

کاربرد روش سلول عصبی و سنجش از دور در محیط GIS در تهیه نقشه‌های ژئوشیمیائی اکتشافی در منطقه بانه کردستان، غرب ایران

محمد یزدی^(۱*)، محسن غلامی^۲، روشنگ درویش‌زاده^۳، عباس مقصودی^۴، افشین اکبرپور^۵،
سامر ادیب‌پور^۶

- ۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
- ۳- استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی.
- ۴- استادیار، گروه اکتشاف، دانشکده معدن، دانشگاه امیر کبیر.
- ۵- کارشناس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۶- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲

چکیده

در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی (پس انتشار خطا) و تصاویر ماهواره‌ای (جهت تعیین دگرسانی‌ها در منطقه) در محیط GIS جهت تعیین مناطق دارای آنومالی کروم در منطقه بانه (استان کردستان) استفاده شد. تصاویر لندست TM (مربوط به تاریخ ۲۰۰۲/۱۱) برای استخراج داده‌های ورودی جهت تعیین دگرسانی‌ها در منطقه استفاده شد. دگرسانی‌های اکسیداسیون و پیریتی منطقه با استفاده از تصاویر سنجش از دور (با استفاده از نسبت‌های بانندی $1+2+3+4$ و $2-3+4+8$) و به کمک مشاهدات صحرایی و مقاطع نازک برداشت شده از منطقه و تطبیق آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. داده‌های جمع‌آوری شده، بعد از انجام تحلیل‌ها و پیش پردازش‌های لازم، برای ورود به شبکه آماده گردیدند. سلول عصبی مورد استفاده، حاوی ۴ عصب در لایه اول، ۵۰ عصب در لایه دوم و ۱ عصب در لایه خروجی می‌باشد. با استفاده از شبکه مذکور نقشه پتانسیل معدنی کروم با دقت بالایی در حدود ۸۶٪ (نسبت به داده‌های زمینی برداشت شده) تخمین زده شد. این روش، روشی داده مینا بوده (داده‌ها به صورت عددی می‌باشند) و در مقایسه با روش‌های مرسوم (دانش مینا)، دارای مزایای بیشتری است. نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سلول‌های عصبی مصنوعی می‌تواند در تهیه نقشه پتانسیل معدنی نقش به‌سزایی ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: نقشه‌های ژئوشیمیائی، سلول عصبی، سنجش از دور، بانه، غرب ایران.

مقدمه

دو گروه دانش مینا و داده مینا تقسیم می‌شود که در این پژوهش از روش داده مینا استفاده شده است. در سلول عصبی، داده‌ها باید به صورت عددی باشند و در صورتی که تغییرات آن‌ها کم باشد، عملکرد شبکه بهتر خواهد بود. در حالی که در محیط زمین‌شناسی اغلب داده‌ها غیر عددی‌اند و در قسمت‌هایی حتی

استفاده از فناوری سنجش از دور و GIS محیطی را فراهم آورده است که در آن امکان بررسی و استخراج نقاط دارای آنومالی با استفاده از فرمت‌های مختلف داده‌ها وجود دارد (Bur-rough and McDonnell, 1998). روش تعامل داده‌ها در GIS به

* نویسنده مرتبط m-yazdi@sbu.ac.ir

داده‌ای وجود ندارد (Hyun-Joo and Lee, 2010). نقشه‌های پیش‌بینی شده کیفی می‌توانند با استفاده از کدگذاری به نقشه‌های پیش‌بینی شده عددی تبدیل شوند. در مدل‌سازی پتانسیل معدنی، محل اندیس‌های شناخته شده و محل‌های فاقد ذخیره بردارهای هدف می‌باشند که مقادیر ۱ برای نشان دادن حضور ذخیره معدنی و مقادیر صفر برای نمایش عدم حضور ماده معدنی بکار می‌رود. در این زمینه مطالعات متعددی انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Hyun-Joo and Lee (2010) از سلول عصبی پس انتشار خطا (ANN: Artificial Neural Network) برای ترسیم نقشه پتانسیل معدنی نهشته‌های گرمابی طلا-نقره در کره جنوبی استفاده کردند. در این مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی آنومالی مغناطیسی، داده‌های زمین‌شناسی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰۰ منطقه، گسل و داده‌های ژئوشیمیایی به عنوان لایه‌های ورودی در نظر گرفته شدند. دقت به دست آمده از این روش، حدود ۷۳٪ بود.

