# مطالعه نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی آب معدن چغارت با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری

**مهدی اسلام زاده*[۱]، امین حسین مرشدی[۲]**

*۱- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق*

*۲- دانشجو دکتری مهندسی معدن- اکتشاف، دانشکده فنی، دانشگاه تهران*

*(*عهده دار مکاتبات - Meslamzadeh@gmail.com)*

**چکیده**

بررسی نمونه‌های هیدروژئوشیمی، یکی از مطالعات پایه در آبشناسی معادن است. طبقه‌بندی نمونه‌های هیدروشیمیایی به‌گروه‌های همگن، ابزاری دقیق برای توصیف سیستم‌های هیدروژئولوژیکی است. استفاده از روش‌های گرافیکی مرسوم، مانند دیاگرام‌های پایپر، استیف و دورو برای طبقه‌بندی نمونه‌های آب به‌خصوص در مواردی که حجم داده‌های مورد بررسی زیاد نباشد، از کارآیی مناسبی برخوردار است. در مواردی که حجم داده‌های مورد مطالعه زیاد باشد، روش‌های آماری چند متغیره (تحلیل مولفه های اصلی، تحلیل فاکتوری و رسم دندوگرام)، با در نظر گرفتن فرض‌های اولیه مورد نیاز و به‌کارگیری دقت لازم، در ارائه تحلیلی مناسب، می‌توانند راهگشا باشند. در این بررسی، نمونه‌های هیدروژئوشیمی در حالت‌ها و مناطق گوناگون معدن (آبدهی بالا تا کم) برداشت شد. نتایج آنالیز که شامل میزان غلظت کاتیون‌ها، آنیون‌های اصلی، اسیدیته، مقادیر سختی و باقیمانده خشک هر نمونه است، با روش‌های گرافیکی (دیاگرام‌های پایپر، استیف و دورو) و روش‌های آماری (آنالیز خوشه‌ای، تحلیل مولفه اصلی و رسم دندوگرام) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصل از این پژوهش، قسمت های آب‌دار در محدوده مورد مطالعه از لحاظ کیفی آنیونی دارای کیفیت حالت کلریدی- سولفاتی است و از حیث کاتیونی از نوع سدیک- پتاسیک است. در نهایت، توزیع دو بعدی و درونیابی پارامترهای مختلف توسط کریجینگ معمولی به‌عنوان یکی از ابزارهای زمین آماری صورت گرفت.

***واژگان کلیدی:*** *نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی، دیاگرام‌های تصویری، روش‌های آماری، معدن چغارت، ایران.*

## ۱- موقعیت معدن چغارت

معدن سنگ آهن چغارت در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر بافق، در۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهر بهاباد و در ۱۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر یزد که در حاشیه کویر مرکزی ایران واقع شده است. این معدن در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی در حوضه بافق قرار دارد. این معدن از طریق جاده آسفالته از طریق شهرستان بافق به یزد وصل می‌شود که طول این جاده حدود ۱۳۰ کیلومتر است (شکل۱) (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۶۹).

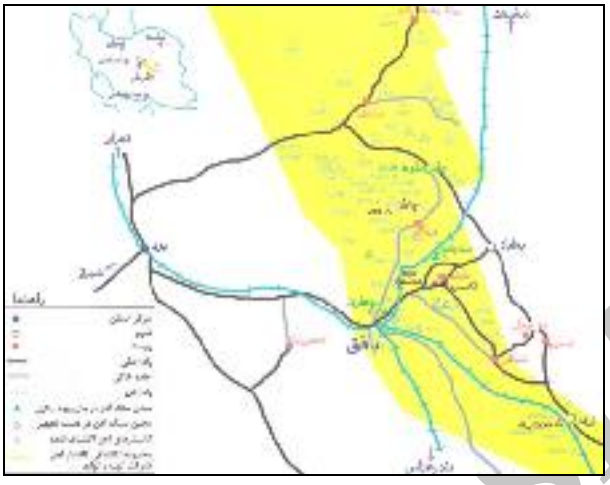
## ۲-آب و هوای منطقه

به طور کلی منطقه بافق به‌علت قرارگرفتن در مرکز ایران و دوری از دریا شرایط اقلیمی ویژه‌ای دارد؛ وجود ارتفاعات زاگرس در غرب و البرز در شمال، مانع نفوذ رطوبت به استان یزد گردیده است و از طرفی مجاورت کویر خشک و پهناور نمک نیز باعث گردیده این منطقه تحت تأثیر آب و هوای خشک و صحرایی قرار گیرد (دهقانی،۱۳۸۷). آمار هواشناسی معدن چغارت نشان می‌دهد که حرارت روزهای آن در ایام مختلف سال بین ۷- تا ۴۷ درجه متغیر است. نزولات جوی در این منطقه کم، نامنظم و عمدتاً در فصل زمستان و اوایل فصل بهار صورت می‌گیرد. تعداد

