاع تأثیر، دارای ارتباط فضایی بوده و کواریانس آنها غیر صفر است. در حالی که داده‌هایی که در فاصله بزرگتر

آنهايي بيشترين اهميت را دارند كه داراي بيشترين شعاع تأثير و اعتبارسنجی مناسبتری باشند. جدول 3 مؤلفه‌های زمین‌آماري مدل‌های برازش‌شده به واریوگرام‌ها را در جهات مختلف نشان می‌دهد.

گرفته شود، آن واریوگرام را جهتی می‌نامند [2]. کاربرد این روش در این تحقیق می‌تواند پراکندگی کانسارها را نسبت به امتداد گسلها بیان کند. بدین منظور، واریوگرام جهتی در امتدادهای مختلف نسبت به امتداد گسلها، جهت تشخیص ناهمسان‌گردی منطقه رسم‌گردید. از بین واریوگرام‌های جهتی

جدول 2. بخشی از ماتریس محاسبه‌شده برای داده‌های خروجی نرم‌افزار Mathematica

معادن گسلها	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>	... M <sub>i</sub>
F <sub>1</sub>	۱۴	۱۵۲	۶۷	۵۴	۸۲	۱۰۱	۵۸	۳۷	۱۰۵	۷۸	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>2</sub>	۲۵	۲۳۰	۱۲۰	۹۵	۱۵۲	۱۹۱	۱۰۶	۶۵	۲۰۲	۱۴۹	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>3</sub>	۷۵	۱۱	۹۴	۲۰۲	۱۷	۵۸	۵۴	۱۴۲	۲۴	۱۷	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>4</sub>	۳۱	۱۳۸	۶۷	۱۳	۲۸	۱۹۲	۴۳	۲۱	۶۸	۲۱۱	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>5</sub>	۷۶	۱۲	۴۲	۸۵	۱۸۴	۶۸	۵۸	۹۱	۳۹	۶۸	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>6</sub>	۷۵	۱۰۱	۳۹	۱۱	۵۳	۱۰۱	۷۷	۳۲	۷۱	۸۲	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>7</sub>	۷۵	۱۱۱	۸۶	۶۶	۴۷	۲۲	۷۹	۲۵	۳۴	۱۶	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>8</sub>	۸۶	۱۱۴	۱۶	۸۹	۶۲	۶۸	۴۶	۱۸	۷۲	۶۳	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>9</sub>	۲۲	۱۱۲	۶۲	۱۰	۱۶	۷۵	۴۴	۴۰	۱۵	۲۸	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>10</sub>	۳۲	۱۹۵	۳۴	۴۶	۸۹	۷۸	۵۳	۵۹	۳۱	۲۵	(X <sub>fimi</sub> )
F <sub>i</sub>	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )	(X <sub>fimi</sub> )

```
data_mines & faults, 12-Feb-2010, 0
0, 0.000, 0.000,
1, 37.497, 4.264, 100.000, 73.25064242
1, 84.573, 85.757, 100.000, 38.14735498
1, 27.794, 59.481, 100.000, 31.05726003
1, 84.573, 85.757, 100.000, 15.88254734
1, 25.388, 73.233, 100.000, 53.37376268
```

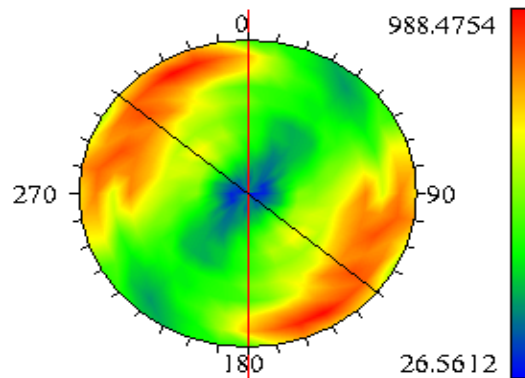
شکل 4. نمایی از فابل استرینگی تهیه‌شده برای مطالعات زمین‌آماري

