



دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

گروه مهندسی اکتشاف

تشخیص مرز واحدهای سنگ‌شناسی و محدوده آلودگی در کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی با رویکرد پردازش تصویر مبتنی بر تئوری موجک

شیوا تیرداد

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخمچی

دکتر فرامرز دولتی اردهجانی

استاد مشاور:

دکتر حسین احمدی نوبری

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

خرداد 1393

دانشگاه شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شیوا تیرداد

تحت عنوان: تشخیص مرز واحدهای سنگ‌شناسی و محدوده آلودگی در کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی با رویکرد پردازش تصویر مبتنی بر تنوری موجک

در تاریخ 1393/3/4 توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر حسین احمدی نوبری		دکتر بهزاد تخم‌چی
	-		دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر امین روشندل کاهو		دکتر آرزو عابدی
			دکتر امین روشندل کاهو

با احترام؛
تقدیم به پدر و مادرم،
خواهر و برادرم،
و همسر عزیزم

تشکر و قدردانی

خداوند متعال را سپاس گزارم از این که توانستم این پایان نامه را به اتمام برسانم. در حین انجام این پایان نامه افراد خبره و شایسته‌ای سر راه اینجانب قرار گرفتند و با راهنمایی و مشاوره آن‌ها این پروژه در مسیر مناسب خود قرار گرفت. به رسم ادب و احترام، در ابتدای این پایان نامه باید از زحمات بزرگوارانی که بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی که در تمام مقاطع این پایان نامه همواره پشتیبان من بودند، آقای دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی که در کلیه مراحل این پژوهش بسیار مرا یاری نمودند، آقای دکتر حسین احمدی نوبری که در بخش آموزش آنالیز مویک با ایده‌های نو مرا هدایت کردند، آقای مهندس علی حاجی آبادی که در کُدنویسی مرا یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با آرزوی موفقیت

شیوا تیرداد

تعهد نامه

اینجانب شیوا تیرداد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه‌ی تشخیص مرز واحدهای سنگ‌شناسی و محدوده آلودگی در کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی با رویکرد پردازش تصویر مبتنی بر تئوری موجک تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخمچی و دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی متعهد می‌شوم.

- ❖ تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- ❖ در استفاده از نتایج پژوهشهای 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « University of Shahrood » 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 آنها) 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 افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . 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

تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی از پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به کاهش هزینه، صرفه‌جویی در وقت و امکان ارائه اطلاعات مناطقی که به سادگی در دسترس نیستند کمک کند. در این راستا باید مرز واحدهای سنگ‌شناسی مشخص و ترسیم گردد. اغلب مرزهای سنگ‌شناسی به این صورت تعیین می‌شوند که ابتدا تصویر را با توجه به اختلافات طیفی به واحدهای سنگ‌شناسی مختلف طبقه‌بندی کرده و سپس مرزها را به صورت دستی ترسیم می‌کنند. در این صورت شناسایی مرزها ثابت نبوده و غالباً متأثر از برداشت مفسر است. هدف از این مطالعه تعیین خودکار این مرزها با استفاده از پردازش تصویر بر مبنای تبدیل موجک و طبقه‌بندی تصویر با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و روش خوشه‌بندی در محدوده‌ی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی است. مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که با اعمال این الگوریتم‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای، خروجی به دست آمده مطلوب بوده و از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین سرعت تعیین واحدهای سنگ‌شناسی بالا بوده و زمان مورد نیاز برای گرفتن خروجی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مسئله قابل توجه دیگر این است که فعالیت‌های معدنکاری و صنایع فرآوری مجاور آن‌ها سبب انباشته شدن مواد معدنی کم عیار و باطله (دپو) در محیط اطراف می‌شود که این مسئله به نوبه خود باعث توسعه آلودگی‌های زیست‌محیطی در مناطق اطراف خواهد شد. در فرآیند شست و شوی زغال، مقداری از مواد معدنی با عیار پایین‌تر به صورت باطله جدا می‌شوند. انباشت این باطله‌ها در مجاورت آب و هوا باعث تغییر ترکیبات آن‌ها شده و مواد سمی و خطرناک موجود در آن‌ها وارد محیط اطراف می‌شود. در این پایان‌نامه نسبت به شناسایی واحدهای آلودگی نیز در محدوده‌ی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی اقدام شده است. نتایج کلی مطالعات و مقایسه نتایج با نقشه‌های کوچک مقیاس موجود نشان داد که الگوریتم توسعه داده شده مبتنی بر خوشه‌بندی، طبقه‌بندی و موجک از دقت و سرعت مناسبی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی پایه و تا حدودی برای به تصویر در آوردن مناطق آلودگی برخوردار است.

کلمات کلیدی: تبدیل موجک، ماشین بردار پشتیبان، خوشه‌بندی، البرز شرقی، مرزهای سنگ‌شناسی.

لیست مقالات مستخرج از این پایان نامه

۱. تیرداد ش.، تخمچی ب.، دولتی ارده جانی ف.، حاجی آبادی ع.، ۱۳۹۲، " تشخیص مرزهای سنگ شناسی در تصویر ماهواره ای با استفاده از تبدیل موجک و ماشین بردار پشتیبان "، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی ، شاهرود.

۲. تیرداد ش.، تخمچی ب.، دولتی ارده جانی ف.، حاجی آبادی ع.، ۱۳۹۲، " تشخیص واحدهای سنگ شناسی با استفاده از الگوریتم خوشه بندی K-means، منطقه مورد مطالعه: البرز شرقی، ایران "، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره ی بین المللی تخصصی علوم زمین، تهران.

فهرست

۱	فصل اول کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تاریخچه‌ی تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی و تشخیص مناطق آلودگی
۹	۳-۱ ساختار پایان‌نامه
۹	۴-۱ هدف از این پایان‌نامه
۱۰	۵-۱ نوآوری پژوهش صورت گرفته
۱۱	فصل دوم روش‌شناسی تحقیق
۱۲	۱-۲ مقدمه
۱۳	۲-۲ تبدیل موجک
۱۴	۱-۲-۲ تبدیل موجک گسسته
۱۶	۳-۲ استخراج ویژگی
۱۶	۱-۳-۲ ماتریس وقوع همزمان
۱۷	۴-۲ طبقه‌بندی با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان
۲۲	۱-۴-۲ استفاده از ماشین بردار پشتیبان
۲۲	۲-۴-۲ کنترل حساسیت ماشین‌های بردار پشتیبان
۲۳	۳-۴-۲ حساسیت در مقابل صراحت
۲۶	۴-۴-۲ آموزش سیستم
۲۶	۵-۴-۲ آزمون سیستم
۲۷	۵-۲ لبه‌یابی تصاویر ماهواره‌ای
۲۷	۶-۲ آنالیز خوشه‌بندی
۳۱	فصل سوم توصیف منطقه و داده‌های مورد مطالعه
۳۲	۱-۳ مقدمه
۳۲	۲-۳ موقعیت منطقه مورد مطالعه
۳۴	۳-۳ تاریخچه‌ی اکتشاف زغال در منطقه
۳۴	۴-۳ زمین‌شناسی منطقه
۳۶	۵-۳ چینه‌شناسی منطقه
۳۹	۶-۳ تاثیرات فرآیند زغال‌شویی البرز شرقی بر اکولوژی منطقه
۴۰	۷-۳ آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای
۴۱	۱-۷-۳ پیش‌پردازش

۴۲	۳-۷-۱-۱ تصحیح پراکنش اتمسفری
۴۳	۳-۷-۱-۲ تصحیح هندسی
۴۶	۳-۷-۱-۲-۱ روش نزدیک‌ترین همسایه
۴۶	۳-۷-۱-۲-۲ روش درون‌یابی دوتایی
۴۷	۳-۷-۱-۲-۳ روش درون‌یابی پیچشی مکعبی
۴۷	۳-۷-۲ بارزسازی تصاویر
۴۸	۳-۷-۲-۱ بزرگ‌نمایی و کوچک‌نمایی تصویر
۴۹	۳-۷-۲-۲ تصاویر رنگی کاذب
۵۰	۳-۷-۲-۳ روش‌های بسط تصاویر
۵۰	۳-۸ ماهواره‌ی لندست هفت
۵۲	۳-۸-۱ انواع داده‌های حاصل از ماهواره لندست هفت
۵۳	فصل چهارم نتایج تشخیص مرزها، تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق آلودگی
۵۴	۴-۱ مقدمه
۵۵	۴-۲ استفاده از تجزیه موجک
۷۰	۴-۳ ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر
۷۲	۴-۴ تصاویر آزمودنی و آموزش داده شده
۷۳	۴-۵ تصویر لبه‌یابی شده
۷۵	۴-۶ تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی
۷۵	۴-۶-۱ استفاده از تعدیل هیستوگرام
۷۷	۴-۶-۲ اعمال الگوریتم k-means
۸۰	۴-۷ تشخیص مناطق آلودگی ناشی از شستشوی زغال در منطقه
۸۵	فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۶	۵-۱ نتیجه‌گیری
۸۷	۵-۲ پیشنهادات
۸۸	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ الگوریتم پیشنهادی تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی ۱۳
- شکل ۲-۲ سلول‌های زمان فرکانس مرتبط با نمونه برداری دودویی ۱۵
- شکل ۳-۲ زیر مجموعه‌های تو در توی توابع که بر حسب بُعد VC مرتب شده‌اند ۲۲
- شکل ۴-۲ ساختار ماتریس آشگفتی ۲۴
- شکل ۵-۲ جواب‌های نامطلوب برای سه انتخاب مختلف مراکز خوشه‌ها در الگوریتم K-means ۲۹
- شکل ۱-۳ تصویر ماهواره‌ای منطقه زغالی البرز شرقی ۳۲
- شکل ۲-۳ موقعیت منطقه زغالی البرز شرقی و راه‌های دسترسی به آن ۳۳
- شکل ۳-۳ محدوده منطقه زغالی البرز شرقی از نقشه شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ۳۵
- شکل ۱-۴ باند یک، تجزیه‌ی مرحله یک ۵۶
- شکل ۲-۴ باند یک، تجزیه‌ی مرحله دو ۵۶
- شکل ۳-۴ باند یک، تجزیه‌ی مرحله سه ۵۷
- شکل ۴-۴ باند چهار، تجزیه‌ی مرحله یک ۵۷
- شکل ۵-۴ باند چهار، تجزیه‌ی مرحله دو ۵۸
- شکل ۶-۴ باند چهار، تجزیه‌ی مرحله سه ۵۸
- شکل ۷-۴ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله یک ۵۹
- شکل ۸-۴ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله دو ۵۹
- شکل ۹-۴ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله سه ۶۰
- شکل ۱۰-۴ نتیجه‌ی تشخیص با استفاده از اعمال تجزیه موجک بر روی هر سه لایه‌ی تصویر ۶۲
- شکل ۱۱-۴ مقایسه‌ی نتیجه‌ی حاصله با تصویر زمین‌شناسی منطقه زغالی البرز شرقی ۶۳
- شکل ۱۲-۴ تصویر طیف خاکستری حاصل از رابطه ۱-۴ ۶۵
- شکل ۱۳-۴ تصویر Grayscale تجزیه مرحله اول ۶۶
- شکل ۱۴-۴ تصویر Grayscale تجزیه مرحله دوم ۶۶
- شکل ۱۵-۴ تصویر Grayscale تجزیه مرحله سوم ۶۷
- شکل ۱۶-۴ نتیجه تشخیص مناطق سنگ‌شناسی با استفاده از تصویر طیف خاکستری ۶۸
- شکل ۱۷-۴ مقایسه‌ی نتیجه‌ی بدست آمده با تصویر زمین‌شناسی منطقه زغالی البرز شرقی ۶۹
- شکل ۱۸-۴ نتیجه اعمال الگوریتم Canny روی تصویر مناطق سنگ‌شناسی تشخیص داده شده ۷۴
- شکل ۱۹-۴ الف تصویر عادی منطقه مورد مطالعه ۷۶
- شکل ۱۹-۴ ب هیستوگرام عادی ۷۶
- شکل ۲۰-۴ الف تصویر تعدیل شده منطقه مورد مطالعه ۷۷

