

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده: کامپیوتر و فناوری اطلاعات

رشته: مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تشخیص کانی های آهن از روی تصویر سطح مقطع با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر

نگارنده: آمنه حسینی احسانی

اساتید راهنما:

دکتر حمید حسن پور

دکتر آرزو عابدی

استاد مشاور:

دکتر عباس گل محمدی

مرداد ۱۳۹۶

شماره:

تاریخ:

ویرایش:



باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

دانشکده :

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم به شماره دانشجویی:

تحت عنوان:

مورد ارزیابی و با

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

خداوندی کہ در تمام محظاتم بوده و هست،

و تقدیم بہ مادر عزیزم کہ بودنش مایہ حیات من است،

و تقدیم بہ روح بزرگوار پدرم کہ منش سرلوحہ زندگی من است...

تشکر و قدردانی

الغون که این پایان نامه به اتمام رسیده است، به رسم بندگی اولین سپاس را تقدیم به خداوندی می‌کنم که حتی یک خطه چشم از من نگرفت و در تمام خطاتم چه در سختی و چه در شادی، ناظر و حاضر بر من بوده و هست.

و به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» از استاد فرهیخته و عالم جناب دکتر حسن پور که در به انجام رسانیدن این پژوهش کمک بسیاری به بنده کردند، تقدیر و تشکر می‌کنم و همچنین از خانم دکتر عابدی به خاطر زحمات بسیار ایشان در به انجام رسانیدن این پژوهش، سپاس گزارم و نیز از خانم دکتر اسد ری که بی منت و بی توقع، کمک شایانی به بنده نموده اند، سپاس گزارم و از خداوند، توفیق روزافزون ایشان را خواستارم، همچنین از آقای دکتر گل مجری معاون محترم برنامه ریزی، توسعه و اکتشاف معدن سنگان، به خاطر همکاری در نمونه برداری و ارائه راهنمایی لازم تشکر می‌کنم.

تعهدنامه

این جانب **آمنه حسینی احسانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هوش مصنوعی دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تشخیص کانی های آهن از روی تصویر سطح مقطع با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر تحت راهنمایی آقای دکتر حمید حسن پور و خانم دکتر آرزو عابدی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 است و مقالات مستخرج بانام «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 آن ها) 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 افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. 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

در اکثر معدن‌های ایران، شناسایی کانی‌ها به صورت دستی، با استفاده از میکروسکوپ و کاربر ماهری که در شناسایی کانی توانمند باشد، انجام می‌پذیرد. با توجه به زمان زیاد، این گونه شناسایی برای معدن بزرگی مانند سنگان، مقرون به صرفه نیست.

در پژوهش حاضر، کانی‌های معدن سنگ‌آهن سنگان در استان خراسان رضوی شناسایی و سپس درصد کانی در تصویر محاسبه می‌شود. برای این منظور مقاطع صیقلی از این معدن، مطالعه گردیدند. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی تحت میکروسکوپ نوری، کانی‌های اصلی این معدن (سنگ معدن)، دو کانی مگنتیت و هماتیت و باطله‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت می‌باشند. در این رساله به دلیل نبودن پایگاه داده استاندارد برای این منظور، پایگاه داده‌ای برای این معدن ایجاد گردید.

برای شناسایی این کانی‌ها پس از بررسی روی پایگاه داده و بررسی روی روش‌های پیشنهادی، معیار رنگ و بافت دو ویژگی مناسبی برای شناسایی این کانی‌ها تشخیص داده شدند. بردار ویژگی، هیستوگرام تصاویر مجموعه داده و ویژگی‌های بافتی در سه کانال رنگی RGB این تصاویر می‌باشند. دسته‌بندی با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه با معیار شباهت Jensen، صورت می‌گیرد. مزیت این روش دقت آن نسبت به روش‌های دیگر دسته‌بندی مورد ارزیابی است. ارزیابی بر روی مجموعه داده‌های هر کانی انجام گرفت و نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با ۸۹٪ نرخ تشخیص کانی‌های معدن سنگان را شناسایی می‌کند. روش قطعه‌بندی این پژوهش، روش پیکسون است.

واژه‌های کلیدی: معدن سنگ‌آهن سنگان، شناسایی کانی، نزدیک‌ترین همسایه، معیار Jensen، قطعه-

بندی پیکسون، میانگین هیستوگرام‌ها

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه‌ای بر شناسایی کانی

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- تاریخچه مسئله شناسایی کانی‌ها ۲
- ۱-۳- منطقه مورد مطالعه ۳
- ۱-۴- کانی‌های مورد مطالعه این پژوهش ۴
- ۱-۵- کاربرد خواص کانی در شناسایی ماشینی آن‌ها ۷
- ۱-۶- تعریف مسئله ۹
- ۱-۷- هدف پایان‌نامه ۱۰
- ۱-۸- چالش‌های مسئله تشخیص کانی ۱۱
- ۱-۹- ساختار پایان‌نامه ۱۲

فصل دوم : مروری بر روش‌های شناسایی کانی‌ها

- ۲-۱- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- روش‌های کانی‌شناسی ۱۴
- ۲-۳- مهم‌ترین روش‌های شناسایی کانی‌ها به صورت دستی ۱۵
- ۲-۴- روش‌های شناسایی ماشینی ۱۵
- ۲-۴-۱- عملیات پیش‌پردازش ۱۵

- ۱۶..... ۲-۴-۲- استخراج ویژگی
- ۱۷..... ۳-۴-۲- مدل رنگ
- ۱۸..... ۴-۴-۲- لبه یابی
- ۲۰..... ۵-۴-۲- عملیات آماری
- ۲۲..... ۶-۴-۲- کاهش ابعاد داده
- ۲۲..... ۷-۴-۲- قطعه بندی
- ۳۰..... ۸-۴-۲- دسته بندی
- ۳۱..... ۹-۴-۲- خوشه بندی
- ۳۲..... ۱۰-۴-۲- شبکه عصبی
- ۳۲..... ۵-۲- نتیجه گیری

فصل سوم : روش پیشنهادی

- ۳۶..... ۱-۳- مقدمه ای بر روش پیشنهادی
- ۳۶..... ۲-۳- ملزومات مسئله
- ۳۷..... ۱-۲-۳- میکروسکوپ پولاریزان
- ۳۸..... ۳-۳- ایجاد پایگاه داده
- ۳۹..... ۴-۳- پیش پردازش
- ۳۹..... ۵-۳- قطعه بندی و خوشه بندی تصاویر ورودی

- ۴۲ ۳-۵-۱ - خوشه‌بندی
- ۴۵ ۳-۵-۲ - به دست آوردن تعداد کلاس‌ها
- ۴۷ ۳-۵-۳ - چالش‌های روش قطعه‌بندی پیشنهادی و رفع آن
- ۴۸ ۳-۶ - استخراج ویژگی
- ۵۰ ۳-۷-۱ - روش‌های پیشنهادی شناسایی کانی
- ۵۱ ۳-۷-۱ - معیار شباهت Jensen
- ۵۲ ۳-۷-۲ - روش میانگین هیستوگرام‌ها
- ۵۶ ۳-۷-۳ - روش نزدیک‌ترین همسایه
- ۵۸ ۳-۷-۴ - روش شناسایی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان
- ۵۹ ۳-۷-۵ - روش سطح روشنایی
- ۶۰ ۳-۸ - چالش‌های شناسایی (استخراج ویژگی ضخامت لبه بین کانی‌ها)
- ۶۵ ۳-۹ - نتیجه‌گیری

فصل چهارم : ارزیابی روش پیشنهادی

- ۶۸ ۴-۱ - مقدمه
- ۶۸ ۴-۲ - ارزیابی روش سطح روشنایی
- ۷۰ ۴-۳ - ارزیابی روش میانگین هیستوگرام‌ها
- ۷۰ ۴-۴ - ارزیابی روش نزدیک‌ترین همسایه

۷۳.....SVM ۴-۵- ارزیابی روش یادگیری

۷۴..... ۴-۶- نتیجه گیری

فصل پنجم : جمع بندی و پیشنهاد برای ادامه کار

۷۶..... ۵-۱- جمع بندی

۷۶..... ۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار

۷۸..... مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. نمونه تصویر میکروسکوپی شامل کانیهای آهن ۷
- شکل ۱-۲. فضای رنگ RGB [۷] ۱۸
- شکل ۲-۲. مراحل کار در [۲۵] ۲۶
- شکل ۳-۲. تقسیم آبریزش (a) منحنی در سمت چپ شدت روشنایی فرضی یک تصویر را از طریق یک دانه نشان میدهد. ۲۶
- شکل ۴-۲. مراحل تشخیص مرزهای دانه های هماتیت [۹]. ۲۹
- شکل ۱-۳. تصویر میکروسکوپ پلاریزان ۳۸
- شکل ۲-۳. پیکسون بندی و ساختار گرافی آن ۴۰
- شکل ۳-۳. تصویر خوشه بندی شده با روش قطعه بندی مبتنی بر پیکسون با انتخاب حد آستانه مناسب ۴۱
- شکل ۴-۳. خوشه بندی کانیهای مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۵-۳. تشخیص کانی همپوشانی شده با کانیهای دیگر با استفاده از روابط بین RGB ۴۴
- شکل ۶-۳. دسته بندی خودکار با استفاده از تمایز کانی های هم پوشانی شده ۴۴
- شکل ۷-۳. هیستوگرام تصویر ورودی ۴۵
- شکل ۸-۳. تصویر رودی شامل دو کانی مگنتیت و هماتیت و زمینه غیرفلز ۴۵
- شکل ۹-۳. کانال های فضای رنگی HSV و رفع مشکل تعداد کلاسها ۴۷
- شکل ۱۰-۳. تصویر پیکسون بندی و دسته بندی بعد از رفع مشکل همپوشانی ۴۸

- شکل ۳-۱۱. چند نمونه از مجموعه داده کانی مگنتیت ۵۰
- شکل ۳-۱۲. یک قطعه مگنتیت جدا شده از تصویر آزمون و هیستوگرام کانال R ۵۴
- شکل ۳-۱۶. خروجی تصویر کانی های تشخیص داده شده و درصد آن ها ۵۸
- شکل ۳-۱۷. تصویر ورودی پس از یافتن خطوط لبه با الگوریتم هاف و میانگین خطوط عمود بر آن ۶۲
- شکل ۳-۱۸. نمودار سمت چپ سطح خاکستری خط عمود- سمت راست مشتق آن ۶۳
- شکل ۳-۱۹. الگوریتم ضخامت لبه ۶۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱. خواص فیزیکی کانیه‌ها.....	۸
جدول ۱-۴. ارزیابی میانگین هیستوگرامها.....	۷۰
جدول ۲-۴. بررسی روش نزدیکترین همسایه بافاصله‌ها و تعداد متفاوت.....	۷۱
جدول ۳-۴. بررسی روش نزدیکترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام با تعداد متفاوت K.....	۷۲
جدول ۴-۴. بررسی روش نزدیکترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام در سه کانال رنگی.....	۷۲
جدول ۵-۴. بررسی روش نزدیکترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام در سه کانال رنگی با معیار شباهت Jensen.....	۷۲
جدول ۶-۴. بررسی روش دسته بندی SVM در مرحله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون	۷۳
جدول ۷-۴. بررسی روش دسته بندی SVM در مرحله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون با تابع کرنل RBF.....	۷۳
جدول ۸-۴. بررسی روش دسته بندی SVM در مرحله آموزش و آزمون در هیستوگرام سه کانال رنگی همزمان با ویژگی‌های بافتی.....	۷۴
جدول ۹-۴. بررسی روش دسته‌بندی SVM در مرحله آموزش و آزمون در هیستوگرام با ویژگی‌های بافتی در سه کانال و ویژگی‌های بافتی به‌صورت جداگانه در سه کانال و ویژگی‌های بافتی در یک کانال.....	۷۴

فصل اول

مقدمه ای بر روش های شناسایی کانی

۱-۱- مقدمه

در حال حاضر شناسایی کانی به صورت دستی، همراه با اشتباهات انسانی و هزینه زمانی بالا می باشد. بنابراین سیستمی برای تشخیص کانی به صورت ماشینی و پردازش برخط^۱ یکی از نیازهای این مجموعه است.

با توجه به اینکه برای شناسایی کانی های معدن سنگان، ابتدا باید اطلاعاتی در مورد کانی های این مجموعه و خواص آن ها، وجود داشته باشد، در این فصل کانی های مورد مطالعه و خواص آن ها بررسی می-شوند. سپس در مورد شناسایی کانی تاریخچه کوتاهی ذکر می شود و منطقه معدن سنگان مورد بررسی قرار می گیرد. مسئله تعریف شده و در مورد اهداف پایان نامه و چالش هایی که در انجام این پژوهش به وجود می آیند، بحث خواهد شد.

۱-۲- تاریخچه مسئله شناسایی کانی ها

از گذشته تاکنون شناسایی کانی ها یک مسئله مهم در بین زمین شناسان در هر قرن بوده است. میکروسکوپ های مخصوص معادن در اواخر ۱۸۰۰ ساخته شده اند و به عنوان صنعت توانمندی تا چندین سال باقی ماند. پس از آن، در دهه ۱۹۵۰ پیشرفت هایی در زمینه اندازه گیری کمی بازتاب نور و بعد از آن در زمینه ارزیابی رنگ انجام گرفت [۱].

با توجه به پیشرفت فناوری در بحث پردازش تصویر مطالعاتی در زمینه شناسایی کانی به صورت ماشینی صورت گرفته است. بر اساس مطالعات انجام شده معمولاً از روش های شناسایی با استفاده از سطح روشنایی

¹ Online

کانی‌ها و همچنین قطعه‌بندی^۱ و خوشه‌بندی^۲ و تکنیک‌های شناسایی با استفاده از رنگ استفاده شده است که در فصل بعد به‌طور مفصل بحث خواهد شد.

۱-۳- منطقه مورد مطالعه

معدن سنگ آهن سنگان^۳ خواف در خاورمیانه با ذخیره‌ای بیش از یک میلیارد تن آهن با عیار ۴۷/۷ درصد با تیپ اسکارن، در کمربندی فلز زایی شهرهای خواف - کاشمر - بردسکن^۴ در شمال شرقی ایران واقع شده است. سنگ آهن شامل هفت ناحیه یا ناهنجاری است که در معدن به عناوین (A)، (B)، (C)، (شمالی) و (C جنوبی) و دو کانسار باغک و دردوی از غرب به شرق شناخته می‌شود. مطالعات تاریخی معدن سنگان از ۶۰۰ سال پیش انجام گرفته است، در صورتی که فعالیت‌های معدنی از سال ۱۳۵۴ انجام پذیرفت. اکتشافات گسترده‌ای توسط شرکت ملی فولاد ایران (NISCO^۵) در سال ۱۳۶۲ آغاز گردید و توسط شرکت‌های معدن کاو و کاوشگران و گروه اکتشافی مجتمع سنگان در سال ۱۳۸۳ ادامه یافته و در حال انجام می‌باشد [۲].

در پی انجام این پژوهش، به علت نیاز به مقاطع پولیش خورده^۶ و آماده و بررسی نمونه‌ها، بازدید با همکاری کارکنان محترم معدن سنگان، به این معدن انجام شد و از نزدیک مراحل مختلف استخراج و بهره‌برداری مشاهده گردید. در شکل (۱-۱ الف) معدن سنگ آهن سنگان مشاهده می‌شود، بعد از استخراج سنگ از معدن، سنگ‌ها به قطعات مختلفی تقسیم می‌شوند که در شکل (۱-۱ ب) سنگ آهن مگنتیت از

^۱ Segmentation

^۲ Clustering

^۳ Sangan Iron

^۴ Khaf - kashmar - bardaskan

^۵ National Iranian Steel Co.

^۶ Polished sections

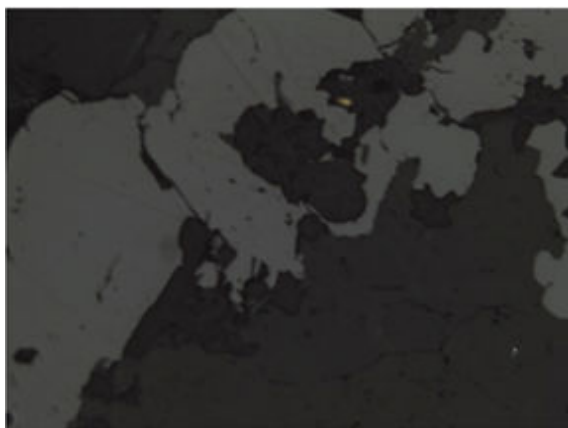
معدن سنگان، مشاهده می‌شود. سپس برای مطالعات میکروسکوپی بایستی قطعات سنگ در جهات خاصی برش زده شوند شکل (۱-۱ ج) و بعد از این مرحله این قطعات صیقل خورده می‌شوند و سطح بسیار صاف برای مطالعه به وجود می‌آیند. شکل (۱-۱ د).



(ب) نمونه سنگ معدنی



(الف) مرحله برداشت در منطقه مورد مطالعه



(د) سنگ برش یافته و پولیش شده در زیر میکروسکوپ



(ج) برش سنگ معدن برای مطالعه میکروسکوپی

شکل ۱-۱. مراحل تولید سطح مقطع

۱-۴- کانی‌های مورد مطالعه این پژوهش

کانی ماده جامدی است که منشأ طبیعی دارد و ساختمان داخلی آن منظم است. همچنین کانی دارای

ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی مشخص است. در طبیعت ۳۵۰۰ کانی مختلف وجود دارد، که عموماً بر اساس خواص فیزیکی شناسایی می‌گردند [۳]. کانی‌ها با توجه به حجمی که دارند و شرایطی که ساخته شده‌اند می‌توانند کاربرد صنعتی داشته یا نداشته باشند. اگر کانی ارزش اقتصادی داشته باشد، سنگ معدن نامیده می‌شود.

کانی‌های اصلی معدن سنگان، کانی‌های هماتیت^۱، مگنتیت^۲ و گوتیت^۳ و کانی‌های باطله آن کالکوپیریت^۴، پیریت^۵ و پیروتیت^۶ می‌باشند. هدف شناسایی این ۶ کانی نامبرده بود که به علت کم بودن داده‌های مربوط به کانی گوتیت در مجموعه، شناسایی آن با داده‌های بسیار کم امکان‌پذیر نبود. بنابراین از مجموعه شناسایی کنار گذاشته شد. در کارهای آتی بعد از غنی‌سازی پایگاه داده، این کانی به مجموعه شناسایی اضافه خواهد شد. در این پژوهش پنج کانی مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. برای آشنایی بیشتر، توضیحاتی در مورد هر کانی در زیر آورده شده است [۵ و ۴].

مگنتیت: این کانی اوایل سال ۱۵۴۸ میلادی، آهن‌ربا نام‌گرفته شد، زیرا در سرزمین‌های مغناطیسی (مگنزیای^۷) یافت شد. کانی مگنتیت در کنار هماتیت از کانی‌های مهم سنگ آهن می‌باشند. مگنتیت یک ماده سنگین، سیاه و یا قهوه‌ای متمایل به سیاه و سفید با یک درخشش فلزی است. این کانی از مغناطیسی‌ترین مواد طبیعی است که معمولاً روی زمین اتفاق می‌افتد. رنگ اصلی آن، سیاه و به تدریج به قهوه‌ای تیره تبدیل می‌شود. در شکل (۱-۲-الف) نمونه‌ای از این کانی نشان داده شده است.

¹ Hematite

² Magnetite

³ Goethite

⁴ Chalcopyrite

⁵ Pyrite

⁶ Pyrrhotite

⁷ Magnesite

هماتیت: نام آن در اصل به معنی سنگ خون بوده است. در بلورهای سنگین و سنگهای بلورهای سنگین به رنگ خاکستری متمایل به سیاه می‌باشد. رنگ‌های آن می‌تواند قرمز مایل به قهوه‌ای، توده‌های قهوه‌ای خاکستری روشن باشد. در شکل (۱-۲-ب) نمونه‌ای از این کانی نشان داده شده است.

پیریت: که کانی باطله معدن سنگان است. پیریت یک کانی بسیار شایع است که در انواع مختلفی از تشکیلات زمین‌شناسی به‌عنوان ساختار سنگ‌های دگرگونی یافت شده است. پیریت زردرنگ و در بسیاری موارد با طلا اشتباه گرفته می‌شود، از این رو نام مستعار «طلای کاذب» نام‌گذاری شده است. پیریت سبک-تر، اما سخت‌تر از طلا است و نمی‌تواند با یک ناخن یا چاقو جیبی خراشیده شود. در شکل (۱-۲-ج) نمونه‌ای از این کانی نشان داده شده است.

پیروتیت: که کانی باطله معدن سنگان است. این کانی در سنگ‌های آذرین اولیه، رگه‌ها و سنگ‌های دگرگونی یافت می‌شود. همچنین اغلب با پیریت، مارکاسیت و مگنتیت یافت می‌شود. خاصیت مغناطیسی دارد و اختلاف قدرت مغناطیسی، بسته به تعداد واحدهای Fe در ساختار بلوری است. در شکل (۱-۲-د) نمونه‌ای از این کانی نشان داده شده است.

کالکوپیریت: که کانی باطله معدن سنگان است. رنگ آن برنجی است و در سال ۱۷۲۵ نام‌گذاری شد. در شکل (۱-۲-و) نمونه‌ای از این کانی نشان داده شده است.



الف) مگنتیت

ب) هماتیت

ج) پیریت



د) پیروتیت

و) کالکوپیریت

شکل ۱-۲. نمونه تصویر میکروسکوپی شامل کانی‌های آهن

۱-۵- کاربرد خواص کانی در شناسایی ماشینی آنها

در کانی‌شناسی مهم‌ترین نوع شناسایی از طریق خواص فیزیکی آنهاست. اگر شناسایی به صورت میکروسکوپی باشد خواصی از قبیل رنگ کانی و سختی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو مهم‌ترین عامل برای شناسایی رنگ است. در جدول (۱-۱) بعضی از ویژگی‌های فیزیکی کانی‌ها که در شناسایی

^۱ Mineral hardness

کانی‌ها مؤثر هستند، مشاهده می‌شود [۶].

