

پتانسیل یابی کانی سازی مس با استفاده از شبکه عصبی فازی در محیط GIS

مهدی شبانکاره^۱؛ نادر فتحیان پور^۲؛ سید حسن طباطبایی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان و عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی واحد صنعتی

اصفهان، shabankareh@mi.iut.ac.ir

۲،۳- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در علوم مرتبط با زمین به دلیل حضور عدم قطعیت بسیار بالا که خود نتیجه پدیده های گوناگون و گاهی ناشناخته زمین شناسی در یک منطقه است، استفاده از مدل هیبریدی نروفازی، به دلیل اینکه، این مدل تلفیقی از دانش و داده است، بسیار مناسب است. در این مطالعه منطقه نائین- کاشان که بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر است و تعداد زیادی کانسارهای فلزی و غیرفلزی را در خود جای داده، به عنوان منطقه هدف در نظر گرفته شده است. این منطقه از لحاظ زمین شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیک هواپردی با هدف پتانسیل کانسار مس مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه این بررسی ها تهیه هفت لایه اطلاعاتی است که در سه دسته ی، آلتراسیون ها، زمین شناسی و ساختاری قرار گرفته اند. سپس تلفیق اطلاعات بوسیله روش شبکه عصبی- فازی انجام شده است، این روش بوسیله چهار سایت آموزشی، مورد آموزش قرار گرفته و پس از آن تمامی داده ها بوسیله مدل های بدست آمده، مدلسازی شده است. حاصل کار قرار گرفتن ۹۵/۲ درصد کانسارهای شناخته شده مس، در منطقه با پتانسیل مطلوب برای این فلز است.

کلمات کلیدی

پتانسیل یابی معدنی، مدل های هیبریدی نروفازی، GIS، دورسنجی، مغناطیس هواپردی

*** مقدمه

معدنی برای مطالعات بعدی باشد. به این منظور سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) محیط مناسبی را برای طراحی الگوهای قابل قبول اکتشافی فراهم می آورند. یکی از کاربردهای سیستم های اطلاعات جغرافیایی معدنی فراهم آوردن محیطی مناسب برای ورود، تجزیه و تحلیل و مدلسازی حجم عظیمی از داده ها به منظور مطالعات اکتشافی است.

شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم های فازی، دو الگوی محاسباتی هستند که تلاشی را جهت ساختن سیستم های کامپیوتری با توانایی هایی مانند توانایی انسان در فکر کردن و تصمیم گیری براساس اطلاعات غیر قطعی، مبهم و یا مفهومی را

نقطه آغازین در مطالعات سیستماتیک اکتشافی، شناخت پتانسیل ها، توان معدنی و چگونگی رخداد آن، مطالعه فازهای مختلف متالوژنی و معرفی مناطق کانه دار و مستعد در مناطق مختلف زمین شناسی است. به منظور دستیابی به چنین اهدافی از اطلاعات مختلف ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، تصاویر ماهواره ای، اطلاعات شناخته شده معدنی، وضعیت زمین شناسی و سایر اطلاعات مفید می توان استفاده نمود. تلفیق و تحلیل کلیه اطلاعات در یک محیط مناسب و الگوسازی اکتشافی می تواند منجر به شناسایی مناطق امیدبخش

گوناگون در زون ارومیه دختر در گذشته و بارز بودن پتانسیل دار بودن این منطقه، بخشی از این زون بین شهرستان نائین تا شمال غربی کاشان و جنوب قم جهت بررسی اکتشاف ناحیه ای مورد تحلیل قرار گرفت. در این منطقه بیش از ۵۰ اندیس، کانسار و معدن فعال فلزی و تعداد زیادی غیر فلزی شناخته شده وجود دارد که این خود بیانگر پتانسیل دار بودن این منطقه از لحاظ معدنی است و به گونه ای می توان آن را یک زون متالوژنیک نامید.

*** معرفی مدل هیبریدی نروفازی

سیستم استنتاج فازی، درک انسان را در مدل کردن مفهوم مولفه های اطلاعاتی، با به کار بردن تابع عضویت فازی و قواعد اگر - آنگاه، شبیه سازی می کند. سیستم های استنتاج فازی گوناگونی تاکنون معرفی شده اند (زاده ۱۹۷۳، ممدانی ۱۹۷۴، ممدانی و اصلیلان ۱۹۷۵، تسوکاموتو ۱۹۷۹، تاکاگی و سوگو ۱۹۸۵، سوگو و کانگ ۱۹۸۸، سوگو و تاناکا ۱۹۹۱). اما بیشترین کاربرد را روش ممدانی (ممدانی ۱۹۷۴، ممدانی و اصلیلان ۱۹۸۵) و روش تاکاگی - سوگو - کانگ (تاکاگی و سوگو ۱۹۸۵، سوگو و کانگ ۱۹۸۸، سوگو و تاناکا ۱۹۹۱) دارند. در مورد روش ممدانی بخش مقایسه (اگر و نتیجه (آنگاه) فازی، هر دو، گزاره های فازی هستند. در روش تاکاگی - سوگو بخش مقایسه یک گزاره فازی است، در حالی که بخش نتیجه یک تابع ریاضی است که معمولاً تابع چند جمله ای با درجه صفر یا یک است. [۷۴ و ۷۵]