۷۷	شکل ۴-۲۰-ب هیستوگرام تعدیل شده
۷۸	شکل ۴-۲۱-الف نتیجه اعمال k-means
۷۸	شکل ۴-۲۱-ب تصویر زمین‌شناسی موجود منطقه
۷۹	شکل ۴-۲۱-ج روی هم انداختن شکل‌های ۴-۲۱-الف و ۴-۲۱-ب
۸۰	شکل ۴-۲۲-الف باطله‌ی زغال موجود در منطقه زغالی البرز شرقی که جهت آموزش ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفته است
۸۱	شکل ۴-۲۲-ب نتیجه‌ی تشخیص مناطق آلودگی
۸۲	شکل ۴-۲۳ انطباق نتیجه‌ی اجرای الگوریتم و تصویر آلودگی‌های منطقه زغالی البرز شرقی

فهرست جداول

۳۷	جدول ۳-۱ چینه‌شناسی منطقه زغالی مورد مطالعه
۵۱	جدول ۳-۲ مشخصات ماهواره لندست ۷ و سنجنده ETM+
۵۱	جدول ۳-۳ مقایسه محدوده‌های طیفی باندهای TM و ETM+
۷۱	جدول ۴-۱ لیست ویژگی‌های هارالیک استخراج شده
۷۲	جدول ۴-۲ نمونه ویژگی‌های استخراجی هارالیک (۱۰ ویژگی برای ۱۳ کلاس آموزش داده شده)
۷۳	جدول ۴-۳ تصاویر آموزشی ۱۰ کلاس (۳ تصویر از هر کلاس)

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی تاریخچه پژوهش در راستای تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی برای ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین شناسایی مناطق آلودگی پرداخته می‌شود. همچنین، روش تحقیق صورت گرفته و ساختار پایان‌نامه پیش‌رو به اختصار توضیح داده شده و جنبه‌های نوآوری این پژوهش ارائه خواهند شد.

۱-۲ تاریخچه تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی و تشخیص مناطق آلودگی

برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی روش‌های متنوعی وجود دارند. ابتدایی‌ترین روش موجود برای تهیه نقشه پایه، استفاده از عکس‌های هوایی است. اولین عکس‌های هوایی تهیه شده به وسیله هوایما برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در سال ۱۹۱۳ میلادی برای پوشش موزائیک شهر بن غازی لیبی به کاربرده شدند. به طور کلی کاربردهای اولیه عکس‌های هوایی به عنوان نقشه‌های مبنایی جهت تکمیل داده‌های زمین‌شناسی به ویژه به منظور بکارگیری در اکتشافات نفتی بودند. برخی از کاربردهای تفسیر عکس‌های هوایی در سال ۱۹۲۰ میلادی آغاز شد. تفسیر عکس‌های هوایی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ارزیابی آن‌ها از سال ۱۹۴۰ میلادی گسترش یافت. تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی شامل تشخیص شکل زمین، انواع سنگ، ساختمان سنگ (شکاف، گسل‌ها، چین‌خوردگی‌ها)، نمایش واحدهای زمین‌شناسی و ساختار در روی یک نقشه است (Lillesand and Kiefer, 1994) مطالعه عکس‌ها زیر استریسکوپ منجر به شناسایی برخی ساختارهای زمین‌شناسی که دیدنشان روی سطح زمین دشوار است می‌شود (موسوی حرمی و محبوب، ۱۳۷۵).

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی نیز یکی از این روش‌ها است. تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، می‌تواند در کاهش هزینه و ارائه نقشه پایه در مناطق صعب‌العبور حائز اهمیت باشد. در این مورد شیوه‌های متنوعی برای پردازش تصویر ماهواره‌ای و رسیدن به نقشه پایه وجود دارد. اغلب مرزهای سنگ‌شناسی به این صورت تعیین می‌شوند که ابتدا تصویر را با توجه به اختلافات طیفی به واحدهای سنگ‌شناسی مختلف طبقه‌بندی کرده و مرزها را به صورت دستی ترسیم می‌کنند. در این صورت شناسایی مرزها ثابت نبوده و غالباً متأثر از برداشت مفسر است (Van Ruitenbeek et al, 2008).

گومز و همکارانش در سال ۲۰۰۵ برای به نقشه در آوردن اطلاعات زمین‌شناسی از نور مرئی و نزدیک به مادون قرمز^۱ و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR)^۲ بر روی داده‌های ASTER استفاده کرده‌اند. طی این مطالعه نُه باند ASTER هر یک شامل ۱۱۰۱×۱۷۳۰ پیکسل مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات موجود در این نُه باند با استفاده از PCA^۳ استخراج گردیدند که موجب کاهش بُعد مورد مطالعه شده است. تحقیق صورت گرفته برای نقشه‌برداری از محیط نیمه خشک مفید بوده و سری جدیدی از اطلاعات زمین‌شناسی در رابطه با بازتاب سنگ-ها برای تفکیک سازندها و مرزهای سنگ‌شناسی در اختیار زمین‌شناسان قرار می‌دهد (Gomez et al, 2005).

در تحقیق دیگری ژانگ و همکارانش برای اکتشاف طلا در منطقه کوه‌های شکلات جنوبی^۴ از تصویر ماهواره‌ای ASTER استفاده نمودند. این محققین ابتدا با اجرای یک طبقه‌بندی نظارت شده روی داده‌های ۱۴ باند ASTER موفق به تعیین سنگ‌شناسی مرتبط با نهشته‌ی زغال شدند و پس از آن با به کارگیری شاخص کانی‌شناسی تبدیل یافته‌ی PCA از شش کانال SWIR، چهار اندیس دگرسانی استخراج نمودند. در این پژوهش دقت تشخیص نواحی طلا بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی موجود از منطقه به ۸۶٪ می‌رسد (Zhang et al, 2007).

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از دورسنجی توسط السعود در سال ۲۰۰۸ برای مطالعه سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. شناسایی خطواره‌ها از بین ویژگی‌های زمین‌شناسی پدیده‌ای رایج است. این خطواره‌ها غالباً شامل رد شکستگی‌ها، گسل‌ها و یا مرزهای سنگ‌شناسی هستند. السعود در تحقیق خود به شناسایی ویژگی‌های خطی در حوزه‌ی وادی اورنا^۵ پرداخته و برای تولید نقشه‌ی خطواره‌ها و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER از نرم‌افزارهای ENVI 4.3 و ERDAS استفاده نموده است. وی نقشه‌ی به دست آمده را

-
1. Visible and Near Infrared
 2. Short Wave Infrared
 3. Principal Component Analysis
 4. South Chocolate Mountains
 5. Wadi Aurnah

برای تفسیر خطواره‌های موجود و توزیع فضایی‌شان با استفاده از تکنیک GIS تحلیل کرده است (Al Saud, 2008).

تعدادی از محققین روش‌های دیگری مانند شبکه‌های عصبی^۱ (Penn et al., 1993)، تبدیل والش^۲ (Maiti and Tiwari 2005)، طبقه‌بندی هدایت شده^۳ تصاویر ماهواره‌ای (Ghaedrahmati et al., 2008) و الگوریتم RTM^۴ (Salati et al, 2011) را نیز به کار برده‌اند.

بررسی نحوه‌ی تشخیص مرزها و پدیده‌های خطی که نشانگر ناپیوستگی در سطح زمین هستند در سال ۱۹۹۳ توسط پن و همکارانش با استفاده از شبکه‌های عصبی صورت گرفت. کندی و عدم ثبات در تصمیم‌گیری آنالیز فوریه این محققین را به سوی استفاده از شبکه‌های عصبی سوق داد. شبکه‌های عصبی از سرعت و دقت عمل بالای کامپیوتر و ظرفیت تحمل خطای کاربر بهره‌مند هستند. شبکه‌های عصبی آرایه‌هایی از واحدهای پردازشی ساده‌اند که با پیچیدگی خاصی به یکدیگر متصل شده‌اند و توانایی بسیار خوبی در تشخیص الگو دارند. در نتیجه، این محققین به بررسی این روش برای تشخیص گوشه‌ها و پدیده‌های خطی در داده‌های دو بعدی مانند تصاویر ماهواره‌ای، گرانشی و یا مغناطیس‌هوایی پرداختند. در نهایت پن و همکارانش به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی در تشخیص پدیده‌های خطی به صورت محدودی کارایی دارند اگر چه در تشخیص گوشه‌ها می‌توانند مفید واقع شوند (Penn et al. 1993).

هدف مبتنی و تیواری از انجام مطالعه خود تشخیص مرز واحدهای زمین‌شناسی با یک روش اتوماتیک بوده، چرا که تشخیص این مرزها یکی از اهداف اصلی در اکتشاف نفت و آنالیز چاه‌نگاری بوده است. ایشان به این منظور تبدیل والش را بر روی داده‌های چاه‌نگاری اعمال نمودند. تکنیک تبدیل والش شامل یک فیلتر پایین-

1. Neural Networks
2. Walsh Transform
3. Supervised
4. Rotation Variant Template Matching

گذر به علاوه یک الگوریتم پیشرفته است که برای تعیین عمق صحیح مرزها به کار گرفته شده است. در این مطالعه سه نوع چاهنگاری از نوع چگالی، مقاومت و اشعه گاما صورت گرفته است. در فیلتر کردن در حوزه‌ی والش، پهنای یک پله‌ی تصویر پایین‌گذر از سیگنال اصلی تابعی است از فرکانس قطع که در عملیات فیلتر پایین‌گذر والش استفاده شده است. هر چه این فرکانس قطع پایین‌تر باشد پله‌ی داده‌ی پایین‌گذر والش عریض‌تر خواهد بود. پهنای یک پله تعیین‌کننده ماکزیمم پهنای لایه‌ی قابل حل است چرا که اگر چه پهنای لایه‌های کم ضخامت‌تر از پله قابل تشخیص هستند اما با این روش قابل حل نیستند (Maiti and Tiwari 2005).

طبقه‌بندی هدایت شده‌ی تصویر ماهواره‌ای بر اساس میزان همبستگی داده‌های حاصل از دورسنجی نیز از دیگر روش‌های تشخیص واحدهای سنگ‌شناسی است. این شیوه در سال ۲۰۰۸ توسط قائدرحمتی و همکارانش به کار گرفته شد. تهیه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از تکنیک (MNF)^۱، تعیین پیکسل‌های خالص و به کارگیری نمایش‌گر n بعدی صورت گرفته است. قائدرحمتی و همکارانش به منظور وضوح بیشتر مرز کلاس‌ها فیلتر Clump را بر روی تصویر طبقه‌بندی شده‌ی منطقه پیاده‌سازی نمودند. تلاش این محققین منجر به ارائه‌ی تصویر طبقه‌بندی شده منطقه با دقت خوبی گردید گرچه این میزان دقت کافی نبوده و تصویر قابلیت تفکیک مناطق را به اندازه‌ی نقشه‌ی واحدهای سنگ‌شناسی ندارد و صرفاً می‌تواند به عنوان یک راهنما در کنار کنترل‌های صحرایی در تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی به کار گرفته شود (Ghaedrahmati et al. 2008).