جدول ۱-۱. خواص فیزیکی کانی‌ها

فرمول شیمیایی	مگنتیت	هماتیت	پیریت	پیروتیت	کالکوپیریت
	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	FeS ₂	Fe _{1-x} S	CuFeS ₂
سیستم تبلور	دارد	ندارد	دارد	ندارد	ندارد
مکعبی					
رنگ	سیاه	قهوه‌ای-قرمز - خاکستری - سیاه	زرد، زرد طلایی	قهوه‌ای - زرد برنزی - قهوه‌ای	زرد برنجی با انعکاس سبز
سختی	۵.۵	۶.۵	۶	۴.۵-۴	۴-۳.۵
جلا	فلزی-مات-چرب	فلزی - مات	فلزی	فلزی	فلزی
شفافیت	کدر (پاک)	نیمه شفاف - کدر (پاک)	کدر (پاک)	کدر (پاک)	کدر (پاک)
رنگ زیر نور میکروسکوپ	خاکستری	خاکستری	خاکستری روشن	خاکستری	زرد برنجی
درجه روشنایی	۵۰-۶۵	۶۵-۷۵	۱۷۰-۱۲۰	۱۴۰-۱۰۰	۹۰-۶۰

سیستم تبلور^۱ در کانی به ساختار بلورشناسی اشاره دارد. ساختار بلوری به ساختار و جهت‌گیری موکول‌های داخلی کانی گفته می‌شود. ساختار بلوری را می‌توان جعبه‌های بسیار کوچکی در نظر گرفت که این جعبه‌ها در کنار هم ساختار بلوری را تشکیل می‌دهند. کاربرد این مسئله در پردازش تصویر این است که پژوهشگر کافی است بداند که این کانی سیستم تبلور مکعبی دارد یا خیر. کاربرد این مسئله در پردازش تصویر در شناسایی این کانی این است که در زیر نور تجزیه‌گر^۲ ازهرجهتی از مقطع تصویربرداری شود به یکرنگ دیده خواهد شد. از این خاصیت سیستم تبلور برای شناسایی کانی‌هایی که سیستم تبلور مکعبی ندارند مانند هماتیت می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. مخصوصاً هنگامی که پژوهشگر خواستار پیدا

^۱ Crystal system

^۲ analyzer

کردن دانه‌های^۱ هماتیت در تصویر باشد می‌تواند با چرخش مقطع در زیر نور آنالیزور هر دانه هماتیت را به صورت درجه سطح روشنایی^۲ متفاوت ببیند [۷].

۱-۶- تعریف مسئله

در این پژوهش مطالعه روی معدن سنگان انجام گرفت و کانی‌های اصلی و باطله این معدن شامل هماتیت، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت و پیروتیت مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. بنابراین اصل مسئله شناسایی در اینجا، مسئله دسته‌بندی تصاویر است. در این مسئله ورودی تصاویر کانی به‌عنوان داده‌های آموزشی و تعدادی تصاویر به‌عنوان داده آزمون است. مجموعه آموزشی شامل ۷ مجموعه است که کانی-های روی تصاویر ورودی به یکی از این ۷ مجموعه تعلق دارند. ۷ مجموعه شامل ۵ کانی مورد مطالعه و زمینه غیرفلز و کانی الیمینیت است که در تصاویر پایگاه داده وجود داشت. مجموعه آزمون نیز به همین صورت است. سپس سیستم دسته‌بندی این مطالعه که روش آماری نزدیک‌ترین همسایه است، برچسب مربوط به هر داده جدید را توسط مجموعه داده‌های آموزشی به دست می‌آورد.

برای حل مسئله دسته‌بندی روش‌های مختلفی به کار گرفته شده است. یکی از روش‌ها، این است که از هر تصویر مجموعه داده که شامل یک کانی مجزاست، یک بردار ویژگی سراسری استخراج شود. که این بردار ویژگی برای تمام تصاویر طول برابر دارد. بردار ویژگی باید تا حد ممکن بیان‌گر اطلاعات موجود در تصویر باشد. ویژگی‌هایی که معمولاً برای توصیف تصاویر استفاده می‌شود، به سه دسته رنگ، بافت و شکل تقسیم می‌شوند [۸]. بعد از آن، این بردار ویژگی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین دسته‌بندی می‌شوند. در این مسئله بردار ویژگی هیستوگرام هر کانی و ویژگی‌های بافتی آن می‌باشد و روش دسته‌بند

^۱ Grain

^۲ Gray level

آن، روش نزدیک‌ترین همسایه با معیار شباهت Jensen می‌باشد.

در ابتدا، باید تصاویر ورودی برای ورود به مجموعه داده آموزشی و آزمون، تحت عمل قطعه‌بندی انجام بگیرند. برای حل مسئله قطعه‌بندی نیز روش‌های مختلفی به کار برده شده است. روشی که معمولاً برای شناسایی تکه‌های کانی استفاده می‌شود، روش رشد ناحیه است. که در این رساله از این روش برای قطعه‌بندی استفاده شده است. در این مسئله پس از شناسایی، درصد کانی محاسبه می‌گردد.

۱-۷- هدف پایان‌نامه

خودکارسازی تشخیص کانی‌های سنگ‌آهن از روی تصاویر مقاطع میکروسکوپی و بررسی و تحلیل هر کانی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر به منظور بهبود سرعت تشخیص، مهم‌ترین اهداف این پژوهش است.

هدف اصلی از انجام این تحقیق، ماشینی کردن و تسهیل فرآیند شناسایی میکروسکوپی و تعیین پارامترهای کمی کانی‌شناسی، که اولین گام در جهت فرآوری (جداسازی ماده معدنی از باطله) هر کانی به شمار می‌رود، با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر است. انجام مطالعات میکروسکوپی متداول، با روش‌های چشمی، برای تعیین پارامترهای کمی کانی‌شناسی، کاری بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده است و به دلیل اشتباهات انسانی، ناگزیر با خطاهایی همراه است. بنابراین پس از انجام مطالعات کانی‌شناسی اولیه و تشخیص نوع کانی و کانی‌های باطله‌ی همراه، جایگزینی این روش با روش‌های نوین بر پایه‌ی نرم‌افزار، می‌تواند باعث تسهیل فرآیند شناسایی کانی‌ها، افزایش دقت و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در زمان شود. به‌طوری‌که با این روش، امکان مطالعه و بررسی تصاویر صدها مقطع، در زمان بسیار کم فراهم می‌شود، کاری که در عمل با روش‌های سنتی، نیاز به روزها کار و بررسی دارد.

سنگ معدن اصلی مگنتیت به همراه هماتیت و گوتیت می‌باشد و علاوه بر آن پیروتیت، پیریت و

کالکوپیریت نیز به صورت باطله همراه با ماده معدنی وجود دارند [۲]. با توجه به فعال بودن بخش فرآوری خودکارسازی مطالعات کانی‌شناسی سنگ معدن و باطله بسیار ضروری است. لازم به ذکر است که در این مجتمع احداث مرکز جامع فرآوری شرق کشور در دست اقدام است و آزمایشگاه پردازش تصاویر در برنامه کار قرار دارد. لذا تهیه نرم‌افزار و تکنیک‌های پردازش تصویر برای ارزیابی کانی‌شناسی سنگ معدن و باطله در معدن سنگان آهن ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۸- چالش‌های مسئله تشخیص کانی

در این پژوهش به دلیل مطالعه موردی روی سنگ‌آهن معدن سنگان، پایگاه داده استاندارد برای این کار وجود نداشت. بنابراین تولید یک پایگاه داده منسجم از ملزومات اولیه این پژوهش بود. تصویربرداری هر سطح مقطع با استفاده از میکروسکوپ نوری تحت نور پولاریزان^۱ گرفته شد. همچنین برای تصویربرداری از میکروسکوپ، از دوربین تعبیه شده بر روی میکروسکوپ استفاده شده است. دوربین‌های مختلف تصاویر یکسانی به دست نمی‌دهند. بنابراین نتایج ممکن است متفاوت باشد. بدین منظور از روش‌های ریخت-شناسی^۲ و فیلترهای مختلف بر روی تصاویر استفاده شده است. کانی و موادی که در داخل زمین تشکیل می‌شوند، دارای ناخالصی هستند، این ناخالصی در تصاویر باعث تغییر رنگ می‌شوند.

مشکل دیگر اینکه اندازه تصاویر که از میکروسکوپ نوری گرفته می‌شود نسبت به کیفیت آن بسیار زیاد است. این مورد باعث افزایش زمان اجرا می‌شود. از سویی دیگر با کاهش اندازه تصاویر، اطلاعات کانی-شناسی زیادی از دست داده خواهد شد.

^۱ Polarized

^۲ Morphological operations

۱-۹- ساختار پایان نامه

این پژوهش در پنج فصل تدوین شده است. در فصل دوم مرور مختصری بر کانی‌شناسی و روش‌های دستی و مکانیزه آن می‌پردازیم و همچنین کارهای پیشین را مرور خواهیم کرد. همچنین درباره تاریخچه کانی‌شناسی و روش‌های تشخیصی انجام‌شده روی کانی‌های مختلف اعم از سنگ آهن و غیر آن نیز در فصل دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم روش پیشنهادی به‌طور مفصل بحث می‌شود و نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در فصل چهارم و نتیجه‌گیری و پیشنهاد ادامه کار در فصل پنجم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

فصل دوم

مروری بر روش‌های شناسایی کانی‌ها

۲-۱- مقدمه

شناسایی کانی‌ها در معادن معمولاً به صورت دستی انجام می‌شود. با توجه به احتمال خطا توسط انسان و سرعت پایین نیروی انسانی در این کار، به سیستمی که بتواند این عملیات را در زمان مناسب و با درصد خطای پایین انجام دهد، نیاز است. بنابراین با توجه به نیاز معادن، روش‌هایی برای شناسایی کانی‌ها در گذشته انجام شده است که در این فصل به آن‌ها اشاره می‌شود. در این فصل عملیات پردازش تصویری که در گذشته بر روی کانی‌ها برای شناسایی آن‌ها به کار برده شده است ذکر شده و چگونگی استفاده از آن‌ها بیان می‌گردد. از منابع مشابه مانند شناسایی سنگ و شناسایی دانه‌های کانی هم استفاده شده است.

۲-۲- روش‌های کانی‌شناسی

روش‌های مختلفی برای شناسایی کانی‌ها وجود دارند. روش‌هایی اعم از مکانیزه و دستی وجود دارند که در اینجا مختصری معرفی می‌شوند.

به طور کلی شناسایی کانی‌ها در سه دسته قرار می‌گیرند. دسته اول شناسایی کانی‌ها با استفاده از خواص فیزیکی آن‌ها از روی نمونه دستی است. خواصی مانند رنگ، بو، مزه، شکل ظاهری، خاصیت مغناطیسی و مواردی از این قبیل است که این نوع شناسایی دقت پایینی دارد. دسته دوم شناسایی از طریق خواص نوری کانی‌هاست که موضوع مورد بحث در این پژوهش می‌باشد. در این نوع شناسایی میکروسکوپ نوری برای تعیین خواصی مانند انعکاس، رنگ، سختی و تغییر رنگ کانی استفاده می‌شود. دسته سوم شناسایی، شناخت کانی با استفاده از ترکیب شیمیایی آن می‌باشد. که در این نوع شناسایی بایستی میکروسکوپ الکترونی، کانی‌های موجود در سطح مقطع را با استفاده از ترکیب شیمیایی آن شناسایی کند. به علت ارائه ترکیب شیمیایی عناصر موجود در مقطع توسط این میکروسکوپ، دقت بالایی در این نوع شناسایی وجود دارد. می‌توان برای صحت شناسایی در روش دوم، از این روش استفاده نمود.

۳-۲ - مهم‌ترین روش‌های شناسایی کانی‌ها به صورت دستی

کانی‌ها معمولاً بر اساس خواص فیزیکی آن‌ها شناسایی می‌شوند، که شامل رخ، سختی، رنگ، رنگ خاکه، فرم بلورهای، خاصیت مغناطیسی، قابلیت حلالیت و چگالی است [۳]. توضیح هر کدام از این موارد مفصل است و از بحث این پژوهش خارج است.

۴-۲ - روش‌های شناسایی ماشینی

اساس کار در پردازش ماشینی برخی از خواص فیزیکی کانی‌ها است. با توجه به رنگ کانی زیر نور قطبی شده میکروسکوپ نوری و انعکاس آن می‌توان از روش‌های پردازش تصویر برای آن‌ها استفاده نمود. از روش‌های پردازش تصویری می‌توان درجه سطح روشنایی، رنگ، قطعه‌بندی و اندازه قطعه در سطح مقطع نام برد.

به‌طور معمول در روش‌های شناسایی کانی عملیاتی مانند پیش‌پردازش، استخراج ویژگی، مدل رنگ، لبه-یابی، عملیات آماری، کاهش ابعاد داده، قطعه‌بندی و خوشه‌بندی استفاده می‌شود که حوزه‌های مختلف تکنیک‌های پردازش تصویر می‌باشند. در ادامه برخی از پژوهش‌های مهم در این زمینه مرور می‌شوند.

۲-۴-۱ - عملیات پیش‌پردازش

علت اهمیت پیش‌پردازش^۱ در تصاویر سطح مقطع وجود نویز در هنگام گرفتن تصاویر، توسط میکروسکوپ نوری است. همچنین تصاویری که از این میکروسکوپ گرفته می‌شود، نیاز به صاف نمودن سطح تصویر در یک کانی در تصویر سطح مقطع داریم. همچنین این تصاویر که از این میکروسکوپ گرفته

^۱ Pre processing

می‌شود خیلی حجیم بوده و برای پردازش برخط بایستی اندازه آن به ابعاد کوچک‌تر تغییر نماید.

در تهیه تصویر زیر میکروسکوپ نوری معمولاً جابجایی بین تصاویر BF (زمینه روشن) و $POL+\theta$ و $POL-\theta$ ایجاد می‌شود. منظور از $POL+\theta$ ، یعنی زاویه، به اندازه θ زیاد می‌شود و منظور از $POL-\theta$ یعنی زاویه، به اندازه θ کم می‌شود. θ پارامتری است که بر اساس روش سعی و خطا به دست می‌آید و تصاویر BF تصاویر باینری شده می‌باشند. این به خاطر این است که پلاریزور / آنالیزها^۱ نسبت به محور نوری نصب شده کمی مایل هستند، که برای جلوگیری از بازتاب‌های اضافی در میکروسکوپ اتفاق می‌افتد. این جابجایی بسیار کم است. مانند جابجا شدن یک پیکسل در جهت X یا در جهت Y، که این اختلاف‌ها بایستی از بین بروند [۹].

در روش ارائه شده در [۱۰] عملیات مورفولوژی را برای هموار کردن تصویر به دست آمده از میکروسکوپ بکار برده است. این عملیات مانند باز کردن^۲ و بسته کردن^۳ است. همچنین برای تمایز بین هماتیت و مگنتیت از عملیات مورفولوژی استفاده کرده است. در روش ارائه شده در [۱۱] از فیلتر میانگین برای کاهش اثر نویز نمک و فلفل^۴، قبل از عمل تقسیم‌بندی استفاده شده است. در بعضی موارد عملیات پیش پردازش نقش مهمی در تشخیص مرز دانه‌های کانی را دارا می‌باشد [۱۲].

۲-۴-۲- استخراج ویژگی

استخراج ویژگی^۵ در پردازش آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اینکه از روی الگوهای یک تصویر هویت و یا خالق آن تصویر مشخص شود باید یک سری مشخصات عام و یا خاص از دل تصویر بیرون

^۱ polarizer / analyzer

^۲ Opening

^۳ Closing

^۴ Salt and pepper noise

^۵ Feature extraction

کشیده شود که به این کار استخراج ویژگی گفته می‌شود.

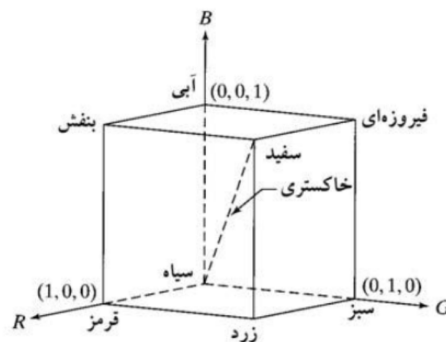
ویژگی‌های تصویر برای مفسران انسانی می‌تواند رنگ^۱، بافت^۲، شکل اندازه سایه^۳ و پیوستگی باشد. یا می‌تواند ویژگی‌هایی از کل تصویر مانند ویژگی‌های بافتی هارلیک^۴ مانند آنتروپی^۵، کنتراست^۶ انرژی^۷ و یکنواختی^۸ باشد. تکنیک‌های پردازش تصویر سنتی تنها رنگ و شاید بافت را استفاده نمایند. علاوه بر این ویژگی‌ها، استفاده از ویژگی‌هایی مانند شکل، اندازه، سایه و پیوستگی در [۱۳] استفاده شده است.

۲-۴-۳- مدل رنگ^۹

رنگ توصیف‌کننده‌ای قدرتمند است که تشخیص هدف و استخراج آن را از صحنه آسان می‌کند. مدل‌های فضای رنگی شامل RGB، HSV، CMY، YIQ، YCbCr و Lab می‌باشد. توضیح و تفصیل تمامی مدل‌ها از حوصله بحث خارج است. بنابراین به یک نمونه اکتفا می‌کنیم. شکل (۲-۱) مدل رنگ RGB ارائه شده است.

مدل رنگی RGB: از سه ماتریس قرمز آبی و سبز تشکیل شده است که از ترکیب این سه رنگ اصلی رنگ‌های دیگر به وجود می‌آیند [۱۳و۷].

¹ Color
² Texture
³ Shadow Shape size
⁴ Haralick
⁵ Entropy
⁶ Contrast
⁷ Energy
⁸ Homogeneity
⁹ Color space

شکل ۲-۱. فضای رنگ RGB

۲-۴-۴- لبه‌یابی^۱

به بخش‌هایی از تصویر که تغییرات شدت روشنایی آن به تندی تغییر می‌کند، لبه می‌گویند. تغییرات شدید در تصویر نمایانگر رویدادهای مهمی در تصویر است.

لبه‌ها ممکن است وابسته به دیدگاه باشند، یعنی می‌توانند با تغییر نقطه دید تغییر کنند، و نوعاً هندسه صحنه، اجسامی که جلوی همدیگر را گرفته‌اند و مانند آن را نشان می‌دهند یا ممکن است نا وابسته به دیدگاه باشند، که معمولاً نمایانگر ویژگی‌های اجسام دیده‌شده همچون نشان‌گذاری‌ها و شکل سطح باشند. در دو بعد و بالاتر مفهوم تصویر باید در نظر گرفته شود. به عنوان یک نمونه، یک لبه نوعی ممکن است مرز میان یک بخش قرمز رنگ و یک بخش سیاه رنگ باشد، با وجود آنکه یک خط، می‌تواند تعدادی پیکسل نا هم‌رنگ در یک زمینه یکنواخت باشد. بنابراین در هر سوی خط یک لبه وجود خواهد داشت. لبه‌ها نقش مهمی در کاربردهای پردازش تصویر دارند [۱۴].

راه‌های زیادی برای شناسایی لبه‌ها وجود دارد. اکثر آن‌ها به دودسته، گرادیان^۲ و لاپلاسی^۱ تقسیم شوند.

^۱ Edge detection

^۲ Gradient

روش gradient با جستجوی حداکثر و حداقل در اولین مشتق‌گیری از تصویر، لبه‌ها را تشخیص می‌دهد. روش Laplacian برای جابجایی صفر در مشتق دوم تصویر برای پیدا کردن لبه‌ها جستجو می‌کند. فیلتر سوبل^۲ یک روش گرادیان برای پیدا کردن لبه می‌باشد و شامل دو هسته است که تغییرات افقی و عمودی در یک تصویر را تشخیص می‌دهد. اگر هر دو به یک تصویر اعمال شوند، می‌توان نتایج را برای محاسبه میزان و جهت لبه‌های تصویر مورد استفاده قرارداد [۱۳].

لبه‌یابی در تصاویر رنگی به صورت برداری و ترکیبی انجام می‌شود. در روش ترکیبی، تکنیک‌های لبه‌یابی روی هر سه کانال رنگی انجام می‌گیرد و در انتها با یکدیگر ترکیب می‌شود. در روش برداری عملیات با استفاده از بردارها انجام می‌شود که در آن هر پیکسل به صورت یک بردار می‌باشد. روش ترکیبی از روش برداری ساده‌تر و سریع‌تر بوده اما ممکن است شدت لبه را به درستی نشان ندهد. از ترکیب الگوریتم‌های لبه‌یابی مانند سوبل و روش واترشیف می‌توان لبه‌یابی بهتری داشت [۱۵].

در روش ارائه شده در [۱۰] برای لبه‌یابی از تکنیک‌های مورفولوژی با جزء ساختاری ۳ پیکسل استفاده نموده است. همچنین روش آستانه گذاری آتسو را برای جداسازی لبه‌ها از زمینه بکار برده است. یکی از مشکلات، لبه‌هایی با سطح خاکستری مانند مگنتیت می‌باشد. در بعضی از آزمایش‌های سطح خاکستری لبه‌های دانه‌های هماتیت، سطح خاکستری مشابه مگنتیت دارند و به همین دلیل اشتباهاً به عنوان مگنتیت طبقه‌بندی می‌شوند. به منظور از بین بردن این اثر، مگنتیت بین لبه خارجی دانه‌های هماتیت و لبه خارجی حفره‌ها اضافه شده، به هماتیت اضافه می‌شود و از مگنتیت جدا می‌شود. ضخامت این لبه شبه مگنتیت به صورت تجربی به ۴ پیکسل (۲/۵۷۲ میکرون) تعیین شده است.