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

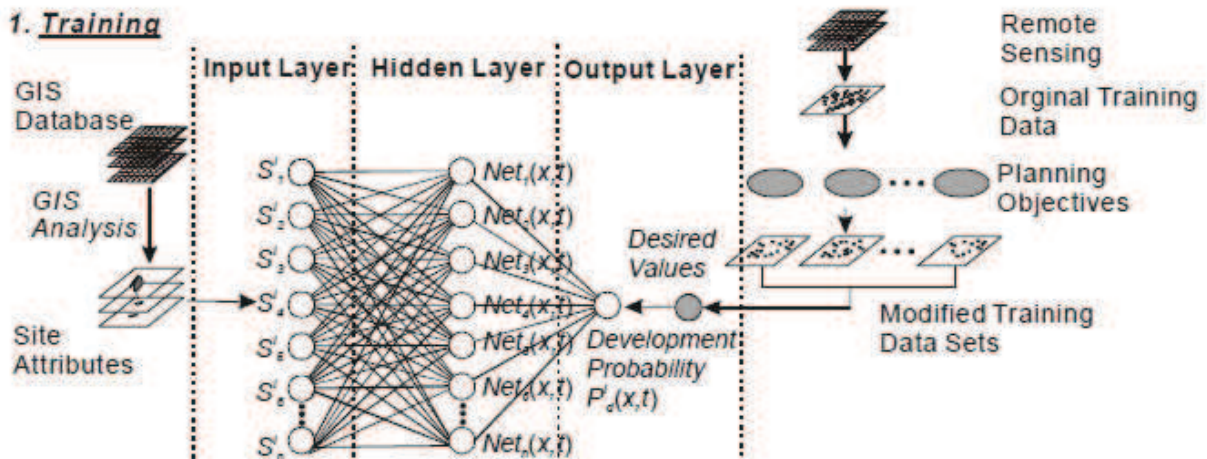
مشابه با نورون‌های زیستی، یک سلول عصبی مصنوعی متشکل از فرآیند‌های پردازشی متصل به هم و واحدها یا نورون‌های مرتب شده در لایه‌ها می‌باشد (Hassoun, 1995; Tettamanzi and Tomassini, 2001; Arce-Medina and Paz-Paredes, 2009). هر عصب یا لایه در سلول عصبی مصنوعی یک ماتریس یا متغیر مخصوص را نشان می‌دهد که روابط میان ورودی‌های انتخاب شده و خروجی‌ها را بر اساس یک فرآیند تکراری و انطباقی که آموزش نامیده می‌شود، بدست می‌آورد. آموزش بوسیله سلول عصبی یک فرآیند انطباقی را که با نورون‌های مختلف مرتبط است برای حداقل کردن اختلاف بین خروجی شبکه و خروجی ایده آل فراهم می‌کند (Birkett and Masson, 1995). مدل پیشنهاد شده متشکل از دو بخش آموزشی و شبیه‌سازی می‌باشد. آموزش، مبتنی بر الگوریتم پس انتشار خطا است که می‌تواند وزن‌های بهینه را از مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی تهیه کند که در آن از یک شبکه ۳ لایه استفاده شده است (شکل ۱).

Rigol Sanches et al. (2002) از سلول عصبی پس انتشار خطا و GIS به عنوان ابزاری جهت رسم نقشه‌های آنومالی طلا در شمال شرق اسپانیا استفاده کرد. آن‌ها از لایه‌های اطلاعاتی داده‌های ژئوشیمیایی PC1 و داده‌های ژئوشیمیایی PC3، فاصله از گسل، نسبت بانندی ۵/۷ تصویر ماهواره‌ای TM، نسبت بانندی ۳/۱ تصویر ماهواره‌ای TM، آنومالی گرانشی و آنومالی مغناطیسی به عنوان لایه‌های ورودی استفاده نمود. دقت بدست آمده بوسیله این روش ۸۰٪ می‌باشد.

لایه‌های ورودی معمولاً قبل از این که به درون شبکه عصبی

جدول ۱. انواع نهشته‌های استفاده شده و تعداد نمونه‌های برداشت شده از آن‌ها (Singer and Kouda, 1988).

تعداد نمونه	نوع نهشته‌ها	تعداد نمونه	نوع نهشته‌ها
۲۵	جایگزینی پلی متالیک	۱۹	باریت لایه‌ای
۴۸	رگه‌های پلی متالیک	۱۲	سولفید توده‌ای بشی
۷۵	مس پورفیری	۱۶	اسکارن مس
۲۵	مولیدن پورفیری با آهن کم	۴۹	سولفید توده‌ای کوپروس
۲۱	منگنز جایگزین شده	۱۰	طلا-نقره منتشر شده دیستال
۵۲	قلع با میزبان ریولیتی	۲۱	منگنز اپی ترمال
۲۷	طلا با میزبان رسوبی	۳۲	طلا-نقره آلونیت کوارتز اپی ترمال
۳۶	سرب-روی اگزالاتیو رسوبی	۷۵	طلا-نقره ادولاریا کوارتز اپی ترمال
۵۰	جیوه کربنات-سیلیکات	۵۰	اسکارن آهن
۵۰	سرب خالص	۵۰	منگنز فرانسسیسکن
۲۲	مگنتیت با میزبان آتشفشانی	۱۲	طلا-نقره چشمه داغ
۲۸	اسکارن تنگستن	۳۹	جیوه چشمه داغ
۱۲	رگه‌های تنگستن	۵۰	ماسیو سولفید کوروکو
۲۶	اسکارن سرب-روی	۷۵	رگه کوارتز-طلا با سولفید پایین



شکل ۱. مدل یک ساختار شبکه عصبی (Birkett and Mason, 1995)

با دستور تحلیلی^۲ (IDW) به فرمت GRID با ابعاد پیکسل ۳۰*۳۰ مترمربع برای بدست آوردن مقادیر عناصر در سایر نقاط تبدیل شده‌اند. نقشه‌های حاصل سپس با استفاده از دستور Raster Calculator به دامنه بین ۰ و ۱ ارزش‌گذاری شدند. یک اصل مهم در سلول‌های عصبی، طراحی ساختار شبکه می‌باشد. طراحی ساختار شبکه به تعداد لایه‌ها و نوروں‌ها در هر یک از لایه‌ها مربوط می‌باشد. از این رو، استفاده از یک شبکه ۳ لایه برای آموزش مطلوب می‌باشد که لایه ورودی دارای ۴ عصب و لایه‌های میانی و خروجی به ترتیب دارای ۵۰ و ۱ عصب متناظر با دو متغیر مورد نظر می‌باشد. سپس ۱۰۳ نقطه اندازه‌گیری شده زمینی به سه دسته آموزشی، تعلیمی و آزمونی به ترتیب به نسبت‌های ۷۰-۱۰-۲۰ درصد تقسیم شدند. فرآیند آموزش شبکه با استفاده از داده‌های آموزشی در محیط MATLAB انجام گرفت. دقت آموزش شبکه با استفاده از داده‌های آزمون بدست آمد. پس از فرآیند آموزش، وزن‌های بهینه برای هر یک از نقاط بدست آمد که این وزن‌ها برای شبیه‌سازی ۳۰۶۱ نقطه که به صورت تصادفی از منطقه استخراج شد. دقت‌های بدست آمده برای آموزش، آزمون و اعتبار سنجی، به ترتیب ۸۲٪، ۸۶٪ و ۹۵٪ می‌باشد که برای همگی آن‌ها دقت بالایی می‌باشد (شکل ۷).

زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان کردستان، پنج کیلومتری جنوب شرقی شهر بانه، بین طول‌های جغرافیایی ۴۵،۳ تا ۴۵ درجه شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵،۳۰ تا ۳۶ درجه جنوبی واقع شده است (شکل ۲). بزرگ مقیاس‌ترین نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بانه (فونونی، ۱۳۸۱) می‌باشد که محدوده مورد بررسی در بخش شمال شرقی این نقشه واقع شده است. در شکل ۲، نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی به همراه چهارچوب منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. محدوده

وارد شوند بین فاصله [۰،۱] ارزش‌گذاری می‌شوند. ارزش‌گذاری متغیرها باعث می‌شود که هر یک از آنها به عنوان ورودی سلول عصبی دارای اهمیت یکسانی باشند و آن‌ها را برای تابع فعال سازی sigmoid که مقادیری بین ۰/۱ تا ۱/۰ دارند سازگار می‌کند. برای این منظور از تابع خطی (فرمول) زیر استفاده شده است (Birkett and Mason, 1995):

$$S'_i = (S_i - \text{minimum}) / (\text{maximum} - \text{minimum})$$

در شبکه عصبی، سیگنال دریافت شده بوسیله عصب i لایه میانی از لایه ورودی نخست برای سلول x مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$net_i(x, t) = \sum_j W_{i,j} S'_j(x, t)$$

که x یک سلول، $net_i(x, t)$ سیگنال دریافت شده برای عصب i از سلول x در زمان t ، وزن از عصب j به عصب i و $S'_j(x, t)$ توصیفات مکانی برای متغیر j می‌باشد.

فعال‌سازی برای لایه میانی عبارت است از:

$$P_d(x, t) = \frac{1}{1 + e^{-net_j(x, t)}}$$

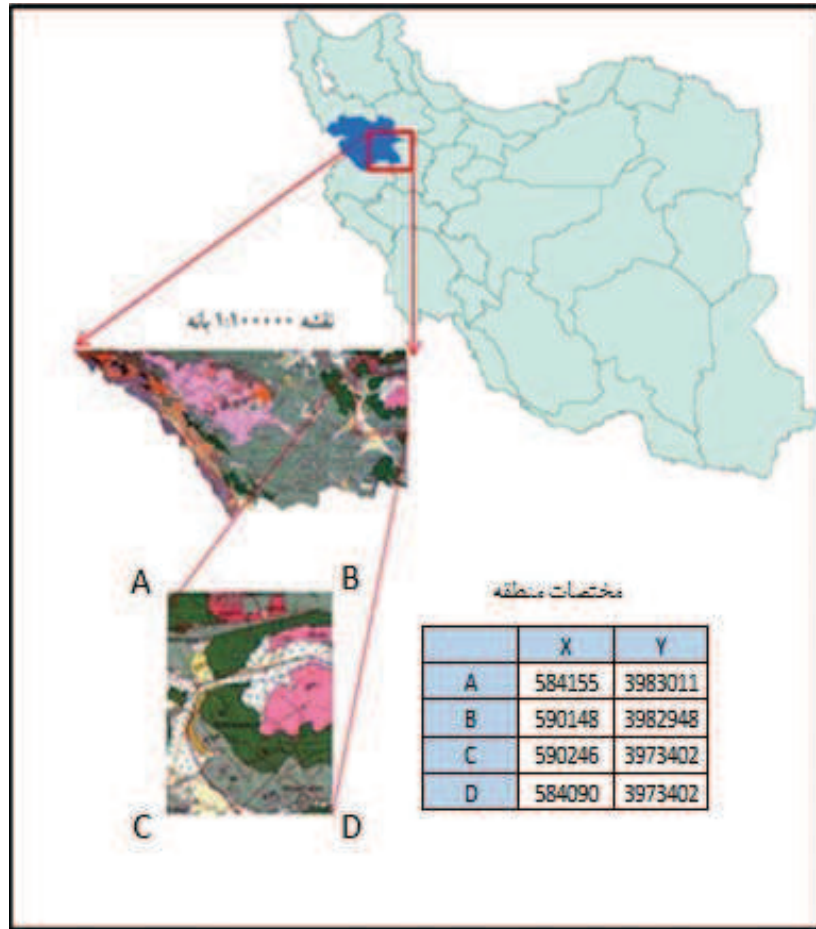
در نهایت، مقدار خروجی برای هر سلول بوسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$P_d(x, t) = \sum_i W_i \frac{1}{1 + e^{-net_j(x, t)}}$$

آموزش و شبیه‌سازی

داده‌های آموزشی برای تخمین مقادیر کروم، با جمع‌آوری داده‌های ژئوشیمیایی، استخراج نقشه گسل منطقه و نقشه لیتولوژی از طریق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، دگرسانی‌های اکسیداسیون و پیریت، نقشه ارتفاعی بوسیله مدل رقومی^۱ (DEM) با دقت ۳۰ متر به دست آمده است. داده‌های ژئوشیمی جمع‌آوری شده، سپس به فرمت نقطه وارد محیط ARC/INFO گردید. سپس

1. Digital Electric Model
2. Invers Distance Weighting



شکل ۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی)

که دارای زوج‌های اکسیداسیون - احیاء هستند، نظیر اورانیوم و منگنز تحت تاثیر قرار می‌دهند (شهاب‌پور، ۱۳۸۲).