جدول 3. مؤلفه‌های زمین‌آماري مدل‌های برازش‌شده به واریوگرام‌های جهتی

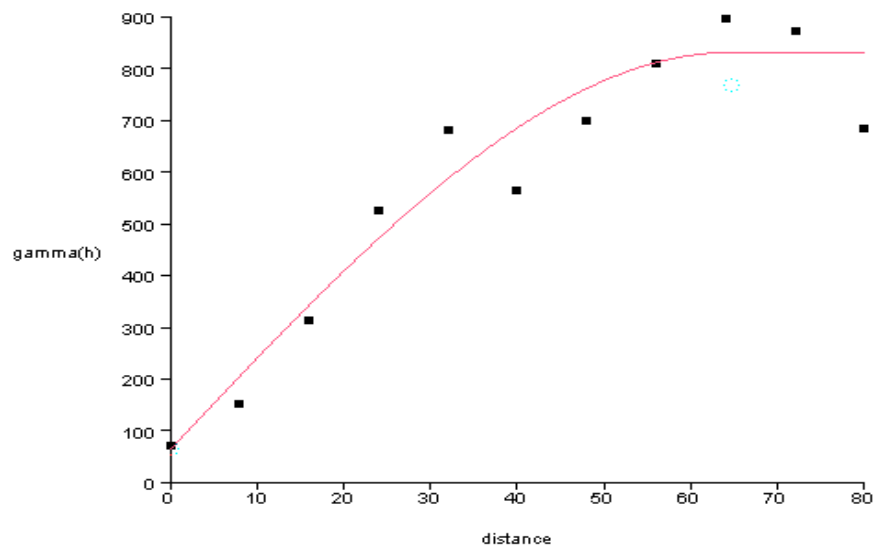
آزیموت	مدل	دامنه (کیلومتر)	اثر قطعه‌ای	سقف
۳۶۰ - ۰	کروی	۴۴/۸۷۰	۶۶/۱۴۸	۷۷۲/۵۴۷
۴۵	بدون مدل	-	-	-
۹۰	کروی	۵۳/۶۸۹	۶۳/۱۰۸	۷۰۴/۶۸۸
۱۳۵	کروی	۶۲/۳۴۷	۶۰/۰۲۴	۷۵۹/۱۲۴
۱۸۰	کروی	۴۵/۱۰۵	۶۷/۶۵۸	۷۷۰/۸۵۳

**امتداد ساختار اصلی:** برای تعیین جهت اصلی ساختار فضایی منطقه لازم است واریوگرام در جهات مختلف رسم و بهترین آنها انتخاب گردد. نقشه واریوگرام ابزاری مفید برای این منظور است که برای کلیه داده‌های گسلها و کانسارها به کار رفته است (شکل 5). نقشه واریوگرام شکل 5 نشان می‌دهد که در آزمون 130 درجه می‌تواند واریوگرامی با بهترین ساختار فضایی و در آزمون 40 درجه واریوگرامی با بدترین ساختار فضایی وجود داشته باشد. این واریوگرام‌ها در شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده است. همچنین مؤلفه‌های واریوگرافی در جهت ساختار اصلی منطقه مطابق جدول 3 به دست آمده است.

مطابق جدول فوق بیشترین شعاع تأثیر مربوط به امتداد 135 درجه و کمترین شعاع تأثیر مربوط به امتداد 45 درجه است. یکی از دلایل اختلاف در شعاع تأثیر واریوگرام‌ها برای محدوده فوق را می‌توان به علت عملکرد طبیعی گسلها در راستاهای مختلف دانست. بدین‌گونه که بسیاری از گسلها به صورت موازی هم به وجود می‌آیند و ممکن است روی سطح زمین اثری نداشته و از دید ما پنهان بمانند، حال آن‌که کانسارها به روشهای دیگر در اعماق زیاد قابل شناسایی بوده و بدین‌گونه رابطه فضایی و به تبع آن شعاع تأثیر بزرگتری را ایجاد کرده‌اند.