^۱ Laplacian^۲ Sobel filter

از روش اتوماتای دوبعدی سلولی برای استخراج مرز دانه‌های کانی استفاده می‌شود. استخراج خودکار مرزها، حاوی اطلاعات مهمی مانند شکل، جهت‌گیری و توزیع فضایی دانه‌ها می‌باشد. این پژوهش رویکردی بر قوانین مبتنی بر همسایگی مور دارد. همسایگی مور یک ماتریس 3×3 می‌باشد که برای مقایسه تغییر حالت‌ها بین پیکسل مرکزی و همسایگی‌های آن استفاده شده است. وضعیت بعدی پیکسل به وضعیت کنونی آن پیکسل و همسایگانش بستگی دارد. در صورتی که تعداد تکرار برای تشخیص مرزها توسط کاربر مشخص شده باشد، قوانین، حالت بعدی هر سلول را تعیین می‌کنند [۱۶].

۲-۴-۵- عملیات آماری^۱

عملیاتی که روی کل پیکسل‌ها برای رسیدن به هدف مورد نظر انجام می‌شود را عملیات آماری می‌گویند. آمار مرتبه اول، مانند پردازش هیستوگرام است که شدت روشنایی هر پیکسل مستقل از پیکسل‌های دیگر بررسی می‌شود. در آمار مرتبه دوم، از ماتریس هم‌پوشانی استفاده می‌شود که این ماتریس، ماتریسی است که بر روی یک تصویر تعریف می‌شود تا توزیع مقادیر هم‌پوشانی (مقادیر سیاه و سفید و رنگی) را در یک آفست مشخص تعیین کند. آنتروپی و کنتراست و انرژی تصویر هم در دسته آمار مرتبه دوم قرار می‌گیرند [۱۳].

در روشی که پترسن و همکاران در سال ۱۹۹۸ میلادی ارائه داده‌اند، شناسایی ذرات مواد معدنی به وسیله واریانس کلی تصویر انجام می‌شود و یک روش بافتی است که از واریانس و اپراتورهای دامنه (سطح خاکستری دوبعدی) استفاده می‌کند [۱۷].

در پژوهش ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی، از تابع کوواریانس و توزیع تراکم طولی برش خطی و

¹ Statistical operation

تابع مجاورت پیکسل‌ها برای تشخیص ذرات مواد معدنی و استخراج بافت سنگ استفاده شده است [۱۸]. از عملیات آماری که می‌توان نام برد، پردازش هیستوگرام می‌باشد. در روش ارائه‌شده در [۱۹] از روش پردازش هیستوگرام و کنتراست تصویر استفاده شده است و این عملیات روی کل تصویر انجام می‌گیرد. در این پژوهش از روش بهبود کنتراست خطی استفاده شده است. در روش بهبود کنتراست خطی، یک رابطه خطی بین مقادیر تصویر اصلی و مقادیر نمایش داده‌شده انجام می‌شود. بهبود کنتراست خطی بهترین نتیجه را در توزیع گاوسی هیستوگرام تصویر به دست می‌دهد. هیستوگرام گاوسی ایده‌آل، هیستوگرامی است که در آن مقادیری هستند که در محدوده تک مد قرار دارند و مد در هر دو طرف به صورت متقارن توزیع می‌شود. مقادیری که در روش بهبود کنتراست خطی به دست می‌آیند بر اساس رابطه (۱-۲) محاسبه می‌شوند.

$$g(x, y) = \left(\frac{f(x, y) - f(x, y)_{\min}}{f(x, y)_{\max} - f(x, y)_{\min}} \right) * 255 \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

که در آن $g(x, y)$ مقدار پیکسلی که نمایش داده می‌شود، $f(x, y)$ مقدار پیکسل تصویر اصلی، $f(x, y)_{\min}$ کمترین مقدار پیکسل تصویر اصلی و $f(x, y)_{\max}$ بیشترین مقدار پیکسل تصویر اصلی می‌باشند. برابر سازی هیستوگرام برای تصاویری که مقادیر رنگ متفاوتی دارند، مناسب می‌باشد. با استفاده از روش اصلاح کنتراست و روش هیستوگرام بر روی تصویر اصلی، تصویر برای پردازش تقسیم‌بندی آماده می‌شود. در این فرآیند که غنی‌سازی تصویر نامیده می‌شود، مرزها در تصویر لبه‌ها هستند و موفقیت روند تقسیم‌بندی افزایش می‌یابد.

در پژوهش کروس در سال ۱۹۹۶ میلادی، از پردازش سطوح خاکستری برای شناسایی انواع کانی استفاده شده است [۲۰]. در بعضی از پژوهش‌ها برای تشخیص مرز دانه‌های کانی از عملیات آماری مانند روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شده است [۱۲].

۲-۴-۶- کاهش ابعاد داده

معمولاً به علت پردازش طولانی داده‌های مشابه نیاز به کاهش ابعاد داده احساس می‌شود. مرسوم‌ترین روش مورد استفاده روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA^1) می‌باشد. PCA مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس را دارند حفظ می‌کند روال PCA این است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به طوری که بزرگ‌ترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگ‌ترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین‌طور ادامه دارد.

در پژوهش هنرمندو همکاران در سال ۱۳۸۴، تصاویر ماهواره‌ای جغرافیایی که از دستگاه خاصی ضبط می‌شوند، اغلب شبیه یکدیگرند. در این موارد نیاز به کاهش ابعاد داده وجود خواهد داشت. اولین مؤلفه PCA دارای بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است [۲۱].

۲-۴-۷- قطعه‌بندی^۲

روش مورد علاقه پژوهشگران در زمینه شناسایی کانی روش قطعه‌بندی و دسته‌بندی است. تقطیع تصویر نشان‌دهنده عملی است که در آن، یک تصویر خام ورودی به مناطقی معنادار تقسیم‌بندی می‌شود. شناسایی و تفکیک یک تصویر به اجزای سازنده‌اش یا همان تقطیع تصویر نقش مهمی در بسیاری از کاربردهای پردازش تصویر دارد. یکی از همین کاربردها شناسایی کانی‌ها در سطح مقطع می‌باشد.

روش آستانه گذاری (مبتنی بر هیستوگرام): در ابتدایی‌ترین مبحث، بحث روش جداسازی شیء از زمینه است، که در این روش یک حد آستانه کافی است. می‌توان چندین حد آستانه برای تشخیص چندین کلاس وجود داشته باشد. تعداد حد آستانه‌ها یکی کمتر از تعداد کلاس‌ها می‌باشد [۲۲].

¹ Principal Component Analysis

² Segmentation

دلبم و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی، برای تعیین تعداد کانی‌های روی تصویر از روش آستانه گذاری مبتنی بر هیستوگرام استفاده نموده است. قبل از کلاس‌بندی کانی‌ها و پردازش هیستوگرام در روش آستانه گذاری، عملیات پیش‌پردازشی مانند تیز کردن لبه‌ها، هموارسازی سطوح انجام گرفته است [۲۳].

الگوریتم واترشید^۱: الگوریتم واترشید یک تبدیل روی تصاویر خاکستری می‌باشد. این نام به‌طور استعاری به یک حوزه آبریز زمین‌شناسی یا تقسیم زهکشی اشاره دارد که حوضه‌های مجاور را جدا می‌کند.

روش تبدیل حوضچه با تصویر مانند نقشه توپوگرافی عمل می‌کند، که روشنایی هر نقطه در تصویر، ارتفاع آن را نشان می‌دهد و خطوطی که در امتداد تپه‌ها قرار دارند را، پیدا می‌کند [۲۴]. الگوریتم آن به‌صورت زیر می‌باشد.

۱- مجموعه‌ای از پیکسل‌های شروع انتخاب می‌شوند و علامت‌گذاری می‌شوند و به هر کدام یک برچسب متفاوت داده می‌شود.

۲- پیکسل‌های همسایه هر ناحیه، علامت‌گذاری شده وارد یک صف اولویت با سطح اولویت مرتبط با مقدار گرادیان پیکسل می‌شوند.

۳- پیکسلی که پایین‌ترین سطح اولویت را دارد از صف اولویت خارج می‌شود. اگر همسایگان پیکسل خارج‌شده که قبلاً برچسب‌گذاری شده‌اند، یک برچسب مشابه داشته باشند، پیکسل با برچسب آن‌ها برچسب‌گذاری می‌شود. همه پیکسل‌های همسایه که نامشخص هستند و هنوز در صف اولویت قرار نگرفته‌اند در صف اولویت قرار می‌گیرند.

۴- مرحله ۳ تکرار می‌شود تا هنگامی که صف خالی شود. پیکسل‌هایی که برچسب ندارند خطوط

^۱ Watershed algorithm

حوضچه هستند.

از روش قطعه‌بندی واترشید (تقسیم حوضچه) در پژوهش بارود در سال ۲۰۰۶ میلادی، برای تحلیل بافتی تصاویر مقاطع نازک استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از الگوریتم واترشید برای تشخیص لبه نیز استفاده شده است [۲۵].

در این پژوهش، استراتژی واترشید در برابر یک تصویر مانند یک تابع ارتفاع عمل می‌کند. درجه سطح خاکستری یک پیکسل بیانگر ارتفاع یک نقطه در یک سطح است. شکل (۲-۳) تصویری از یک مقطع نازک را نشان می‌دهد که مانند یک مدل ارتفاعی دیجیتالی است که در آن دانه‌های با رنگ مشابه، منطقه‌ها را در ارتفاعات مختلف مشخص می‌کنند. سپس یک فیلتر گرادیان اعمال می‌شود تا لبه‌های هر دانه به عنوان مرز و دانه‌ها به عنوان دره مشاهده شوند. اگر این توپوگرافی مجازی در حالت لبریز باشد، آب در حوضچه جمع‌آوری خواهد شد. اندازه این حوضچه‌ها با افزایش سطح آب، هنگامی که حوضچه‌های مجاور ادغام می‌شوند، رشد می‌کنند. مرزهای باقی‌مانده از سیلاب، مرزهای دانه‌ها می‌باشند. پیاده‌سازی الگوریتم واترشید، شامل هموارسازی تصویر اولیه به وسیله فیلتر انتشار بی‌نظیر^۱ است. این فیلتر مقدار زیادی از نویز را حذف می‌کند در حالی که وضوح لبه‌های دانه را حفظ می‌نماید. انتشار بی‌نظیر بستگی به ساختار دیفرانسیلی تصویر دارد. بنابراین، اثر هموارسازی در لبه‌ها کمتر مشخص می‌شود، که با مقدار شیب زیاد اندازه‌گیری شده است. تمام فیلترها در سه کانال رنگی RGB به‌طور همزمان اعمال می‌شوند. پس از فیلتر انتشار بی‌نظیر، تابع ارتفاع با یک اپراتور گرادیان بر روی اندازه پیکسل محاسبه می‌شود. در نهایت، تقسیم‌بندی واترشید انجام می‌شود. خروجی یک تصویر رنگی است که هر دانه یک رنگ متفاوت دارد شکل (۲-۳). در این مقاله چهار پارامتر کنترل وجود دارد. پارامتر تعداد تکرار، پارامتر برای فیلتر

^۱ “anisotropic diffusion” filter

هموارسازی، پارامترهای آستانه و سطح آب برای فیلتر تقسیم‌بندی می‌باشند. ترکیب مناسب این چهار پارامتر توسط روش سعی و خطا^۱ به دست آورده شده است. (تقسیم‌بندی زیاد و تقسیم‌بندی کم در شکل (۳-۲ d و c) آورده شده است). پارامتر فیلتر هموارسازی، حساسیت فیلتر انتشار را برای لبه‌های دارای کنتراست بالا، کنترل می‌کند. تعداد تکرار نیز مدت زمان اجرای انتشار را تعیین می‌کند با تأکید بر اینکه اثر تار شدگی را نیز بالا می‌برد. معمولاً مقادیر پارامتر هموارسازی ۲ الی ۸ و تعداد تکرار ۲ تا ۶ تعیین شده است. مقادیر آستانه و سطح آب، کسری از بیشترین عمق تصویر ورودی می‌باشد. همچنین آستانه به نويز پس‌زمینه تصویر وابسته است که بایستی قبل از قطعه‌بندی حذف گردد.

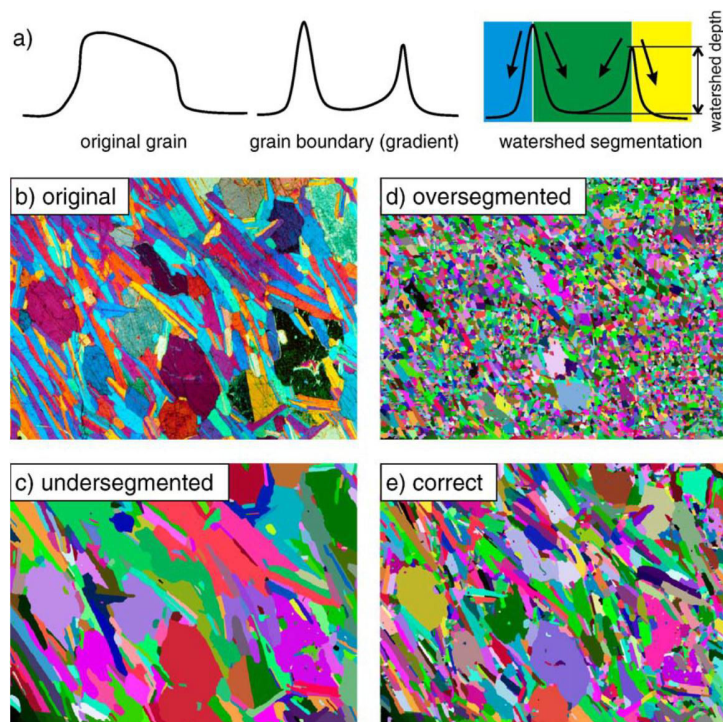
یکی از موارد استفاده از الگوریتم واترشید در لبه‌یابی می‌باشد. برای اینکه دقت الگوریتم سوبل بیشتر شود آن را با واترشید و گیبور^۲ ترکیب کرده‌اند [۱۵].

در روش ارائه شده در [۲۶] برای لبه‌یابی بین چند کانی و تقسیم‌بندی نواحی از الگوریتم واترشید همزمان با دیگر الگوریتم‌های لبه‌یابی استفاده شده است که خود این الگوریتم واترشید اگر پس‌پردازشی نداشته باشد باعث تقسیم‌بندی بیش از حد^۳ می‌شود. برای حل این مشکل در پژوهش مذکور از راه‌حل‌های آماری استفاده شده است که از اطلاعات سطح خاکستری تصویر استفاده می‌کند. یک ماسک دایره‌ای را روی تصویر می‌غلتاند و از همسایگی‌های پیکسل برای لبه‌یابی استفاده می‌نماید.

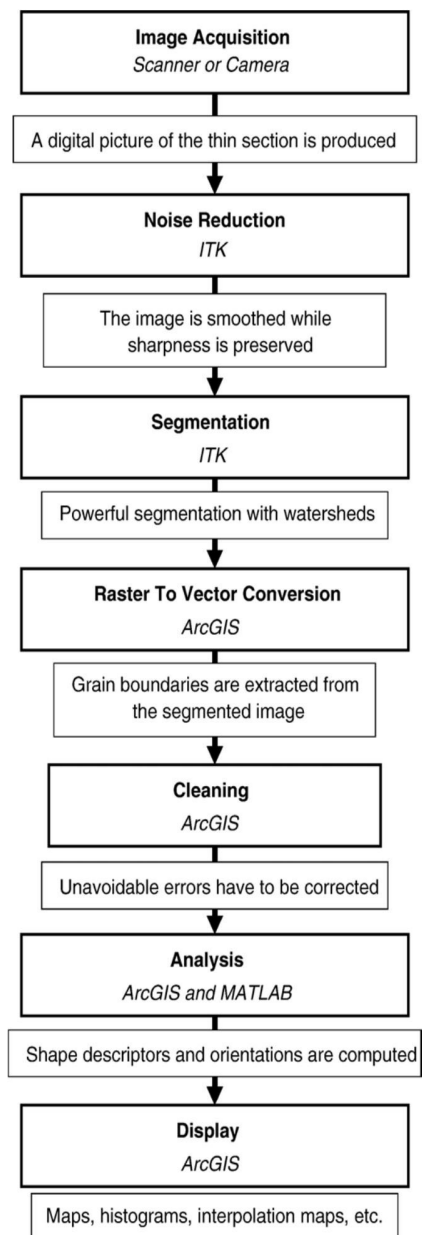
^۱ Try and error

^۲ Gabor filter

^۳ Oversegmentation



شکل ۲-۳. تقسیم آبریزش (a) منحنی در سمت چپ شدت روشنایی فرضی یک تصویر را از طریق یک دانه نشان می‌دهد. مرزهای دانه توسط شیب‌های تند در هر دو طرف شدت روشنایی زیاد تعریف می‌شود. تصویر دوم که گرادیان را نمایش می‌دهد، ناحیه توپوگرافی را که می‌تواند به وسیله آب پر شود مشخص می‌کند. حوضه‌ها تا سطحی به نام عمق حوزه آبریز پر می‌شوند که میزان نهایی تقسیم‌بندی را کنترل می‌کند. (b) تصویر اصلی ترک‌تولیت (قطب‌های عبور داده شده و صفحات لامبدا، طول پایین ۶.۵ میلی‌متر). (c) نتیجه قطعه‌بندی کم (سطح = ۰.۱۶). (d) نتیجه قطعه‌بندی زیاد (سطح = ۰.۴). (e) قطعه‌بندی صحیح (سطح = ۰.۳) [۲۵]



شکل ۲-۲. مراحل کار در [۲۵]

در پژوهش [۱۰] از الگوریتم واترشید و تبدیل فاصله بر روی تصاویر باینری استفاده کرده است. منطقه‌ها علامت‌گذاری می‌شوند و به هر منطقه یک دانه تعلق می‌گیرد و به‌طور متوالی در مراحل واترشید تا زمانی که تمام قسمت‌های تصویر ورودی به یک منطقه تقسیم شود، رشد می‌کنند. حاصل استفاده از واترشید

جدا کردن گلوله‌های متصل به هم و مستقل ساختن هر گلوله می‌باشد.

روش آستانه گذاری آتسو^۱: آتسو یک روش آستانه گذاری خودکار است که با توجه به هیستوگرام تصویر یک مقدار آستانه را تولید می‌کند. نحوه عملکرد روش‌های آستانه‌گذاری تصاویر بدین صورت است که تصویر در دو کلاس اصلی پس‌زمینه و پیش‌زمینه فرض می‌گردد و سعی می‌کند، بهترین آستانه برای تقسیم هیستوگرام به دو کلاس را پیدا کند [۲۲].

در روش ارائه شده در [۱۰] از الگوریتم واترشید برای قطعه‌بندی دانه‌های هماتیت و مگنتیت استفاده می‌نماید اما اگر تصویر حاوی تعداد زیادی مگنتیت باشد ممکن است الگوریتم جواب نادرست بدهد. از این رو از روش آستانه‌گذاری آتسو بر روی هیستوگرام خاکستری استفاده می‌شود. اگر آستانه سطح خاکستری شناسایی شده بین مگنتیت و هماتیت برای یک تصویر خاص، کمتر از مقدار خاکستری پیک مگنتیت در هیستوگرام ترکیبی خاکستری تمام تصاویر پلت باشد، شکست تقسیم‌بندی اتفاق افتاده است. در این مورد از یک آستانه خاکستری با استفاده از روش آتسو بر روی هیستوگرام خاکستری همه تصاویر استفاده شده است.

الگوریتم رشد ناحیه^۲: رشد ناحیه پروسه‌ای است که در آن پیکسل‌های مجاور با دامنه یکسان با یکدیگر گروه‌بندی می‌گردند تا یک ناحیه‌ی قطعه‌بندی شده را شکل بدهند. قطعه‌بندی با انتخاب یک مجموعه از نقاط به نام نقاط بذر آغاز می‌گردد و با الحاق نقاط مجاور هر نقطه‌ی بذر که دارای مشخصات مشابهی (نظیر بازه مشخصی از سطح تیرگی یا رنگی) با آن نقطه بذر می‌باشند، رشد ناحیه انجام می‌گردد [۲۴].

الگوریتم رشد ناحیه به صورت زیر می‌باشد.