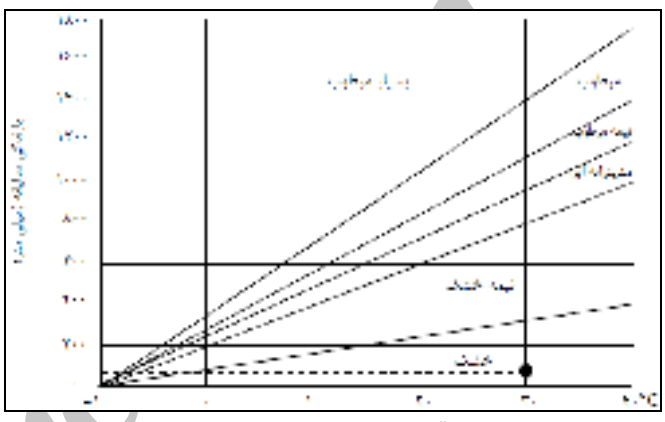
Archive of SID

www.SID.ir

دفعات بارندگی حداکثر ۵ تا ۷ بار در سال است که آن هم از چند دقیقه تا چند ساعت تجاوز نمی‌کند. میانگین دما در منطقه مورد مطالعه ۳۰ درجه سانتیگراد است و میانگین بارش ۵۵.۷ میلیمتر است که بر اساس طبقه‌بندی دومارتن منطقه بافق در اقلیم خشک واقع شده است (شکل ۲).



**شکل ۱:** راه های دسترسی به منطقه معدنی چغارت و موقعیت آنومالیهای دیگر آهن

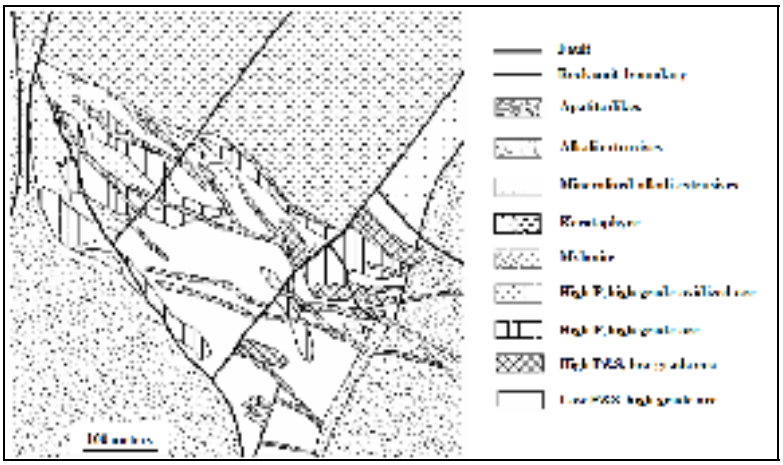


**شکل۲:** نمایش آب و هوای بافق بر اساس طبقه‌بندی دومارتن

## ۳- زمین‌شناسی معدن چغارت

کانسار چغارت در سازندهای پرکامبرین پسین ایران مرکزی معروف به سری مراد قرار دارد که سری ریزو بر روی آن قرار گرفته است. سنگ‌های درونگیر معدن دارای دو رخساره کاملاً متمایز هستند: سنگ‌هایی مانند کوارتزیت، کوارتز پرفیر، گرانوفیر، پلاژیوفیر و کوارتز- آلبیتوفیر که دارای درصد بالایی کوارتز و فلدسپات است و سنگ‌هایی مانند آکتینولیت، ترمولیت، فلدسپات و قطعات آلتره شده بیگانه که اغلب آمفیبولیزه شده‌اند مانند آمفیبولیت، آمفیبول پیروکسنیت و هورنبلندیت که دارای درصد بالایی آمفیبول هستند. کانسار چغارت در امتداد شمال غرب به جنوب شرق با طول تقریبی ۶۰۰ متر و ضخامت ۴۰۰ تا ۷۰۰ متردر منطقه واقع شده است. در مورد کمپلکس ماگمایی، احتمالاً ماگماتیسم با گرایش کربناتیتی و متاسوماتیسم منجر به‌تشخیص رخساره‌های مختلف از سنگ‌های متبلور شده است و اتومتامورفیسم و متاسوماتیسم دو پدیده شاخص در اطراف کانسار است (شکل ۳). رگه‌های هماتیتی با ضخامت‌های چند سانتی متر سنگ‌های بلورین را قطع کرده است (مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۶۹ و دهقانی، ۱۳۷۲).

www.SID.ir



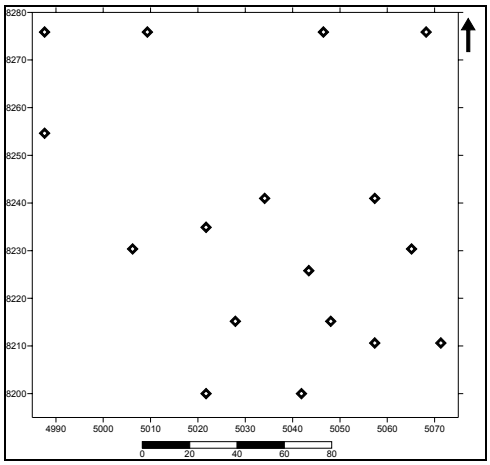
**شکل ۳:** نمایش زمین شناسی معدن چغارت

## ۴- کلیاتی در مورد نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی

تجزیه شیمیایی تعداد زیادی از نمونه‌های آب، انبوهی از داده‌ها را فراهم می‌آورد که باید برای اهداف معین مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. این تجزیه و تحلیل‌ها از نظر حل بسیاری از مسایل عملی از قبیل مطالعه اختلاط آب‌ها از منابع مختلف، وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، تاثیر سازندهای مختلف بر روی کیفیت آب‌ها، بررسی منشاء شوری، تغییرات کیفیت آب در مسیرحرکت آن، تغییرات کیفیت آب در طول زمان، تاثیراستخراج آب بر روی کیفیت و بسیاری مسایل دیگر مفید است(بهنام، ۱۳۸۷).