صلاتی و همکارانش نیز در پژوهشی با به کارگیری الگوریتم RTM بر روی تصویر ماهواره‌ای ASTER به شناسایی مرزهای سنگ‌شناسی که از پیش تعیین شده بودند پرداختند (Salati et al, 2011). در این پژوهش نمونه‌هایی با ترکیب معدنی ژیپس-کلسیت^۲ و کلسیت-ایلیت^۳ برای شناسایی مرز بین تبخیری‌ها، آهک مارنی و

1. Minimum Noise Fraction
2. gypsum-calcite
3. calcite-illite

ماسه‌سنگ مورد استفاده قرار گرفتند. در تحقیق نام برده الگوریتم RTM با موفقیت با چرخاندن نمونه‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای ASTER مرزهای سنگ‌شناسی را تشخیص داده است. صلاتی و همکارانش دقت مرزهای تشخیص داده شده را با استفاده از تئوری فازی و جفت استریو عکس‌های هوایی با بررسی پنج متخصص مورد ارزیابی قرار دادند.

تاکنون از تبدیل موجک یک بعدی در تشخیص مرزها (Arabjamaloei et al, Pan et al, 2008) ; (2011)، و از تبدیل موجک دو بعدی در تشخیص جاده‌ها (Udomhunsakul, 2013) استفاده‌های زیادی شده است.

استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای در موارد بسیاری از جمله در تشخیص جاده‌ها کاربرد دارد. در تشخیص شبکه جاده‌ها روش‌های بسیاری مانند الگوریتم Geman استفاده می‌شوند. در این الگوریتم تکنیک‌هایی برای تفسیر اطلاعات ناقص استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته می‌شود. بر اساس این تکنیک‌ها از روی اطلاعات محدود منطقه‌ای، اطلاعات کلی برای تفکیک جاده‌ها از سایر ساختارهای روی زمین به دست می‌آید. گرچه این الگوریتم نقاط ضعفی نیز دارد. برای مثال از تصاویر با طیف خاکستری برای محاسبه گذر جاده از یک پیکسل استفاده می‌کند، در صورتی که این تصاویر به سادگی تحت تاثیر تغییرات شدید ساختارهای پس-زمینه قرار گرفته و منجر به اشتباه در تشخیص می‌شود. علاوه بر این الگوریتم Geman قادر به تشخیص جاده‌های متقاطع و سه راهی نبوده (T-Type) و همچنین به اندازه تصویر ورودی بستگی دارد. به منظور رفع این نواقص کارهایی توسط ریانتو و کندو صورت گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به استفاده از فیلتر Canny برای لبه‌یابی اشاره کرد. پس از اعمال فیلتر Canny تصویر به یک فایل دوتایی^۱ تبدیل شده که در آن هر پیکسل نشان دهنده لبه، با عدد یک و هر پیکسل غیر از آن با صفر نمایش داده می‌شود. در ادامه برای تعیین احتمال گذر یک جاده از یک پیکسل واقع در لبه، فیلتر هشت جهتی اعمال می‌شود. در نهایت با حذف کردن

1. Binary

نویز لبه‌ها توسط یک فیلتر پاک‌سازی و فیلتر استخراج موازی چهار لبه (4-parallel-edge) تفسیر اطلاعات به-درستی صورت می‌گیرد. پس از اعمال مراحل ذکر شده جهت پیش‌پردازش تصویر، پیاده‌سازی تبدیل Hough و روش جستجوی بهینه منجر به تشخیص جاده‌ها به صورت کامل می‌گردد. در پژوهش ریانتو و کندو از ۳۸ تصویر ۳۲۰×۳۲۰ پیکسل ماهواره SPOT استفاده شده است. نرخ تشخیص جاده در این مطالعه ۷۵/۴٪ به دست آمده که نسبت به نرخ ۱۶/۱٪ در الگوریتم Geman رشد چشمگیری داشته است (Rianto et al, 2000).

در سال ۲۰۱۲، علی و همکارانش طی مقاله‌ای با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین شاخص‌های سنگ‌شناسی و ساختاری نیز استفاده کردند. در این مطالعه از داده‌های شش باند (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷) از تصویر ماهواره لندست^۱ (ETM7) استفاده شده است. همچنین تکنیک بهینه‌سازی طیفی برای استخراج اطلاعات زمین‌شناسی اولیه به کار گرفته شده است. تبدیل شدت، اشباع و ذات (HIS) بیشترین بهینه‌سازی اطلاعات زمین‌شناسی را صورت می‌دهد. فیلترهای جهتی و بالاگذر خطوط ناحیه را تعیین می‌نمایند. تاثیر الگوهای تشخیص داده شده در تصویر ماهواره‌ای پردازش شده در استخراج اطلاعات اولیه زمین‌شناسی بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، الگوهای بدست آمده در ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری به عنوان پایه استفاده شدند. نتایج بدست آمده در پژوهش علی و همکارانش نشان می‌دهد برای تشخیص و تمایز دادن واحدهای زمین‌شناسی، بهبود کنتراست^۲ انجام شده روی ترکیب‌های باند ۱، ۴، ۷ و ۳، ۴، ۵ مناسب‌ترین خروجی را تولید می‌نماید. همچنین استفاده از نسبت‌های باندی $5/7$ ، $5/1$ و $(5/4 \times 3/4)$ به ترتیب برای باند R، G و B ترکیب مناسبی برای تعیین واحدهای سنگ‌شناسی است. این روش سنگ‌های گرانیت و فلسیک را در ذات سبز-آبی و سنگ‌های مافیک و الترامافیک را در ذات قرمز نمایش می‌دهد (Ali et al, 2012).

1. Landsat
2. Contrast Enhancement

استخراج زغال سنگ و پیرو آن فعالیت‌های شستشوی زغال، اغلب موجب تولید حجم زیادی باطله می‌شود. این باطله‌ها در غالب مواقع شامل مقادیر زیادی مواد سولفیدی از جمله پیریت هستند. تجمع باطله‌های حاوی پیریت در مجاورت آب و هوا موجب تغییر در ترکیبشان شده و مواد سمی آن‌ها به محیط اطراف وارد می‌شود (Kleinmann, 2001; Herbert 1994).

طی پژوهش انجام شده در منطقه‌ی البرز شرقی استان سمنان، توسط دولتی و همکارانش، شناسایی آلودگی‌های ناشی از اکسایش پیریت در باطله‌های حاصل از شستشوی زغال، مورد مطالعه قرار گرفته است. آن‌ها با نمونه‌برداری از مناطق بالادست و پایین‌دست کارخانه زغال‌شویی و باطله‌ها و نیز با آنالیز هیدروژئوشیمیایی نمونه‌ها به مطالعه‌ی این آلودگی‌ها پرداختند. اهمیت این مطالعه به سبب مشکلات زیست‌محیطی است که از این آلودگی‌ها نشأت می‌گیرند. از جمله‌ی این مشکلات می‌توان به آلودگی آب‌های زیرزمینی اشاره نمود که ناشی از اکسید شدن پیریت موجود در آلودگی و یا AMD^۱ است (Doulati Ardejani et al, 2008). اگر چه لازم به ذکر است که مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که هنوز موضوع آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه مورد بررسی جدی نمی‌باشد.

در راستای تعیین مناطق آلودگی، پژوهش‌های دیگری نیز صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات شوکلا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ اشاره نمود (Shukla et al, 2010). ایشان با استفاده از سنجش از دور منابع آلودگی را با هدف جلوگیری از آلوده شدن آب منطقه تعیین نمودند.

در بررسی دیگری در سال ۲۰۱۲ بلاهورا و همکارانش برای مقابله با AMD حاصل از فعالیت‌های معدنی اکتشاف زغال‌سنگ دست به نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی و بررسی تصویرسازی ماهواره‌ای با رزولوشن بالا (HRS)^۱ زدند (Blahwar et al, 2012).

در این پایان‌نامه به منظور بهبود نتایج تحقیقاتی که تا کنون صورت گرفته، روش نوینی با استفاده از تئوری موجک، ماشین بردار پشتیبان و خوشه‌بندی برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق آلودگی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱-۳ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه پیش‌رو شامل پنج فصل کلیات، روش‌شناسی تحقیق، توصیف منطقه و داده‌های مورد مطالعه، نتایج تشخیص مرزها و تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق متأثر از فرآیند زغال‌شویی و در نهایت نتیجه‌گیری است. در انتهای فصل اول خواننده با تاریخچه‌ی تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی و تعیین مناطق آلودگی آشنا می‌شود. در فصل دوم اصول روش‌های بکار گرفته شده در این پایان‌نامه، شرح داده شده‌اند. به معرفی وضعیت زمین‌شناسی، تکتونیک، چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و نیز موقعیت جغرافیایی آن در فصل سوم پرداخته شده و تصحیحات لازم بر روی داده‌های ماهواره‌ای ذکر می‌شوند. نتایج پژوهش صورت گرفته در فصل چهارم مطرح و بررسی خواهند شد و نتیجه‌گیری کلی شامل راندمان الگوریتم استفاده شده در فصل پنجم ارائه می‌گردد. فهرست مراجع مندرج در پایان‌نامه نیز در انتها آورده شده‌اند.

۱-۴ هدف از این پایان‌نامه

هدف از این مطالعه تعیین خودکار مرزها و تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از پردازش تصویر بر مبنای تبدیل موجک^۱، طبقه‌بندی تصویر با الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان^۲ و روش خوشه‌بندی^۳ در منطقه البرز

1. High Resolution Satellite Imagery

شرقی است. همچنین روش ذکر شده برای تشخیص مناطق آلودگی ناشی از شستشوی زغال سنگ در محدوده‌ی مورد مطالعه بکار گرفته شده است.

۱-۵ نوآوری پژوهش صورت گرفته

در این تحقیق یک تکنیک تشخیص مرز واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق آلودگی بر اساس تئوری موجک و ماشین بردار پشتیبان ارائه و بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه اعمال گردید. روش پیشنهادی ساده و سریع بوده و توانسته مرز واحدهای سنگی را تا حد خوبی تشخیص دهد.

-
1. Wavelet Transform
 2. Support Vector Machines
 3. Clustering

فصل دوم

روش‌شناسی تحقیق

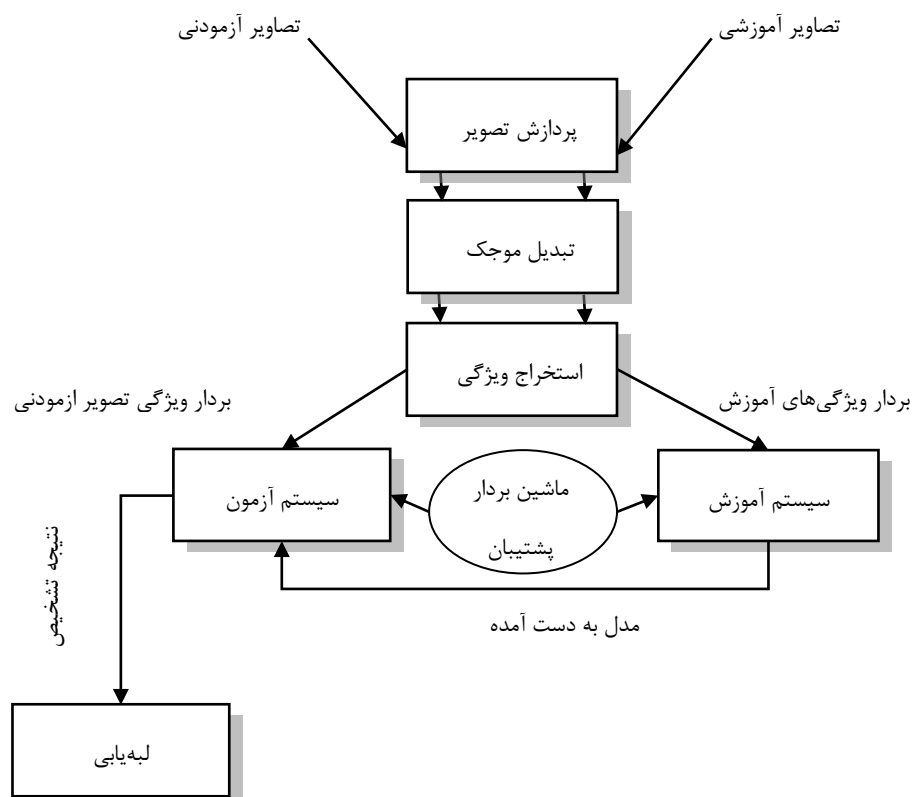
۲-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی اصول روش‌های استفاده شده در این پژوهش پرداخته می‌شود. به طور کلی روش‌های استفاده شده برای پردازش تصویر عبارتند از: تبدیل موجک^۱، طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان^۲، خوشه‌بندی^۳ با استفاده از الگوریتم میانگین K داده (k-means) و لبه‌یابی^۴ تصویر با استفاده از الگوریتم Canny.