$2KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + O_2 = 2KAlSi_3O_8 + 2Fe_3O_4 + 2H_2O$
پیریتی شدن و تشکیل پیریت در نتیجه وارد شدن گوگرد و هجوم آن به اکسیدهای آهن و یا کانی‌های مافیک است (شهاب‌پور، ۱۳۸۲).

$2KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 6S_2 = 2KAlSi_3O_8 + 6FeS_2 + 2H_2O + 3O_2(g)$

دگرسانی‌های موجود در منطقه، با استفاده از نسبت‌های بانندی $(۳+۴/۳+۲+۱)$ و $(۴+۸/۲-۱+۳)$ (به ترتیب برای اکسیداسیون و پیریتی شدن) استخراج شده‌اند (شکل ۳).

مواد و روش‌ها

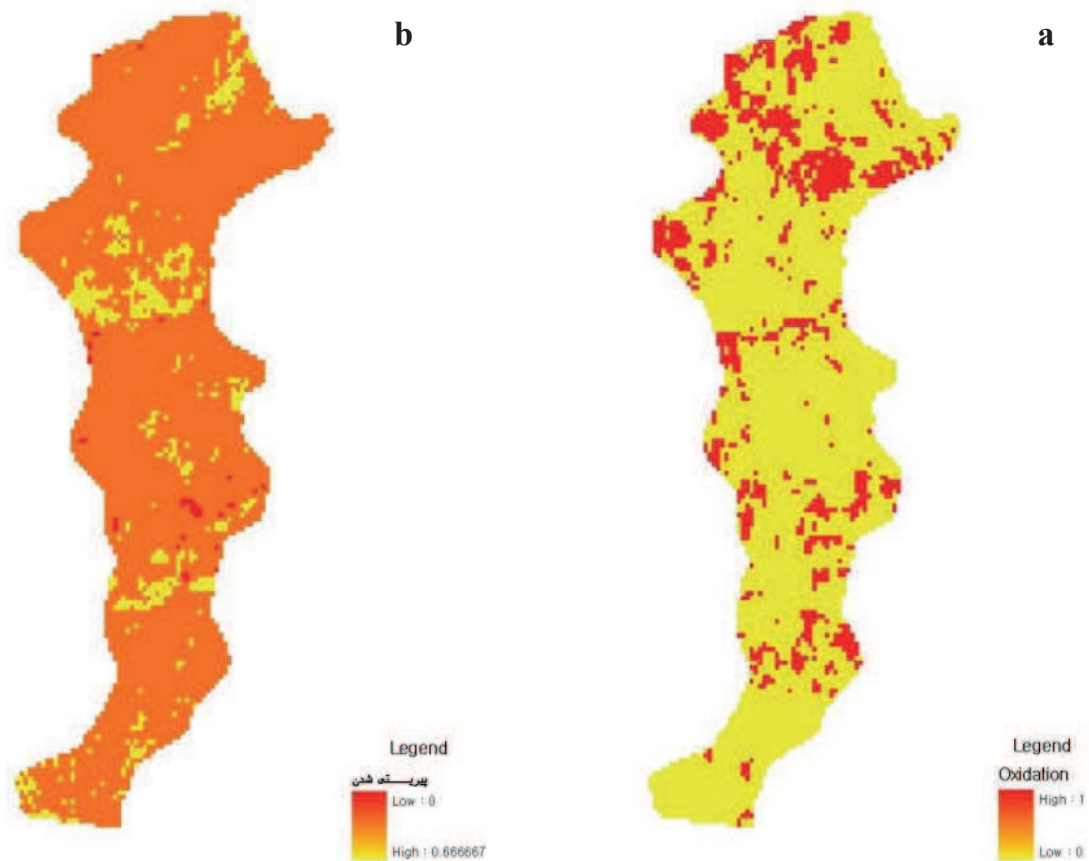
روش نمونه‌برداری

نخست با بررسی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ محدوده (به علت موجود نبودن نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی)، حوضه‌های آبریز بررسی و سیستم آبراهه‌ها تکمیل گردید. سپس با استفاده از نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ محدوده (فونونی، ۱۳۸۱)، با در نظر گرفتن واحدهای سنگی مستعد کانی‌سازی، توده‌های نفوذی، همبریی‌های مهم، سیستم‌های گسلی، نقشه ژئومغناطیس هوایی و

ورقه بانه از دیدگاه تقسیم بندی‌های زمین ساختاری در زون سندج - سیرجان (Stocklin, 1968) جای گرفته است. کهن‌ترین سنگ‌های محدوده مورد مطالعه، سنگ آهک‌های پرمین هستند که در شمال محدوده رخنمون یافته‌اند. سپس فیلیت و سنگ آهک‌های کرتاسه رخنمون می‌شوند که بیشترین گستره منطقه را می‌پوشانند. ترشیری با ائوسن آغاز شده و شامل سنگ‌های ولکانیک، شیل - ماسه‌سنگ و آهک است. الیگومیوسن شامل واحدهای مارنی و آهکی پرفسیل و میوسن با ترکیب ماسه‌سنگی و کنگلومرایی همانند ژوراسیک است که با همبریی گسله در کنار آن رخ می‌نماید. سرانجام واحدهای تخریبی کواترنر در منطقه نمایان می‌شوند. توده‌های با ترکیب گابرو - دیوریتی تا گرانیتی، طی فازهایی در سنگ‌های پیرامون خود نفوذ کرده‌اند.