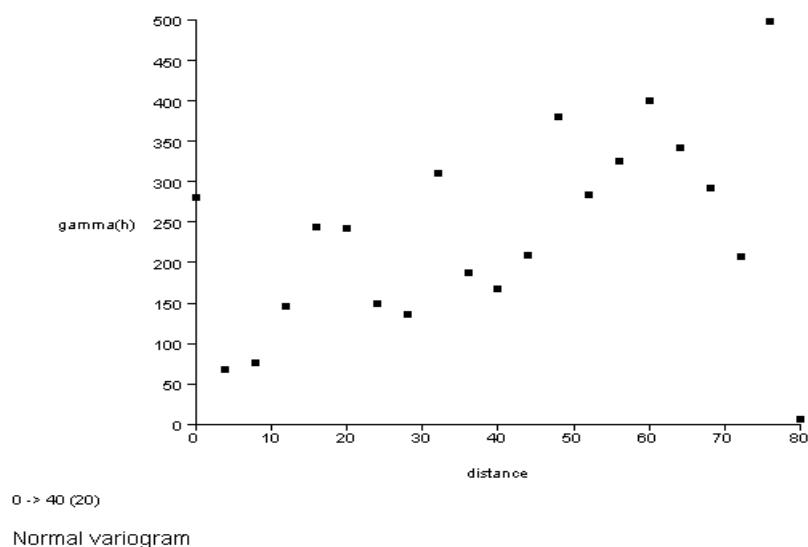
شکل 5. نقشه واریوگرام رسم‌شده برای تعیین راستای اصلی



0 -> 130 (20)

Normal variogram

شکل 6. واریوگرام رسم‌شده در راستای 130 درجه (محور افقی بر حسب کیلومتر است).



شکل 7. نقاط واریوگرافی در راستای آزمون 40 درجه (محور افقی برحسب کیلومتر است).

گسلها مربوط دانست. بدین‌گونه که به احتمال زیاد حداکثر فاصله‌ای که گسلها، کانسارها را به‌وجود می‌آورند برابر 64 کیلومتر و در راستای آزمون 130 درجه است.

همان‌گونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود در راستای 130 درجه، یک مدل کروی با اثر قطعه‌ای 63، سقف 768 و دامنه 64 برازش‌شده است. نتایج حاصل از واریوگرام جهتی را می‌توان به‌وجود روابط فضایی در محدوده 64 کیلومتری از

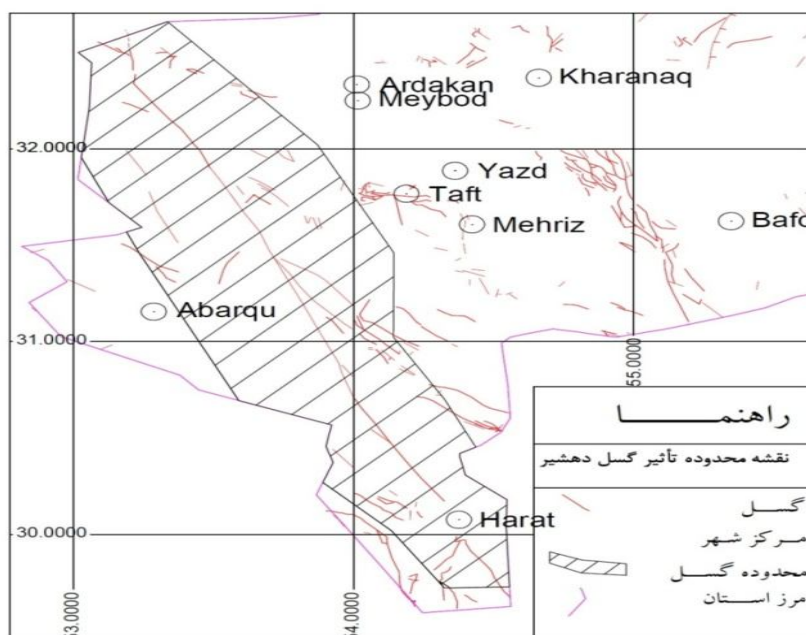
جدول 4. مؤلفه‌های واریوگرام برازش‌شده در راستای 130 درجه