اولین مرحله، پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای است و طی آن به زمین‌مرجع کردن^۵ تصاویر در نرم‌افزار Arc GIS پرداخته می‌شود. در زمین‌مرجع کردن تصویر طول و عرض جغرافیایی چندین نقطه کنترلی (GCP)^۶ به تصویر انتقال یافته و سیستم مختصات آن تعیین می‌گردد.

در این پایان‌نامه، تشخیص مرزها، تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و مناطق متأثر از زغال‌شویی با استفاده از دو روش صورت گرفته است. در روش اول از تبدیل موجک، استخراج ویژگی^۷، طبقه‌بندی با مدل ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. الگوریتم بکار گرفته شده در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. در روش دوم از الگوریتم خوشه‌بندی نوع k-means و تعدیل‌سازی هیستوگرام استفاده می‌شود.

-
1. Wavelet Transform
 2. Support Vector Machines
 3. Clustering
 4. Edge Detection
 5. Georeferencing
 6. Ground Control Point
 7. Feature Extraction



شکل ۱-۲ الگوریتم پیشنهادی تعیین مرز واحدهای سنگ‌شناسی

۲-۲ تبدیل موجک

با گذشت زمان، ضعف پایه‌های فوریه نمایان شد. محققان رشته‌های مختلف به مرور زمان پی بردند که پایه‌های فوریه و نمایش توابع سینوس‌وار در مورد سیگنال‌های پیچیده نظیر تصاویر ایده‌آل نیستند، چرا که تبدیل توابع فوریه فقط برای توابع پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای توابع غیرپایه کارآمد نیست. آلفرد هار در سال ۱۹۱۰ اولین تابع موجک را معرفی نمود (Haar, 1910). در سال ۱۹۷۰ یک ژئوفیزیک‌دان فرانسوی به‌نام ژان مورله که در آزمایشگاه مواد معدنی متعلق به الف آلکین با هدف اکتشاف مواد معدنی کار می‌کرد، متوجه شد که در زمینه مطالعاتی او استفاده از پایه‌های تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای مطالعات طیفی نیستند در همین سال‌ها مورله مفهوم موجک و تبدیل موجک را به‌عنوان ابزاری برای آنالیز سیگنال زمین‌لرزه عنوان کرد و

گراسمن فیزیکدان نظری فرانسه نیز فرمول وارونی را برای تبدیل موجک ارائه کرد (Morlet, 1970, Grossmann, 1984). پیشرفت بیش از پیش تئوری موجک نتیجه کارهای محققانی چون استرومبرگ (Stromberg 1982)، میر (Meyer 1985)، مالات (Mallat 1986)، (دابیچیز (Daubechies 1988)، باتل (Battle 1987) و لاماریه (Lemarié 1988) می‌باشد.

۱-۲-۲ تبدیل موجک گسسته

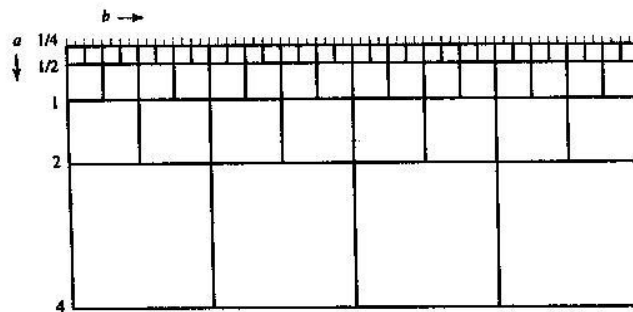
تبدیل موجک پیوسته می‌تواند سیگنال یک بعدی $f(t)$ را به تابع $W(a,b)$ از دو متغیر پیوسته a و b تبدیل کند. ناحیه حمایت^۱ $W(a,b)$ شامل مجموعه زوج‌های مرتب (a,b) است که به ازای آن‌ها $W(a,b) \neq 0$. این ناحیه حمایت ممکن است شامل تعداد نامحدودی از زوج‌های مرتب و یا برای مثال کل صفحه R^2 باشد. اما می‌توان نشان داد که تمام این مقادیر a و b برای بازیابی سیگنال اصلی $f(t)$ از تبدیل موجک پیوسته آن لازم نخواهند بود و بنابراین تبدیل موجک پیوسته دارای افزونگی^۲ است. تبدیل موجک پیوسته را می‌توان به گونه‌ای تغییر داد تا این افزونگی از بین برود. تبدیل حاصل، تبدیل موجک گسسته خوانده می‌شود. در این تبدیل می‌توان سیگنال اصلی را با استفاده از روابطی نظیر رابطه (۱-۲) از روی موجک‌های تشکیل دهنده سیگنال بدست آورد:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} d(k,l) 2^{-k/2} \psi(2^{-k}t - l). \quad (1-2)$$

همان طور که مشاهده می‌شود برخلاف تبدیل موجک پیوسته که شامل مجموعه پیوسته‌ای از مقیاس و جابجایی است، مقادیر گسسته برای مقیاس و جابجایی بکار می‌روند. پارامتر مقیاس a مقادیری برابر $a = 2^k$ که k عددی صحیح است اختیار می‌کند. همچنین برای هر مقیاس 2^k ، پارامتر جابجایی مقادیری به صورت

1. region of support
2. Redundancy

$2^k l$ اختیار می‌کند که l نیز عددی صحیح است. مقادیر $d(k, l)$ برای $a = 2^k$ و $b = 2^k l$ به مقدار تبدیل موجک پیوسته $W(a, b) = W[f(t)]$ مربوط است. این ارتباط معادل آن است که از تبدیل موجک پیوسته در مکان زوج‌های مرتب (a, b) که بر روی شبکه نشان داده شده در شکل ۲-۲ قرار دارند، نمونه برداری کنیم.



شکل ۲-۲ سلول‌های زمان فرکانس مرتبط با نمونه‌برداری دودویی

به این پروسه نمونه‌برداری دودویی^۱ گفته می‌شود چرا که مقادیر پشت سرهم مقیاس‌های گسسته و نیز بازه‌های نمونه‌برداری با فاکتور دو متفاوت از یکدیگر هستند. به طور متداول به دنباله دو بُعدی $d(k, l)$ ، تبدیل موجک گسسته^۲ سیگنال $f(t)$ گفته می‌شود. باید توجه کرد که DWT تبدیل یک سیگنال پیوسته در زمان است و گسسته‌سازی تنها روی متغیرهای a و b صورت گرفته است. این شبیه سری فوریه است که شامل نمایشی گسسته در حوزه فرکانس از سیگنالی پیوسته و متناوب در حوزه زمان است.

تبدیل موجک ابزاری است که داده، توابع و عملگرها را به مولفه‌های فرکانسی مختلف تجزیه کرده و سپس هر مولفه را با دقتی مطابق با ضریب آن مورد مطالعه قرار می‌دهد (Daubechies, 1992). در این مطالعه ابتدا تبدیل موجک دو بُعدی با استفاده از تابع موجک مادر Daubechies1 (db1) بر روی تصاویر آموزشی اعمال و هریک تا سه سطح تجزیه می‌شوند. نتیجه این تجزیه‌ها، سه تصویر شامل مولفه‌های تقریبی و نه تصویر شامل مولفه‌های

1. dyadic sampling
2. Discrete Wavelet Transform (DWT)

جزئی در سه راستای افقی، عمودی و قطری به ازای هر یک از تصاویر ورودی است. برای پوشش کامل تغییرات محلی تصویر از مولفه‌های جزئی جهت تعیین مرزهای سنگ‌شناسی استفاده شده است.

۲-۳ استخراج ویژگی

استخراج ویژگی یکی از روش‌های کاهش بُعد در پردازش تصویر است. از این روش معمولاً در شرایطی استفاده می‌گردد که حجم داده‌های ورودی زیاد بوده و احتمال وجود داده‌های اضافی نیز در آن احساس شود. در این صورت داده‌های ورودی به یک بردار ویژگی شامل ویژگی‌های تصویر ورودی تبدیل می‌گردد. این ویژگی‌ها معرف داده‌های مورد نظر از داده‌های ورودی می‌باشند. انتخاب روش مناسب استخراج ویژگی از عوامل موثر در کارایی این بخش می‌باشد. یکی از روش‌های استفاده شده برای استخراج ویژگی‌ها، استفاده از ماتریس وقوع همزمان^۱ (GLCM) است.

۲-۳-۱ ماتریس وقوع همزمان

ماتریس وقوع همزمان ماتریسی شامل یک توزیع آماری است که هر درایه آن نماینده تعداد پیکسل با روشنایی‌های مشخص در فاصله‌ای معین نسبت به یکدیگر است. این ماتریس به همراه ۱۴ متریک مشتق شده از آن، برای تعیین کمیت بافت، توسط هارالیک معرفی شده‌اند (Haralick, 1973).

در این پایان‌نامه از GLCM و تابع "graycomatrix" در نرم‌افزار متلب برای محاسبه ماتریس وقوع همزمان استفاده می‌شود. سپس با ارسال ماتریس حاصل به تابع GLCM_Features4 ویژگی‌های تصویر استخراج می‌گردد (Haralick, et al. 1973; Soh and Tsatsoulis 1999; Clausi 2002;).

1. gray level co-occurrence

ماتریس وقوع همزمان نشان‌دهنده‌ی وقوع ترکیبات متفاوت سطوح خاکستری در یک تصویر است. عناصر $\{i,j\}$ این ماتریس مربعی متقارن، نشان‌دهنده احتمال وقوع یک سطح خاکستری i مجاور با یک سطح خاکستری j در یک جهت مشخص است. اندازه این ماتریس به تعداد سطوح خاکستری مورد نظر بستگی داشته و به اندازه تصویر بستگی ندارد. متریک‌های ناشی شده از این ماتریس به رابطه بین دو پیکسل همسایه بستگی دارند. این متریک‌ها شامل میانگین، اختلاف و آنتروپی هستند. به طور کلی این ویژگی‌ها برای تعیین مقدار پنجره‌ی کوچکی از یک تصویر دیجیتالی و تشخیص بافت آن به کار می‌رود. از دیگر موارد استفاده این ویژگی‌ها می‌توان به طبقه‌بندی با روش‌هایی مانند k نزدیکترین همسایه، اشاره کرد. ویژگی‌های اشاره شده ممکن است بافت‌های متفاوت را به خوبی از هم متمایز نسازند، به همین منظور ویژگی‌های جدیدی که غالباً میانگین‌های وزن‌دار داده‌های GLCM هستند به عنوان جایگزین استفاده می‌شوند (Calvo et al, G. Beliakov et al, 2007). برای محاسبه ماتریس GLCM دانستن اندازه پنجره تصویر، تعداد سطوح خاکستری و جهت فاصله از مبدا ضروری است.