دگرسانی‌های منطقه

از جمله دگرسانی‌های مهم منطقه، دگرسانی اکسیداسیون و پیریتی شدن (سولفیدی شدن) می‌باشد که پس از پیش پردازش‌های لازم بر روی تصویر ETM، با استفاده از نرم‌افزار ERDAS (با استفاده از نسبت‌های بانندی $۳+۴/۳+۲+۱$ و $۴+۸/۱+۳-۲$) استخراج گردید. واکنش‌های اکسیداسیون عمدتاً ترکیبات آهن و ترکیبات گوگردی و هم چنین سیستم‌هایی را



شکل ۳. (a) نقشه دگرسانی اکسیداسیون (استخراج شده از تصویر ETM+)، (b) نقشه دگرسانی پیریتی شدن (استخراج شده از تصویر ETM+). جهت شمال در نقشه‌ها به سمت بالا است.

تجزیه ۴۴ عنصری توسط دستگاه ICP-OES به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال گردید (غلامی، ۱۳۹۰).

در تحقیق حاضر، عنصر کروم (به علت اهمیت اقتصادی و هم چنین مورد توجه قرار نگرفتن در مطالعات پیشین) به عنوان عنصر هدف انتخاب شده است. نتایج آماری کروم در جدول شماره ۲ ارائه می‌شود.

در این تحقیق از هشت متغیر زیر به عنوان لایه ورودی شبکه عصبی جهت شبیه‌سازی نقشه کروم استفاده شد.

- نقشه لیتولوژی. سنگ‌های منطقه بر اساس سیلیسیم و کلسیم و آلومینیوم به دو دسته کلی تقسیم شدند. سنگ‌های موجود در منطقه شامل سنگ‌های آذرین و رسوبی (آهکی و رسوبات آبرفتی عهد حاضر) می‌باشند. چون کروم در ارتباط با سنگ‌های آذرین می‌باشد به سنگ‌هایی که دارای سیلیسیم و آلومینیوم، کد ۱ و به سنگ‌هایی که دارای کلسیم هستند، کد داده شد (شکل ۴).
- دگرسانی پیریتی (در بالا توضیح داده شد).
- دگرسانی اکسیداسیون (در بالا توضیح داده شد).
- فاصله از گسل (استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بانه). گسل‌ها یکی از راه‌هایی هستند که هم

بررسی شواهد موجود در آن از جمله گسل‌های پنهان و وضعیت توده‌های نفوذی نیمه عمیق سرانجام طراحی نمونه‌برداری انجام شد. پس از طراحی شبکه نمونه‌برداری، نقشه‌های توپوگرافی جهت رقومی شدن محل نمونه‌ها اسکن شده و آبراهه‌ها، جاده‌ها و روستاها ترسیم گردیدند و موقعیت نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc view مشخص و در سیستم مختصات UTM تهیه و در GPS ذخیره شد. پس از طراحی محل نمونه‌ها، گروه نمونه‌برداری با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و مختصات ثبت شده در GPS نمونه‌ها را برداشت نموده و پس از مراحل آماده‌سازی صحرائی در کیسه‌های مناسب و دو لایه ریخته و شماره آن‌ها به صورت برجسب و هم‌چنین به صورت اتیکت درون نمونه‌ها ثبت شدند. در نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای که به طور عمده دارای اجزای آواری می‌باشند، الک کردن رسوبات و برداشت اجزایی در اندازه مناسب امری ضروری است. این اندازه معمولاً براساس تجربه در کارهای ژئوشیمیایی انجام پذیرفته یا در حال انجام در کشور، ۸۰ مش در نظر گرفته شد. مقدار رسوب برداشت شده با این اندازه در حدود ۲۵۰-۳۰۰ گرم می‌باشد. پس از انتقال این نمونه‌ها به آزمایشگاه مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها شامل خشک نمودن، حذف مواد آلی، پودر کردن تا اندازه ۲۰۰ مش و موارد دیگر انجام و پس از نگهداری نیمی از نمونه به عنوان شاهد و مابقی آن جهت

جدول ۲. داده‌های آماری کروم (حاصل از آنالیز ۴۴ عنصری دستگاه ICP-MS سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).