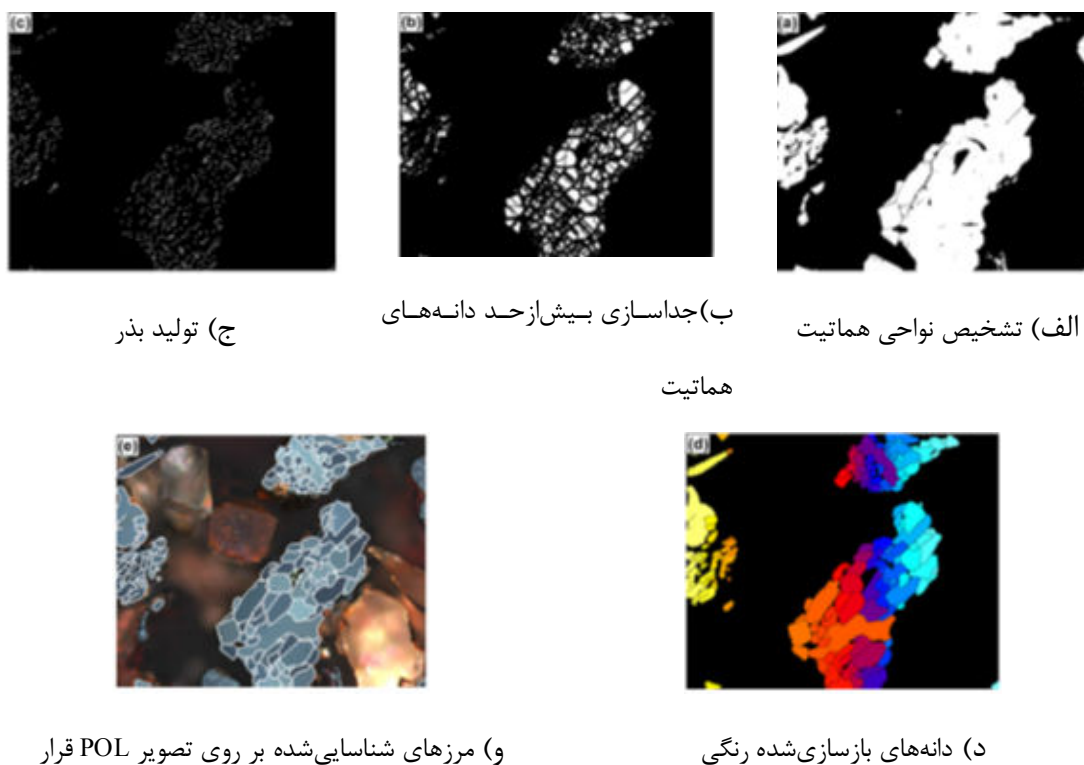
^۱ Otsu segmentation

^۲ Region growing

- ۱- ابتدا نقاطی به‌عنوان بذر در نظر گرفته می‌شود، که در خوشه‌های $C_1, C_2, \dots, C_n$ خوشه‌بندی شده‌اند و موقعیت نقاط اولیه بذر به‌عنوان $P_1, P_2, \dots, P_n$ تنظیم شده‌اند.
 - ۲- تفاوت مقدار پیکسل بذر اولیه با عنوان P_i با همسایه آن محاسبه می‌شود. اگر این تفاوت کمتر از مقدار حد آستانه باشد، می‌توان نقطه همسایه را در C_i کلاس‌بندی کرد. ($i=1, 2, \dots, n$)
 - ۳- مزر C_i مجدداً محاسبه می‌گردد و نقاط مرزی آن به‌عنوان نقاط دانه جدید (P_i)ها تنظیم می‌گردد. علاوه بر آن میانگین پیکسل‌های C_i مجدداً بایستی محاسبه گردد.
 - ۴- مراحل ۲ و ۳ تا زمانی که تمام پیکسل‌ها در تصویر به یک خوشه مناسب اختصاص داده شوند، تکرار می‌گردد. آستانه توسط کاربر انتخاب می‌شود و معمولاً بر اساس شدت، مقادیر خاکستری و یا رنگ می‌باشد [۲۴].
- این روش قطعه‌بندی در [۲۷ و ۹] انجام شده است که در آن هدف از قطعه‌بندی این است که اجزای مربوط به تصویر تشخیص داده شوند. در این مورد، این اجزاء، هماتیت‌های مستقل هستند. مراحل قطعه‌بندی، قطعه‌بندی نواحی هماتیت شکل (۲-۴ الف)، قطعه‌بندی درشت‌دانه هماتیت شکل (۲-۴ ب)، فوق قطعه‌بندی از دانه هماتیت شکل (۲-۴ ج)، تولید بذر دانه شکل (۲-۴ د)، رشد و ادغام دانه شکل (۲-۴ و) می‌باشد. تقسیم‌بندی هماتیت از طریق آستانه شدت روشنایی تصویر BF انجام می‌شود. در قطعه‌بندی درشت‌دانه هماتیت تشخیص مرز دانه انجام گرفته می‌شود و در مراحل بعدی تصحیح خواهد شد. روش تشخیص لبه کلاسیک کنی^۱ در اجزای روشنایی هر تصویر POL استفاده می‌شود، و تصاویر باینری به‌دست‌آمده، از طریق عملیات منطقی OR ترکیب می‌شوند. در نتیجه تصویر لبه از تصویر هماتیت از مرحله قبل کم می‌شود. محدودیت اصلی، این است که لبه‌های شناسایی شده ممکن است ناقص باشند و

^۱ Canny

مرزهای بسته در اطراف بلورها تشکیل نشده باشد. علاوه بر این، لبه بین بلورهای مجاور با رنگ مشابه تشخیص داده نمی‌شوند. در مرحله فوق قطعه‌بندی^۱ از روش واترشید استفاده می‌شود. در این مبحث الگوریتم رشد ناحیه، اصلاح شده است. به خاطر اینکه بذرها از تصویری که از قبل قطعه‌بندی شده، به دست آمده‌اند، الگوریتم واترشید، به خاطر استفاده از ترکیب اطلاعات مکانی بذرها با سه تصویر در زوایای مختلف، به راحتی این دانه‌ها را در ناحیه مربوط به خود قرار می‌دهد. علت گرفتن سه تصویر در زوایای مختلف به این خاطر است که از ویژگی تغییر رنگ کانی هماتیت به خاطر ایزوتوپ نبودن سیستم تبلور آن، استفاده می‌شود.



شکل ۲-۴. مراحل تشخیص مرزهای دانه‌های هماتیت/۹.

^۱ Super segmentation

در پژوهش [۱۱] الگوریتم رشد ناحیه بکار گرفته شده است. استفاده همزمان این الگوریتم از تصاویر کریستالوگرافی و تصاویر دانه، باعث بهبود این الگوریتم شده است. در این الگوریتم اگر فاصله طیفی در فضای RGB از پیکسل‌های دانه در تصاویر کریستالوگرافی^۱ کوچک‌تر از یک حد آستانه باشد، پیکسل‌های متصل به دانه به‌عنوان پیکسل‌های همان دانه در نظر گرفته می‌شود.

الگوریتم بکار رفته در [۲۸] از یک الگوریتم رشد ناحیه که بر اساس تحلیل واریانس چند تصویر RGB است، استفاده می‌کند. اتصال دانه‌ها توسط خطوط تقاطع به‌صورت خودکار شناسایی می‌شوند و بر اساس نوع اتصال دسته‌بندی می‌شوند تا بافت معدنی مقاطع نازک پتروگرافی تشخیص داده شوند.

۲-۴-۸- دسته‌بندی^۲

دسته‌بندی نظارت‌شده^۳ یک روش شناسایی الگو می‌باشد، که یک شیء ناشناخته را به یک کلاس، از طریق شباهت این شیء به یک مجموعه اشیاء شناخته‌شده در آن کلاس اختصاص می‌دهد. روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل سه مرحله آموزش، اعتبارسنجی و طبقه‌بندی می‌باشد. در مرحله آموزش، یک مجموعه شناخته‌شده از اشیاء برای ساختن پایگاه دانش مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌های انتخاب‌شده برای هر شیء اندازه‌گیری می‌شود، ایجاد یک فضای ویژگی، که در آن هر شیء توسط یک بردار نمایش داده می‌شود، الگو نامیده می‌شود. مرحله اعتبارسنجی عملکرد سیستم طبقه‌بندی را تخمین می‌زند. پس از مرحله آموزش، اشیاء مجموعه اعتبارسنجی طبقه‌بندی می‌شوند و میزان موفقیت تعیین می‌شود. انتخاب ویژگی‌های مناسب برای طبقه‌بندی کار مهمی است که بایستی بر اساس مشاهدات اشیاء شناخته‌شده و کلاس‌های آن‌ها انجام شود.

^۱ Crystallography

^۲ Classification

^۳ Supervised

در مقاله [۲۷]، دسته‌بندی بلوره‌های هماتیت در سه دسته طبقه‌بندی با نظارت قرار می‌گیرد. دسته‌ها شامل دانه، لامالار و لوبولار هستند. در پژوهش مذکور از سه کلاسه بند بیز^۱ (خطی و درجه دوم) و فاصله ماهالونوبیس^۲ استفاده می‌شود و ابعاد با استفاده از روش کلاسیک تجزیه و تحلیل خطی (فیشر، ۱۹۳۶) کاهش می‌یابد.

۲-۴-۹- خوشه‌بندی^۳

خوشه‌بندی یا آنالیز خوشه در آمارو یادگیری ماشینی، یکی از شاخه‌های یادگیری بی‌نظارت می‌باشد و فرآیندی است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها خوشه گفته می‌شود. بنابراین خوشه مجموعه‌ای از اشیاء می‌باشد که در آن اشیاء با یکدیگر مشابه بوده و با اشیاء موجود در خوشه‌های دیگر غیرمشابه می‌باشند.

یک روش دسته‌بندی روش بیشترین شباهت^۴ می‌باشد که در شناسایی مرزهای دانه بکار برده شده است [۷]. در این پژوهش عملیاتی برای شناسایی مرزهای دانه و تولید پایگاه داده برای مرزهای دانه انجام گرفته است. ایشان برای شناسایی لبه از سه عکس در زوایای مختلف از یک تصویر سطح مقطع بهره جسته‌اند. در این پژوهش اگر کنتراست کافی بین دانه‌های مجاور وجود داشته باشد، مرز بین آن‌ها می‌تواند به آسانی قابل تشخیص باشد. اگر دانه‌های مجاور رنگ‌های تداخل مشابهی را نشان می‌دهند، مرزها به سختی قابل تشخیص خواهند بود.

^۱ Bayes

^۲ Mahalanobis

^۳ Clustering

^۴ maximum likelihood

۲-۴-۱۰- شبکه عصبی^۱

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک مدل بسیار ساده از نرون‌های مغز انسان می‌باشند. نرون‌های مورد استفاده بیولوژیکی نیستند و یک مدل انتزاعی بسیار ساده از نرون‌های بیولوژیک هستند که به عنوان عناصری در برنامه‌ها و شاید به عنوان مدارهای ساخته شده از سیلیکون باشند. شبکه‌های عصبی مصنوعی مانند مغز انسان نیستند اما می‌توانند آموزش ببینند [۲۹]. این شبکه‌ها به علت مبحث آموزش می‌توانند در تمام زمینه‌ها استفاده شوند و بدیهی است که در مبحث کانی‌شناسی هم مورد استفاده قرار گرفته باشند.

شبکه‌های عصبی در مرتب‌سازی مواد معدنی و استخراج کانی‌های اصلی از کانی‌های باطله بکار برده شده است. در پژوهش [۳۰] از شبکه عصبی مبتنی بر شعاعی (RBF) برای طبقه‌بندی کانی‌ها بر پایه بافت بصری ذرات کانی استفاده شده است. با استفاده از پردازش روی کانال‌های RGB و تجزیه و تحلیل آماری مرتبه اول و دوم می‌توان دریافت که ویژگی بصری ذرات کانی با محتویات کانی متفاوت است. ویژگی‌های مورد استفاده برای شبکه عصبی، ویژگی‌های بافتی هارلیک می‌باشد.

شبکه عصبی پرسپترون در [۳۱] برای شناسایی بافت مقاطع نازک سنگ بازالت استفاده شده است. در این روش ۲۷ ویژگی عددی از تصاویر ورودی استخراج می‌گردد و به عنوان ورودی به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه داده می‌شود و خروجی این شبکه، تخمین کلاس بافت سنگ می‌باشد. این تخمین در پژوهش مذکور با ۹۳.۲۲٪ انجام گرفته است.

۲-۵- نتیجه‌گیری

در این فصل روش‌های کانی‌شناسی به صورت ماشینی، مطرح گردید. هر کدام از روش‌ها به طور مختصر

^۱ Neural network

شرح داده شدند و مطالعاتی که در هر روش صورت گرفته بود موردبررسی اجمالی قرار گرفتند.

با توجه به مطالعات پیشین در مبحث کانی‌شناسی به‌صورت ماشینی، در بیشتر موارد سعی شده محدود کانی تعیین شود. در این مطالعات برای مسئله قطعه‌بندی معمولاً از روش الگوریتم رشد ناحیه و واترشید استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده نمودید، در این مباحث، مسئله درصد کانی در این تصاویر کمتر موردبررسی قرار گرفته است. این مسئله در این پژوهش، بعد از شناسایی و دسته‌بندی کانی‌ها، بررسی خواهد شد.

فصل سوم

روش‌های پردازش تصویر برای شناسایی کانی

(روش پیشنهادی)

۳-۱- مقدمه‌ای بر روش پیشنهادی

در این پژوهش اساس کار روی تعیین کانی‌ها و تعیین درصد برای هر کانی می‌باشد. در ابتدا به شرح پیش‌نیازهای پایان‌نامه می‌پردازیم و تکنیک‌های پیاده‌سازی کاملاً شرح داده می‌شود. همچنین در مبحث پایگاه داده، در این پژوهش با توجه به عدم وجود یک پایگاه داده استاندارد برای این کار، نیاز به تصویربرداری و تولید یک پایگاه داده وجود داشت که این مرحله با تصویربرداری ۱۴۰ تصویر از ۹۰ سطح مقطع، انجام شد. ۸۰ درصد پایگاه داده برای آموزش و ۲۰ درصد برای مرحله آزمون و ارزیابی استفاده گردید.

روش‌هایی که برای شناسایی بکار گرفته شد روش میانگین هیستوگرام‌ها^۱، استفاده از ماشین بردار پشتیبان^۲ (SVM) و روش نزدیک‌ترین همسایه^۳ بود که روش نزدیک‌ترین همسایه دقت بیشتری داشت.

در این فصل ابتدا ملزومات مسئله مطرح می‌گردد، سپس مرحله پیش‌پردازش انجام می‌گیرد. پس از آن مبحث اصلی در سه بخش قطعه‌بندی، استخراج بردار ویژگی و روش شناسایی تقسیم می‌گردد و هر کدام به صورت جداگانه و مفصل توضیح داده خواهد شد.

۳-۲- وسایل مورد نیاز

در این پژوهش نیاز به یک میکروسکوپ انعکاسی برای بررسی و مطالعه سطح مقطع‌ها، دوربین متصل به میکروسکوپ برای تصویربرداری و از همه مهم‌تر نمونه‌های سطح مقطع که از معدن سنگان به ودیعه گرفته شده‌اند، می‌باشد. همچنین پایگاه داده‌ای برای آموزش سیستم و سیستمی برای پردازش برخط و

¹ Histogram

² Support vector machine

³ K-Nearest neighbor

سریع این مقاطع، از موارد ضروری این پژوهش می‌باشد.

۳-۲-۱- میکروسکوپ پلاریزان

میکروسکوپ دستگاهی است که جهت نشان دادن بزرگ‌تر اجسام از اندازه طبیعی آن‌ها به کار می‌رود که دارای عدسی است. عدسی شیء از جسم مورد مطالعه تصویری حقیقی، معکوس و بزرگ‌تر از اندازه طبیعی ایجاد می‌کند. میکروسکوپی که در علم کانی‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، میکروسکوپ پلاریزان نامیده می‌شود. تفاوتی که این میکروسکوپ با میکروسکوپ‌های معمولی دارد آن است که دارای پولاریزور^۱، آنالیزور^۲ می‌باشد و همچنین صفحه یا میز آن‌ها دوار می‌باشد. این خصوصیات در این میکروسکوپ‌ها این امکان را می‌دهد تا بتوان خواص نوری کانی‌ها را مورد بررسی قرار داد [۳۲]. در این پژوهش از این میکروسکوپ به همراه دوربین تعبیه‌شده در بالای آن، برای تصویربرداری استفاده شده است. در شکل (۳-۱) یک نمونه میکروسکوپ پلاریزان و اجزای آن شرح داده شده است.

^۱ Plorized

^۲ Analyzer



شکل ۳-۱. تصویر میکروسکوپ پلاریزان

۳-۳- ایجاد پایگاه داده

برای تولید تصاویر از معدن سنگان، سطح مقطع از این معدن درخواست شد. این مقاطع آماده بودند و نیاز به پولیش و صیقلی کردن سطح آن نبود. بنابراین از هر مقاطع چندین تصویر برداشته شد و تصاویری که تکراری بودند و نیازی به وجود آنها نبود از پایگاه داده حذف شدند. تصویربرداری به صورت میکروسکوپی با استفاده از دوربین تعبیه شده در بالای میکروسکوپ تهیه گردیدند و در مقیاس های ۴۰ برابر کوچک تر، ۱۰۰ برابر کوچک تر و ۲۰۰ برابر کوچک تر تصویربرداری شدند. رنگ و سطح روشنایی در هر کدام یکسان بود. بنابراین، مقیاس در رنگ و انعکاس تأثیری نداشت. تصاویر با فیلتر پولاریزور تصویربرداری شد که باعث قطبی شدن نور در یک جهت می شود. در انتها پایگاه داده ای با ۱۴۰ تصویر که شامل همه کانی های مورد مطالعه بودند، ایجاد شد. همان طور که در تعریف مسئله گفته شد، مجموعه آموزشی و آزمون، شامل ۷ زیرمجموعه می باشد که این ۷ زیرمجموعه شامل ۵ کانی مورد مطالعه، زمینه تصاویر و کانی الیمینیت

می‌باشد. به علت وجود کانی الیمنیت در تصاویر پایگاه داده، این کانی نیز شناسایی گردید.

۳-۴- پیش‌پردازش

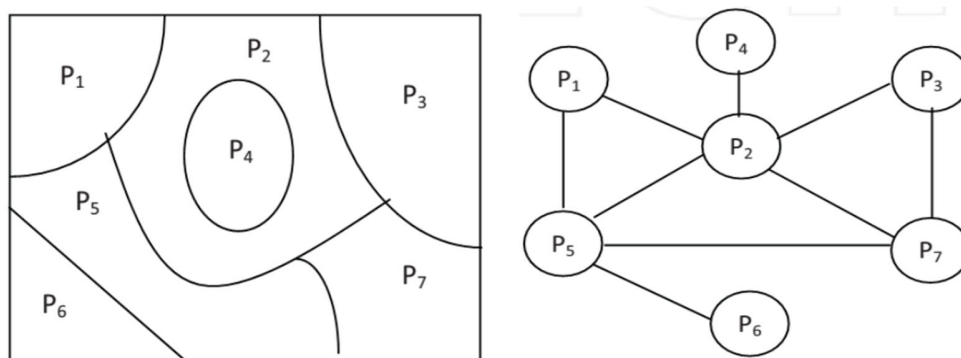
بدیهی است برای هر عملیات پردازش تصویری یک مرحله به نام پیش‌پردازش وجود داشته باشد. به علت حجیم بودن تصاویر در عملیات لبه‌یابی و قطعه‌بندی و خوشه‌بندی، تصاویر خام به اندازه‌های مساوی تبدیل شده‌اند. همچنین در حین عملیات لبه‌یابی از عملیات ریخت‌شناسی برای به دست آوردن سطوح یکنواخت در تصاویر سطح مقطع استفاده شده است. در قطعه‌بندی و خوشه‌بندی هم‌اندازه تصاویر کاهش داشته‌اند و هم از یک فیلتر میانگین برای هموارسازی سطح مقطع استفاده شده است.

۳-۵- قطعه‌بندی و خوشه‌بندی تصاویر ورودی

مرحله ابتدایی شناسایی، مرحله قطعه‌بندی می‌باشد. هر تصویری که از مقاطع تهیه می‌گردند، دارای یک یا چند کانی است. برای جداسازی این کانی‌ها از یکدیگر از روش‌های قطعه‌بندی استفاده می‌شود. تصویر سطح مقطع وارد سیستم شده و پس از پیش‌پردازش، و تعیین تعداد کانی‌ها (کلاس‌ها) قطعه‌بندی و سپس خوشه‌بندی انجام می‌گیرد. سپس با استفاده از روش‌های دسته‌بندی هر خوشه، برچسب مخصوص به خود را می‌گیرد. که این کار همان شناسایی کانی‌های موجود در تصویر است. روش قطعه‌بندی پیشنهادی این پژوهش، روش قطعه‌بندی پیکسون^۱ می‌باشد که یک الگوریتم رشد ناحیه است. این روش با استفاده از همسایگی پیکسل‌ها و با توجه به شباهت شدت رنگ، تصاویر ورودی را به جای پیکسل با قطعات بزرگ‌تری که شامل چندین پیکسل می‌شود، پردازش می‌کند. این کار باعث کاهش زمان پردازش تصویر می‌شود. این در قطعه‌بندی کانی‌ها که ذرات کوچک دارای اهمیت چندانی نیستند، می‌تواند مفید باشد.

^۱ Pixon segmentatin

روش کار پیکسون به این صورت است که در ابتدای کار، هر پیکسل نمایانگر یک کلاس است. پس از آن هر کلاس با توجه به شدت روشنایی آن با کلاس همسایه ادغام شده و کلاس بزرگ‌تری را به وجود می‌آورند. همان‌گونه که در شکل (۲-۳) مشاهده می‌کنید، مدل تصویر مبتنی بر پیکسون را با ساختار گرافی نمایش می‌دهند [۳۳].



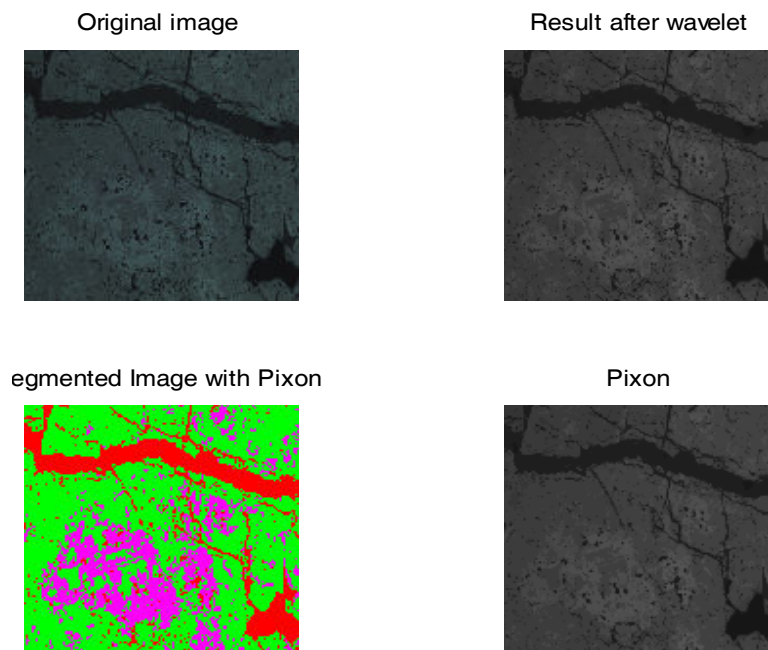
شکل ۲-۳. پیکسون‌بندی و ساختار گرافی آن

پس از اعمال پیکسون به تصویر، یک روش تقسیم‌بندی بر اساس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی برای استخراج آن‌ها استفاده می‌شود. که در این پژوهش از فازی Cmeans برای خوشه‌بندی استفاده شده است. در ابتدا بایستی یک تصویر ساخته شود که دارای حداقل رزولوشن با تصویر اولیه باشد. و پس از آن روش پیکسون روی آن اعمال می‌شود [۳۴].