مدل هیبرید نروفازی بکار گرفته شده در این مقاله، دارای یک سیستم استنتاج فازی تاکاگی - سوگو است، که در چهار چوب یک شبکه عصبی انطباقی است. این « سیستم استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی » یا به اصطلاح « سیستم استنتاج شبکه عصبی فازی تطبیقی » می تواند جهت پتانسیل یابی معدنی بکار گرفته شود. [۴ و ۳]

*** آماده سازی داده ها

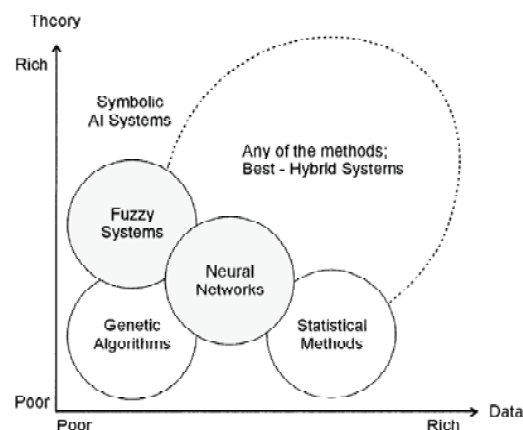
داده های استفاده شده برای انجام این تحلیل شامل داده های زمین شناسی، دورسنجی و مغناطیس هواپردی است، که تعداد هفت لایه اطلاعاتی از آن ها استخراج شده است.

**** آماده سازی داده های زمین شناسی

برای آماده سازی نقشه زمین شناسی منطقه، ابتدا نقشه های زمین شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ منتشر شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، موزائیک شد. سپس نقشه حاصل، در محیط GIS رقومی شد و در آخر، با توجه به سنگ منشأ و ژنز کانسارها و ساختار سنگ شناسی منطقه به سه گروه اصلی آذرین نفوذی، آذرین خروجی و رسوبی تقسیم بندی شد. طبقه بندی سنگ ها در گروه آذرین براساس ترکیب شیمیایی (اسیدی، حدواسط،

نمایش می دهند (کاسابوف ۱۹۹۶). علاوه بر آن، شبکه های عصبی یکی از ابزارهای مناسب جهت تشخیص الگو هستند (بیشاپ ۱۹۹۵ و شال کف ۱۹۹۷). همچنین شبکه های عصبی توانایی آموزش از طریق داده را دارند، سیستم های فازی نیاز به قواعد صریحی به عنوان ورودی دارند، اماکه دانش غیر قطعی (فازی) را نمایش می دهند. بنابراین سیستم های فازی یک ابزار مفهومی براساس دانش برای پتانسیل یابی معدنی ایجاد می کنند (بنهام کارتر ۱۹۹۴). ابزارهای گوناگون جهت شناسایی معادن به نوع ناحیه اکتشافی و داده های موجود و اعتبار آنها در مقایسه با دانش زمین شناسی نیاز دارند. در نواحی خوب اکتشاف شده که مقدار زیادی داده، موجود است، روش های آماری مانند اوزان شاهد و شبکه های عصبی مناسبند. (شکل ۱). [۳ و ۲]

در نواحی کم اکتشاف شده که تعداد کمی نهشته معدنی شناخته شده و داده های در دسترس دارند؛ یک روش مفهومی خاص مانند سیستم فازی مناسب است. به طور ایده آل لازم است، نتایج گرفته شده از نواحی ای که اکتشاف آنها تکمیل شده، باید در نواحی جدید به کار گرفته شوند و برعکس مدل های مفهومی جدید یا معیارهای اکتشافی در جاهای خوب اکتشاف شده به کار روند، تا قطعیت آن ها بررسی شود. وودال (۱۹۹۴) بیان می کند که موفقیت اکتشاف به ترکیب صحیح تجربه و تفکر مفهومی، وابسته است. اوزان شاهد فازی و شبکه های عصبی فازی هیبریدی، نمونه هایی از سیستم هایی هستند که اجزاء هر دو روش مفهومی و تجربی را با یکدیگر ترکیب می کند. سیستم های فازی عصبی دارای ساختار هیبریدی است که مانند فازی، توانایی استفاده از ابهام و همچنین توانایی دریافت ورودی های خطا دار و توانایی تشخیص الگوی شبکه عصبی را دارا هستند. [۳ و ۱]



شکل ۱: ارتباط بین روش های گوناگون و جایگاه روش های

هیبریدی [۱]

با توجه به سوابق فعالیت های اکتشافی و بهره برداری از ذخایر

وسیله flat کردن و مختصات دادن به تصویر، محقق می شود. با موزائیک کردن تصاویر به دست آمده و اثر دادن ROI کل محدوده برای بخش های اضافی، نقشه مبدأ آماده می شود. سپس با انتخاب تعدادی نقطه کنترل و یافتن آن بر روی تصاویر ماهواره ای و توجه به کمینه بودن RMS، Warp File خروجی به عنوان تصویر نهایی در نظر گرفته می شود. [۱۱]

بازیک و اولترابازیک) صورت گرفته و در گروه رسوبی، این طبقه بندی براساس نوع فرآیند تشکیل، بصورت شیمیایی، تخریبی و آبرفت انجام شده است. جدول ۱ نحوه تقسیم بندی سنگ ها به همراه کد مربوطه را نشان می دهد. نقشه سنگ شناسی و نحوه پراکندگی آنها در منطقه نیز در شکل ۲ ارائه شده است. [۹ و ۱۰]