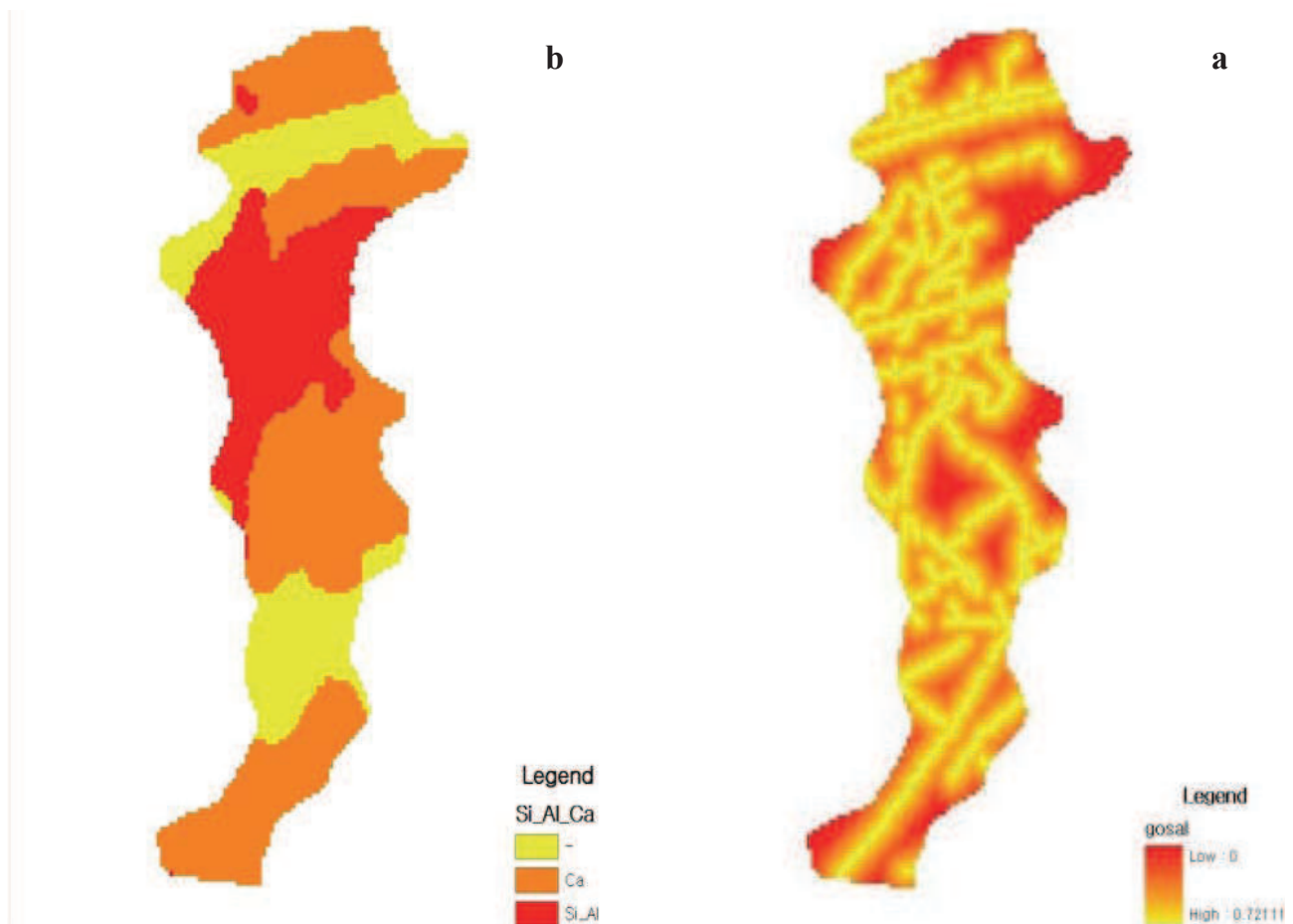
Statistics			
Cr			
N	Valid		103
Mean	4.5	Std. Error of Skewness	0.2
Median	4.68	Kurtosis	-0.7
Mode	3.97	Std. Error of Kurtosis	0.47
Std. Deviation	0.51	Minimum	3.219
Variance	0.266	Maximum	5.919
Skewness	-0.276	Sum	463.86

سنگ‌های دارای کانی‌سازی در آبراهه‌ها بیشتر از سایر نقاط بوده و با بیشتر شدن فاصله از آبراهه احتمال یافتن کانی‌سازی و منشا آن مشکل‌تر می‌شود (شکل ۶).

- نقشه ارتفاعی (در قسمت آموزش و شبیه‌سازی توضیح داده شده است) (شکل ۶).
- نقشه درون‌یابی شده کروم (در قسمت آموزش و شبیه‌سازی توضیح داده شده است) (شکل ۷).

سیالات گرمابی به سطح زمین راه پیدا می‌کنند و هم اینکه باعث جوشش اولیه و در نتیجه ته‌نشین شدن فلزات می‌شوند (Laurence, 2005) (شکل ۴).

- مقدار کروم در ۱۰۳ نقطه (حاصل از آنالیزهای رسوب آبراهه‌ای، شکل ۵) (در بالا توضیح داده شد).
- فاصله از آبراهه. نمونه‌ای از آبراهه‌ها برداشت می‌شود، نماینده بالادست خود می‌باشد بنابراین احتمال وجود



شکل ۴. (a) نقشه فاصله از گسل، (b) نقشه لیتولوژیکی منطقه (طبقه‌بندی شده براساس Si, Al و Ca). جهت شمال در نقشه‌ها به سمت بالا است.



شکل ۵. موقعیت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برداشت شده در منطقه.

به روش دانش مبنا (روش‌های مرسوم ژئوشیمی) از دقت بالاتری برخوردار است. در روش‌های مرسوم ژئوشیمی بسیاری از داده‌ها (مثل فاصله از گسل) را نمی‌توان تاثیر داد چون این گونه داده‌ها، اطلاعات عددی و کمی هستند. این تحقیق را می‌توان به عنوان تکمیل‌کننده‌ای بر کارهای پیشین در نظر گرفت چون هم از بعضی لایه‌ها به عنوان لایه‌های ورودی استفاده شده که در مطالعات پیشین استفاده نشده و هم اینکه عنصر هدف دیگری به کار گرفته شده است که در پایان هم نقشه آنومالی کروم با دقت بالاتری نسبت به برخی کارهای پیشین به دست آمد.