روش پیکسون مبتنی بر ویولت^۱ در این پژوهش مدنظر است. از این رو برای حذف نویز یک فیلتر انتشار مانند ویولت روی تصویر ورودی اعمال می‌شود. تبدیل ویولت یا تبدیل موجک یک ابزار است که داده‌ها، توابع و یا اپراتورها را به قطعات فرکانس‌های مختلف تقسیم می‌کند و سپس هر مؤلفه را با یک رزولوشن مطابق با مقیاس آن بررسی می‌کند. بعد از اعمال حذف نویز، یک فیلتر میانگین اعمال می‌شود. و تصویر

^۱ Wavelet

در نهایت تحت عمل پیکسون قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن حد آستانه کوچک‌تر، پیکسل‌ها با دقت بیشتری دسته‌بندی می‌شوند. یک الگوریتم خوشه‌بندی مناسب بر روی تصویر به‌دست‌آمده از پیکسون انجام می‌شود. خوشه‌بندی در اینجا به دلیل پیکسون‌بندی شدن پیکسل‌ها، خیلی سریع‌تر عمل خواهد کرد. این مراحل در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳. تصویر خوشه‌بندی شده با روش قطعه‌بندی مبتنی بر پیکسون با انتخاب حد آستانه مناسب

در این روش قطعه‌بندی تعداد کلاس‌ها باید از قبل مشخص شده باشند. این مسئله برای مرحله آموزش مشکلی ایجاد نخواهد کرد. اما در مرحله آزمون تعداد کانی‌ها باید توسط سیستم تعیین شود. بنابراین در اینجا مسئله تعداد کلاس‌ها مطرح می‌گردد و روش‌هایی برای حل این مسئله پیشنهاد و بررسی می‌گردد.

در مرحله آموزش، پس از قطعه‌بندی، این قطعات در دسته مربوط به خود قرار می‌گیرند. برای هر قطعه در تصویر، یک قاب در نظر گرفته شده و هر قطعه در یک قاب جایگذاری می‌شود. هر قاب بیانگر یک نوع کانی در تصویر است. هر کانی باید در دسته مربوط به خود قرار بگیرد و برچسب‌گذاری گردد. بنابراین در

مرحله آموزش هر قاب برچسب‌گذاری شده و در مجموعه داده خود قرار می‌گیرد.

با توجه به موارد گفته‌شده، برای این پژوهش پایگاه داده‌ای شمال ۱۴۰ عکس از ۹۰ مقطع از معدن سنگ‌آهن سنگان ایجاد گردید. این تصاویر به دو قسمت آموزش^۱ و آزمون^۲ تقسیم‌بندی شدند. که تعداد ۱۱۰ عکس برای مرحله آموزش و ۳۰ عکس برای مرحله آزمون در نظر گرفته شدند. تصاویری که برای آموزش در نظر گرفته‌شده‌اند، با استفاده از روش‌های قطعه‌بندی، هر کانی را از بقیه اجزای تصویر جدا می‌کند. سپس قطعات مربوط به هر کانی به صورت جداگانه به سیستم آموزش داده می‌شود. بنابراین برای هر کانی مورد مطالعه، مجموعه داده‌ای شامل تصاویری از همان کانی به وجود می‌آید و هر کانی برچسب‌گذاری می‌شود. این عملیات بر روی تصاویر آزمون هم به همین صورت انجام می‌پذیرد.

۳-۵-۱- خوشه‌بندی

در این روش با استفاده از خوشه‌بندی بدون نظارت^۳ بایستی کانی‌ها را در کلاس‌های جداگانه قرارداد. الگوریتم FCM یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر افراز است، که با تابع هزینه رابطه (۳-۱) تعریف می‌شود.

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - v_i\|_A^2 \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

که در آن U یک ماتریس عضویت، $V = \{v_1, \dots, v_c\}$ مجموعه از c مرکز کلاس، $m > 1$ ثابت فازی سازی است. در اینجا از فاصله اقلیدسی در محاسبات استفاده شده است لذا $A = I$ است.

در ابتدا به منظور سرعت عمل بیشتر ابعاد تصویر ورودی کاهش داده می‌شود. سپس یک فیلتر میانگین بر روی تصویر خاکستری اعمال می‌شود و سپس الگوریتم فازی Cmeans اجرا شده است. خروجی این

^۱ train

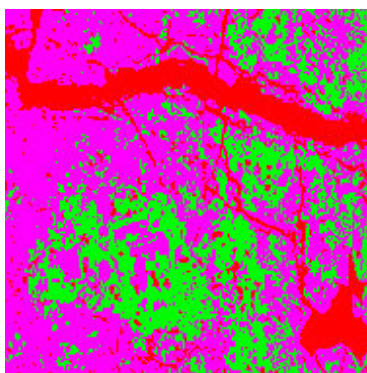
^۲ test

^۳ Unsupervised

الگوریتم تصویری به اندازه تصویر اصلی و محتویات این خروجی میزان تعلق هر پیکسل به کلاس متناظر آن است. کلاس متناظر همان کانی متناظر است.

خوشه‌بندی فازی هنگامی که روش پیکسون اعمال نشده باشد زمان اجرای بیشتری نسبت به هنگامی که از روش پیکسون استفاده می‌شود، داراست. شکل (۳-۴) خوشه‌بندی کانی‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

classification with Fuzzy Cmeans

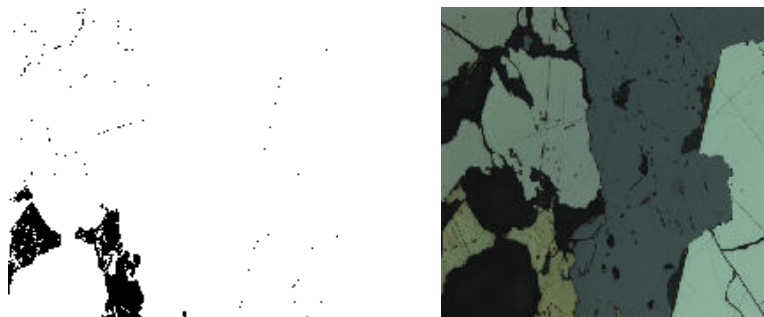


Original image



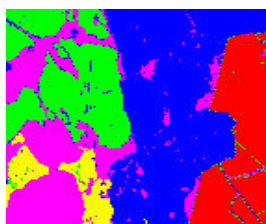
شکل ۳-۴. خوشه‌بندی کانی‌های مورد مطالعه

تصاویر سطح مقطع به صورت رنگی هستند. اما در خوشه‌بندی مذکور سطح خاکستری استفاده می‌شود. در کانی‌های پیرویت و کالکوپیریت به علت شباهت در تصاویر خاکستری این دو با هم هم‌پوشانی دارند. در کانال ۱ و ۲ در RGB این دو کانی با هم یکی در نظر گرفته می‌شوند و در کانال ۳ کانی کالکوپیریت با مگنتیت هم‌پوشانی دارند. برای رفع این مشکل از فضاهاى مختلف رنگی برای شناسایی کانی‌هایی که با یکدیگر هم‌پوشانی داشته‌اند استفاده شد مانند HSV و LAB و RGB. اما تشخیص این رنگ‌ها و تمایز آن‌ها با استفاده از این فضاها ممکن نبود. بنابراین از رابطه بین کانال‌های مختلف رنگی در RGB در رنگ یک کانی استفاده شده و رنگ آن با بقیه کانی‌ها متمایز شد. در شکل (۳-۵) این تمایز نشان داده شده است.

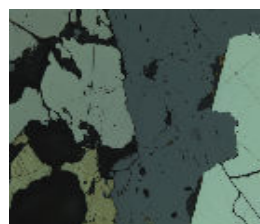


شکل ۳-۵. تشخیص کانی هم‌پوشانی شده با کانی‌های دیگر با استفاده از روابط بین *RGB*

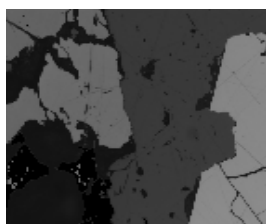
classification with Fuzzy Cmeans



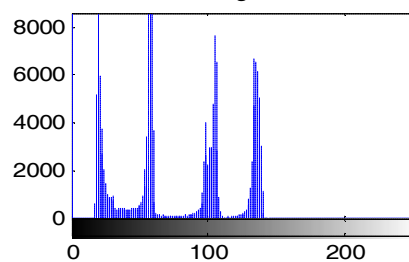
Original image



Original



Original



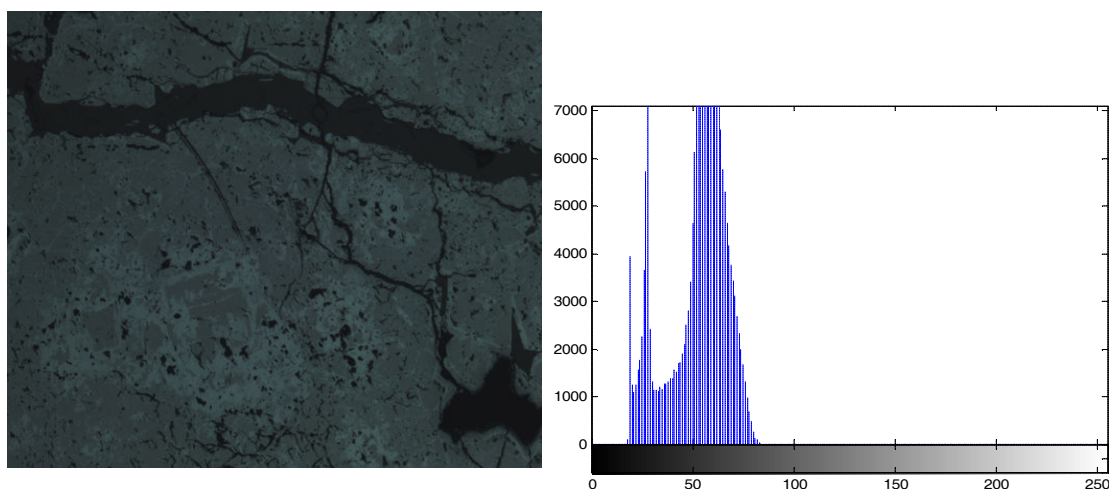
شکل ۳-۶. دسته‌بندی خودکار با استفاده از تمایز کانی‌های هم‌پوشانی شده

در شکل (۳-۶) خوشه‌بندی، بعد از تشخیص کانی کالکوپیریت و جداسازی آن با استفاده از روابط ریاضی بین کانال‌ها را نشان می‌دهد.

۳-۵-۲- به دست آوردن تعداد کلاس‌ها

در مرحله آموزش سیستم تعداد کانی‌های روی تصویر مشخص هستند و تصاویر بعد از قطعه‌بندی و خوشه‌بندی، برچسب‌گذاری می‌شوند. اما در هنگام آزمون، تعداد کانی‌های روی تصویر سطح مقطع نامشخص هستند، بنابراین باید تعداد کلاس‌ها قبل از خوشه‌بندی تعیین گردد. یک روش این است که از قله‌های هیستوگرام تعداد کلاس‌ها مشخص گردند. با انتخاب یک حد آستانه مناسب در هیستوگرام و بررسی هیستوگرام کانال‌های متفاوت رنگی می‌توان تعداد کلاس‌ها را تعیین کرد.

در [۲۳] برای تعداد کانی‌های روی تصویر سطح مقطع، از هیستوگرام تصویر استفاده شده است. به این صورت که تعداد قله‌های^۱ هیستوگرام، با رعایت یک حد آستانه نمایانگر تعداد کانی‌ها یا همان تعداد کلاس‌ها می‌باشند.



شکل ۳-۷. هیستوگرام تصویر ورودی

شکل ۳-۸. تصویر رودی شامل دو کانی مگنتیت و

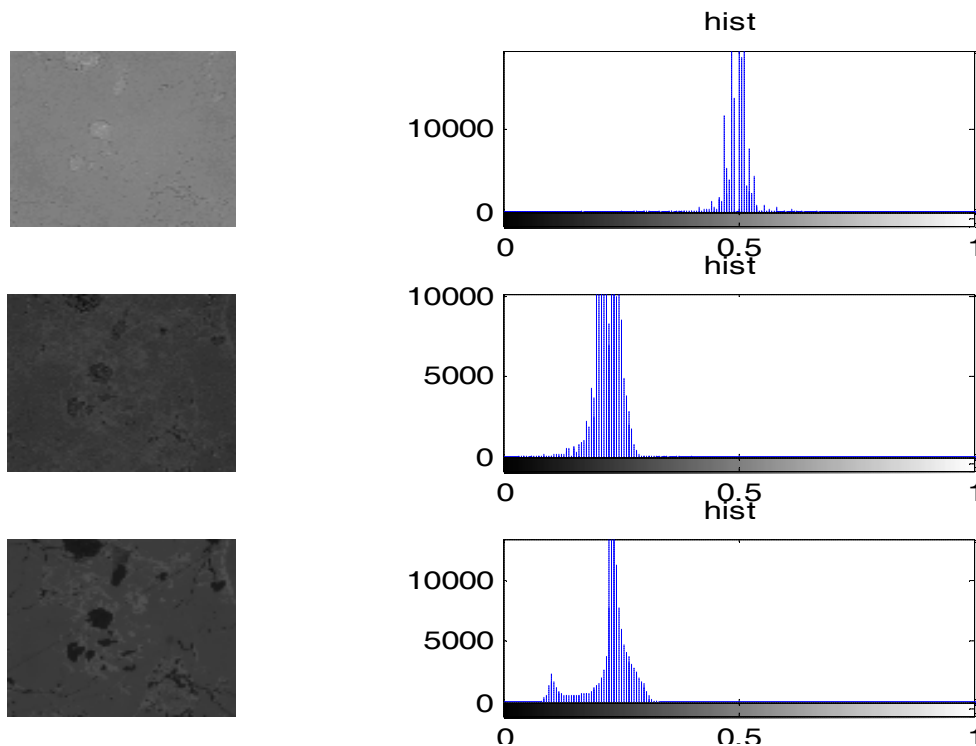
هماتیت و زمینه غیرفلز

در تصویر شکل (۳-۸) سه نوع کانی وجود دارد و در هیستوگرام این تصویر شکل (۳-۷) سه پیک وجود

^۱ Peak

دارد بنابراین سه کلاس متفاوت وجود خواهد داشت. تعداد کلاس‌ها را با روش دیگری به نام میانگین واریانس‌های داخل کلاس می‌توان به دست آورد. به علت زمان اجرای زیاد، استفاده از این روش معقول به نظر نمی‌رسد. بنابراین از همان روش تعداد پیک‌های هیستوگرام استفاده شده است.

یکی از چالش‌هایی که در مشخص کردن تعداد کلاس‌ها وجود دارد، این است که در پدیده مارتیت که در بیشتر تصاویر پایگاه داده دیده می‌شد، در تشخیص تعداد کلاس با مشکل مواجه می‌شود. هنگامی که هماتیت و مگنتیت در هم آمیخته باشند یعنی مگنتیت دچار دگرسانی شده و در حین تبدیل شدن به هماتیت باشد به این پدیده مارتیتی شدن می‌گویند. در تصاویری که پدیده مارتیتی شدن وجود دارد در تعیین تعداد کلاس از روی نمودار هیستوگرام در فضای RGB مشکلاتی به همراه خواهد داشت. بنابراین فضاهای دیگر رنگی مورد مطالعه قرار گرفت. بهترین کلاس‌بندی در این موارد در کانال دوم فضای رنگی HSV مشاهده شد. در شکل (۳-۹) هیستوگرام تصویر در کانال HSV مشاهده می‌شود.



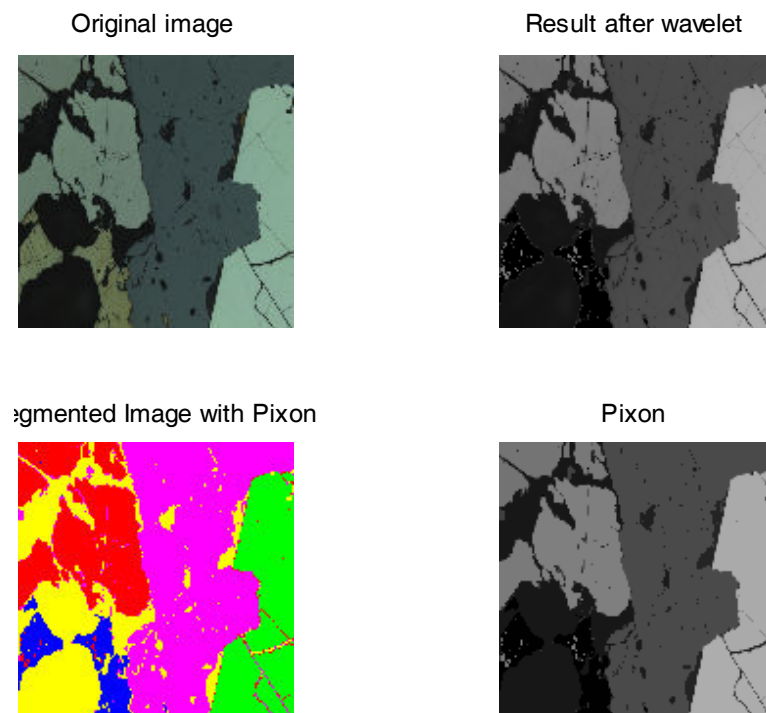
شکل ۳-۹. کانال‌های فضای رنگی HSV و رفع مشکل تعداد کلاس‌ها

با اندازه‌گیری درست و انتخاب یک حد آستانه مناسب برای هیستوگرام، تعداد کلاس‌ها مشخص گردید.

۳-۵-۳- چالش‌های روش قطعه‌بندی پیشنهادی و رفع آن

در این پژوهش، در قطعه‌بندی پیکسون، هم‌پوشانی وجود داشت، بین کانی‌های کالکوپیریت و پیریت هم‌پوشانی وجود داشت. با استفاده از رابطه‌ای که بین کانال‌ها در فضای RGB پیدا گردید، این مشکل رفع شد. در شکل (۳-۱۰) رفع هم‌پوشانی، نمایش داده شده است.

همچنین در تعداد دسته‌ها نیز مشکلاتی از قبیل نزدیک بودن پیک‌ها به یکدیگر و ارتفاع پیک‌ها و نیافتن قله‌های کانی‌های دارای هم‌پوشانی وجود داشت که با استفاده از همین رابطه بین کانال‌های رنگی، در این پژوهش رفع گردید.



شکل ۳-۱۰. تصویر پیکسون‌بندی و دسته‌بندی بعد از رفع مشکل هم‌پوشانی

۳-۶- استخراج ویژگی

مسئله استخراج ویژگی یکی از ملزومات اساسی برای سیستم‌های یادگیرنده می‌باشد. از هر تصویر مجموعه داده بردار ویژگی سراسری استخراج می‌شود. یکی از ویژگی‌هایی که می‌توان از هر یک از قطعات مربوط به مجموعه داده هر کانال به دست آورد، ویژگی هیستوگرام می‌باشد. هیستوگرام، ویژگی جامعی است که خواص رنگی و انعکاسی کانال را دارا می‌باشد. با توجه به زمان اجرای پایین به دست آوردن هیستوگرام و همچنین جامعیت آن در تمام تصاویر، از این ویژگی برای شناسایی کانال‌ها استفاده شد. ویژگی‌های دیگری که می‌توانست جایگزین شود ویژگی‌های بافتی مانند آنتروپی، کنتراست، انرژی، همبستگی و یکنواختی است. ترکیب این ویژگی‌ها با ویژگی هیستوگرام و رنگ، می‌تواند در ارائه نتایج بهتر، مفید واقع شود. بنابراین بردار ویژگی شامل هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی در سه کانال رنگی می‌-

باشد. از هر تصویر مجموعه داده یک بردار ویژگی استخراج شده و در مرحله دسته‌بندی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین دسته‌بندی خواهد شد.

ویژگی‌های کنتراست، همبستگی، انرژی و یکنواختی به‌صورت رابطه‌های (۲-۳) تا (۷-۳) محاسبه می‌شود [۱۳].

$$p_d = |\{(r, s), (t, v) : I(r, s) = i, I(t, v) = j\}| \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

$$entropy = - \sum_i \sum_j p_d(i, j) \log p_d(i, j) \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

$$contrast = \sum_{i,j} |i - j|^2 p(i, j) \quad \text{رابطه (۴-۳)}$$

$$correlation = \sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad \text{رابطه (۵-۳)}$$

$$energy = \sum_{i,j} p(i, j)^2 \quad \text{رابطه (۶-۳)}$$

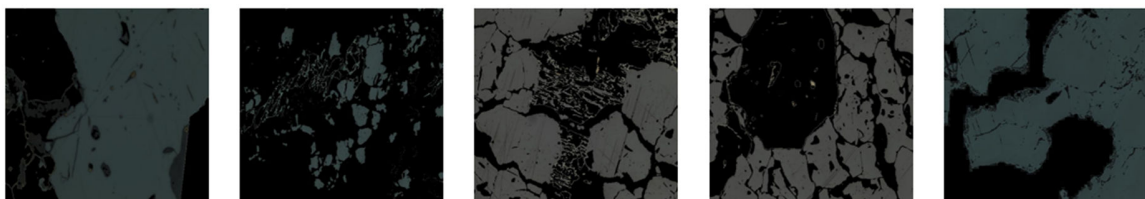
$$Homogeneity = \sum_{i,j} \frac{p(i, j)}{1 + |i - j|} \quad \text{رابطه (۷-۳)}$$

که در آن I یک تصویر $N \times N$ خاکستری، p_d ماتریس کوواریانس سطح خاکستری، $(t, v) = (r + dx, s + dy)$ و $| \cdot |$ توان مجموعه است.