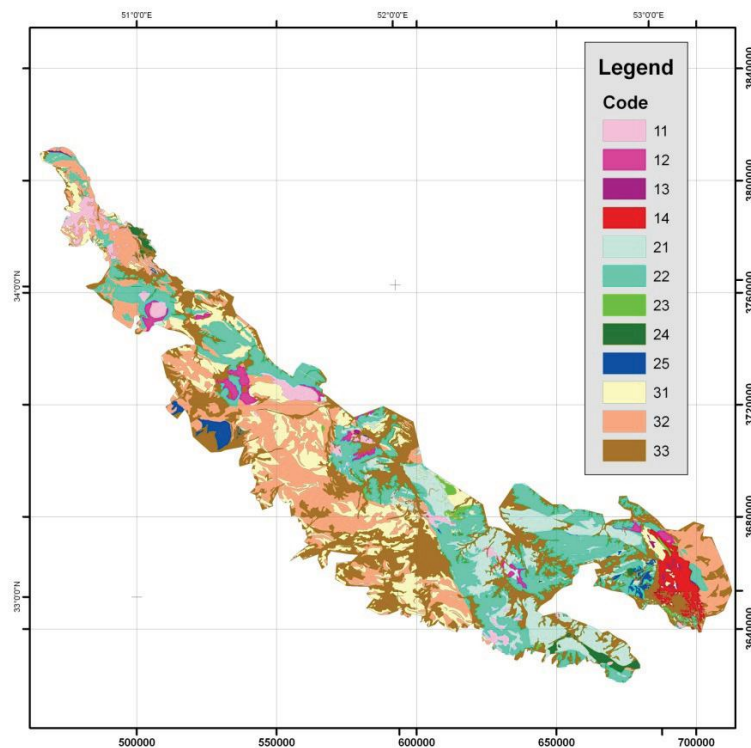
••••• پردازش داده ها دورسنجی

دور سنجی به عنوان یکی از ابزارهای اصلی کار زمین شناسان می تواند جهت انجام کارهایی از قبیل نقشه برداری ساختاری، سنگ شناسی و تعیین موقعیت زون های آلتراسیون از طریق کنترل های صحرایی به کار گرفته شود. در میان تمام مطالعات اکتشافی، سنجش از دور، موقعی که به همراه سایر روش ها به کار رود، بهترین کارایی را خواهد داشت. اساس کار روش های دورسنجی بر اندازه گیری انرژی الکترومغناطیسی انعکاسی سطح زمین و ذرات اتمسفری به صورت تابعی از طول موج است و بر اساس ارتباط این اندازه گیری ها و رقومی کردن آن ها، عناصر مختلف سطحی از هم تفکیک می شوند. در این مطالعه از داده های ماهواره ای ETM+ استفاده شد. در ابتدا تصحیحات گوناگون روی داده ها انجام گرفت که عبارت بودند از:

۱- تصحیح هندسی: برای این کار ابتدا نقشه مبدأ (۱:۲۵۰۰۰) ساخته شد. این کار توسط ساختن یک geo-tiff به

جدول ۱: تقسیم بندی سنگ ها و کدهای مربوطه در منطقه نائین- کاشان

سنگ های آذرین نفوذی		سنگ های آذرین خروجی		رسوبی	
کد	نوع سنگ	کد	نوع سنگ	کد	نوع سنگ
۱۱	گرانیت و گرانودیوریت	۲۱	ریولیت، داسیت، ریوداسیت و آپلیت	۳۱	آهک، دولومیت و دگرگونی های مرتبط
۱۲	مونزونیت، دیوریت و تونالیت	۲۲	آندزیت و آندزیت داسیت	۳۲	ماسه سنگ، شیل، کنگلومرا و سایر تخریبی ها و مارن
۱۳	گابرو	۲۳	آندزیت پرفیری و بازالت پرفیری	۳۳	آبرفت
۱۴	اولترابازیک ها	۲۴	بازالت و بازالت - آندزیت		
		۲۵	آگلومرا و پیروکلاستیک		



شکل ۲: نقشه سنگ شناسی منطقه (کدها براساس جدول ۲-۳ می باشد)

از طریق یک subset روی ROI مناطق فاقد پوشش گیاهی را استخراج کرد. قابل ذکر است انجام این عمل برای مراحل بعدی کار بخصوص در شناسایی آلتراسیون ها بسیار مؤثر و مهم است. [۱۳]

۲-۳-۱ شناسایی گسل ها و خطواره های منطقه

برای این کار، ابتدا از طریق فیلتر لاپلاسین جهت های غالب خطواره ها تشخیص داده شد. این جهت ها ۴۵ و ۱۳۵ درجه بودند. سپس برای جدا کردن خطواره ها، فیلتر راستایی با انتخاب زاویه ۴۵ و ۱۳۵ درجه بر روی باندهای مختلف اعمال شد. برجستگی و فرو رفتگی هایی که بصورت خطی بودند با توجه به تصویر RGB(7,4,1) به عنوان خطواره انتخاب شدند. اکثر این خطواره ها دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی هستند که با روند تکتونیکی در منطقه مطابقت دارند. [۱۴]