نوع مدل	اثر قطعه ای	ساختار	
		سقف	شعاع تأثیر
کروی	63/524	768/040	64/641

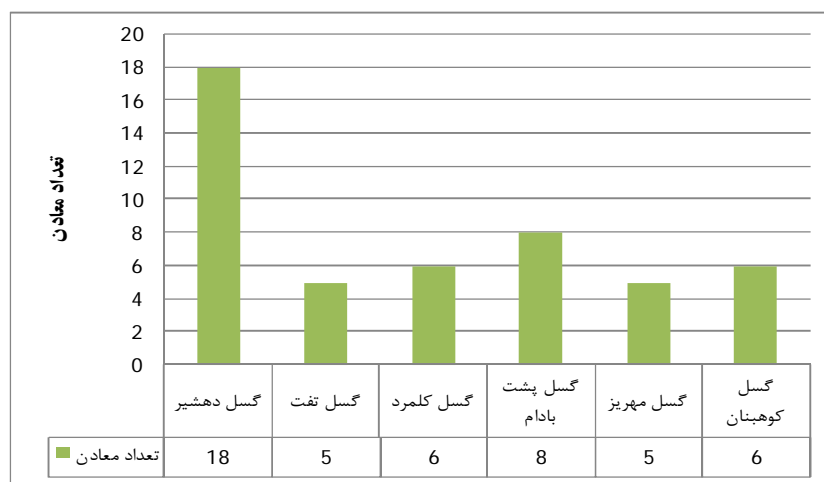
اعتبارسنجی واریوگرام: به‌منظور بررسی و کنترل دقت واریوگرام برازش‌شده روی نقاط، لازم است واریوگرام را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج اعتبارسنجی واریوگرام برازش‌شده در راستای 130 درجه، به‌کمک نرم‌افزار Surpac در جدول 5 آمده است. همان‌طور که از نتایج خطاهای تخمین جدول 5 مشاهده می‌شود، میانگین خطاها تقریباً به‌سمت صفر میل کرده است و وایانس خطاهای تخمین کوچک بوده و اختلاف این خطا و متوسط واریانس تخمین 18/82 درصد می‌باشد، (اگرچه در فرضیه این مقدار باید کمتر از 15 درصد باشد). هیستوگرام خطاها نرمال بوده و 95/35 درصد از خطاها بین  $\pm 2$  برابر انحراف معیار تخمین می‌باشد لذا این واریوگرام بر اساس روش برازش جک نایف معتبر شناخته می‌شود.

با اعمال شعاع تأثیر در جهات مختلف برای هر گسل، محدوده دارای ساختار آن به‌دست می‌آید. به‌علت نزدیکی برخی از گسلها به‌هم، مناطق دارای ساختار می‌توانند با یکدیگر هم‌پوشانی نیز داشته باشند. به‌علت فراوانی زیاد گسلها در منطقه، امکان ارائه نتایج برای کلیه گسلها در این پژوهش وجود ندارد و به‌عنوان نمونه نتایج بررسی برای گسل دهشیر- بافت در شکل 8 آورده شده است. به‌منظور بررسی بیشتر، تعداد کانسارهای مرتبط به هر گسل، با توجه به شعاع تأثیر آن، محاسبه شده است (شکل 9). بدین معنی که تعداد 18 کانسار در شعاع تأثیر گسل دهشیر، 5 کانسار در شعاع تأثیر گسل تفت و ... قرار گرفته‌اند.





شکل 8. محدوده تأثیر کانی‌زایی گسل دهشیر - بافت با توجه به یافته‌های این تحقیق



شکل 9. محاسبه تعداد معادن مرتبط (موجود در شعاع تأثیر) برای مهمترین گسلهای منطقه

داده‌های این تحقیق، احتمال وجود کانسارها نهایتاً تا فاصله 64 کیلومتری از گسلها به خوبی نشان داده شد. این بدان معنی است که حداکثر فاصله افقی که گسلها، کانسارها را به وجود می‌آورند برابر 64 کیلومتر است. از طرف دیگر واریوگرام‌های جهتی رسم‌شده، امتداد این ساختار را در آزیموت 130 درجه و در جهت شمال غرب - جنوب شرق معرفی می‌کند. همچنین با اعمال شعاع تأثیر برای هر گسل، محدوده کانی‌زایی آن نیز مشخص شده است.

#### نتیجه‌گیری

روشهای زمین‌آماری یکی از کارآمدترین روشها در تعیین ساختار فضایی (روابط فضایی) در علوم طبیعی هستند. این روشها قادر به انعکاس بهترین و نامناسب‌ترین حالت رخداد در رابطه با موقعیت متغیرهای وابسته‌ای همچون گسلها و کانسارها هستند و بدین ترتیب قادر به راهنمایی جویندگان معدن جهت محدود کردن مناطق و برنامه‌ریزیهای دقیق‌تر اکتشافی هستند. بر اساس نمودارهای واریوگرام رسم‌شده برای