چنانچه کارایی بخش استخراج ویژگی مناسب باشد می‌توان بردار ویژگی به‌دست آمده را که حجم بسیار کمتری نسبت به داده‌های ورودی اولیه دارد، مورد پردازش قرار داد با اطمینان به این که پاسخ نهایی سیستم، شبیه به پاسخی خواهد بود که در صورت پردازش کامل داده‌های اولیه به‌دست می‌آید.

۲-۴ طبقه‌بندی با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان

به طور کلی سه نوع طبقه‌بندی کننده وجود دارند:

الف. طبقه‌بندی کننده‌های آماری مانند بیزین^۱، نزدیک‌ترین همسایه^۲، نزدیک‌ترین میانگین^۳ و...

-
1. Bayesian
 2. Nearest Neighbor
 3. Nearest Average

ب. طبقه‌بندی کننده‌های هندسی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان^۱

ج. طبقه‌بندی کننده‌های هوشمند مانند شبکه عصبی^۲، منطق فازی^۳، و...

در این روش برای طبقه‌بندی از ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است.

ماشین‌های بردار پشتیبان در اوایل سال ۱۹۹۰ به عنوان یک روش غیرخطی طبقه‌بندی و حل مسائل رگرسیون معرفی شد (Vapnik, 1995; Behzad et al, 2009). ماشین‌های بردار پشتیبان در حوزه‌ی شناسایی الگو به کار می‌روند. در اغلب طبقه‌بندی‌ها کارایی تعمیم ماشین‌های بردار پشتیبان برابر یا به مراتب بیشتر از روش‌های مطرح دیگر می‌باشد (Burges, 1998). ماشین‌های بردار پشتیبان در شکل اولیه‌ی خود از قبل، هیچ اطلاعی از مسئله ندارند. هر چند ماشین‌های بردار پشتیبان دارای کارایی تعمیم خوبی هستند اما در مرحله‌ی آزمون و تست می‌توانند زمان بر باشند.

ایده‌ی اصلی ماشین‌های بردار پشتیبان مشابه ایده‌ی موارد دیگر در زمینه‌ی کنترل ظرفیت ماشین‌های یادگیر و بیش‌برازش^۴ است. به زبان ساده‌تر برای یک عملیات یادگیری، با داشتن تعداد محدودی از نمونه‌های آموزشی، حداکثر کارایی تعمیم به شرطی حاصل می‌شود که تعادل مناسبی بین دقت حاصل شده بر روی مجموعه نمونه‌های آموزشی و ظرفیت ماشین (توانایی ماشین برای یادگیری هر مجموعه‌ی آموزشی بدون خطا) برقرار شود.

یک ماشین با ظرفیت بسیار زیاد مانند یک گیاه‌شناس با حافظه‌ی تصویری است که اگر با درختی جدید مواجه شود استنتاج می‌کند که شیء جدید درخت نیست زیرا دارای تعداد برگ‌هایی متفاوت با دیگر درخت‌هایی است که تا به حال دیده است. از سوی دیگر ماشینی با ظرفیتی بسیار پایین مانند گیاه‌شناس مبتدی است که هر

1. Supporter Vector Machines
2. Neural Network
3. Fuzzy Logic
4. overfitting

چیز سبزی را درخت قلمداد می‌کند. هیچ کدام از این دو نمی‌توانند تعمیم را به خوبی انجام دهند. بازنمایی^۱ و شکل دادن به این مفاهیم یکی از نقاط عطف تئوری یادگیری آماری است.

چنانچه l مشاهده در نظر گرفته شود و هر مشاهده به صورت یک دوتایی (x_i, y_i) که $x_i \in R^n, i=1, \dots, l$ بوده و مقدار درستی مرتبط با آن y_i باشد در مسئله شناسایی درخت X_i می‌تواند برداری از مقادیر پیکسل‌ها بوده و Y_i در صورت یک بودن نشان‌دهنده وجود درخت در تصویر و در غیر این صورت 1- باشد. همچنین اگر توزیع احتمالی^۲ ناشناخته‌ای مثل $p(x, y)$ وجود داشته و توزیع آماری این اطلاعات مطابق آن باشد فرضیه از اختصاص دادن یک مقدار ثابت y به هر x کلی‌تر بوده و با این فرض می‌توان توزیعی از y برای x داده شده در اختیار داشت.

ماشینی که وظیفه آن یاد گرفتن نگاشت^۳ $x_i \rightarrow y_i$ است، در عمل به وسیله مجموعه‌ای از نگاشت‌های ممکن $x_i \rightarrow f(x, \alpha)$ تعریف می‌شود که در آن توابع مختلف $f(x, \alpha)$ با پارامترهای قابل تنظیم α متمایز می‌شوند. فرض می‌کنیم این ماشین قطعی^۴ است یعنی به ازای هر ورودی x و انتخاب یک α همیشه خروجی یکسانی مثل $f(x, \alpha)$ را نتیجه می‌دهد.

انتخاب یک α خاص منجر به یک ماشین آموزش دیده می‌شود. بنابراین به عنوان مثال یک شبکه عصبی با ساختاری ثابت و با در نظر گرفتن α به عنوان مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها^۵ در آن یک ماشین یادگیر است. با این داشته‌ها، امید ریاضی خطای نمونه برای یک ماشین آموزش دیده برابر رابطه‌ی (۲-۲) خواهد بود.

$$R(\alpha) = \int \frac{1}{2} |y - f(x, \alpha)| dp(x, y) \quad (2-2)$$

-
1. exploration
 2. Probability distribution
 3. mapping
 4. deterministic
 5. bias

در حالتی که چگالی $p(x, y)$ وجود داشته باشد $dp(x, y)$ را می‌توان به صورت $p(x, y)dxdy$ نوشت. عبارت فوق روش مناسبی برای به دست آوردن مقدار حقیقی خطای میانگین است گرچه تا زمانی که تخمین درستی از شکل و مقدار $p(x, y)$ وجود ندارد چندان مفید نخواهد بود.

مقدار $R(\alpha)$ را امید ریسک^۱ یا به اختصار ریسک می‌گویند که آن را ریسک واقعی^۲ هم می‌نامند. ریسک تجربی^۳ یا $R_{emp}(\alpha)$ به صورت نرخ خطای اندازه‌گیری شده بر روی مجموعه آموزشی (برای تعداد ثابت و متناهی از مشاهدات) تعریف می‌شود.

$$R_{emp}(\alpha) = \frac{1}{2l} \sum_{i=1}^l |y_i - f(x_i, \alpha)| \quad (۳-۲)$$

در معادله‌ی (۳-۲) از توزیع احتمالی استفاده نشده است. برای یک مقدار خاص α و مجموعه خاصی از نمونه‌های آموزشی (x_i, y_i) مقدار $R_{emp}(\alpha)$ ثابت است.

مقدار عبارت $\frac{1}{2} |y_i - f(x_i, \alpha)|$ زیان^۴ نامیده می‌شود. تابع زیان را در حالتی خاص می‌توان به گونه‌ای انتخاب کرد که مقدار آن فقط ۰ یا ۱ باشد. اگر یک مقدار η را به گونه‌ای انتخاب کنیم که $0 \leq \eta \leq 1$ باشد آنگاه برای زبانی که با احتمال $1-\eta$ مقادیر صفر یا یک را اختیار می‌کند حد $R(\alpha)$ زیر برقرار است:

$$R(\alpha) \leq R_{emp}(\alpha) + \sqrt{\left(\frac{h(\log(2l/h) + 1) - \log(n/4)}{l} \right)} \quad (۴-۲)$$

-
1. Expected risk
 2. Actual risk
 3. Empirical risk
 4. loss

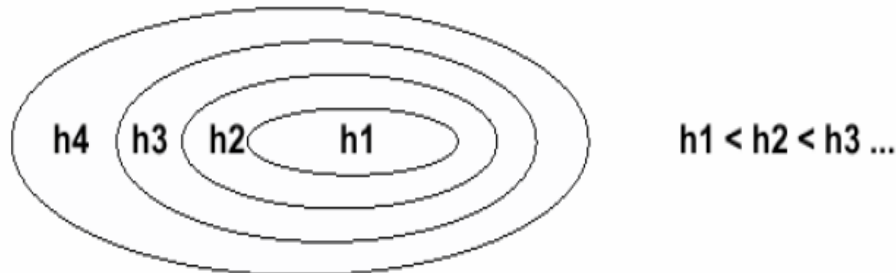
که در آن، h عددی صحیح و غیر منفی است که به آن بعد VC^1 گفته می‌شود و از آن می‌توان به عنوان معیاری برای ارزیابی ظرفیت ذکر شده در بالا استفاده کرد. عبارت سمت راست معادله (۲-۴) را حد ریسک^۲ و عبارت دوم طرف راست آن را اطمینان VC^3 می‌گویند (Burges, 1998).

در رابطه (۲-۴) نکات قابل توجه عبارتند از: الف) این حد مستقل از مقدار $p(x, y)$ است. اطلاعات مرحله آموزش و اطلاعات مرحله آزمون به صورت مستقل و از یک توزیع یکسان $p(x, y)$ فرض شده‌اند. ب) معمولاً محاسبه طرف چپ این معادله امکان‌پذیر نیست و ج) اگر مقدار h مشخص باشد می‌توان به سادگی طرف دوم را محاسبه نمود. بنابراین با داشتن چند ماشین یادگیر مختلف (ماشین یادگیر نام دیگری برای خانواده‌ای از توابع $f(x, \alpha)$ است)، انتخاب مقداری ثابت و به اندازه کافی کوچک برای η و آنگاه یافتن ماشینی که با آن مقدار عبارت طرف راست کمینه شود در حقیقت ماشینی انتخاب شده است که پایین‌ترین حد بالای ریسک واقعی را دارا می‌باشد. این روش شیوه اساسی انتخاب ماشین یادگیر برای یک کار تشخیص الگو و ایده اصلی روش کمینه‌سازی ساختاری ریسک^۴ می‌باشد (Burges, 1998).

عبارت اطمینان VC به رده و نوع توابع انتخاب شده بستگی دارد در حالی که ریسک حقیقی و ریسک تجربی به یک تابع خاص که در مرحله‌ی آموزش انتخاب شده است بستگی دارند. هدف پیدا کردن زیر مجموعه‌ای از مجموعه توابع انتخاب شده است به صورتی که حد ریسک برای آن زیر مجموعه کمینه باشد. روشن است که نمی‌توان به صورتی عمل کرد که بعد VC یا h به صورتی ملایم تغییر کند چون h دارای مقداری صحیح است. در عوض با تعریف یک ساختار، کل رده‌ی توابع را به زیر مجموعه‌های تو در تو تقسیم می‌کنیم (شکل ۲-۳). کمینه کردن ریسک ساختاری شامل پیدا کردن آن زیرمجموعه‌ای از توابع است که حد مربوط به ریسک حقیقی را کمینه کند. این کار را می‌توان به سادگی با آموزش دنباله‌ای از ماشین‌ها، هر کدام برای یک زیرمجموعه و با

-
1. Vapnik Chervonenkis (VC) dimension
 2. Risk bound
 3. VC confidence
 4. Structural risk minimization

هدف کمینه کردن ریسک تجربی برای آن زیرمجموعه انجام داد. پس از آن در این دنباله ماشینی انتخاب می-شود که مجموع مقادیر ریسک تجربی و اطمینان VC آن کمینه باشد.