۲-۳-۲ تهیه تصویر طبقه بندی شده محدوده مورد مطالعه

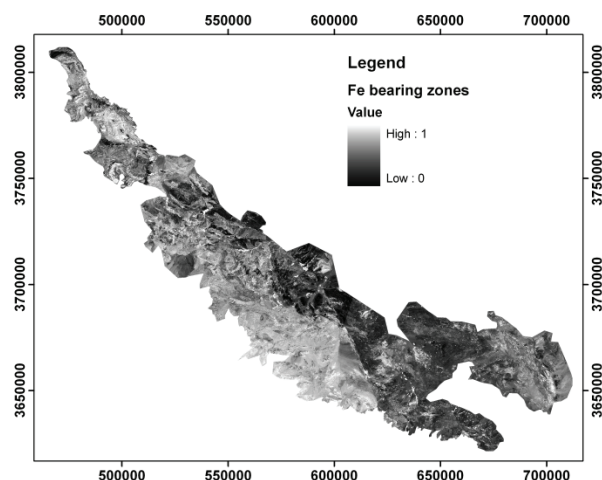
در ابتدا با توجه به شواهد و نقشه زمین شناسی و تجربیاتی که از منطقه وجود داشت، End Member های مناسب جهت طبقه بندی انتخاب شد. سپس با استفاده از روش حداکثر شباهت، طبقه بندی ناحیه صورت گرفت. نتیجه این کار، با توجه به انتخاب تعداد ۱۰ End Member بصورت دستی در شکل ۳ آورده شده است. [۱۳ و ۱۴]

۲- ماسک ناحیه مورد مطالعه: ابتدا منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره ای جدا شده ، سپس برای حذف پیکسل های خارج از محدوده مورد مطالعه در محاسبات آماری از ماسک کردن استفاده شده است. [۱۱]

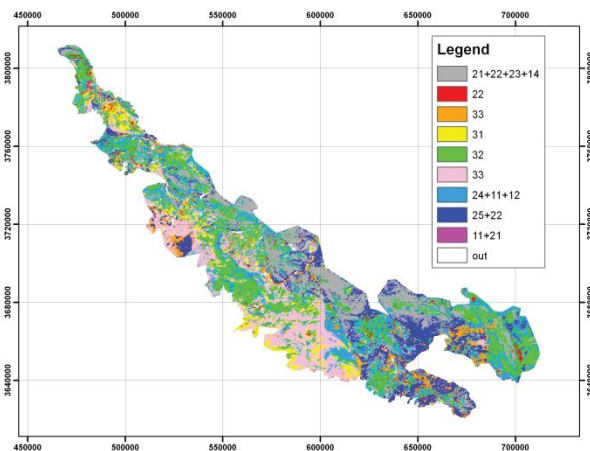
۳- شناسایی گیاهان منطقه: برای این کار ابتدا از شاخص NDVI برای جدا سازی گیاهان استفاده شد. از مقادیر به دست آمده یک آماره استخراج شده و مقدار $\bar{x} + 2s$ به عنوان حد شاخص گیاهی در نظر گرفته می شود و به وسیله تعیین یک حد آستانه از این مقدار به بالا، گیاهان در یک ROI جدا شدند. [۱۲]

۴- تصحیح توپوگرافی: برای تصحیح نسبت سایه به شیب که عامل ایجاد آن توپوگرافی است، از نسبت گیری باندی به دلیل بزرگ بودن ناحیه استفاده می شود. برای این منظور تمام باندها بر تصویر باند سوم تقسیم شده اند (به جز تصویر باند سوم که بر باند دوم تقسیم شده است) و نتایج به دست آمده به عنوان نتیجه تصحیح توپوگرافی نسبت باندی گزارش می شود. پس از انجام این کار مقداری نویز در تصویر ایجاد می شود، برای برطرف نمودن آن، از یک فیلتر مدیان (median) با اندازه ۵×۵ با توجه به اندازه تصویر استفاده شد. [۱۳]

۵- جداسازی مناطق فاقد پوشش گیاهی (سنگ ها و خاک ها) : در اینجا همانند روش شناسایی گیاهان عمل شده است ولی این بار حد آستانه ای از مقادیر بسیار کم تا $\bar{x} + 2s$ گرفته شده است. ROI حاصل در بر گیرنده مناطق فاقد گیاه در محدوده است. حال می توان



شکل ۵: توزیع فراوانی یونی اکسید آهن

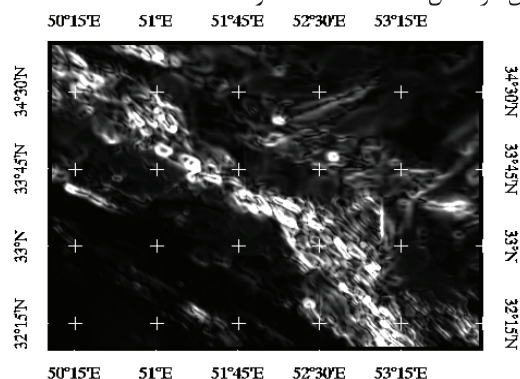


شکل ۳: تصویر نهایی کلاسه بندی (کدها براساس جدول ۲-۳)

..... مطالعات مغناطیس هواپردی

اختلاف بین مقادیر شدت میدان کل اندازه گیری شده و متوسط میدان مرجع در منطقه مورد مطالعه ۶۰۰- و ۱۴۰۰ نانوتسلا است که اختلاف ۲۰۰۰ نانوتسلا را نشان می دهد، که این مقدار در مقایسه با شدت میدان مرجع در بالاترین نقطه که ۵۱۰۳۵/۴ نانوتسلا و در پایین ترین نقطه که ۵۱۹۴۲/۱ نانوتسلا و دارای تغییرات ۹۳/۳ نانوتسلا است، بسیار بزرگ است، همچنین میدان زاویه میل متوسط ۵۰/۷ درجه و زاویه انحراف ۳/۲۲۰۶ درجه نسبت به قطب را دارد. داده های موجود در این بخش، داده های مغناطیس هواپردی است. این داده ها دارای تفکیک فضایی ۰.۰۱ درجه بوده و تصحیحات اولیه روی آن اعمال شده است.