### ۴-۱- بررسی نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی و مطالعات آماری پایه

از ۱۷ نمونه هیدروشیمی، تعداد ۶ نمونه در فصل بهار، تعداد ۵ نمونه در فصل تابستان و تعداد ۶ نمونه در فصل پاییز برداشت شده است. از نظر آبدهی نمونه‌ها، تعداد ۵ نمونه دارای آبدهی زیاد و شارژ سریع، تعداد ۶ نمونه دارای آبدهی متوسط و افت شدید در اثر پمپاژ و تعداد ۶ نمونه دارای آبدهی بسیار کم و نیمه خشک است. نمونه برداری انجام گرفته، در شش حالت گرفته شده است که عبارتند از: بعد از حفاری، بعد از بالا آمدن سطح آب، قبل از خرجگذاری، بعد از آبکشی، از کف و سطح بالایی. تعداد ۳ نمونه بعد از حفاری، تعداد ۵ نمونه قبل از خرجگذاری، تعداد ۳ نمونه بعد از بالا آمدن سطح آب، تعداد ۳ نمونه بعد از آبکشی و تعداد ۳ نمونه از سطح بالایی تهیه شده است (شکل ۴).

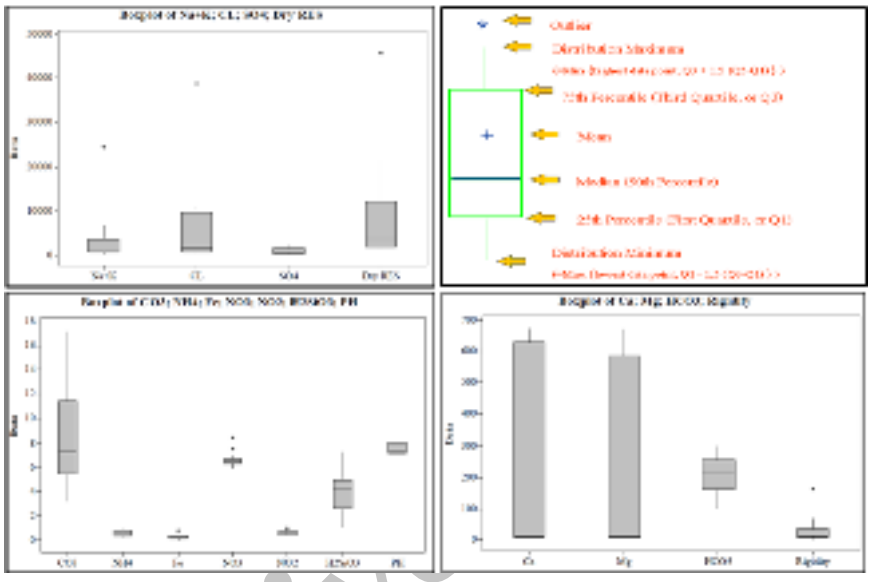



**شکل ۴:** نمایش پراکندگی نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی

Archive of SID

www.SID.ir

در نمونه‌های هیدروشیمی انجام شده کاتیون‌های $Ca, Mg, Na+K, Fe, NH_4$ و آنیون‌های $CO_3, HCO_3, SO_4, Cl, NO_3, NO_2$ اندازه گیری شد و علاوه بر آن مقادیر سختی، باقیمانده خشک در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد، pH و $H_2SiO_3$ اندازه‌گیری شده است. در ابتدا خصوصیات آماری پایه و توصیفی هریک از پارامترهای هیدروشیمی اعم از میانگین، واریانس، انحراف معیار،کمینه، بیشینه، میانه، چولگی و کشیدگی برای داده‌ها محاسبه می‌شود که برای نمایش خصوصیات آماری بر اساس میانه، چهارک‌های (۲۵٪ و ۷۵٪) و مقادیر خارج از ردیف از نمودارهای جعبه‌ای (Box Plot) استفاده می‌شود که پارامترهایی که دریک دامنه قرار می‌گرفتند با هم ترسیم شدند( Guler and McCray, 2002) (شکل ۵).