شکل ۲-۳ زیر مجموعه‌های تو در توی توابع که بر حسب بُعد VC مرتب شده‌اند.

۲-۴-۱ استفاده از ماشین بردار پشتیبان

هدف اصلی این بخش بررسی عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان با پارامترها و هسته‌های گوناگون است. این مهم با آزمایش ساختارهای مختلف برای ماشین‌های بردار پشتیبان، استفاده از مجموعه خصیصه‌های گوناگون و سود بردن از پارامترهای متفاوت انجام می‌شود. نتایج همه‌ی تجربه‌ها و آزمایش‌ها با استفاده از نرخ پذیرش اشتباه (FAR^1) و نرخ رد اشتباه (FRR^2) بیان می‌شوند. مقدار سطح آستانه‌ای که در آن نرخ پذیرش اشتباه و رد اشتباه برابر می‌شوند به نرخ خطای برابر α موسوم است.

۲-۴-۲ کنترل حساسیت ماشین‌های بردار پشتیبان

از آن جا که ماشین‌های بردار پشتیبان مستقیماً اصل کمینه‌سازی ساختاری ریسک را پیاده‌سازی و اعمال می-

1. False Accept Rate
2. False Reject Rate
3. Equal Error Rate

کنند این ماشین‌ها دارای مقاومت قابل توجهی در مقابل بیش‌برازش^۱ هستند.

در شرایطی که نویز وجود نداشته باشد ماشین‌های بردار پشتیبان نقاط آموزشی را به یک فضای خاص با ابعاد بالا نگاشت می‌کنند که پس از آن، در این فضا یک ابر صفحه‌ی جداساز جستجو می‌گردد.

در شرایطی که الگوهای ورودی دارای نویز باشند دو روش برای مصالحه بین دقت آموزش و سادگی فرضیه به کار می‌رود. یکی از این روش‌ها به حاشیه‌ی نرم^۲ موسوم است. این روش یک حد بالا برای ضرایب α_i قائل شده و از این طریق تأثیر الگوهای دور افتاده^۳ کاهش می‌یابد. روش دوم، به اعضای قطری ماتریس K یک مقدار مشخص افزوده می‌شود.

برای بسیاری از سیستم‌های پشتیبان تصمیم^۴ تمایز قائل شدن بین دو نوع گوناگون خطا اهمیت بسیاری دارد. به همین دلیل برای کنترل مرز بین رد اشتباه و قبول اشتباه در ماشین‌های بردار پشتیبان روشی در زیر مطرح شده است.

۲-۴-۳ حساسیت^۵ در مقابل صراحت^۶

معمولاً کارایی یک رده بند دودویی را با دقت آن (کسری از نقاط به غلط رده بندی شده در مجموعه‌ی نقاط آزمون) در طول فرآیند آزمون بیان می‌کنند. با این وجود، همان طور که ذکر شد، ممکن است اهمیت دو نوع خطای ذکر شده متفاوت باشد. در نتیجه، کارایی سیستم را می‌توان به صورت مطلوب‌تری به وسیله‌ی حساسیت و صراحت آن بیان کرد. سیستم‌های رده‌بندی را معمولاً با تحلیل ROC^7 مربوط به آن‌ها مقایسه می‌کنند. این

1. overfitting
2. Soft margin
3. Outlier
4. Decision support system
5. Sensitivity
6. Specificity
7. Receiver Operating Characteristic

روش ها بر این واقعیت بنا شده اند که نقاط آزمایشی، همیشه در یکی از چهار گروه زیر قرار می گیرند.

الف - False Positive (FP): اگر سیستم به این نقطه برچسب مثبت دهد در حالی که این نقطه دارای برچسب منفی است.

ب - False Negative (FN): اگر سیستم به این نقطه برچسب منفی دهد در حالی که این نقطه دارای برچسب مثبت است.

ج - True Positive (TP) و True Negative (TN): اگر سیستم به صورت صحیح برچسب نقطه‌ی مورد نظر را حدس زند.

با استفاده از این شیوه نمایش، تعداد نمونه‌های مثبت برابر $TP+FN$ ، تعداد نمونه‌های منفی برابر $TN+FP$ و تعداد کل نمونه‌های آزمایشی برابر $TP+FN+TN+FP$ خواهد بود.

برای وضوح کارایی یک ماشین یادگیر از ماتریسی که به ماتریس آشفتگی^۱ موسوم است استفاده می شود. ساختار این ماتریس در شکل ۲-۴ آورده شده است.

		<i>Expected</i>	
		P	N
<i>Machine</i>	P	TP	FP
	N	FN	TN

شکل ۲-۴ ساختار ماتریس آشفتگی

واضح است که یک تخمین زنده یا یک ماشین یادگیر ایده آل دارای یک ماتریس آشفتگی قطری است. حال، برای یک ماشین یادگیر، مفهوم حساسیت را به صورت نسبت تعداد TP به تعداد نمونه‌های مثبت مجموعه

1. Confusion matrix

نمونه‌های آزمایشی تعریف می‌کنند.

$$sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5-2)$$

مفهوم صراحت را نیز برای یک ماشین یادگیر به صورت نسبت TN به تعداد نمونه‌های منفی مجموعه نمونه‌های آزمایشی تعریف می‌کنیم.

$$specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (6-2)$$

واضح است که به این ترتیب، دقت را می‌توان به صورت نسبت نمونه‌های صحیح رده‌بندی شده به تعداد نمونه‌های آزمایشی و به وسیله‌ی عبارت زیر تعریف کرد.

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (7-2)$$

هدف روش شرح داده شده در این بخش، کنترل مصالحه بین اعضای غیر قطری ماتریس آشفتگی است. ایده‌ی اصلی این روش این است که برای نقاطی که برچسب مثبت و منفی گرفته‌اند توابع متفاوت تعریف شود. معنی این ایده برای ماشین‌های بردار پشتیبان این است که ضرایب α_i برای رده‌ای که هزینه‌ی رده‌بندی غلط برای آن رده بیشتر از رده‌ی دیگر است با افزودن یک مقدار bias دارای مقدار بزرگتری باشند. با این کار، مرز تصمیم‌گیری دارای فاصله‌ی بسیار بیشتری از رده‌ی دارای اهمیت نسبت به رده‌ی دیگر است. نشان داده شده است که هر چه فاصله‌ی یک نمونه از مرز تصمیم‌گیری بیشتر باشد احتمال رده‌بندی غلط آن کمتر است.

بر اساس روش ارائه شده می‌توان این مسئله را با اصلاح ماتریس مقادیر هسته که طی فرآیند بهینه‌سازی ساخته می‌شود تا حدودی حل کرد. فرض کنید K نشان دهنده‌ی ماتریسی باشد که توسط تابع هسته بر روی مجموعه نمونه‌های آموزشی تعریف شده است یعنی $K_{ij} = K(X_i, Y_j)$. با افزودن یک ثابت به عناصر قطر این ماتریس می‌توان درصد نمونه‌های به غلط رده‌بندی شده در دو رده را کنترل کرد. بزرگی این ثابت به رده‌ی نمونه‌ی

آموزشی متناظر این عنصر از قطر ماتریس بستگی دارد. با استفاده از این روش می‌توان اطمینان داشت که نمونه‌های مثبت به عنوان نویز قلمداد نمی‌شوند. برای نمونه‌های مثبت، مقدار عنصر قطری متناظر برابر عبارت زیر خواهد بود.

$$K[X, X] = K(X, X) + \lambda \frac{n^+}{N} \quad (۸-۲)$$

که در آن n^+ تعداد نمونه‌های آموزشی مثبت، N تعداد کل نمونه‌های آموزشی و λ یک ضریب بزرگنمایی است. برای نمونه‌های منفی عبارت مشابهی وجود دارد که در آن n^+ با n^- جایگزین شده است. هنگامی که تعداد نمونه‌های مثبت کوچک باشد استفاده از این روش، نمونه‌های مثبت را وادار می‌سازد که نسبتاً در فاصله‌ای دور از ابر صفحه قرار گیرند در حالی که نمونه‌های منفی می‌توانند در فاصله‌ی نزدیک‌تری واقع شوند.

۲-۴-۴ آموزش سیستم

در این مرحله ویژگی‌های استخراج شده تصاویر آموزشی را که از تصویر منطقه با نواحی مشخص انتخاب شده‌اند به ماشین بردار پشتیبان آموزش می‌دهیم (Burges, 1998).

۲-۴-۵ آزمون سیستم

پس از آموزش ماشین‌های بردار پشتیبان، داده آزمایشی به پنجره‌های مربع شکل به ضلع ۵ پیکسل تقسیم می‌گردد. سپس هر قسمت را به عنوان داده ورودی به ماشین بردار پشتیبان داده و تعیین می‌کنیم که نزدیک‌ترین شباهت را به بردارهای پشتیبان کدام یک از کلاس‌های موجود در سیستم دارد. بنابراین می‌توان گفت که واحدی که مرز مناطق با آن تشخیص داده می‌شود، همین پنجره‌ها هستند. اندازه این پنجره‌ها تا حد امکان کوچک گرفته شده است تا کیفیت تشخیص مرزها در حد مطلوب باقی بماند؛ در عین حال این پنجره‌ها نمی‌توانند از این حد کوچک‌تر باشند.

۲-۵ لبه‌یابی تصاویر ماهواره‌ای

الگوریتم‌های لبه‌یابی تکنیک‌های پردازش تصویر هستند که به صورت خودکار مرزهای تصاویر را استخراج می‌کنند (Jaques et al, 1997; Qureshi, 2005). این الگوریتم‌ها به طور گسترده‌ای بر روی تصاویر با طیف خاکستری اعمال می‌شوند اگرچه بر روی تصاویر چند طیفی و ابرطیفی نیز پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها صورت می‌گیرد (Bakker and Schmidt, 2002). در این مطالعه پس از تشخیص کلاس‌های موجود در تصویر با استفاده از الگوریتم Canny مرزهای بین نواحی ترسیم می‌گردند. مزیت استفاده از الگوریتم Canny در نرخ پایین خطای آن است. همچنین در این الگوریتم، پیکسل‌های لبه‌های تشخیص داده شده، از پیکسل‌های موجود در لبه‌های واقعی تصویر کمترین فاصله را دارند. مزیت دیگر این الگوریتم اختصاص دادن یک پیکسل واحد به ازای هر یک پیکسل لبه‌های واقعی تصویر است (Canny, 1986).

۲-۶ آنالیز خوشه‌بندی

هدف از آنالیز خوشه‌بندی دسته‌بندی داده‌ها براساس شباهت موجود میان آن‌ها است، تکنیک خوشه‌بندی از روش‌های هدایت نشده^۱ محسوب می‌شود؛ به این مفهوم که طبقه‌بندی بین داده‌ها از پیش صورت نگرفته است. براساس هدفی که در خوشه‌بندی دنبال می‌شود، تعاریف متفاوتی از آن ارائه می‌شود. اما معمولاً این دیدگاه مورد پذیرش است که "شباهت دو عضو از یک خوشه بیشتر از شباهت دو عضو از دو خوشه‌ی متفاوت است". البته تعریف شباهت در بیان ریاضی باید به‌خوبی بیان شود. در فضاهای متریک شباهت بیشتر از منظر ضابطه‌ی فاصله بیان می‌شود.