در ابتدا تصحیح انتقال به قطب بر روی داده ها انجام شد. سپس آنالیتیک سیگنال از داده ها استخراج شد. تصویر حاصل از آنالیتیک سیگنال در شکل ۶ آمده است. [۱۵ و ۱۶]

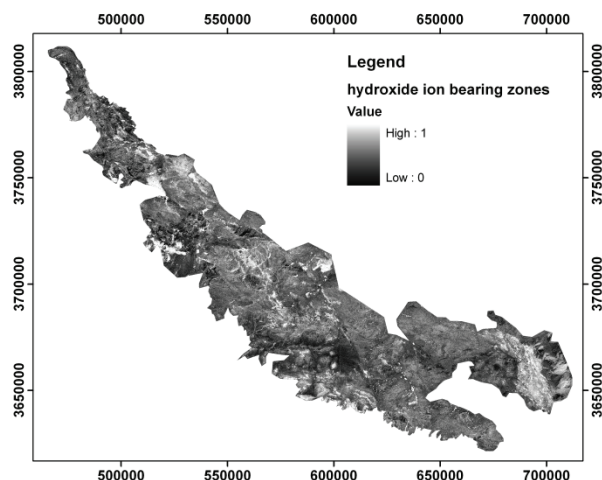


شکل ۶: تصویر آنالیتیک سیگنال بدست آمده از منطقه

آنالیتیک سیگنال حاصل به دلیل قدرت تفکیک فضایی بسیار پایین، تنها می تواند تا حدی جهت بررسی ساختارها استفاده شود. قابل ذکر است که جهت هماهنگی با سایر لایه های اطلاعاتی، سیستم مختصاتی این لایه به UTM با قدرت تفکیک فضایی ۲۸.۵ متر تبدیل شد.

۳-۲- تلفیق و نتیجه نهایی توزیع فراوانی یونی ها

با توجه به بالا بودن سطح پارازیت در نتایج، برای بهتر نشان دادن توزیع فراوانی یونی، آنالیز مؤلفه های اصلی صورت گرفت. در مورد هیدروکسیدها از PC1 در آنالیز مؤلفه های اصلی روی نسبت ۷ به ۵ و منفی باقی مانده برازش کمترین مربعات باند ۷، نتیجه مناسب و دارای سطح پارازیت پایین به دست آمد. نتیجه در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴: توزیع فراوانی یونی هیدروکسید

در مورد توزیع فراوانی یونی اکسید آهن نیز از PC1 حاصل از نسبت های باندی ۳ به ۱ و ۵ به ۴ نتیجه مناسبی بدست آمد. استفاده از نسبت ۳/۱ باعث بدست آوردن محیط های حاوی اکسید آهن می شود و همچنین نسبت ۵/۴ نیز در عدم حضور گیاهان کارکرد مشابهی با نسبت ۳/۱ دارد و انجام آنالیز مؤلفه های اصلی باعث کاهش محسوس پارازیت در نتایج حاصل می گردد. نتیجه در شکل ۵ نشان داده شده است.

••• مدل سازی با شبکه عصبی فازی

جدول ۲: وزنهای مربوط به سنگ ها در لایه زمین شناسی

وزن مس	نوع سنگ
۱	آندزیت پورفیری، بازالت پورفیری
۰.۹	آندزیت، آندزیت داسیت
۰.۸۵	گابرو
۰.۸	مونزونیت، دیوریت، تونالیت
۰.۷	گرانیت و گرانودیوریت
۰.۶	بازالت، بازالت آندزیت
۰.۵	اولترابازیک
۰.۴	آهک، دولومیت
۰.۳	ریولیت، داسیت، ریوداسیت، آپلیت
۰.۲	آگلومرا و پیروکلاستیک
۰.۱	ماسه سنگ، شیل، کونگومرا و سایر تخریبی ها و مارن
۰	آبرفت

ت- لایه خروجی

این لایه با در نظر گرفتن بافر ۵۰۰ متر برای احتمال جابجایی کانسارها و ۵۰۰ متر برای تأثیر آن ها و در مجموع ۱۰۰۰ متر ایجاد شده است.

••••• وزن دهی داده های ورودی:

لایه های ورودی فوق به صورت ماتریسی درآمده و تمامی آن ها در بین صفر تا یک نرمال شدند و در واقع برای استفاده در سیستم نروفازی آمده شدند.

••••• ساختار شبکه استنتاج فازی بکار رفته

شبکه استنتاجی به کار رفته دارای ۹۳ پارامتر اگر- آنگاه فازی است. البته برای کاهش خطا و توجیه پذیر کردن شبکه، در مرحله اتصال لایه ها، لایه های آلتراسیون با هم ترکیب شده، لایه های زمین شناسی نیز به طور مجزا و در مورد لایه های ساختاری نیز همین گونه با هم ترکیب شده اند و در واقع هدف از این کار، عدم تلفیق لایه های نامرتبط به یکدیگر بوده است (شکل ۷). روی هر لایه در ابتدا سه تابع از نوع gbell یا گوسین زنگوله ای تعریف شده است (شکل ۸). این توابع در واقع می توانند مقادیر کم، متوسط و زیاد را پوشش دهند.