**شکل ۵:**نمایش نمودار جعبه‌ای به‌صورت شماتیک و پارامترهای هیدروژئوشیمی

### ۴-۲- دیاگرام‌های گرافیکی و تصویری نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی

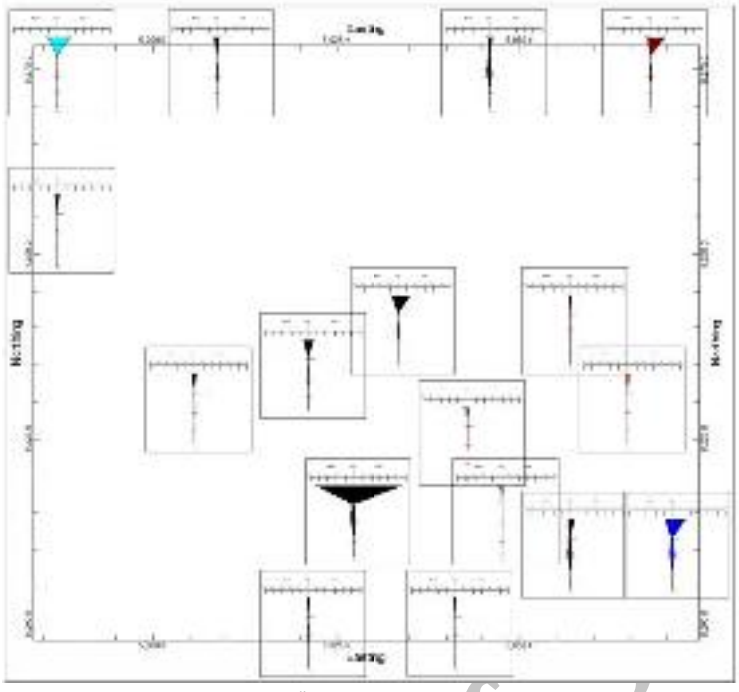
دیاگرام‌های مختلفی برای نمایش و طبقه‌بندی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب پیشنهاد شده که درزیر شرح مختصری از آن‌ها آورده شده است. در اغلب این نمودارها، آب زیرزمینی را محلولی شامل سه قسمت کاتیونی کلسیم، منیزیم و فلزات قلیائی(سدیم و پتاسیم) و سه قسمت آنیونی سولفات، کلراید و بی‌کربنات همراه کربنات درنظر می‌گیرند.

در مرحله اول از نمودار استیف استفاده می‌شود که نتایج تجزیه شیمیائی نمونه‌های آب بر حسب میلی اکی‌والان گرم بر لیتر بر روی خطوط افقی پیاده می‌شود. با اتصال این نقاط به‌هم، چندضلعی‌های مشخصی به‌وجود می‌آید که از نظر مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است که می‌توان براساس مختصات نمونه‌ها مدل کرد(شکل ۶).

نمودار پایپر مشخصات شیمیایی آب را بر حسب غلظت نسبی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نشان می‌دهد به‌طوریکه با استفاده از آن خیلی سریع می‌توان به‌نوع آب و فراوانی اجزا محلول آن پی برد. نمودار پایپر از ترکیب سه میدان مجزا درست شده که درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آنها را در میدان لوزی شکل پیاده می‌کند. در مثلث سمت راست آنیون‌ها و در مثلث سمت چپ کاتیون‌ها پیاده می‌شوند و نقطه بدست آمده در هر مثلث را به‌موازات اضلاع لوزی امتداد داده تا یکدیگر را در نقطه‌ای در میدان لوزی قطع کنند. با استفاده از این نقطه می‌توان تیپ آب و وضعیت شیمیایی آن را مشخص کرد.

Archive

www.SID.ir



**شکل ۶:** نمایش دیاگرام استیف مربوط به نمونه‌های آب معدن چغارت بر اساس مختصات

بر اساس نمونه‌های اندازه گیری شده، نمونه‌ها در منطقه چهار، اسیدهای قوی و اکثریت نمونه‌ها، در منطقه شش سختی غیرکربناتی و تعدادی از نمونه‌ها در منطقه هفت قلیایی غیرکربناتی قرار گرفته‌اند. تکامل ژنتیکی یون‌ها در مسیر جریان توسط دو مدل توصیف می‌شود؛ در این مدل‌ها تغییرات آنیون‌ها از بی‌کربنات به کلرات- سولفات و کاتیون‌ها از کلسیم- منیزیم به سدیم - پتاسیم همگام با طی مسیر جریان و بالا رفتن زمان ماندگاری نشان داده شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه اکثراً دارای مقادیر سدیک-پتاسیک و کلر بالا است و از نوع قلیایی غیرکربناتی است (RockWare, 2009) (شکل ۷).

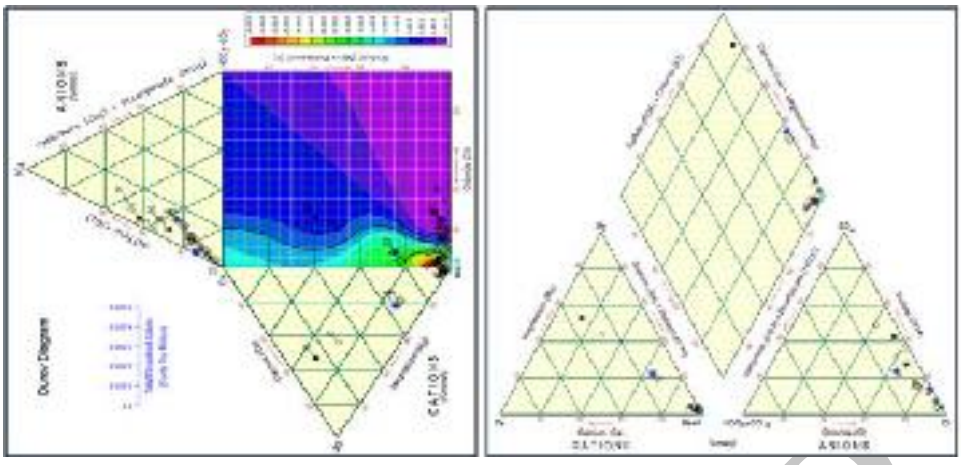
دیاگرام دورو (Durov) یک جایگزین مناسب برای دیاگرام پایپر که دارای دو مثلث پایه یونی است، که شامل یون‌های اصلی است و درصد یون‌های موجود در نمونه بر حسب میلی اکی والان بیان می‌شود که مجموع مقادیر کاتیونها و آنیونها باید برابر ۱۰۰ باشد. نقاط داده‌ها بر روی دو مثلث، به‌صورت عمود بر محور سوم در هر مثلث تصویر می‌شود. این ابزار کاربردی اجازه می‌دهد که کاربر، دیاگرام Durov را ایجاد کرده و ارتباط بین یون‌های مختلف در نمونه هیدروشیمیایی را نشان دهد. در دیاگرام Durov مقادیر مربوط به‌مجموع مواد جامد محلول را می‌توان به‌صورت خطوط هم مقدار نمایش داد(RockWare, 2009) (شکل ۷).