خوشه‌بندی روشی برای یافتن الگوهای پنهان در سری داده‌ها می‌باشد. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای خوشه‌بندی معرفی شده‌اند (Kaufman, Rousseeuw, 2009). استفاده از روش خوشه‌بندی در تشخیص الگو

1. Unsupervised method

(Anderberg, 1973)، پردازش تصویر (Jain, Flynn, 1996) و بازیابی اطلاعات (Rasmussen, 1992; Salton,) (1991) روند رو به افزایشی دارد. علاوه بر این خوشه‌بندی در رشته‌های دیگری (Jain, Dubes 1988) مانند بیولوژی، روانشناسی، بازرگانی و زمین‌شناسی کاربرد دارد. یکی از روش‌های رایج خوشه‌بندی، k-means است (MacQueen, 1967). الگوریتم خوشه‌بندی k-means در آنالیز داده‌ها، تشخیص الگو و پردازش تصویر کاربرد زیادی دارد. تاکنون از این الگوریتم برای طبقه‌بندی انواع لایه‌های زغالی استفاده شده است (Sahu et al, 2009). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد این روش تاکنون در طبقه‌بندی واحدهای مختلف سنگی مورد استفاده قرار نگرفته است.

یکی از روش‌های شناخته شده برای خوشه‌بندی، الگوریتم K-means است. در این الگوریتم، تعداد خوشه‌ها (K) توسط کاربر تعیین می‌گردد. روش‌های مختلفی به منظور پیاده‌سازی این الگوریتم توسط محققان ابداع شده است. ورودی الگوریتم K-means، مجموعه‌ای از بردارهای چند بُعدی است که در زیر با نام مجموعه D و هر درایه آن نیز با X_i نمایش داده شده است. در ابتدا، الگوریتم K نقطه به عنوان مرکز ثقل هر خوشه در فضا انتخاب می‌نماید.

$$D = \{ X_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, n \}$$

روش‌های خوشه‌بندی مختلفی (از جمله خوشه‌بندی فازی) بر پایه این الگوریتم ساخته و پرداخته شده‌اند. علی‌رغم اینکه بیان‌های مختلفی از نحوه عملکرد این الگوریتم وجود دارد، روال کلی این الگوریتم تکرار یک حلقه و سعی در تخمین مکان مراکز خوشه‌ها در فضا می‌باشد. این مکان در واقع میانگین مقادیر نقاط متعلق به این خوشه است. هر نقطه در فضا به خوشه‌ای تعلق دارد که کمترین فاصله را با مرکز آن خوشه (نسبت به دیگر مراکز) داشته باشد.

روش کار این الگوریتم به بیان ساده به این صورت است که ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز نقاط تصادفی به عنوان مرکز انتخاب می‌شوند. سپس نقاط با توجه به نزدیکی (شباهت) به یکی از این خوشه‌ها تخصیص داده

می‌شوند. با تکرار این روال و میانگین‌گیری از مقادیر، مراکز جدیدی به دست می‌آیند که می‌توان داده‌ها را به این مراکز جدید نسبت داد. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر تغییری در داده‌ها ایجاد نگردد.

تابع نشان داده شده در رابطه‌ی (۹-۲) به عنوان تابع هدف شناخته می‌شود:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (9-2)$$

در رابطه فوق عملگر « $\|$ » معیار فاصله بین x_i (نقطه i ام داده‌ها) و c_j (مرکز خوشه j ام) است.

روال اجرایی الگوریتم K-means به صورت زیر است:

الف. در ابتدا K نقطه به عنوان نقاط مراکز خوشه‌ها انتخاب می‌شوند.

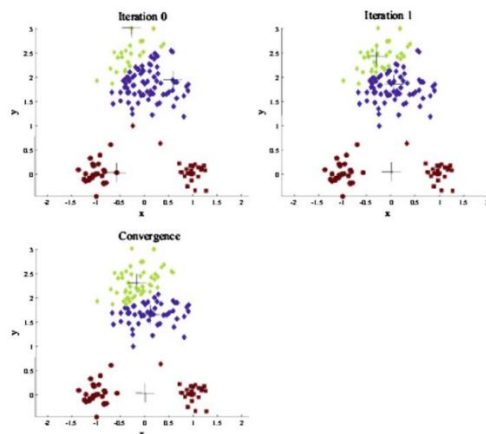
ب. هر داده ورودی با توجه به نزدیکی آن به مراکز خوشه‌ها به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده می‌شود.

ج. پس از انتساب تمامی نقاط به خوشه‌های مربوطه برای هر خوشه یک مرکز جدید محاسبه می‌شود. هر

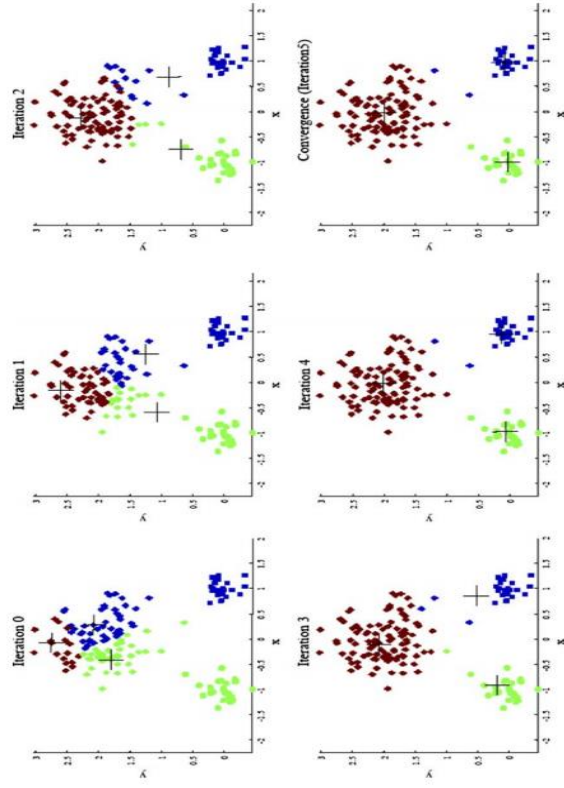
مرکز جدید توسط میانگین‌گیری از نقاط متعلق به آن خوشه حاصل می‌شود.

د. مراحل ۲ و ۳ تا زمانی تکرار می‌شوند که دیگر تغییری در مراکز محاسبه شده حاصل نگردد.

در شکل ۲-۴ دو نمونه جواب مطلوب و نامطلوب از الگوریتم و روند محاسباتی آن‌ها نمایش داده شده است.



شکل ۲-۵ جواب‌های نامطلوب برای سه انتخاب مختلف مراکز خوشه‌ها در الگوریتم K-means



شکل ۲-۵ ادامه

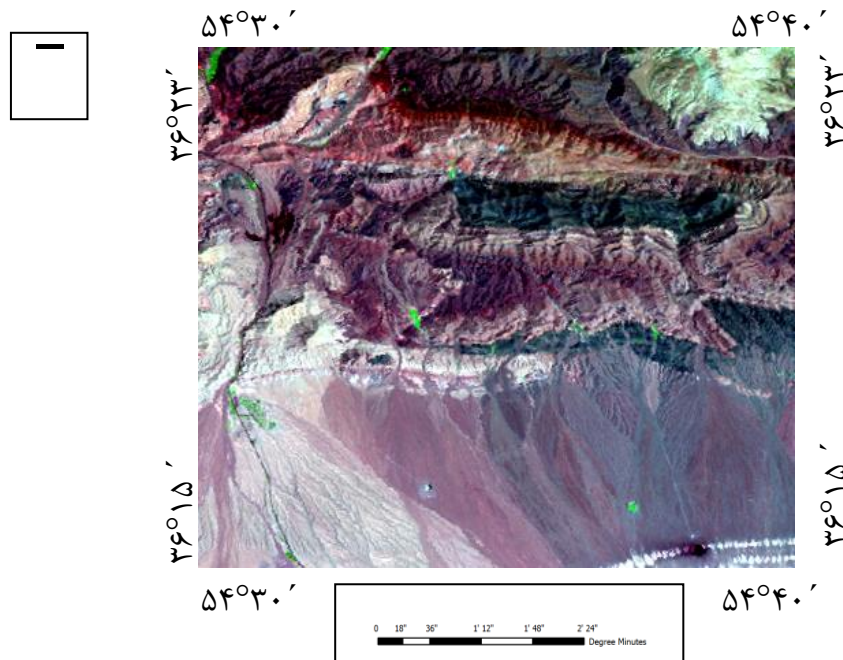
فصل سوم

توصیف منطقه و داده‌های مورد مطالعه

در این فصل، منطقه‌ی مورد مطالعه معرفی می‌گردد. موقعیت جغرافیایی کارخانه زغالشویی، سد باطله و محل دیوهای باطله مشخص می‌شوند. همچنین این فصل وضعیت زمین‌شناسی، تکتونیک و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

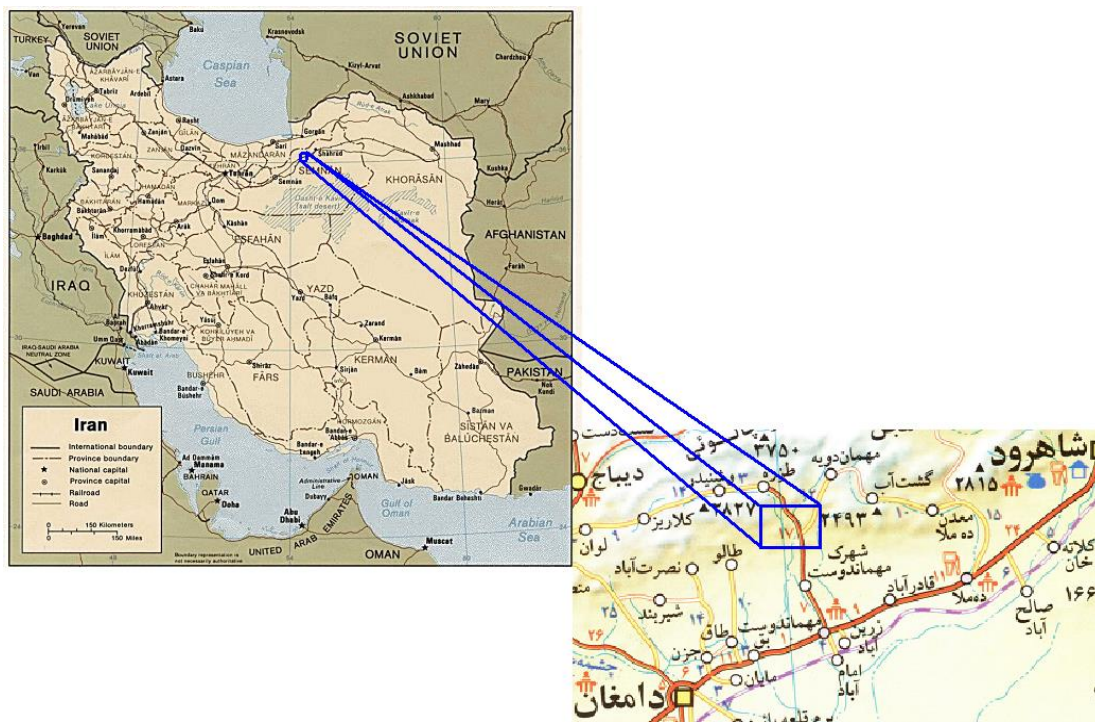
۲-۳ موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، منطقه زغالی البرز شرقی در استان سمنان است که در ۱۴۰ کیلومتری مرکز استان، ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهر دامغان و به فاصله ۷۵ کیلومتر از شهر شاهرود قرار دارد. این ناحیه محدوده‌ای مستطیل شکل با مختصات جغرافیایی $36^{\circ}23' N$ ، $54^{\circ}30' E$ و $36^{\circ}15' N$ ، $54^{\circ}40' E$ است. شکل ۱-۳ نمایش‌دهنده تصویر ماهواره‌ای منطقه با رزولوشن ۲۸/۵ متر می‌باشد.