آنتروپی، اندازه پیچیدگی تصویر را می‌دهد. بافت‌های پیچیده، آنتروپی بالاتری دارند و حداکثر مقدار آنتروپی $\log_2 Z$ می‌باشد. این هنگامی رخ می‌دهد که تمام شدت‌ها برابر فرکانس باشد. حداقل مقدار آن صفر است، یعنی تمام پیکسل‌ها یک شدت را دارند. ویژگی کنتراست، اندازه‌گیری مقدار تغییرات محلی موجود در یک تصویر است. کنتراست بالا به این معناست که تغییرات ساختاری در تصویر واضح‌تر است. ویژگی انرژی، اندازه‌گیری یکنواختی تصویر است. بنابراین این ویژگی برای تشخیص اختلالات در بافت

مناسب می‌باشد. برای بافت‌های همگن مقدار انرژی کمتر از بافت‌های غیر همگن است [۱۳].

در مرحله آموزش ابتدا پایگاه داده آموزش ایجاد می‌گردد. برای این کار تصویر ورودی گرفته‌شده و در ابتدا کانی کالکوپیریت که در قطعه‌بندی و خوشه‌بندی دارای هم‌پوشانی با دیگر کانی‌هاست، مجزا می‌شود. در مرحله آموزش تعداد کلاس‌ها یا همان کانی‌ها به علاوه زمینه، مشخص هستند. پس از آن یک فیلتر حذف نویز اعمال می‌شود و نویز احتمالی از تصاویر ورودی برداشته می‌شود و بعد آن عملیات پیکسون‌بندی آغاز می‌گردد. سپس الگوریتم فازی Cmeans تصویر پیکسون‌بندی شده ورودی را به تعداد کلاس‌ها خوشه‌بندی می‌کند. چون تعداد کلاس‌ها مشخص هستند، به تعداد کلاس‌ها، قاب‌هایی به اندازه تصویر ورودی ایجاد می‌شوند که در هر قاب فقط یک کانی گنجانده می‌شود و بقیه پیکسل‌ها مقدار صفر می‌گیرند. بنابراین به تعداد کانی‌های روی هر تصویر آموزشی، قاب‌ها یا تصاویری به وجود خواهد آمد که شامل فقط یک کانی است. کانی‌های یکسان در تمام این قاب‌ها که از تمام تصاویر آموزشی گرفته شده است، در یک مجموعه داده قرار خواهند گرفت. بنابراین در تصاویر آموزشی، داده‌هایی وجود دارند که هر کدام متعلق به یک کانی و برچسب‌گذاری شده هستند شکل (۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱. چند نمونه از مجموعه داده کانی مگنتیت

۳-۷- روش‌های پیشنهادی شناسایی کانی

مسئله اصلی در شناسایی کانی، مسئله دسته‌بندی است. هر داده آزمون با استفاده از داده‌های برچسب‌گذاری شده در مرحله آموزش، باید در دسته مربوط به خود قرار بگیرد. این مسئله توسط

روش‌های دسته‌بندی در یادگیری ماشین انجام می‌پذیرد. در مراحل قبل، پایگاه داده آموزش ایجاد گردید و هر کانی برچسب‌گذاری شد. از هر داده مجموعه آموزشی استخراج ویژگی انجام شد و بردار ویژگی سراسری برای هر عضو این مجموعه داده ایجاد گردید.

اکنون تصویر وارد سیستم می‌شود و باید کانی‌های آن تشخیص داده شوند. تصویر ورودی قطعه‌بندی شده و با روش‌های خوشه‌بندی، هر قطعه به یک کلاس تعلق می‌گیرد. حال باید برچسب هر کلاس توسط داده‌های آموزشی تعیین گردد. برای این مسئله سه روش پیشنهاد شده است. در ارزیابی هر کدام این روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده و نتایج برای هر کدام از این روش‌ها بررسی می‌گردند. مراحل آزمون به این صورت است که تصویر آزمون وارد سیستم تشخیص کانی می‌گردد، سپس تعداد کلاس‌ها تعیین می‌شود تا عمل قطعه‌بندی و درنهایت خوشه‌بندی به‌درستی انجام پذیرد. سپس بردار ویژگی هر قطعه محاسبه گردیده و با استفاده از روش‌های شناسایی که مطرح می‌شود، کانی، شناسایی شده و درصد کانی در تصویر محاسبه می‌گردد. روش‌های شناسایی با استفاده از بردار ویژگی به سه روش میانگین هیستوگرام‌ها، روش نزدیک‌ترین همسایه و روش ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. این روش‌ها در ادامه توضیح داده خواهد شد. در روش‌های میانگین هیستوگرام و نزدیک‌ترین همسایه، معیار شباهت Jensen برای مقایسه بردار ویژگی داده آزمون با بردار ویژگی داده‌های آموزشی استفاده شده است. از این‌رو ابتدا مختصری از این معیار شباهت ذکر می‌شود.

۳-۷-۱ معیار شباهت Jensen

هیستوگرام یک تصویر را می‌توان همانند یک سری زمانی در نظر گرفت. به‌منظور سنجش میزان شباهت بین دو سری زمانی، می‌توان آن‌ها را به یک معیار شباهت اعمال کرد. معیار شباهت‌های متفاوتی وجود دارند که هر کدام برای کاربرد خاصی مناسب‌تر هستند. معیار Jensen ابزار مناسبی برای ارزیابی شباهت

در سری‌های زمانی با طول یکسان، اما دامنه‌های متفاوت می‌باشند. معیار Jensen برای شباهت دو بردار p و q با طول k به صورت رابطه (۸-۳) بیان می‌شود.

$$j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \{ p'_i \log_2 p'_i + q'_i \log_2 q'_i - (p'_i + q'_i) \log_2 \left(\frac{p'_i + q'_i}{2} \right) \} \quad \text{رابطه (۸-۳)}$$

$$p'_i = p_i / \sum_{i=1}^k p_i \quad \text{رابطه (۹-۳)}$$

$$q'_i = q_i / \sum_{i=1}^k q_i \quad \text{رابطه (۱۰-۳)}$$

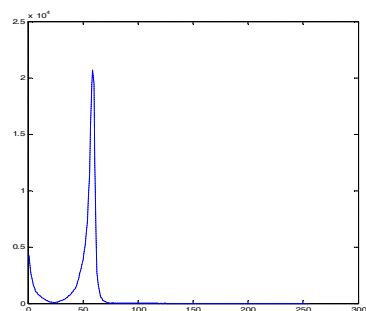
معیار Jensen برای مقایسه دو بردار، عددی در بازه $[۰, ۱]$ است. هرچه شباهت بین دو بردار بیشتر باشد، خروجی این معیار به صفر نزدیک‌تر خواهد بود [۳۵].

۳-۷-۲- روش میانگین هیستوگرام‌ها

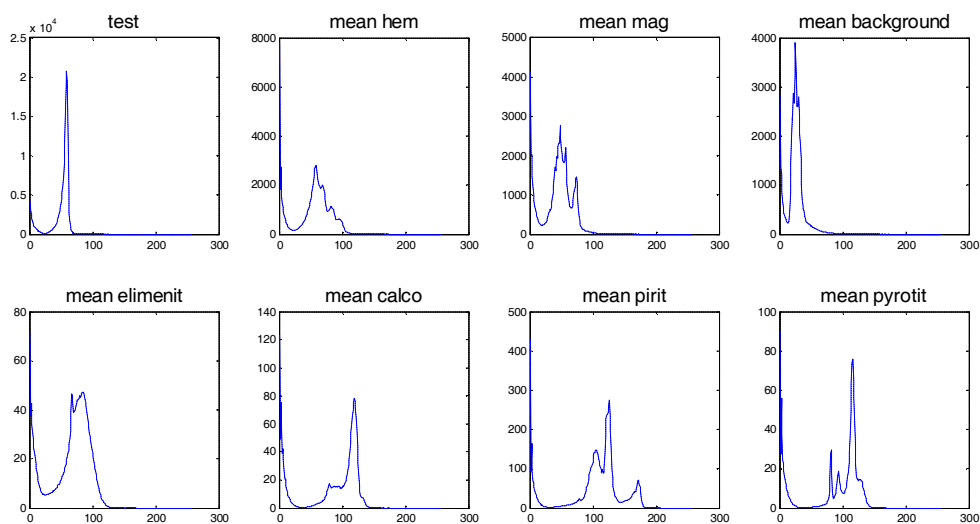
همان‌طور که گفته شد برای هر کانی مجموعه داده ایجاد گردید. در اینجا بایستی تصمیم گرفته شود از چه روشی بایستی سیستم آموزش داده شود. یکی روش‌های آموزشی که می‌توان بکار برد میانگین هیستوگرام‌ها و به کارگیری معیار شباهت برای اندازه‌گیری شباهت هیستوگرام قطعه ورودی با میانگین هیستوگرام مجموعه داده هر کانی می‌باشد. در این روش از هر قطعه در هر مجموعه داده هر کانی در هر سه کانال رنگی هیستوگرام تهیه می‌گردد. این هیستوگرام بردار ویژگی سراسری هر کانی می‌باشد و در انتها از این بردار ویژگی‌ها برای کلاس مربوط به هر کانی میانگین گرفته می‌شود. بنابراین میانگین کلاس-های هر کانی برچسب‌گذاری می‌شوند. میزان شباهت بردار ویژگی قطعه ورودی، با هر یک از این میانگین‌ها در هر سه کانال بررسی می‌گردد. این میزان شباهت با استفاده از معیار Jensen انجام می‌گیرد. معیار Jensen به صورت مفصل در بخش بعد توضیح داده خواهد شد. بردار ویژگی‌ای که کمترین فاصله را با هیستوگرام قطعه ورودی را دارا باشد عنوان همان کانی را خواهد گرفت. به خاطر اینکه آموزش و

آزمون، روی هر سه کانال انجام می‌گیرد، ممکن است روی یک کانال شبیه به یک کانی و روی کانال دیگر شبیه کانی دیگری باشد. برای رفع این مشکل می‌توان گفت اگر در دو کانال شبیه یک کانی باشد، سومی دارای اهمیت کمتری خواهد بود و همان کانی منتخب خواهد بود که در دو یا سه کانال شباهت داشته باشد. احتمال دیگر این است که ممکن است در سه کانال، سه کانی متفاوت تشخیص دهد. از این روش نزدیک‌ترین همسایه روش قوی‌تری نسبت به این روش خواهد بود.

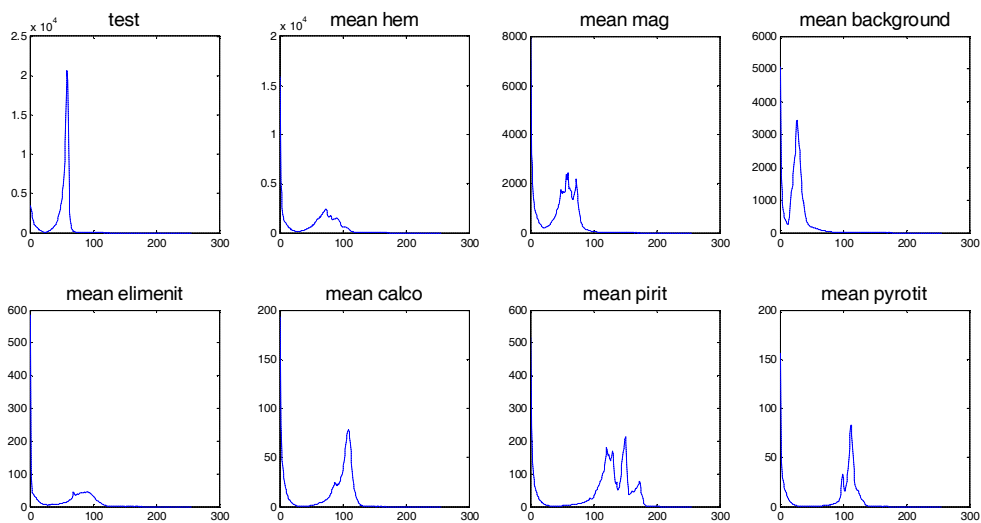
در شکل (۳-۱۲) یک نمونه تصویر آموزش و نمودار هیستوگرام آن نمایش داده شده است. مقایسه هیستوگرام داده ورودی در سه کانال، با میانگین تمام هیستوگرام‌ها در شکل‌های (۳-۱۳)، (۳-۱۴) و (۳-۱۵) نشان داده شده است. در این شکل‌ها، میانگین هیستوگرام‌های کانی‌های مگنتیت، هماتیت، زمینه، الیمینیت، کالکوپیریت، پیریت و پیروتیت نشان داده شده‌اند. هیستوگرام قطعه جدا شده از تصویر اصلی با این میانگین‌ها مقایسه می‌شوند و شبیه‌ترین به آن، کانی مورد نظر خواهد بود.



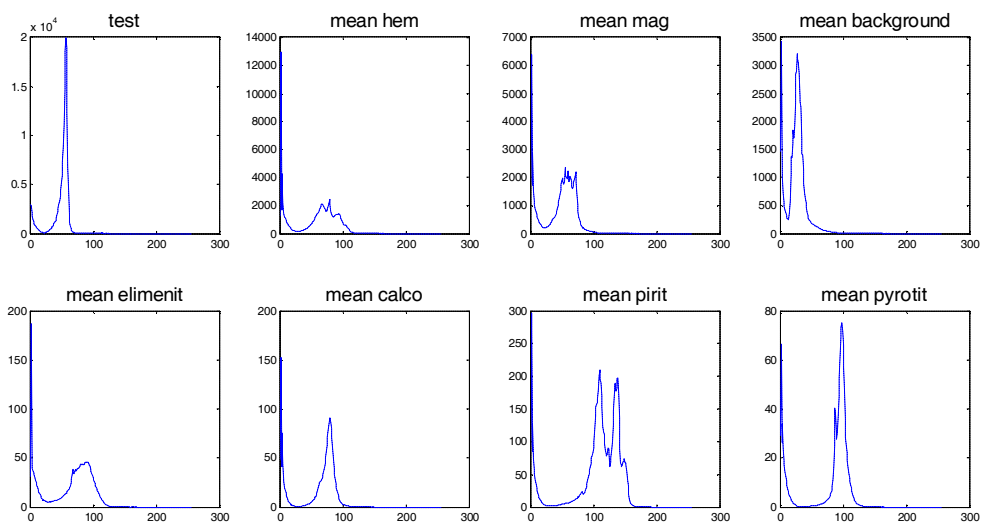
شکل ۳-۱۲. یک قطعه مگنتیت جدا شده از تصویر آزمون و هیستوگرام کانال R



شکل ۳-۱۳. مقایسه هیستوگرام قطعه ورودی با میانگین هیستوگرام‌های تمام کانی‌ها در کانال R



شکل ۳-۱۴. مقایسه هیستوگرام قطعه ورودی با میانگین هیستوگرام‌های تمام کانی‌ها در کانال G



شکل ۳-۱۵. مقایسه هیستوگرام قطعه ورودی با میانگین هیستوگرام‌های تمام کانی‌ها در کانال R

در این تصاویر، هیستوگرام داده آزمون در سه کانال رنگی با میانگین هیستوگرام‌های تصاویر کانی‌ها مقایسه گردید. نتایج مقایسه هم به صورت دستی و هم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، کانی مگنتیت می‌باشد که نتیجه درستی است. می‌توان ویژگی‌های بافتی را نیز در این مسئله دخیل کرد. به این صورت که از این ویژگی‌های بافتی میانگین تهیه نمود و تصویر آزمون را با میانگین آن مقایسه کرد. به این معنی که هیستوگرام قطعه ورودی با میانگین هیستوگرام‌ها مقایسه شود و از طرفی با میانگین ویژگی‌های بافتی

مقایسه انجام گیرد. روش دیگر اینکه هیستوگرام و ویژگی بافتی با یکدیگر الحاق شود و یک بردار ویژگی ایجاد کند و از این بردار ویژگی‌ها میانگین گرفته شود و در مرحله آزمون نیز همین کار انجام گیرد و با میانگین این بردار ویژگی‌ها مقایسه گردد. با توجه به آزمون‌های انجام گرفته شده، همیشه این روش مناسب نیست و روشی موردنیاز است که کارایی بالاتری نسبت به این روش داشته باشد.

۳-۷-۳- روش نزدیک‌ترین همسایه

روش نزدیک‌ترین همسایه یک روش یادگیری با نظارت می‌باشد. در یادگیری با نظارت نمونه‌های آموزش و آزمون وجود دارند. که نمونه‌های آموزش به صورت جفت (x, y) هستند، x نمونه آموزشی و y برچسب آن می‌باشد و در آزمون یک نمونه آزمون x وجود دارد و برچسبی که شناخته شده نیست. هدف این است که برچسب‌ها برای نمونه‌های آزمایشی پیش‌بینی گردند. روش نزدیک‌ترین همسایه یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌ها برای پیش‌بینی کلاس یک نمونه آزمایشی باشد. برای هر نمونه آزمایشی فاصله نمونه با هر عضو مجموعه آموزشی محاسبه می‌گردد و نزدیک‌ترین فاصله با هر کلاس آموزشی، همان کلاس آزمون خواهد بود [۳۶].

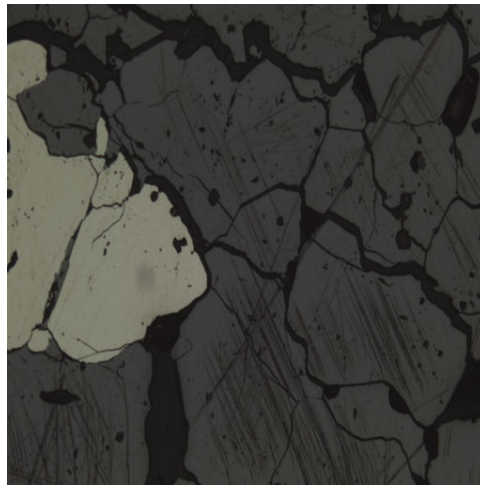
روش دیگری که می‌توان برای تشخیص کانی بکار برد و روش اصلی این پژوهش می‌باشد روش نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد. علت انتخاب این روش این بود که در تمام آزمایش‌های روی سه روش گفته شده، این روش دقت بیشتری داشت. در این روش هیستوگرام تمامی مجموعه داده‌های هر کانی به عنوان بردار ویژگی هر کلاس مربوط به کانی، به دست آورده می‌شود. تصویر ورودی برای آزمون، قطعه‌بندی و سپس خوشه‌بندی می‌گردد. پس از آن هیستوگرام هر قطعه ورودی با تمام هیستوگرام‌های تمام کانی‌های مجموعه آموزشی مقایسه می‌گردد. معیار مقایسه در این پژوهش معیار Jensen است. برای هر مقایسه معیار Jensen عددی به دست می‌آورد که این عدد میزان شباهت قطعه ورودی به کانی‌های مجموعه داده

آموزشی می‌باشد. هر چه این نسبت به هر عضو مجموعه داده، کمتر باشد نشان می‌دهد که شباهت بیشتری با این عضو دارد. پس از مقایسه تصمیم گرفته می‌شود که با چند همسایه مقایسه گردد. به عبارتی پارامتر K به دست آورده شود که با استفاده از روش سعی و خطا ۵ همسایه در نظر گرفته شده است. پس ۵ تا از کمترین اعداد در معیار Jensen در هر سه کانال، همان ۵ نزدیک‌ترین همسایه خواهد بود.

روش دیگری که در این راستا می‌توان بکار برد روش نزدیک‌ترین همسایه برای هیستوگرام‌ها و نزدیک‌ترین همسایه برای ویژگی‌های کلی تصویر از قبیل انرژی، آنترپی، کنتراست، همبستگی و یکنواختی می‌باشد. این روش همزمان با نزدیک‌ترین همسایه با ویژگی هیستوگرام نتایج بهتری ارائه می‌دهد. به این صورت که ویژگی‌های بافتی و ویژگی هیستوگرام یک بردار ویژگی سراسری از هر عضو مجموعه داده آموزشی می‌باشند. ارزیابی نتایج این بررسی در فصل بعد به‌طور مفصل بحث خواهد شد. ویژگی‌های مذکور یک ویژگی کلی از تصویر می‌دهد. این ویژگی‌ها در سه کانال رنگی اندازه‌گیری شده است. کانی-های مختلف تصویر آزمون با استفاده از قطعه‌بندی جداشده و ویژگی‌های هر قطعه آن در سه کانال رنگی استخراج گردیده و با معیار Jensen با ویژگی‌های مستخرج از داده‌های آموزش مقایسه می‌گردد. نتیجه مقایسه Jensen به‌صورت صعودی مرتب گردیده و K تایی اولیه آن انتخاب می‌شود. به این صورت الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه بر روی ویژگی‌های کلی بررسی می‌گردد.

حال هم نزدیک‌ترین فواصل به داده آزمون، هم در هیستوگرام و هم در ویژگی‌های کلی تصویر به‌دست آمده است. با توجه به فراوانی کلاس کانی که بیشترین تکرار را در این ۵ تا نزدیک‌ترین همسایه دارد، آن کانی به‌عنوان کانی منتخب برای این داده آزمون، انتخاب می‌گردد.

Ore1 = magnetite percent= 67 Ore2 = gungite percent= 19 Ore3 = pirite percent= 14



شکل ۳-۱۶. خروجی تصویر کانی‌های تشخیص داده‌شده و درصد آن‌ها

با توجه به نیاز معدن سنگان برای درصد کانی در تصویر، این مهم نیز در پایان‌نامه گنجانیده شده است. بنابراین پس از تشخیص کانی موردنظر، درصد تعداد پیکسل تخصیص داده‌شده توسط این کانی، به دست آورده شده است (شکل ۳-۱۶).