### ۴-۳- بررسی آماری نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی

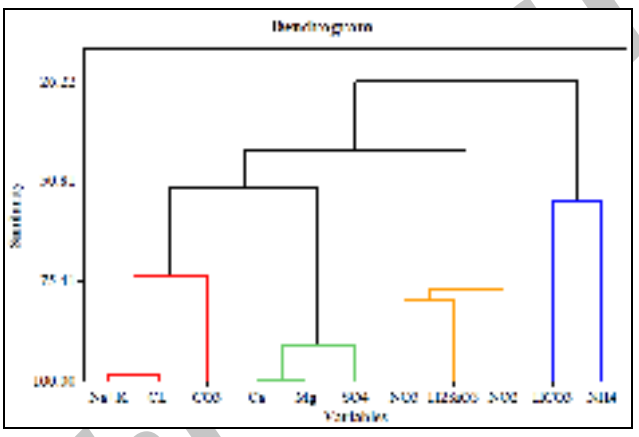
برای نمایش نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای از یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندوگرام استفاده می‌شود. دندوگرام بر اساس تعیین میزان شباهت نمونه‌ها نسبت به هم، نحوه اتصال نمونه‌ها و متغیرها نسبت به هم مشخص می‌شود. خطوط، جدایش خوشه بندی نمونه‌ها نسبت به هم را انجام می‌دهد، خوشه‌بندی بر اساس حداکثر شباهت درون خوشه‌ای و حداقل شباهت بین خوشه‌ای انتخاب می‌شود (هاشمی، ۱۳۷۷). در شکل ۸ بر اساس نمونه‌های هیدروشیمی موجود، به چهار گروه که به سه گروه سه‌تایی و یک گروه دوتایی تقسیم می‌شود. در حالت دیگر، بر اساس اینکه ۱۷ نمونه موجود می‌تواند به‌عنوان متغیر برای خوشه بندی استفاده شود که به سه گروه (خوشه) تقسیم می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



**شکل ۷ :** نمایش دیاگرام پایپر در سمت راست و دیاگرام دورو در سمت چپ



**شکل۸:** دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای آنالیز هیدروشیمیایی

یکی از تکنیک‌های آماری که در ادامه برای گروه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود، تحلیل مولفه‌های اصلی است که با کاهش ابعاد متغیرها، نمایش و گروه‌بندی آن‌ها را آسان می‌کند. این روش تکنیکی است برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که یک دستگاه محور مختصات جدید را تشکیل می‌دهد. اضافه کردن یک مولفه اصلی به مولفه‌های اصلی از قبل انتخاب شده باید بتواند به طور معنی‌داری پراش توجیه شده را افزایش دهد. معنی‌دار بودن این افزایش بستگی به ماهیت موضوع مورد بررسی و قضاوت کارشناسی دارد. در این خصوص می‌توان از نمودار درصد تغییرپذیری تجمعی توجیه شده برحسب تعداد مولفه‌های اصلی استفاده کرد (Kouping and et al., 2001 and Jin Yong and et al., 2001 ). که بر اساس جدول ۱ و شکل ۹ قسمت الف با استفاده از ۷ مولفه کل تغییر پذیری مدل می‌شود و برای ساده‌سازی تنها بررسی ۳ مولفه کافی است.

## ۵- روش‌های زمین‌آماری

زمین آمار مجموعه‌ای از روش‌هایی است که برای مدلسازی متغیرهایی که دارای توزیع فضایی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. توابع زمین‌آماری به منظور تخمین، شبیه‌سازی، طبقه‌بندی و طراحی شبکه بهینه نمونه‌برداری متغیرهای ناحیه‌ای به کار می‌رود. تجزیه و تحلیل ساختاری به‌منظور مدلسازی ساختار فضایی توسط واریوگرام انجام