داده های بکار گرفته شده در اینجا شامل سه دسته ورودی و یک خروجی هستند.

الف- توزیع فراوانی یونی

۱- توزیع فراوانی یونی اکسید آهن: تشخیص این آلتراسیون از انجام یک آنالیز مؤلفه اصلی روی دو نسبت باندی ۳/۱ و ۵/۴ بدست آمده است.

۲- توزیع فراوانی یونی هیدروکسید: تشخیص این آلتراسیون از آنالیز مؤلفه اصلی روی نسبت باندی ۵/۷ و منفی باقیمانده حاصل از انجام برازش با کمترین مربعات خطا روی باند هفت استخراج شده است، که در این مورد نیز مانند حالت آلتراسیون اکسید آهن با انجام آنالیز مؤلفه های اصلی به سطح کمتری از پارازیت می توان دست یافت.

ب- زمین شناسی منطقه

۱- نقشه های زمین شناسی: نقشه زمین شناسی پایه به کار گرفته شده در اینجا، نقشه های ۱/۲۵۰۰۰۰ بوده که پس از رقومی سازی اقدام به وزن دهی آنها شده است. وزن های بکار رفته در جدول ۲ آمده است. این وزن ها براساس ادغام مدل های کانساری مؤسسه زمین شناسی ایالات متحده آمریکا و رخداد کانسارها در منطقه مورد مطالعه، تخصیص یافته اند. [۱۷ و ۱۸ و ۱۹]

۲- کلاس بندی حاصل از داده های ماهواره ای: در این مورد نیز با توجه به رخداد کانسارهای شناخته شده در منطقه وزن هایی به کلاس های گوناگون داده شده است.

پ- کنترل کننده های ساختاری

۱- بافر گسل ها: گسل های منطقه از نقشه های دورسنجی استخراج شده و با مقایسه با نقشه های زمین شناسی پایه کامل شده است. گسل ها دارای دو دسته اصلی و فرعی هستند. گسل های اصلی به صورت ۱۰۰۰ متری بافر شده اند و در مورد گسل های فرعی این مقدار ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

۲- چگالی گسل ها: در این مورد با در نظر گرفتن فواصل ۱۰۰۰ متری برای هر پیکسل چگالی گسل های موجود در این فاصله به آن پیکسل نسبت داده شده است. حاصل کار، بدست آمدن وزن هایی است که از نظر تکنیکی خرد شده تر یا دست نخورده تر هستند.

۳- مغناطیس هواپردی: داده های مغناطیس هواپردی بکار برده شده دارای قدرت تفکیک بسیار ضعیفی هستند و پس از استخراج آنالیتیک سیگنال از آن ها، تنها می توانند نشان دهنده ی ساختارهای منطقه باشند و برای اکتشاف کانسار مناسب نیستند.

برای این نوع کانسار انجام شد که حاصل کار در مورد این کانسار عدم تغییر خطا پس از مرحله دوم بود. خطای حاصل کانسار مس ۰.۱۹۷۵۳۸ است. این خطاها بیانگر اختلاف میان نتایج مورد انتظار در مدل نروفازی و نتایج حاصل از آن هستند. قابل ذکر است که اصولاً به دلیل ماهیت نروفازی و در نظر گرفتن عدم قطعیت های موجود، این مقدار خطا منطقی و مناسب است.

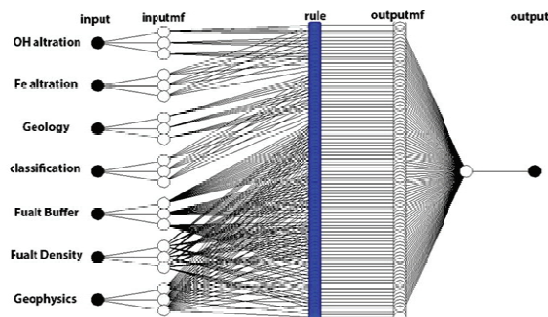
..... تهیه نقشه های نهایی پتانسیل معدنی به روش نروفازی

پس از انجام آموزش و استخراج پارامترهای فازی لایه های کامل به سیستم استنتاج وارد شده و نتایج زیر بدست آمده است. نتایج زیر براساس احتمال حضور کانسار است. حد آستانه نیز براساس نقطه عطف در نمودار تجمعی احتمال انتخاب شده است. در مورد کانسار مس با تعیین یک حد آستانه برابر ۳۴٪ تعداد ۱۸۹۹۳۲۹ پیکسل انتخاب شده، بقیه فاقد ارزش تعیین شد. حاصل کلاسه بندی در شکل ۹ نشان داده شده است. نقشه پتانسیل مس از میان ۲۱ کانسار شناخته شده با ۲۰ کانسار دارای تطابق است، برای همین دارای تطبیق ۹۵.۲ درصدی با نهشته های شناخته شده است، این مقدار دقت بالایی را برای این نتیجه نشان می دهد.