۳-۷-۴- روش شناسایی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک تکنیک مفید برای دسته‌بندی داده‌هاست. هدف SVM تولید یک مدل بر اساس داده‌های آموزشی است که مقادیر هدف داده‌های آزمون را بر اساس داده‌های آموزش پیش‌بینی نماید. با داشتن مجموعه نمونه‌های برچسب‌گذاری شده (x, y) تابع SVM اقدام به دسته‌بندی داده‌ها می‌نماید. روش SVM یادگیری با نظارت است که برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مبنای کاری دسته‌بندی کننده SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. از الگوریتم SVM، در هر جایی که نیاز به تشخیص الگو یا دسته‌بندی اشیاء در کلاس‌های خاص باشد می‌توان استفاده کرد. آموزش نسبتاً ساده است برخلاف شبکه‌های عصبی در ماکزیمم‌های محلی گیر نمی‌افتد. برای داده‌های با ابعاد بالا تقریباً خوب

جواب می‌دهد. مصالحه بین پیچیدگی دسته‌بندی کننده و میزان خطا به‌طور واضح کنترل می‌شود. به یک تابع کرنل خوب و انتخاب پارامتر C نیاز دارد [۳۷]. ورودی SVM می‌تواند هیستوگرام یک تصویر باشد. تابع کرنل مورد استفاده با روش سعی و خطا به دست می‌آید [۳۸].

داده‌ها در اینجا، هیستوگرام‌ها در سه کانال رنگی و ویژگی‌های بافتی در سه کانال می‌باشد. بنابراین بردار ویژگی شامل هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی می‌باشد. در مرحله‌ی آموزش سیستم، این بردار ویژگی برای هر داده مربوط به کلاس هر کانی ایجاد می‌گردد و برچسب‌گذاری می‌شود. این ویژگی‌ها به ماشین بردار پشتیبان فرستاده شده و دسته‌بندی صورت می‌پذیرد. تصویر آزمون وارد سیستم می‌شود و مطابق قبل ابتدا قطعه‌بندی و خوشه‌بندی انجام شده، سپس بردار ویژگی هر قطعه محاسبه می‌گردد. اکنون بایستی هر قطعه برچسب‌گذاری شود، SVM با توجه به بردار ویژگی هر قطعه، آن را در دسته مربوط به خود قرار می‌دهد. دقت SVM بستگی به توابع کرنل آن دارد. بنابراین برای ارزیابی SVM دو یا چند تابع کرنل بایستی آزمایش شوند. یکی از معایب این روش محاسبات پیچیده و زمان‌بر آن در داده‌های زیاد است و به علت پیچیدگی محاسباتی، حافظه زیادی مصرف می‌گردد.

۳-۷-۵- روش سطح روشنایی

ابتدایی‌ترین کاری که برای این پژوهش مدنظر قرار گرفت، استفاده از سطح روشنایی برای شناسایی کانی بود. هر تصویری که به این برنامه داده شود بر اساس سطح روشنایی که از قبل برای هر کانی در نظر گرفته شده است، مشخص می‌کند که چه کانی در تصاویر وجود دارد. این روش برای تعداد کانی پایین و در تصاویری که معمولاً شامل زمینه، هماتیت و مگنتیت باشند و گاهی اوقات همراه با پیریت می‌تواند مفید باشد. اما به علت وجود کانی‌های کالکوپیریت و پیروتیت این روش انجام نپذیرفت اگرچه در بیشتر تصاویر و مقاطع معدن سنگان دو کانی هماتیت و مگنتیت به چشم می‌خورد. در این تکنیک سعی بر آن

است تا با استفاده از سطح خاکستری، کانی موردنظر شناسایی شود. در این روش همان‌طور که گفته شد، به خاطر تعداد کانی‌های مورد مطالعه، احتمال وجود خطا نیز هست. با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری خطا مانند پارامتر دقت و صحت، میزان خطای این روش، به دست آورده شده است. از مزایای این روش این است که نیاز به پایگاه داده برای آموزش سیستم نیست و معایب آن هم‌پوشانی کانی‌ها در سطح خاکستری می‌باشند. پس از ارزیابی این روش مشاهده شد که این روش به‌تنهایی روش مناسبی برای تشخیص کانی نیست. استفاده همزمان روش‌های تفکیک دیگر و این روش می‌تواند در شناسایی مفید واقع شود.

۳-۸- چالش‌های شناسایی (استخراج ویژگی ضخامت لبه^۱ بین کانی‌ها)

یکی از ویژگی‌هایی که برای شناسایی کانی بکار برده می‌شود، ویژگی ضخامت لبه بین کانی‌های مورد مطالعه می‌باشد. اساس این کار به علت وجود ویژگی سختی کانی است. سختی کانی مقاومتی است که کانی در برابر خراشاندن، ساییدن یا خراشیده شدن از خود نشان می‌دهد. برای تعیین سختی کانی‌ها کافی است که هر کانی را توسط کانی دیگر خراش دهیم تا سختی نسبی آن دو معلوم گردد. هنگامی که سطح مقطع کانی پولیش می‌خورد و صیقل داده می‌شود، کانی که دارای سختی کمتری است بیشتر ساییده می‌شود و در نور میکروسکوپ در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد. کانی که سختی بیشتری دارد در زیر میکروسکوپ در سطح بالاتر قرار می‌گیرد.

به‌طور معمول بین کانی‌ها در سطح مقطع یک لبه با درجه روشنایی بسیار پایین وجود دارد. ممکن است در یک سطح مقطع چندین کانی وجود داشته باشند. اما در کانی‌های مورد مطالعه معمولاً زمینه سطح

¹ Edge length

مقطع یک کانی غیرفلزی می‌باشد. جلای این کانی غیرفلزی به‌طور معمول پایین و اختلاف سطح روشنایی این کانی زمینه با کانی‌های فلزی زیاد است. پس به راحتی می‌توان کانی زمینه را تشخیص داد. هنگامی که یک کانی برش می‌خورد و سطح آن صیقل می‌یابد، خراش‌هایی روی کانی به وجود می‌آید. این خراش‌ها گاهی به عنوان لبه در الگوریتم لبه‌یابی در نظر گرفته می‌شوند. برای از بین بردن اثر این خراش‌ها، از عملیات پیش‌پردازشی برای حذف اثر این موارد ناخواسته استفاده می‌گردد. کانی‌های مگنتیت، هماتیت، پیروتیت و گوتیت به‌طور معمول دارای سختی تقریباً یکسانی هستند و کانی کالکوپیریت درجه سختی پایین‌تر از کانی‌های مذکور و کانی پیریت سختی بیشتری از این کانی‌ها را دارا می‌باشند.

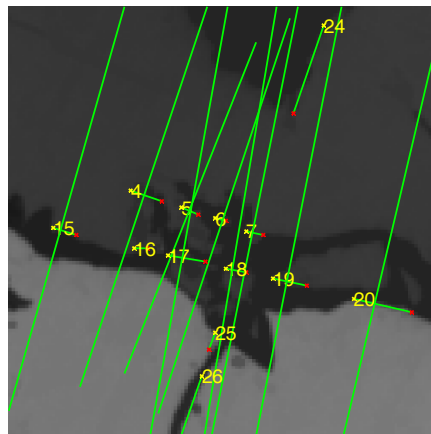
تصاویر به دست آمده از سطح مقطع به صورت رنگی و حجیم هستند. زمان پردازش آن‌ها بسیار بالاست. بدین منظور در همان مرحله اولیه کاهش اندازه تصاویر و تبدیل تصویر به تصویر خاکستری در دستور کار قرار خواهد گرفت. همچنین سطح یکنواخت تصویر مدنظر می‌باشد. تصاویر مورد مطالعه با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی به تصاویر یکنواخت تبدیل خواهند شد. لبه یابی روی اساس لبه یابی کنی قرار گرفته است. در این پژوهش بایستی لبه‌های پیوسته ایجاد شود که برای شناسایی کانی در تصویر حائز اهمیت است. برای به دست آوردن لبه‌های پیوسته، الگوریتم کنی اصلاح شده با استفاده از عملیات ریخت-شناسی انجام می‌شود. با استفاده از این عملیات نقص‌های لبه‌ها برطرف می‌شود. عملیات مورد استفاده، شامل افزایش و فرسایش هستند. فرسایش که به عنوان باز کردن معرفی شده اشیاء تصویر را هموار می‌کند. نوارهای باریک را از بین می‌برد و برآمدگی‌های ریز را حذف می‌کند [۳۹].

لبه‌ها به صورت خطوطی در اطراف شیء قرار می‌گیرند. این خطوط می‌توانند خط صاف یا دارای اعوجاج باشند. برای این منظور از الگوریتم هاف برای پیدا کردن خطوط اطراف لبه استفاده می‌شود. چون شکستگی‌ها و خطوط اطراف کانی‌ها در بیشتر تصاویر مورد مطالعه به صورت خط صاف می‌باشند.

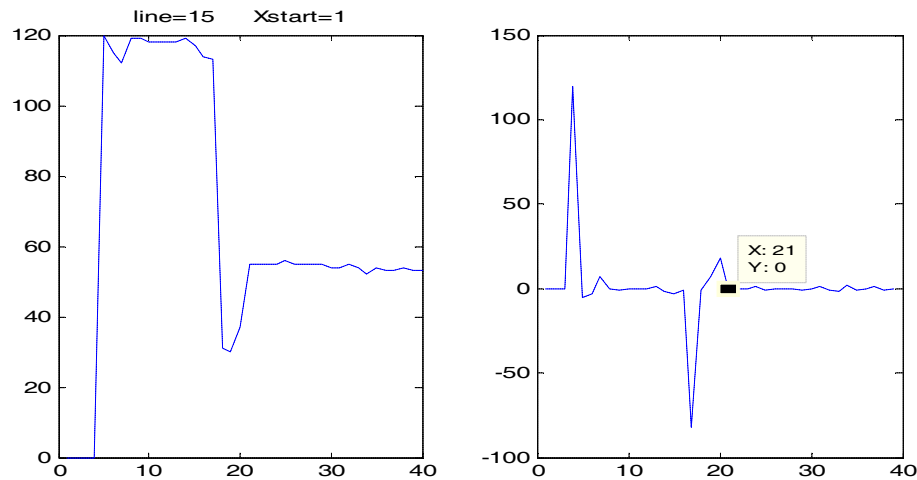
بعد از اینکه الگوریتم هاف خطوط را به دست آورد، بایستی خطوط عمود بر آن، به دست آورده شود. برای

اینکه دقت کار مورد مطالعه بیشتر شود، خط به دست آمده به چندین قسمت مساوی تقسیم شده و سپس خطوط عمود بر آن محاسبه می شود. میانگین این خطوط مورد بررسی قرار گرفته شد.

سطح روشنایی خطوط به دست آمده از روی تصویر اصلی محاسبه شد. به این صورت می توان ضخامت لبه را محاسبه نمود. برای مشخص نمودن وجود لبه در این خطوط مشتق این میانگین ها را محاسبه نموده و وجود اختلاف زیاد نشانه بودن یک لبه در میانگین خطوط عمود بر خط لبه می باشد. برای مشخص شدن مطلب به خط ۱۵ در شکل (۳-۱۷) دقت نمایید. در شکل (۳-۱۸) بخش دوم اختلاف شدت روشنایی را مشاهده می کنید. این علامت وجود لبه در این قسمت از تصویر است.



شکل ۳-۱۷. تصویر ورودی پس از یافتن خطوط لبه با الگوریتم هاف و میانگین خطوط عمود بر آن

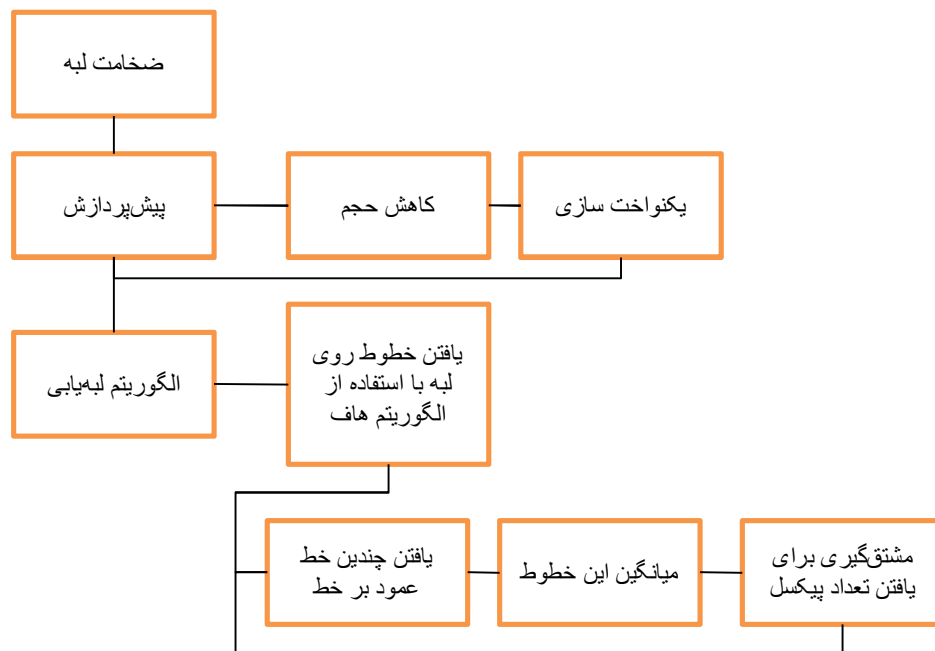


شکل ۳-۱۸. نمودار سمت چپ سطح خاکستری خط عمود- سمت راست مشتق آن

در تصویر سمت راست اختلافات مشاهده می‌شوند. به علت وجود لبه در تصویر سمت چپ در تصویر سمت راست یک اعوجاج مشاهده می‌شود. و ضخامت لبه محاسبه می‌شود. ضخامت لبه، روی تصاویر مختلف اندازه‌گیری شد.

با بررسی ضخامت لبه بین کانی‌هایی که سختی یکسان دارند با کانی‌هایی که سختی متفاوت دارند، اختلاف تعداد پیکسل وجود دارد. کانی‌های با سختی یکسان تعداد پیکسل‌ها کمتر از کانی‌هایی که سختی متفاوت دارند. پیریت و کالکوپیریت به ترتیب دارای بیشترین سختی و کمترین سختی هستند و بقیه کانی‌های مورد مطالعه دارای سختی یکسان بین این دو کانی قرار می‌گیرند. این ویژگی به‌تنهایی قادر به حل مسئله نیست و در کنار بقیه روش‌ها نتیجه مطلوب‌تر و دقیق‌تری خواهد داد. هرچه تعداد پیکسل بین لبه بیشتر باشد، سختی کانی‌های درگیر متفاوت هستند.

ویژگی ضخامت لبه برای این پژوهش به خاطر سختی‌های یکسان کانی‌های مورد مطالعه، کارایی چندانی نداشت. این ویژگی می‌تواند در مطالعات بعدی روی کانی‌های متفاوت‌تر مفید واقع شود. به خاطر کم تأثیر بودن این ویژگی برای شناسایی از ویژگی‌های هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی استفاده شد.



شکل ۳-۱۹. الگوریتم ضخامت لبه

در روش‌های مطرح‌شده، هرکدام جداگانه بحث گردید. هدف این است که این روش‌ها کمترین زمان اجرا و بیشترین دقت ممکن را داشته باشند. مراحل روش پیشنهادی به‌طور خلاصه، به این صورت می‌باشد که ابتدا از قطعه‌بندی رشد ناحیه پیکسون استفاده نموده و از خوشه‌بند فازی برای جداسازی کانی‌ها استفاده می‌کند. از کانال رنگی RGB برای جداسازی کانی دارای هم‌پوشانی قبل از قطعه‌بندی استفاده می‌شود. بعد از آن از تصاویر ویژگی هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی استخراج می‌شوند و بردار ویژگی سراسری ایجاد می‌شود و سپس با یکی از روش‌های شناسایی کانی، کانی شناسایی می‌گردد.

هدف نوشتن الگوریتم ضخامت لبه، به‌کارگیری آن در این پژوهش بود که کانی‌های با سختی‌های متفاوت ضخامت لبه متفاوتی نمایش دهند. اما به علت بافت ارتباط بین دانه‌ها، وجود پدیده مارتیت در بیشتر تصاویر پایگاه داده، استفاده از این روش برای این پژوهش مفید نبود. از لحاظ تئوری روش ضخامت لبه رابطه مستقیمی با سختی کانی‌های مورد مطالعه دارد. با توجه به این مسئله تمرکز بر روی کانی‌های با سختی بسیار متفاوت در کنار یکدیگر است. کانی پیریت دارای بیشترین سختی و کانی کالکوپیریت دارای

کمترین سختی است. با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، لبه‌ها در کانی‌های با سختی متفاوت پهن‌تر هستند. اما با توجه به شکستگی‌های بسیار در لبه‌های موجود، اندازه‌گیری ضخامت این لبه‌ها تقریباً ناممکن بود. اما با این وجود ضخامت لبه‌ها با استفاده از الگوریتم شکل (۳-۲۰) تشخیص داده شدند. اما ویژگی مناسبی برای شناسایی، در این پایگاه داده نبود. این کار و این ایده در مطالعات پیش رو می‌تواند راهگشای پژوهش‌گران در این زمینه باشد.

۳-۹- نتیجه‌گیری

در این فصل روش پیشنهادی مطرح شد. ملزومات مسئله مشخص شدند و در مورد پایگاه داده و چگونگی ایجاد آن بحث شد. روش‌ها به صورت جداگانه بررسی شدند. روش‌های شناسایی، روش میانگین هیستوگرام‌ها، روش نزدیک‌ترین همسایه با معیار شباهت Jensen و روش یادگیری با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بودند که در ارزیابی مشخص خواهد شد که بیشترین دقت مربوط به روش نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد.

فصل چهارم

ارزیابی روش پیشنهادی

۴-۱- مقدمه

در این فصل به ارزیابی روش‌های پیشنهادی پرداخته می‌شود و نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته بررسی می‌شود. ابتدا به ارزیابی روش کلاسیک سطح روشنایی پرداخته‌شده و مشخص می‌شود که این روش، روش مناسبی برای شناسایی نیست. سپس روش‌های شناسایی با استفاده از میانگین هیستوگرام‌ها، روش نزدیک‌ترین همسایه و روش ماشین بردار پشتیبان ارزیابی خواهند شد.

۴-۲- ارزیابی روش سطح روشنایی

روش سطح روشنایی روشی قدیمی برای شناسایی اشیاء در تصویر می‌باشد. هر کانی به‌عنوان یک شیء در تصویر در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از درجه سطح روشنایی آن مشخص می‌شود هر پیکسل متعلق به چه کانی می‌باشد. روشی کاملاً ناامن برای شناسایی است زیرا که تصاویر پایگاه داده به‌صورت رنگی هستند. برای استخراج سطح مطمئن نرم‌افزاری طراحی شد تا بتوان خطای این روش را به دست آورد. در این نرم‌افزار مراحل کار به‌صورت زیر انجام گرفت.

مرحله اول : در این مرحله بایستی هیستوگرام تصویر نمایش داده و با انتخاب یک سطح خاکستری، منطقه تحت پوشش این سطح خاکستری، روی تصویر نمایش داده شود. علت این کار این است که آیا می‌توان از روی سطح خاکستری، کانی موردنظر را شناسایی کرد.

مرحله دوم : برای هر کانی چندین عکس را موردبررسی قرار داده و یک بازه تقریباً مطمئن از هر کانی به دست آورده شد. بازه‌ای که در بیشتر عکس‌ها کانی موردنظر روی این بازه قرار دارد.

مرحله سوم: پارامترهای TP^1 و FP^2 و FN^3 محاسبه شدند و دقت و صحت هر بازه مشخص گردید. سپس با توجه به آن‌ها برای هر کانی یک بازه در نظر گرفته شد.

TP ، تعداد پیکسل‌هایی که واقعاً کانی x بوده‌اند و در تصویر دوم هم به‌عنوان کانی x در نظر گرفته شده‌اند. FP ، تعداد پیکسل‌هایی که کانی x بوده‌اند اما در تصویر دوم شناسایی نشده‌اند و FN ، تعداد پیکسل‌هایی که کانی x نبوده‌اند اما به‌عنوان کانی x در نظر گرفته شده‌اند.

دقت^۴: که دقت کار را با استفاده از رابطه (۱-۴) می‌توان سنجید:

$$\text{رابطه (۱-۴)} \quad \frac{TP}{\text{predicted positive}} = \frac{TP}{TP + FP}$$

صحت^۵: که صحت یا درستی انجام کار را با استفاده از رابطه (۲-۴) می‌توان سنجید:

$$\text{رابطه (۲-۴)} \quad \frac{TP}{\text{actual positive}} = \frac{TP}{TP + FN}$$

پارامترهای دقت و صحت برای هر کانی مسئله محاسبه شد. با بررسی آن‌ها، این نتیجه به‌دست آمده است که در کانی‌هایی که معمولاً هم‌پوشانی ندارند، پارامتر صحت دارای مقدار ۱ و نزدیک به مقدار ۱ می‌باشد. پارامتر دقت در کالکوپیریت دارای مقادیر بسیار کوچکی است. در کانی پیریت دقت معمولاً بالاست. در کانی مگنتیت و هماتیت دقت معمولاً زیر ۰.۵ می‌باشد. کانی کالکوپیریت به علت هم‌پوشانی زیاد با کانی-های دیگر دارای دقت پایینی می‌باشد. کانی کالکوپیریت در بسیاری موارد با کانی پیروتیت تداخل سطح خاکستری دارد. از این‌رو در دسته‌بندی ابتدا این کانی را تشخیص داده، سپس عملیات دسته‌بندی صورت

¹ True positive

² False positive

³ False negative

⁴ Precision

⁵ Recall

می گیرد.