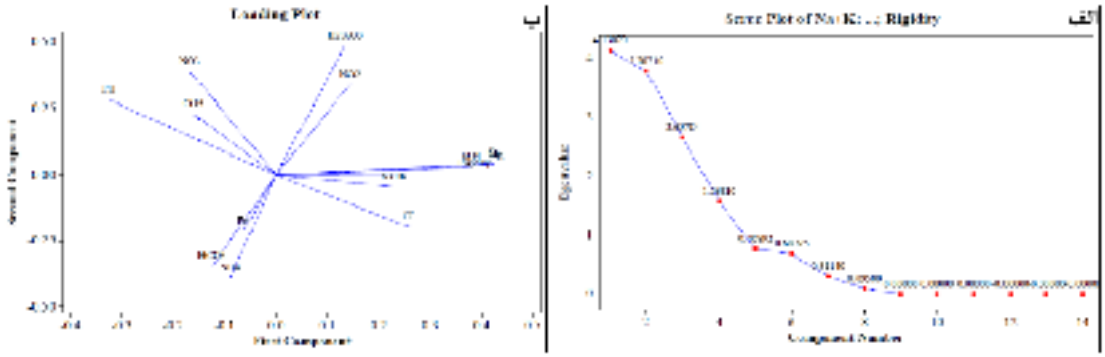
www.SID.ir

می‌گیرد و خروجی مدل واریوگرام در تخمین پارامترها و توزیع خطای مربوط به آن، به کار می‌رود(حسنی پاک، ۱۳۸۰).

**جدول ۱:** درصد تغییر پذیری مجزا وتجمعی توجیه شده بر حسب تعداد مولفه اصلی

| Component | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Eigen value** | 4.1307 | 3.7871 | 2.6578 | 1.5681 | 0.7689 | 0.6809 | 0.3114 | 0.095 |
| **Proportion** | 0.295 | 0.271 | 0.19 | 0.112 | 0.055 | 0.049 | 0.022 | 0.007 |
| **Cumulative** | 0.295 | 0.566 | 0.755 | 0.867 | 0.922 | 0.971 | 0.993 | 1 |

با انجام آنالیز مولفه اصلی، می‌توان را بطه بین عناصر مختلف را بررسی نمود و بر اساس رابطه بین مولفه‌های اولیه و ثانویه می‌توان تعداد گروه‌ها و عناصر مربوط به هر گروه را مشخص نمود که در شکل ۹ قسمت ب نمایش داده شده است.



**شکل ۹:** الف) نمودار درصد تغییر پذیری تجمعی توجیه شده بر حسب تعداد مولفه اصلی، ب) مقایسه امتیازهای مربوط به مولفه اولیه و ثانویه

### ۵-۱- کلیاتی در مورد واریوگرام

واریانس مقدار عناصر بین نقاطی به فاصله $h$ از یکدیگر می‌تواند همبستگی متقابل مقدار دو نقطه به فاصله $h$ را بیان کند. در صورت وجود ساختار فضایی، طبیعی است که وابستگی مقادیر نقاط نزدیک به هم در یک کانسار بیشتر از وابستگی مقادیر نقاط دور از هم می‌باشد. بنابراین چنین واریانسی می‌تواند معیاری برای نمایش تاثیرگذاری و یا تاثیرپذیری مقدار یک نمونه روی مقادیر محیط مجاور خود در کانسار باشد. این واریانس وابسته به فاصله را واریوگرام می‌نامند و با نماد $\gamma(h)$ نشان می‌دهند. با استفاده از رابطه عددی زیر می‌توان مقدار واریوگرام را محاسبه نمود:

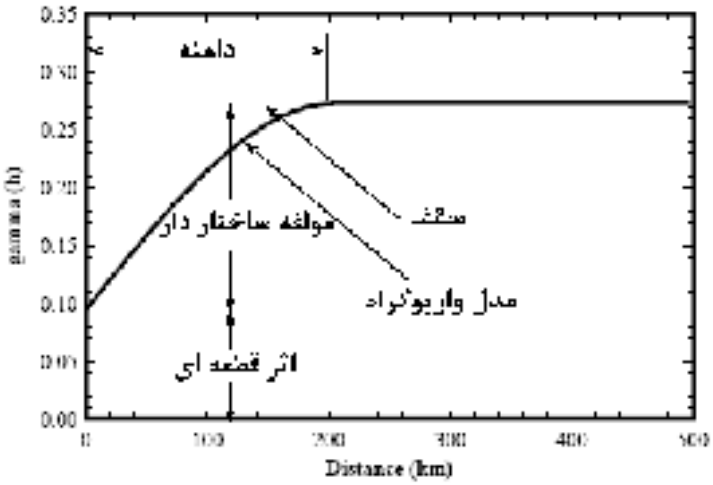
$$2\gamma(h)=\frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x+h)-Z(x)\right]^2 \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق، $h$ فاصله در جهت مشخص بین موقعیت $x+h, x$، $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌ها به فاصله $h$ از یکدیگر، $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام برای فاصله $h$، $Z(x)$ مقدار نمونه در نقطه $x$، $Z(x+h)$ مقدار نمونه در نقطه $x+h$ است.

بدیهی است که دامنه (شعاع تاثیر) بزرگتر، دلالت بر ساختار فضایی گسترده‌تر دارد. همچنانکه $h$ افزایش می‌یابد، مقدار هر واریوگرام از مقادیر کم شروع شده و پس از فراز و فرودهایی ممکن است به‌سمت حد ثابتی میل کند. بنابراین بعضی از واریوگرام‌ها به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسند که بعد از آن هرچه فاصله بیشتر شود مقدار واریوگرام تغییر معنی‌داری نمی‌کند. به این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن تصادفی است سیل یا سقف گفته می‌شود. در شکل ۱۰ قسمت های مختلف یک واریوگرام نشان داده شده است(William, 1997).