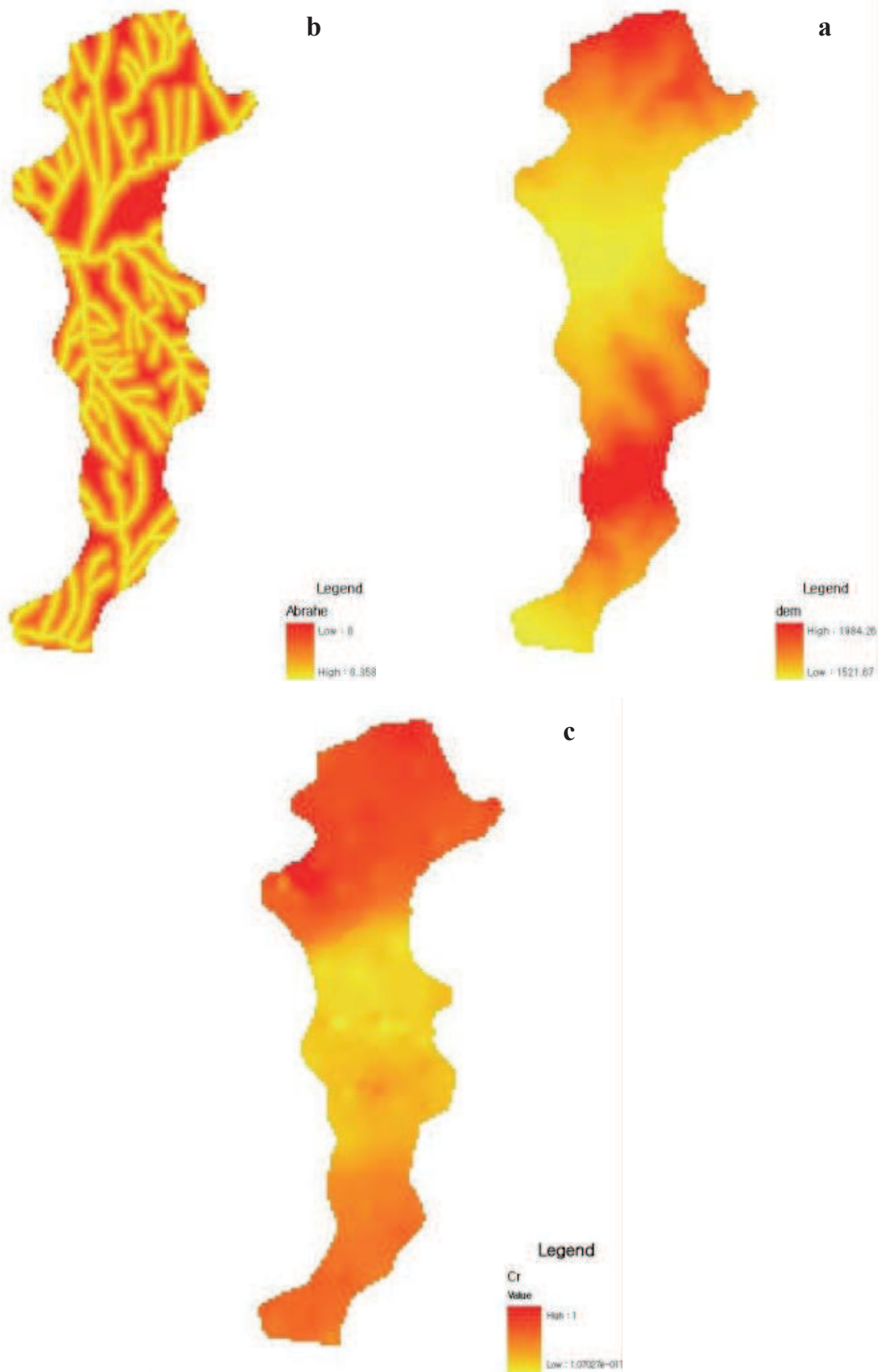
منابع

- شهاب‌پور، ج.، ۱۳۸۲. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۴۶۲.
- فنونی، م.، ۱۳۸۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بانه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- غلامی، م.، ۱۳۹۰. اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در منطقه بانه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۳.