جدول 5. گزارش اعتبارسنجی واریوگرام برازش‌شده در راستای 130 درجه

SUMMARY STATISTICS OF KRIGING ERRORS	
MEAN	-.۰/۶۱۸۶
VARIANCE	۱۵۶/۲۱۲۰ >>>>>
STD. DEVIATION	۱۲/۴۹۸۵
AVG. SQ. ERROR	۱۵۴/۷۷۸۲
WEIGHTED SQ. ERR	۱۶۰/۹۰۵۵
SKEWNESS	۰/۰۷۸۴
KURTOSIS	۳/۰۲۷۹
NO. OF ASSAYS	۸۶
AVG KRIG VARIANCE	۱۹۲/۴۸۰۷ >>>>>
STD. DEVIATIONS PERCENTAGE OF ERRORS WITHIN TWO	۹۵/۳۵ >>>>>

$$\frac{192.4807 - 156.2120}{156.2120} \times 100 = 18.82\%$$

## مراجع

- [9] مرادی فر ا، مجتهدزاده س.ح، "مطالعه مقدماتی ارتباط کانسارها و اندیسه‌های سرب و روی ایران مرکزی و ارائه مدل فلنزایی برای تشکیل این کانسارها"، پروژه کارشناسی دانشگاه یزد، (1383).
- [10] نبئی، ت، "منطقه‌بندی کانی‌شناختی رویداد دگرسانی در طول گسل ساری دره منطقه جنوب بوئین زهرا"، فصلنامه علمی و پژوهشی زمین و منابع، سال اول، شماره اول (1388) ص 65-73.
- [11] Cressie N., "Fiting variogram models by weighted least squares", Math Geology 17 (1993) 563 – 586.
- [12] Gemcome "User Manual of SURPAC Software International", (1999).
- [13] Gringarten E., Deutsch V., "Teacher's aide variogram interpretation and modeling", Oxford, England, Oxford University Press (2001) 180 p.
- [14] Isaaks E., Srivastava R., "An introduction to applied geostatistics", New York, Oxford University Press Inc (1989).
- [15] Rouhani S., "Geostatistics for environmental and geotechnical applications", ASTM Committee (1996).

- [1] حسنی‌پاک ع.ا، "زمین‌آمار"، انتشارات دانشگاه تهران، (1377).
- [2] حسنی‌پاک ع.ا، شرف‌الدین م، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، (1380).
- [3] رادفر ش، "ریخت زمین‌ساخت گسل کوهبنان"، مجله علوم زمین، شماره 58 (1384) ص 166-183.
- [4] شفیعی‌بافتی ا، "بازسازی حرکت سامانه گسلی کوهبنان در باختر بهاباد از پلیوسن پایانی تا عهد حاضر (ایران مرکزی)"، ویژه‌نامه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، (1386) ص 118-127.
- [5] سازمان صنایع و معادن استان یزد، آرشیو گزارشها.
- [6] مشرفی‌فر م.ر، "تفکیک فازهای تنش دیرین بر پایه داده‌های گسلی ناهمگن در بخش مرکزی گسل دهشیر"، مجله علوم زمین، شماره 69 (1387) ص 64-73.
- [7] مهرشاهی د، "مورفوتکتونیک و مناطق عمده گسلی استان یزد"، فصلنامه تحقیقاتی جغرافیایی، شماره 72 (1384) ص 7-24.
- [8] مهرنهاد ح، "تحلیل ساختاری و سائزموکتونیک گسل دهشیر"، فصلنامه تحقیقاتی جغرافیایی شماره 72 (1384) ص 118-127.

*dominated fault breccias associated with uranium deposits, Front Range, Colorado*", journal of Economic Geology v. 77, 8 (1982) 1945-1950.

[20][http://www.ngdir.ir/SiteLinks/Abandoned\\_Mines/index.asp](http://www.ngdir.ir/SiteLinks/Abandoned_Mines/index.asp)

[21] Yaghubpur A., Hassannejad A.A., "The spatial distribution of some chromite deposits in Iran, Using Fry Analysis", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 17(2) (2006) 147-152.

[16] User Reference, Mathematica (2002).

[17] Vearncombe J., Vearncombe S., "The special distribution of mineralization: Application of fry analysis", Economic Geology 94 (1999) 567-575.

[18] Verly G., "Geostatistics for natural resources characterization", North Atlantic Treaty Organization (1984).

[19] Wallace A. R., "Structural and mineralogical characteristics and distribution of carbonate-