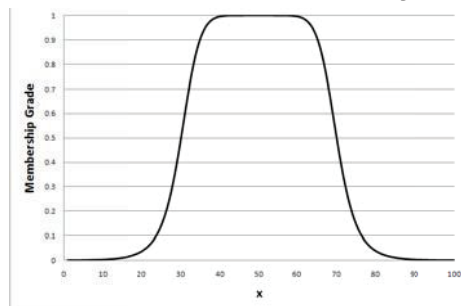
... نتایج

شبکه های نروفازی توانایی بسیار بالایی در کار کردن با داده های زیاد و با عدم قطعیت بالا دارند. برای همین استفاده از مدل هیبریدی نروفازی در علوم زمین به دلیل فوق الذکر و همچنین توانایی این مدل در تلفیق دانش و داده، بسیار مناسب است. در این مطالعه ۹۵/۲ درصد کانسارهای شناخته شده مس در نواحی با پتانسیل بالا قرار گرفته اند که این نشان دهنده ی توانایی بالای سیستم استنتاج شبکه ای فازی یا نروفازی است. یکی دیگر از دلایل موفقیت روش نروفازی، به دلیل طراحی شبکه ی استنتاج به صورت دستی است، با این ویژگی می توان از اختلاط دو ورودی که ارتباط کمتری با هم دارند، جلوگیری کرد.

در مطالعات دورسنجی برای بهتر نشان دادن آلتراسیون ها بهتر است گیاهان منطقه به طور کامل ماسک شده و از داده ها حذف شوند. همچنین در مقیاس های بزرگ برای بهتر نشان دادن آلتراسیون ها، استفاده از تلفیق چند روش، جوابی مناسبتر با پارازیت کمتری می دهد. [۲۰]



شکل ۷: ساختار شبکه ANFIS بکار رفته



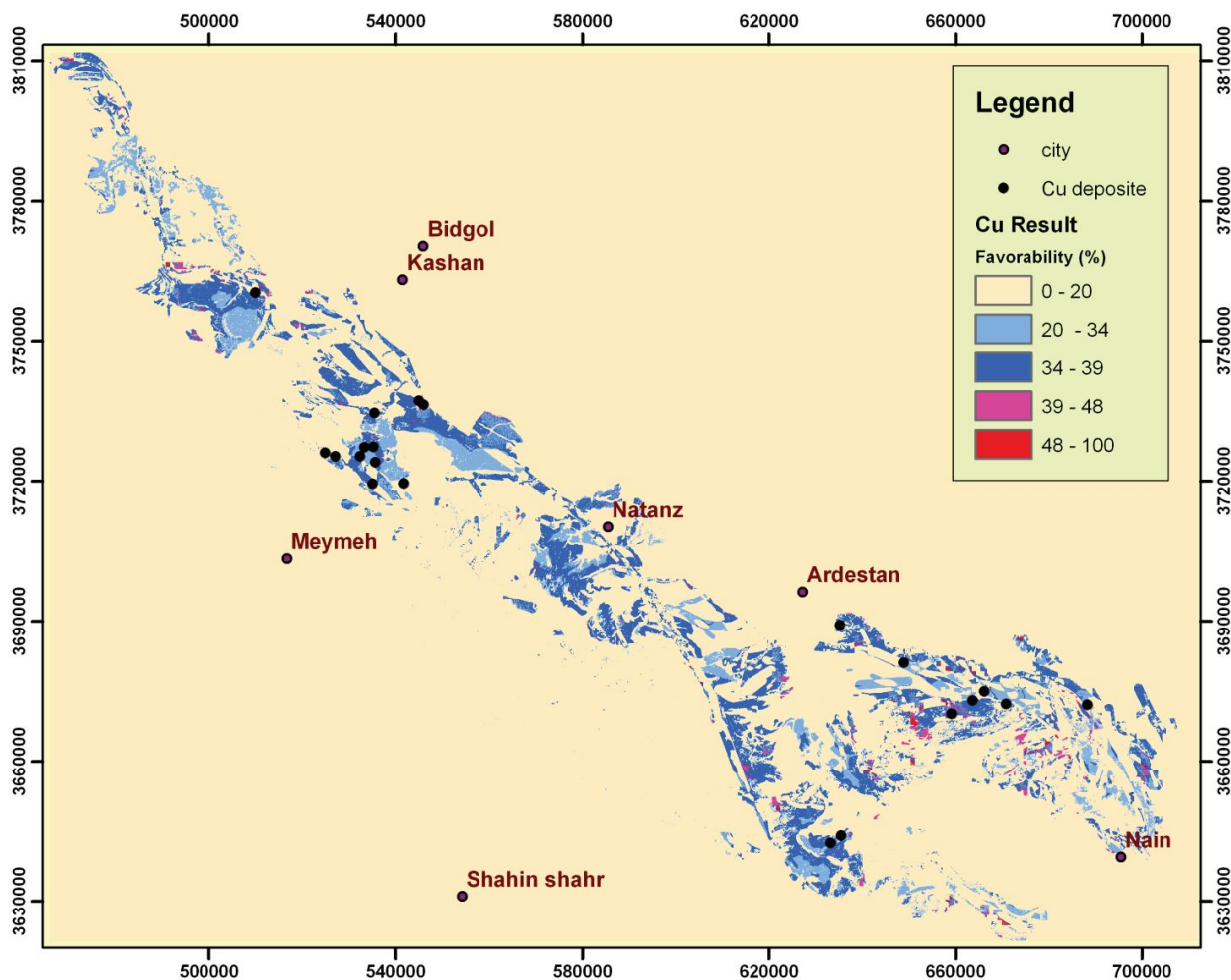
شکل ۸: نمای شماتیک تابع gbell (گوسین زنگوله ای)