۴-۳- ارزیابی روش میانگین هیستوگرام‌ها

روش میانگین هیستوگرام‌ها که در فصل قبل به‌طور مفصل توضیح داده شد، نسبت به روش نزدیک‌ترین همسایه نتایج نسبتاً نامطلوبی را ارائه داد. با بررسی داده‌های آزمون روی این روش، نتایج جدول (۴-۱) به دست آمد.

ادغام روش میانگین هیستوگرام‌ها و میانگین ویژگی‌های بافتی تصاویر (کنتراست، انرژی، همبستگی، یکنواختی و آنتروپی) نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. ویژگی‌های بافتی، ویژگی‌های کلی از تصاویر آموزشی را به دست می‌دهند که در مرحله آزمون با میانگین این ویژگی‌ها بررسی می‌شود. در جدول (۴-۱) چهار نوع بردار ویژگی و درصد درستی دسته‌بندی آن‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱. ارزیابی میانگین هیستوگرام‌ها

بردار ویژگی	درصد درستی دسته‌بندی
هیستوگرام در سه کانال رنگی	۵۵
هیستوگرام خاکستری	۵۴
هیستوگرام خاکستری و ویژگی‌های بافتی	۵۷
هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی در هر کانال رنگی	۶۴

در جدول (۴-۱) مشخص می‌شود هیستوگرام در سه کانال رنگی قطعاً نتیجه بهتری نسبت به هیستوگرام خاکستری دارد. همچنین هنگامیکه ویژگی بافتی هم در نظر گرفته شود درصد درستی بیشتری خواهیم داشت.

۴-۴- ارزیابی ویژگی‌ها با روش دسته‌بندی نزدیک‌ترین همسایه

روش نزدیک‌ترین همسایه که در فصل قبل مطرح شد، از داده‌های آموزش در سه کانال رنگی، هیستوگرام

تهیه شد. داده آزمون با تمامی این هیستوگرام‌ها با استفاده از معیار شباهت Jensen مقایسه گردیده و K تا بیشترین شبیه را انتخاب می‌کند. این روش با ۵ نزدیک‌ترین همسایه، ۷ و ۱۰ همسایه بررسی‌شده و نتایج هر کدام بررسی‌شده‌اند. با ۵ همسایه نتایج دقیق‌تر به دست آمده است. جدول (۴-۲) روش نزدیک‌ترین همسایه را با معیارهای شباهت متفاوت، بررسی می‌کند.

جدول ۴-۲. بررسی روش نزدیک‌ترین همسایه با فاصله‌ها و تعداد متفاوت

فاصله اقلیدسی و ۵	فاصله اقلیدسی و ۷	فاصله اقلیدسی و ۹	فاصله chebyshev	فاصله manhatan	
نزدیک‌ترین همسایه	نزدیک‌ترین همسایه	نزدیک‌ترین همسایه	۵ و نزدیک‌ترین همسایه	۵ و نزدیک‌ترین همسایه	
%۸۲	%۸۲/۲	%۷۸/۵	%۸۰/۹	%۸۲/۷	ویژگی هیستوگرام

مانند روش میانگین هیستوگرام‌ها، از ویژگی‌های بافتی تصویر هم می‌توان به عنوان کمکی برای تشخیص کانی‌های تشکیل‌دهنده تصویر استفاده نمود. ویژگی‌های هر داده آموزشی در سه کانال رنگی به عنوان یک بردار ویژگی از آن داده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله آزمون، پس از جداسازی کانی‌های تصویر، بردار ویژگی هر قطعه به دست آمده و به الگوریتم فرستاده می‌شود و K تا نزدیک‌ترین و شبیه‌ترین به این ویژگی‌ها را به دست می‌دهد. این ویژگی‌ها در سه کانال رنگی همزمان با هیستوگرام کانی‌ها در سه کانال رنگی، نتایج دقیق‌تری را به دست می‌آورند.

در جدول (۴-۳) نتایج نزدیک‌ترین همسایه روی سه کانال رنگی، که هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی به عنوان ویژگی‌های مستخرج از تصاویر پایگاه دانش مورد استفاده قرار می‌گیرد را بررسی می‌کند.

جدول ۳-۴. بررسی روش نزدیک‌ترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام با تعداد متفاوت K

بردار ویژگی	۵ نزدیک‌ترین همسایه	۷ نزدیک‌ترین همسایه
هیستوگرام در کانال رنگی R و ۵ ویژگی بافتی برای همان کانال	٪۸۵/۲	٪۸۲/۷
هیستوگرام در کانال رنگی G و ۵ ویژگی بافتی برای همان کانال	٪۸۵/۲	٪۸۲/۷
هیستوگرام در کانال رنگی B و ۵ ویژگی بافتی برای همان کانال	٪۸۶.۹	٪۸۳/۱

حال می‌توان این آزمایش‌های را روی ویژگی‌های بافتی در سه کانال رنگی همزمان با وجود هیستوگرام بررسی کرد. معیار شباهت فاصله اقلیدسی است. به این ترتیب نتایجی مانند جدول (۴-۴) به دست خواهد آمد.

جدول ۴-۴. بررسی روش نزدیک‌ترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام در سه کانال رنگی

	دسته‌بندی با ۵ نزدیک‌ترین همسایه	دسته‌بندی با ۷ نزدیک‌ترین همسایه
هیستوگرام و ویژگی بافتی در ۳ کانال	٪۸۶/۲	٪۸۰/۷
ویژگی‌های بافتی در ۳ کانال	٪۷۹/۹	٪۷۵/۶
ویژگی بافتی خاکستری	٪۷۰/۱	٪۶۸/۲

با توجه به اینکه سه کانال رنگی داریم ترکیب هیستوگرام این سه کانال و به دست آوردن درصد تشخیص بهینه، می‌بایست هر سه کانال بررسی شود و در هر سه کانال، کانی‌های شبیه به کانی موردنظر از لحاظ معیار Jensen به دست آورده شود. سپس با استفاده از بیشترین فراوانی کانی، کانی موردنظر تشخیص داده می‌شود. در جدول (۴-۵) درصد تشخیص کانی با این ویژگی‌ها مشخص شده است.

جدول ۴-۵. بررسی روش نزدیک‌ترین همسایه با ویژگی‌های بافتی و هیستوگرام در سه کانال رنگی با معیار شباهت Jensen

بردار ویژگی	دسته‌بندی با ۵ نزدیک‌ترین همسایه	دسته‌بندی با ۷ نزدیک‌ترین همسایه	دسته‌بندی با ۱۰ نزدیک‌ترین همسایه
هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی در ۳ کانال رنگی	٪۸۹/۷	٪۸۵/۲	٪۸۳/۱

۴-۵- ارزیابی روش یادگیری SVM

در این بخش، روش ماشین بردار پشتیبان بررسی می‌گردد. جدول (۴-۶) دسته‌بندی هیستوگرام‌های کانی را در مرحله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون بررسی می‌کند. در جداول بعدی ویژگی‌های ۵ گانه بافتی هم اضافه می‌گردد. این ویژگی‌ها می‌تواند در یک کانال یا در هر سه کانال باشد که این مورد نیز بررسی خواهد شد. در این بررسی‌ها تابع کرنل چندجمله‌ای^۱ می‌باشد که از رابطه خطی رابطه (۴-۱) پیروی می‌کند.

$$\text{linear kernel: } k(x, y) = \langle x, y \rangle \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

جدول ۴-۶. بررسی روش دسته‌بندی SVM در مرحله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون

بردار ویژگی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آموزش	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله اعتبارسنجی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آزمون
هیستوگرام در کانال R	۸۰/۲٪	۷۹/۵٪	۷۵٪
هیستوگرام در کانال G	۸۰/۹٪	۷۸/۲٪	۷۵٪
هیستوگرام در کانال B	۸۱/۹٪	۷۸٪	۷۵/۸٪

استفاده از تابع کرنل RBF نتایج جدول (۴-۷) را در پی خواهد داشت.

جدول ۴-۷. بررسی روش دسته‌بندی SVM در مرحله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون با تابع کرنل RBF

بردار ویژگی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آموزش	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله اعتبارسنجی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آزمون
هیستوگرام در کانال R	۵۹٪	۵۸٪	۴۴٪

اگر ورودی SVM، ترکیب هیستوگرام و ۵ ویژگی بافتی باشد، نتایجی مطابق جدول (۴-۸) به وجود خواهد آمد.

^۱ poly kernel

جدول ۴-۸. بررسی روش دسته‌بندی SVM در مرحله آموزش و آزمون در هیستوگرام سه کانال رنگی همزمان با ویژگی-

های بافتی

بردار ویژگی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آموزش	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آزمون
هیستوگرام در کانال R با ویژگی بافتی	۸۳/۴٪	۷۶/۷٪
هیستوگرام در کانال G با ویژگی بافتی	۸۳/۸٪	۷۹/۵٪
هیستوگرام در کانال B با ویژگی بافتی	۸۳/۴٪	۷۸/۸٪

اگر ۱۵ ویژگی بافتی در سه کانال را به هیستوگرام الحاق کنیم نتایج جدول (۴-۹) را خواهیم داشت.

جدول ۴-۹. بررسی روش دسته‌بندی SVM در مرحله آموزش و آزمون در هیستوگرام با ویژگی‌های بافتی در سه کانال و

ویژگی‌های بافتی به‌صورت جداگانه در سه کانال و ویژگی‌های بافتی در یک کانال

بردار ویژگی	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آموزش	درصد درستی دسته‌بندی در مرحله آزمون
هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی در ۳ کانال	۸۵/۵٪	۸۲/۸٪
ویژگی‌های بافتی در ۳ کانال	۷۶/۵٪	۷۳/۷٪
ویژگی بافتی خاکستری	۷۱/۹٪	۶۸/۸٪

با توجه به جداول ارزیابی SVM، روش نزدیک‌ترین همسایه نتایج بهتری ارائه می‌دهد. از این‌رو این روش روی هر سه کانال هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی بسط داده شد و روش پیشنهادی این پایان‌نامه قرار گرفت.

۴-۶- نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده در این فصل، روش نزدیک‌ترین همسایه با ویژگی‌های هیستوگرام همراه با ویژگی‌های بافتی در سه کانال رنگی بیشترین دقت ارزیابی را داشت.

فصل پنجم

جمع‌بندی و پیشنهاد برای ادامه کار

۵-۱- جمع‌بندی

در این پایان‌نامه شیوه‌ای مکانیزه برای شناسایی کانی پیشنهاد شده است. در ابتدای کار، مقاطع پولیش-خورده از معدن سنگان به ودیعه گرفته شد. سپس مرحله مطالعات این مقاطع انجام گرفت و کانی‌های روی مقاطع بررسی گردیدند. تصویربرداری از این مقاطع، با استفاده میکروسکوپ انعکاسی و در مقیاس-های مختلف انجام گرفت. در مرحله پردازش تصاویر، روش‌های قطعه‌بندی رشد ناحیه مبتنی بر پیکسون و خوشه‌بندی فازی، برای جداسازی کانی‌های تصویر استفاده شده‌اند. برای شناسایی کانی‌ها از روش نزدیک‌ترین همسایه با معیار شباهت Jensen استفاده شد. بردار ویژگی شامل هیستوگرام و ویژگی‌های بافتی می‌باشد. برای بهبود نتایج پایان‌نامه، عملیات پیش‌پردازش و عملیات ریخت‌شناسی برای هموارسازی سطح کانی استفاده شد. چالش‌های هم‌پوشانی کانی‌ها در رنگ و سطح روشنایی با استفاده از روابط ریاضی بین کانال‌های رنگی رفع گردید. چالش تشخیص تعداد کانی‌ها به‌صورت خودکار در تصاویر سطح مقطع با استفاده از رفع هم‌پوشانی در قسمت قطعه‌بندی رفع گردید. همچنین به علت نبود پایگاه داده استاندارد و موردی بودن پایان‌نامه برای معدن سنگان، تولید پایگاه داده شامل مجموعه کانی‌های مورد مطالعه از ملزومات پایان‌نامه بود، که این مهم نیز انجام پذیرفت.

در ارزیابی این پژوهش، به‌غیر از روش نزدیک‌ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان نیز استفاده شد و نتایج هر روش بررسی گردید که روش نزدیک‌ترین همسایه، با حدود ۹۰ درصد تخمین، نتایج دقیق‌تری داشت.

۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار

با توجه به پیشرفت روزافزون روش‌های پردازشی و تولید الگوریتم‌هایی با زمان اجرای بسیار کمتر، به‌طور حتم این پژوهش می‌تواند رشد بیشتری چه در زمان اجرا و چه در کاهش درصد خطا داشته باشد.

همچنین پایگاه داده می‌تواند گسترش یابد و برای مطالعات بعدی در این زمینه در اختیار پژوهشگران قرار داده شود.

در استخراج ویژگی ضخامت لبه که روی داده‌های این پژوهش به نتیجه درستی دست یافته نشد، می‌تواند روی مجموعه داده‌های دیگری اعمال شود و به نتایج بهتری برسد.

- [1] Craig, J.R., Yoon, R.H., Haralick, R.M. and Pong, T.C., 1982. Ore microscopic studies using the general image processing system (GIPSY). *13th International Mineralogic Association, Varna Bulgaria*.
- [2] Golmohammadi, A., Karimpour, M.H., Shafaroudi, A.M. and Mazaheri, S.A., 2015. Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 65, pp.545-563.
- [3] kare kullerud, university of Tromso,
http://webgeology.alfaweb.no/webgeology_files/persian/mineral_pe.html. [Accessed on Wednesday, August 16, 2017]
- [4] 'Magnetite: Magnetite mineral information and data' [online], available from:
<https://www.mindat.org/min-2538.html> [Accessed on Wednesday, August 9, 2017]
- [5] 'Magnetite gemstone information' [online], available from: <https://www.gemdat.org/gem-2538.html> [Accessed on Wednesday, August 9, 2017]
- [6] Spry, P.G.G. and Brian, L., 1987. *Economic geology: tables for the determination of common opaque minerals* (No. 549 SPR).
- [7] Li, Y., Onasch, C.M. and Guo, Y., 2008. GIS-based detection of grain boundaries. *Journal of Structural Geology*, 30(4), pp.431-443.
- [8] Liu, Y., Zhang, D., Lu, G. and Ma, W.Y., 2007. A survey of content-based image retrieval with high-level semantics. *Pattern recognition*, 40(1), pp.262-282.
- [9] Iglesias, J.C.A., Gomes, O.D.F.M. and Paciornik, S., 2011. Automatic recognition of hematite grains under polarized reflected light microscopy through image analysis. *Minerals Engineering*, 24(12), pp.1264-1270.
- [10] Nellros, F. and Thurley, M.J., 2011. Automated image analysis of iron-ore pellet structure using optical microscopy. *Minerals Engineering*, 24(14), pp.1525-1531.
- [11] Gomes, O.D.M., Paciornik, S. and Iglesias, J.C.A., 2010. A simple methodology for identifying hematite grains under polarized reflected light microscopy. In *Proceedings of 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing-IWSSIP* (pp. 428-431).
- [12] DeVasto, M.A., Czeck, D.M. and Bhattacharyya, P., 2012. Using image analysis and ArcGIS® to improve automatic grain boundary detection and quantify geological images. *Computers & geosciences*, 49, pp.38-45.
- [13] Singh, V., Singh, T.N. and Singh, V., 2011. Image processing applications for customized mining and

ore classification. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(7-8), pp.1163-1171.

[14] Al-Thyabat, S., Miles, N.J. and Koh, T.S., 2007. Estimation of the size distribution of particles moving on a conveyor belt. *Minerals Engineering*, 20(1), pp.72-83.

[۱۵] صادقی م ، صادقی و ، (۱۳۹۱) "طبقه‌بندی سنگ‌آهن و تخمین عیار آن با کمک تکنیک‌های پردازش تصویر"

اولین همایش ملی پیشرفت‌های تکنولوژی در مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر

[16] Gorsevski, P.V., Onasch, C.M., Farver, J.R. and Ye, X., 2012. Detecting grain boundaries in deformed rocks using a cellular automata approach. *Computers & Geosciences*, 42, pp.136-142.

[17] Petersen, K.R.P., Aldrich, C. and Van Deventer, J.S.J., 1998. Analysis of ore particles based on textural pattern recognition. *Minerals Engineering*, 11(10), pp.959-977.

[18] Zhang, J. and Subasinghe, N., 2012. Extracting ore texture information using image analysis.

[19] Karakuş, D., Onur, A.H., Deliormanlı, A.H. and Konak, G., 2010. Size and shape analysis of mineral particles using image processing. *Journal of Ore Dressing*, 12(23), pp.1-8.

[20] Kruse, F.A., 1996. Identification and mapping of minerals in drill core using hyperspectral image analysis of infrared reflectance spectra. *International journal of remote sensing*, 17(9), pp.1623-1632.

[۲۰] هنرمند م، رنجبر، (۱۳۸۴) "کاربرد روش‌های مختلف پردازش تصویر روی داده‌های ETM به منظور اکتشاف

کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه‌ای در منطقه کوه ممزار-کوه پنج در استان کرمان" مجله علوم زمین

[22] Gonzalez, R.C. and Wood, R.E., Digital image processing, 3rd Edtn.

[23] Delbem, I.D., Galéry, R., Brandão, P.R.G. and Peres, A.E.C., 2015. Semi-automated iron ore characterisation based on optical microscope analysis: Quartz/resin classification. *Minerals Engineering*, 82, pp.2-13

[24] Wang, Y.H., 2010. Tutorial: Image Segmentation. *National Taiwan University, Taipei*, pp.1-36.

[25] Barraud, J., 2006. The use of watershed segmentation and GIS software for textural analysis of thin sections. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 154(1), pp.17-33.

[26] Pirard, E., Lebichot, S. and Krier, W., 2007. Particle texture analysis using polarized light imaging and grey level intercepts. *International Journal of Mineral Processing*, 84(1), pp.299-309.

[27] Gomes, O.D.F.M., Iglesias, J.C.A., Paciornik, S. and Vieira, M.B., 2013. Classification of hematite types in iron ores through circularly polarized light microscopy and image analysis. *Minerals Engineering*, 52, pp.191-197.

[28] Asmussen, P., Conrad, O., Günther, A., Kirsch, M. and Riller, U., 2015. Semi-automatic segmentation of petrographic thin section images using a "seeded-region growing algorithm" with an application to characterize weathered subarkose sandstone. *Computers & Geosciences*, 83, pp.89-99.

- [29] Demuth, H.B., Beale, M.H., De Jess, O. and Hagan, M.T., 2014. *Neural network design*. Martin Hagan.
- [30] Singh, V. and Rao, S.M., 2005. Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification. *Minerals Engineering*, 18(15), pp.1412-1420.
- [31] Singh, N., Singh, T.N., Tiwary, A. and Sarkar, K.M., 2010. Textural identification of basaltic rock mass using image processing and neural network. *Computational Geosciences*, 14(2), pp.301-310.
- [۳۲] عابدینی م، (۱۳۹۳) "مبانی تئوری و عملی کان‌شناسی نوری" جلد اول، چاپ دوم، انتشارات آراین زمین، تهران، ص ۲.
- [33] Hassanpour, H., Yousefian, H. and Zehtabian, A., 2011. Pixon-based image segmentation. In *Image segmentation*. InTech.
- [34] Nadernejad, E. and Sharifzadeh, S., 2013. A new method for image segmentation based on Fuzzy C-means algorithm on pixonal images formed by bilateral filtering. *Signal, Image and Video Processing*, 7(5), pp.855-863.
- [۳۵] حسن‌پور ح، اسدی س، (۱۳۹۴) "مفاهیم جامع پردازش تصاویر دیجیتال به همراه پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در matlab" جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، تهران، ص ۵۷
- [36] Elkan, C., 2011. Nearest neighbor classification. *Elkan cs. ucsd. edu*, 11 January, 11, p.3.
- [37] Hsu, C.W., Chang, C.C. and Lin, C.J., 2003. A practical guide to support vector classification.
- [38] Chapelle, O., Haffner, P. and Vapnik, V.N., 1999. Support vector machines for histogram-based image classification. *IEEE transactions on Neural Networks*, 10(5), pp.1055-1064.
- [39] Hasan, S.M.A. and Ko, K., 2016. Depth edge detection by image-based smoothing and morphological operations. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(3), pp.191-197.

Abstract

In most mines of Iran, mineral detection is conducted manually using a microscope and a skilled user expert in identifying minerals. Given the time-consuming nature of this process, such detection will not be economic for large mine such as Sangan. In the present study, minerals in Sangan Iron Ore mines in Khorasan Razavi province are identified, and then the percentage of minerals in the image is calculated. For this purpose, the polished sections of this mine were studied. According to mineralogical studies performed by optical microscope, the main minerals (ore) include magnetite and hematite and gangue like pyrite, Chalcopyrite and Pyrrhotite. In this thesis, given the lack of a standard database for this purpose, a database was created for this mine.

To identify these minerals, after reviewing the database and the proposed methods, color and texture criteria were identified as two suitable properties for the detection of these minerals. The feature vector, histogram of dataset images and texture features in the three color channels constitute the RGB of these images. The classification was carried out using the nearest neighbor method based on the Jensen similarity criterion. The main advantage of this method is its accuracy compared to other classification methods. The evaluation was carried out on the dataset of each mineral, with the results indicating a detection rate of 89% for the proposed method in identifying minerals in Sangan mines. The Pixton method was used for segmentation in research.

Keywords: Sangan iron ore minerals, mineral detection, nearest neighbor, Jensen similarity criterion, Pixton segmentation, histograms mean



Shahrood University of Technology

Faculty of computer

MSc Thesis in Artificial Intelligence

**Detection of iron minerals from cross-sectional image using image
processing techniques**

By:

Ameneh Hosseini ehsani

Under the direction of:

Prof. H. Hassnpour

Dr A. Abedi

Advisor:

Dr A. Golmohammadi

August 2017