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۱۰:** اجزاء تشکیل دهنده واریوگرام (William, 1997)

### ۵-۲- روش کریجینگ

در زمین آمار، روش‌های مختلف تخمین کریجینگ وجود دارد که از آن میان، در بررسی حاضر روش کریجینگ معمولی به‌کار گرفته شده است. در روش کریجینگ معمولی مقدار میانگین مجهول است ولی فرض می‌شود که مقدار آن مستقل از مختصات است. بنابراین برای یافتن میانگین، شرط نا اریب بودن و یا عاری بودن از خطای سیستماتیک را طوری اعمال کرده که میانگین بخشی از جواب مسئله باشد. در این روش، فرض می شود که $Z(x)$ از فرضیات پایای ذاتی پیروی می‌کند و مقدار $E(Z(x)) = \mu$ در جامعه مورد بررسی مقداری نامعلوم باشد. در این روش مقدار تخمین زده شده به‌صورت زیر محاسبه می‌شود(حسنی پاک، ۱۳۸۰).

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(X_i), \sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1 \qquad (۲)$$

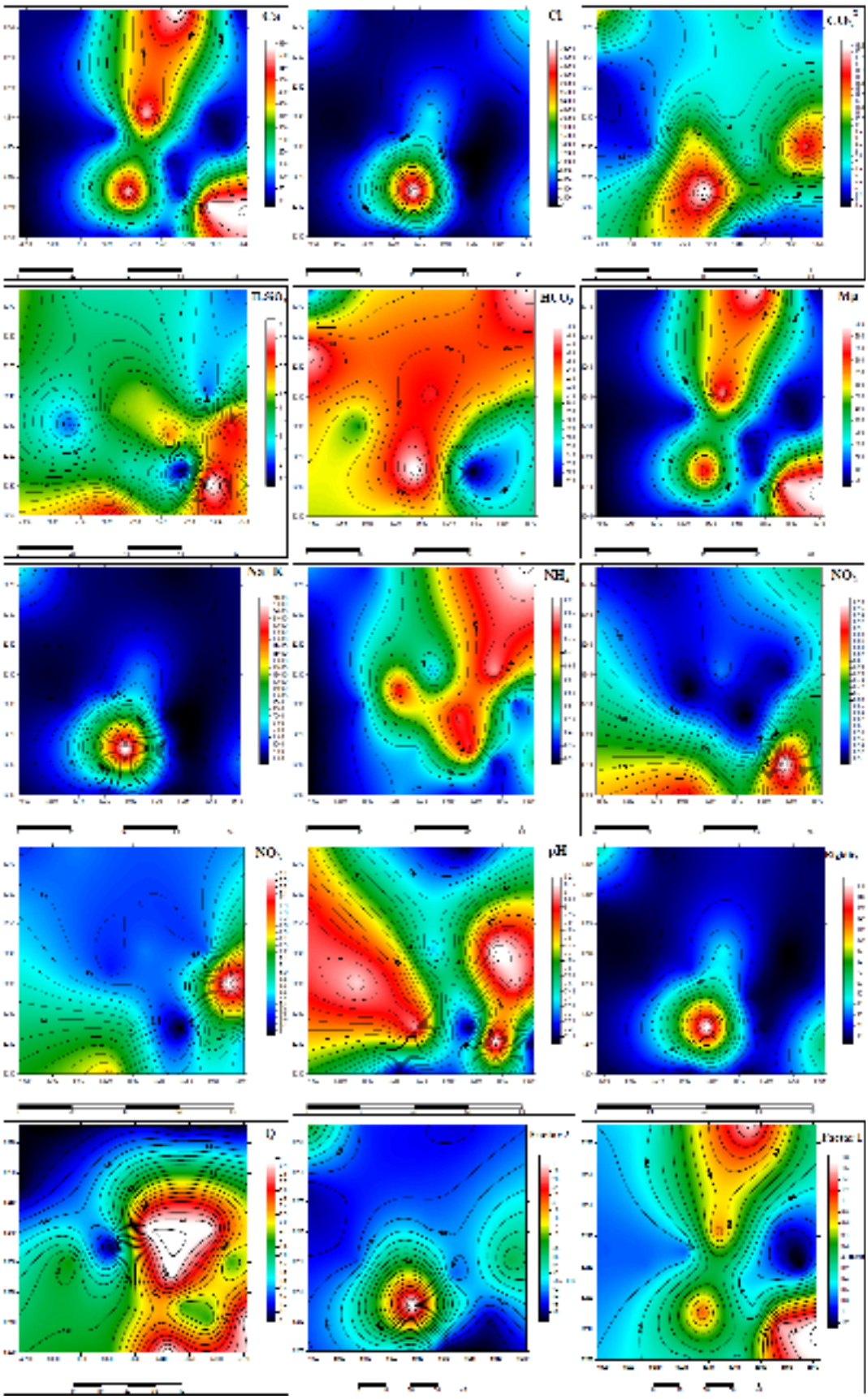
یکی از برتری‌های تخمین‌های زمین آماری از جمله کریجینگ نسبت به‌دیگر تخمین‌گرها، نمایش توزیع خطا در فضای تخمین است. خطای تخمین به‌مقادیر داده‌ها بستگی ندارد، بلکه به‌توزیع فضایی داده‌ها بستگی دارد. خطای تخمین کریجینگ معمولی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{Var}[\hat{Z}(x_0)] = E\left\{(\hat{Z}(x_0) - z(x_0))^2\right\} = 2\lambda_i \gamma(x_0 - x_i) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \qquad (۳)$$