..... آموزش:

برای آماده سازی داده های آموزشی، ۴ سایت آموزشی در نظر گرفته شد که سعی شد تا حد ممکن طیف وسیعی از کانسارهای هدف را پوشش دهد. لایه مورد نظر ما دارای حالت صفر برای عدم وجود کانسار و حالت یک برای حضور کانسار است. سایت های آموزشی بگونه ای انتخاب شده اند که بتوانند علاوه بر پوشش دادن تعداد زیادی کانسار، مناطقی را که فاقد کانسار هستند و امکان حضور کانسار در آن ها بسیار کم است را نیز پوشش دهند. در سایت (۱)، ۴ کانسار مس، این سایت سنگ هایی از نوع آذرین متوسط تا بازیک نفوذی و همچنین آذرین خروجی متوسط را داراست. سایت (۲)، فاقد کانسار مس است. ساختار زمین شناسی این سایت نیز آهک و ماسه سنگ و سایر تخریبی ها است. سایت (۳)، دارای ۷ کانسار مس است. در این سایت، سنگ های آذرین نفوذی و خروجی حدواسط بوده که در کنار آهک و ماسه سنگ قرار گرفته اند. سایت (۴)، فاقد کانسار مس است. این سایت در همبری آهک و ماسه سنگ قرار دارد.

..... نتایج حاصل از آموزش:

با توجه به حجم بسیار بالای داده های آموزشی در تمامی موارد، هدف شبکه در مرحله اول آموزش اشباع شده و تعداد مراحل آموزشی تأثیری در مقدار خطای حاصل ندارد. در نتیجه تنها ۲ مرحله آموزشی



شکل ۹: نقشه حاصل از پتانسیل یابی با شبکه عصبی فازی برای هدف مس براساس احتمال حضور

Academic Pub.

[۸] آقا نباتی، زمین شناسی ایران، انتشارات زمین شناسی و

اکتشافات معدنی کشور

[۹] خویی، ن. قربانی، م. تاجبخش، پ. ۱۳۷۸، کانسارهای مس در

ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

[۱۰] تهرانی، خ. درویش زاده، ع. ۱۳۷۰، زمین شناسی ایران،

انتشارات مراکز تربیت معلم

[11] Hook.S.J, 2000, ASTER Validation plan version 1.03

[12] Vincent, R. k., 1997, Fundamentals of geological and environmental remote sensing, Bowling Green State University Pub.

[۱۳] صادقی سرخنی، ح. ۱۳۸۵، تهیه لایه های اطلاعاتی آلتراسیون

های منطقه معدنی ایرانکوه با استفاده از داده های استر، دانشکده

مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان،

[۱۴] میذر، پل ام. نجفی دیسفانی، م. ۱۳۷۷، پردازش کامپیوتری

تصاویر سنجش از دور، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی

دانشگاه ها

***مراجع

[1] Brown, W., Groves, D., Gedeon, T., 2003, "Use of Fuzzy Membership Input Layers to Combine Subjective Geological Knowledge and Empirical Data in a Neural Network Method for Mineral-Potential Mapping", Natural Resources Research, Vol. 12, No. 3

[2] Porwal, A., Carranza, E. J. M., and Hale, M., 2003, "Artificial Neural Networks for Mineral-Potential Mapping: A Case Study from Aravalli Province", Western India", Natural Resources Research, Vol. 12, No. 3

[3] Porwal, A., Carranza, E. J. M., Hale, M., 2004, "A Hybrid Neuro-Fuzzy Model for Mineral Potential Mapping", Mathematical Geology, Vol. 36, No. 7

[4] Porwal, A., 2006, Mineral Potential Mapping With Mathematical Geology Model, PHD Thesis, ITC

[5] Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., 1997, Neuro Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, Inc.

[6] Buckley J. J., Feuring T., 1999, Fuzzy and Neural: Interaction and Application, Springer Verlag co. pub.

[7] Da Run, 1997, Intelligent Hybrid System, Kluwer

Mineral Deposit Models", U.S. Geological Survey, Bulletin no. 2004, Developments in Mineral Deposit Modeling

[19] Cox, D. P., Barton, P. B., and Singer, D. A., 1986, "*Mineral Deposit Models*", U.S. Geological Survey, Bulletin no. 1693, Mineral Deposit Models

[۲۰] شبانکاره، م. ، فتحیانپور، ن.، طباطبایی، س.ح.، ۱۳۸۸، تهیه

نقشه پتانسیل کانی سازی مس در زون متالوژنی کاشان- نائین با

استفاده از شبکه عصبی فازی در محیط GIS، سومین کنفرانس

مهندسی معدن ایران، یزد

[15] Bilim, F., Ates, A., 2003, "*Analytic Signal Inferred From Reduced To The Pole Data*", journal of the balkan geophysical society, vol 6, No. 2

[16] Haney, M., Johnston, C., Li, Y., Nabighian, M., 2003, "*CSM. Envelopes of 2D and 3D magnetic data and their relationship to the analytic signal*", Preliminary results, 73rd Ann. Internal. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pp1573-1576

[17] Mosier, Dan L. and Bliss, James D., 1992, , "*Introduction and Overview of Mineral Deposit Modeling*", U.S. Geological Survey, Bulletin no. 2004, Developments in Mineral Deposit Modeling

[18] McCammon, Richard B., 1992, , "*Numerical*