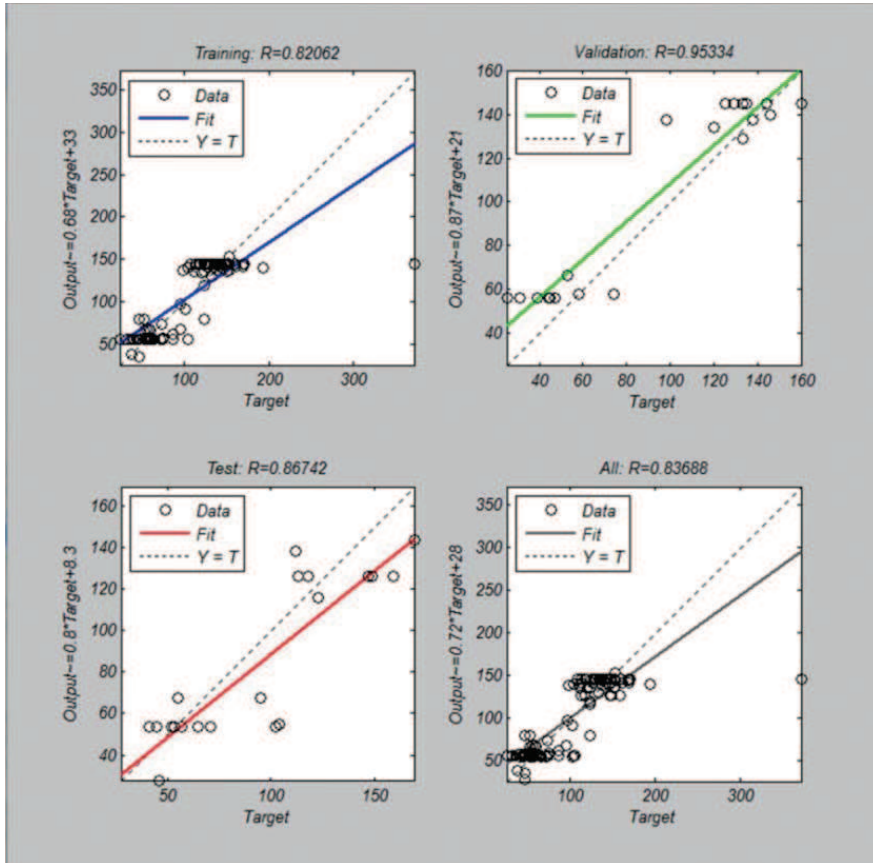
- محاسبه دقت فرآیند آموزش و به دست آوردن وزن‌های بهینه برای شبیه‌سازی مقادیر عنصر کروم در سایر نقاط مطالعاتی (شکل‌های ۶ و ۷)

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی در مجموع مبنی بر سلول‌های عصبی بوده، که طی آن فرایند آموزش با استفاده از داده‌های آموزشی صورت گرفت. سپس دقت آن را با استفاده از داده‌های آموزشی، تعلیمی و آزمون درون شبکه اندازه‌گیری نمود. برای داده‌های آموزشی، ۸۲٪ داده‌های اعتبار سنجی، ۸۶٪ و برای داده‌های آزمون، ۹۵٪ می‌باشد. در نهایت دقت کلی ۹۰٪ برای منطقه بدست آمد. بعد از فرایند آموزش و بدست آمدن وزن‌های بهینه، این وزن‌ها برای شبیه‌سازی مقادیر عنصر کروم در سایر نقاط منطقه مطالعاتی بکار گرفته شد (شکل ۸). این تصویر بیان‌کننده این مطلب است که قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه، آنومالی نشان می‌دهند. در مقایسه، روش بکار گرفته شده در این تحقیق با شیوه‌های قدیمی و مرسوم در انجام پژوهش‌های مشابه، مزیت‌ها و برتری روش حاضر را نسبت به روش سابق نشان می‌دهد. همچنین به روشنی معلوم می‌گردد که روش داده مبنا (سلول عصبی) نسبت



شکل ۶. (a) نقشه ارتفاعی (b)، (DEM) نقشه فاصله از آبراهه (c) لایه درونیابی شده غلظت یون کروم. جهت شمال در نقشه‌ها به سمت بالا است.



شکل ۷. دقت‌های بدست آمده برای داده‌های آموزشی، تعلیمی و آزمونی



شکل ۸. نقشه درون یابی شده عنصر کروم براساس لایه‌های ورودی به شبکه عصبی. جهت شمال در نقشه‌ها به سمت بالا است.

- Arce M. and Paz P. E., J.I., 2009. Artificial neural network modeling techniques applied to the hydrodesulphurization process. *Mathematical and computer modeling*, 49, 207-214.
- Birkett, C. M. and Mason, I. M. 1995. A new global lakes database for a remote sensing Program studying Climatically Sensitive large lakes. *Journal of Great lakes research*. 21 (3), 307-318.
- Burrough. P. A., and Mc Donnell, R. A., 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. 332.
- Crosta, A. P., and Moore, J. M., 1989. Geological mapping using Landsat Thematic Mapper imagery in Almeria Province, south-east Spain. *International Journal of Remote Sensing*. 10, 505-514.
- Hausson. M.H. 1995. Fundamentals of artificial neural network. MIT press, Cambridge, 37.
- Hyuo-Joo O. and Lee S., 2010. Application of Artificial neural network for Gold-Silver Deposits Potential Mapping: A Case Study of Korea, *Handbook*, 22.
- Journel, A. G., and Huijbregts, C. G., 1978. *Mining Geostatic*. New York Academic Press. 3-33.
- Laurence R., 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes*, John Wiley & Sons, 572.
- Porwal A., C. E. and Hale J.M. M. 2003. Artificial neural network for mineral potential mapping. 155-171. *Natural Resources Research*, Vol. 12, Issue 3, 155-171.
- Rigol-Sanchez J.P., Chica-Omlo M. and Abarca-Hernandez F., 2002. Artificial neural network as a tool for mineral potential mapping with GIS, *Handbook*, 6.
- Singer. D.A. and Kouda, R. 1988. Integrating spatial and frequency information in the search for Kuroko deposits of the Hokuroku District, Japan. *Economic Geology*, 1988, 83, 18-29.
- Singer, D.A., and Kouda, R. 1996. Application of a feed forward neural network in the search for Kuroko deposits in the Hokuroku district, Japan. *Hermetical Geology*, 28, 1017-1023.
- Stocklin. J., 1968. Structural history and tectonics of Iran; A review, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Tettamamzi. A. and Tommassini. M., 2001. *Soft computing: integrating evolutionary, neural and fuzzy systems*. Springer-Verlag, Berlin, 327.