بر اساس هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده، با استفاده از تخمین گر کریجینگ نقشه هم مقدار ترسیم شد. برای مقادیر آبدهی، داده‌ها بر اساس شاخص گذاری ازحالت کیفی به کمی تبدیل می‌شود، نمونه‌های با آبدهی کم، مقدار یک، نمونه‌های با آبدهی متوسط، مقدار دو و نمونه‌های با آبدهی زیاد، مقدار سه می‌گیرند. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که میزان آبدهی از شمال غرب به جنوب شرق افزایش می‌یابد. برای بررسی ارتباطات فضایی مربوط به خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و تعیین ساختار فضایی، از کریجینگ فاکتوری استفاده می‌شود ( Jin Yong and et al., 2001). سپس مقادیر تمام پارامترهای مرتبط، فاکتورهای اول و دوم واریوگرافی شده و با استفاده از کریجینگ مقادیر پارامترها و فاکتور تخمین زده می‌شود (شکل ۱۱).

Archive of SID

www.SID.ir



**شکل ۱۱:** نمایش نقشه‌های هم مقدار پارامترهای مختلف نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی

www.SID.ir

## ۶- نتیجه گیری

برای تقسیم بندی نمونه‌های هیدروشیمی موجود، از دیاگرام‌ها و نمودارهای استیف، پایپر و دورو استفاده شد و از نظر آنیونی کلراید- سولفاتی بوده و از نظر کاتیونی سدیک- پتاسیک بوده است و براساس مجموع مواد جامد محلول خطوط هم مقدار ترسیم شد. کارآیی روش‌های آماری، باعث تمایز این روش‌ها از روش‌های گرافیکی در تقسیم‌بندی گروه‌ها بر مبنای نتایج هیدروشیمی شده است، اگرچه روش‌های گرافیکی اطلاعات با ارزشی درباره خصوصیات شیمیایی گروه‌های مختلف ارائه می‌دهد. بنابراین با ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری می‌توان به‌نتایج ارزشمند و بیشتری درباره گروه‌های تفکیک شده دست یافت. روش‌های آمارهای چند متغیره و خوشه بندی بر روی هر یک از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی و نمونه‌ها اعمال شد و با استفاده از دندوگرام خوشه‌بندی صورت گرفت و براساس روش تحلیل مولفه اصلی، مولفه‌های اصلی تعیین شد. براساس تحلیل ساختاری و با به‌کارگیری تخمین‌گر زمین آماری (کریجینگ) مدل دو بعدی طراحی شد. سپس با استفاده از تعیین تابع شاخص میزان آبدهی نمونه‌ها، مدل دو بعدی کریجینگ شاخص آبدهی ترسیم شد. برای مقادیر آبدهی، داده‌ها بر اساس شاخص گذاری ازحالت کیفی به کمی تبدیل شد و نمونه‌های با آبدهی کم، مقدار یک، نمونه‌های با آبدهی متوسط، مقدار دو و نمونه‌های با آبدهی زیاد، مقدار سه گرفته، که این مطالعات نشان داد که میزان آبدهی از شمال غرب به جنوب شرق منطقه افزایش می‌یابد. سپس مقادیر پارامترها و فاکتورهای اول و دوم را واریوگرافی و با استفاده از کریجینگ مقادیر فاکتور تخمین زده می‌شود.

## منابع


۱. بهنام، ا.، ۱۳۸۷. کلاسترینگ داده‌های هیدروشیمیایی معدن گل‌گهر سیرجان با استفاده از روش‌های گرافیکی و آمار کلاسیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، دانشگاه یزد.

۲. حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۸۰. زمین آمار؛ انتشارات دانشگاه تهران.

۳. دهقانی، ع.، ۱۳۷۲. نگاهی اجمالی به کانسار چغارت انتشارات شرکت ملی فولاد ایران.

۴. دهقانی، ع.، ۱۳۸۷. بررسی منشا آبهای مزاحم در معدن چغارت و راه حل آن بخش زمین شناسی معدن چغارت.

۵. مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۶۹. گزارش مطالعات زمین شناسی کانسار های چغارت- چاه گز- سه چاهون.

۶. هاشمی، س.ن.، ۱۳۷۷. پهنه‌بندی تکتونیکی ایران با استفاده از روش آماری آنالیز خوشه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی ساختمانی، دانشگاه شیراز.

7. Guler, C. and McCray, J.E., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology journal 10, P 455-474.
8. Jin Yong, Lee and Jeong Yong, Cheon; Kang Kun, Lee; 2001. Statistical Evaluation of Geochemical Parameter Distribution in a Ground Water System Contaminated with Petroleum Hydrocarbons , J. Environ, P:1548-1563.
9. Kouping Chen, Jiu J. Jiao; Jianmin Huang; 2001. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China , Elsevier journal, P: 771-780.
10. RockWare, Inc, 2009. RockWorks plotting software. ; Golden, Colorado.
11. William L. Wingle, 1997. Evaluating Subsurface Uncertainty Using Modified Geostatistical Techniques, Degree of Doctor of Philosophy (Geological Engineer), Colorado School of Mines.


Archive of SID

www.SID.ir