شکل ۱-۳ تصویر ماهواره‌ای منطقه زغالی البرز شرقی

منطقه البرز شرقی دارای چهار بخش اصلی زغالی کلاریز، پشکلات، رزمجا و ممدویه است که در شمال منطقه مهماندوست قرار دارند. نزدیکترین روستاها به این مناطق زغالی، مهماندوست و طزره هستند. مهماندوست پایگاه صنعتی البرز شرقی بوده که تعمیرگاه، انبار و نیروگاه اصلی برق مجتمع البرز شرقی در آن قرار دارد. مهماندوست در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی منطقه زغالی رزمجا واقع شده است. کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی در مسیر روستای مهماندوست - طزره، بعد از روستای مهماندوست و در حدود ۱۱ کیلومتری منطقه رزمجا قرار دارد. شکل ۲-۳ نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. این منطقه دارای آب و هوای کوهستانی و حداکثر ارتفاع ۲۶۰۰ متر است که دارای زمستانی سرد و تابستانی معتدل و گرم است. متوسط بارندگی در ۱۰ سال گذشته ۲۵۳ میلیمتر بوده است (اداره کل آمار و فناوری اطلاعات، ۱۳۸۵).



شکل ۲-۳ موقعیت منطقه زغالی البرز شرقی و راه‌های دسترسی به آن (دولتی ارده‌جانی ۱۳۸۶؛ مؤسسه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰)

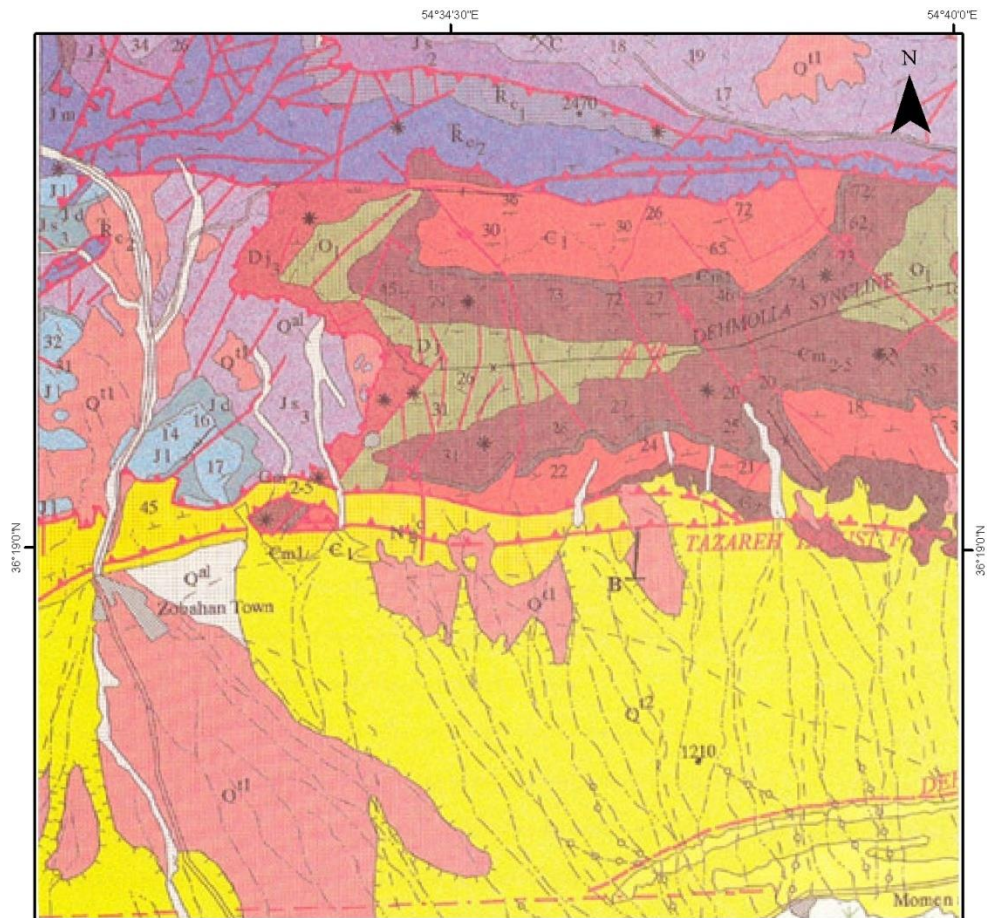
۳-۳ تاریخچه اکتشاف زغال در منطقه

مطالعات پی‌جویی رسوبات زغال‌دار در منطقه در سال ۱۳۴۹ شروع شد و اکتشاف تفصیلی در سال ۱۳۵۵ به اتمام رسید. عملیات بهره‌برداری برای اولین بار در سال ۱۳۵۱ در منطقه پشکلات از تونل شش روی لایه P₁₀ آغاز گردید و در سال ۱۳۵۳ استخراج از تونل بزرگ انجام شد. از نظر سنی رسوبات زغالی منطقه مربوط به دوره تریاس بالایی و ژوراسیک پایینی می‌باشند و این سری رسوبات بین دو لایه آهکی دولومیتی الیکا در قسمت تحتانی و آهک‌های ضخیم لار در قسمت فوقانی قرار گرفته است. سنگ‌هایی که در این رسوبات یافت می‌شوند مربوط به سازند شمشک بوده و شامل دولومیت، آهک‌های تریاس و ژوراسیک فوقانی و سری گچ دار می‌باشد که در نزدیکی دره رزمجا دیده می‌شود.

۳-۴ زمین‌شناسی منطقه

منطقه زغال‌دار طزره در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود قرار می‌گیرد. در منطقه رخنمون‌هایی از ماسه‌سنگ و شیل‌های زغال‌دار مربوط به سازند شمشک، رسوبات آبرفتی عهد حاضر و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی همراه با گراول مارنی و کوارتز دیده می‌شوند.

شکل ۳-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. مهم‌ترین و فراوان‌ترین ماده معدنی منطقه زغال-سنگ می‌باشد که در تناوب‌های شیلی سازند شمشک در سرتاسر منطقه به صورت رگه‌ها و عدسی‌هایی گسترش دارد. این زغال‌سنگ‌ها از انواع چرب و کک‌شو بوده که توسط شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.



مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

	بزرگ		مغروط افکنده
	کوچک		مرز آشفته‌گی
	رانده‌گی		لایه بندی
	امتداد لغز		آبشار
	کواترنری		راه آب و رودخانه
	محور ناودیس		چشمه
	محور طاق‌دیس		کانال زیرزمینی
	سینه کش		محلیت فسیل
	تراس		ارتفاع به متر
	امتداد و شیب		راه کلاس یک (آسفالته)
	اندازه گیری شده		راه کلاس دو
	بین ۱ تا ۲۹ درجه		راه کلاس سه
	تقریب زده شده		راه آهن
	بین ۳۰ تا ۵۹ درجه		زمین کشاورزی
	بین ۶۰ تا ۸۹ درجه		منطقه گسل
	لایه بندی معکوس		دولومیتی شدن ثانوی
	معدن فعال		شهر
	معدن متروکه		روستا
	نشانه‌دهنده کانسار		بیم بنزین
	آهن		مسجد
	زغال سنگ		
	بخش چینه شناسی		
	بخش ساختمانی		

شکل ۳-۳ محدوده منطقه زغالی البرز شرقی از نقشه شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰



شکل ۳-۳ ادامه

۳-۵ چینه‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه که جزئی از مناطق زغال‌دار تریاس - ژوراسیک (تریاس بالایی، ژوراسیک زیرین و میانی) طزره بوده و مجموعاً سازند شمشک را شامل می‌گردد، از غرب به منطقه کلاریز و از شرق به منطقه رزمجا محدود می‌شود. امتداد غالب لایه‌های واقع در منطقه، شرقی - غربی است.

بر روی رسوبات آهکی - دولومیتی سازند الیکا، رسوبات تریاس - ژوراسیک سازند شمشک با شیبی به طرف شمال و امتدادی شرقی - غربی قرار گرفته، که یک نبود چینه‌شناسی، آن‌ها را از هم جدا می‌سازد. حد بالایی سازند شمشک در این منطقه رسوبات سازند دلیچای می‌باشد.

سازند شمشک از پائین به بالا به بخش‌های اکراسر، طزره (شامل زیر بخش‌های لته بند، کلاریز و آلاشت)، شیرین‌دشت (شامل زیر بخش‌های روزه و کوانسار) و بخش دانسریت تقسیم می‌گردد. بخش اکراسر دارای رخساره دریایی مربوط به قسمت باز دریای تقریباً عمیق می‌باشد و بخش طزره دارای رخساره دریایی (زیر بخش روزه) مردابی و دلتایی (زیر بخش کوانسار) و بخش دانسریت رخساره دریاچه‌ای-مردابی، آبرفتی-دریایی و دلتایی است. منطقه پشکلات همه بخش‌های رسوبات سازند شمشک را شامل شده که بطور خلاصه در جدول ۱-۳ با ذکر وضعیت لایه‌های زغالی منطقه آمده‌اند.

- در منطقه پشکلات ۸۲ لایه زغالی کوچک و بزرگ وجود دارد که ضخامت کل آن‌ها به ۱۵/۲ متر می‌رسد.
 - تعداد لایه‌های زغالی با ضخامت بیشتر از ۴۰ سانتیمتر به ۱۷ می‌رسد.
 - ضخامت متوسط لایه‌های زغالی ۰/۶۳ متر است.
 - از بین لایه‌های زغالی منطقه پشکلات، لایه‌های زیر ساختمان ساده دارند:
- $K_{25}, P_{10}, P_1, P_3, P_{15}, K_5, K_6, K_9, K_{13}, K_{14}, K_{19}, l, K_{19} u, K_{21}, K_{23}$
- لایه‌های $K_8, K_{10}, K_{12}, P_{18}$ دارای ساختمان پیچیده هستند.

جدول ۱-۳ چینه‌شناسی منطقه زغالی مورد مطالعه (دولتی ارده‌جانی، ۱۳۸۶؛ اکتشافات تفصیلی منطقه زغالی پشکلات، ۱۳۵۷)

سازند	بخش/زیر بخش	سنگ شناسی	زغال خیزی	سن/رخساره
شمشک	بخش اکراسر (T3 S-ek)	<ul style="list-style-type: none"> - سیلتستون خاکستری و آرزپیل‌ها گاهی همراه آهک - لایه بوکسیت و سنگهای رسی در زیر - بخش اعظم رسوبات این بخش در منطقه توسط آبرفت‌ها پوشیده شده - یک سیل آندزیتی در رسوبات قسمت‌های بالای این بخش نفوذ کرده است - رسوبات حد زیرین این بخش را دولومیت‌های دانه ریز خاکستری سازند الیکا تشکیل می‌دهد 	فاقد لایه‌های زغالی	تریاس پسین/قسمت باز دریای تقریباً عمیق

<p>تریاس پسین- ژوراسیک پیشین/ مردابی-دلتایی، دریاچه ای</p>	<p>- زیربخش لاه بند فاقد زغال است - زیربخش های کلاریز و الاشت زغال دار هستند</p>	<p>- با کنتاکت پیوسته هم شیب بر روی بخش اکراسر قرار دارد. - مقطع تیپیک بخش طزره در اطراف دهکده طزره قرار دارد - ضخامت کلی این بخش در منطقه پشکلات حدود ۱۶۵۰ متر می باشد</p>	<p>بخش طزره (T3-J1 s-tz)</p>	<p>شمشک</p>
<p>تریاس پسین/ مردابی - دلتایی</p>	<p>فاقد زغال اقتصادی</p>	<p>- تناوب سیلتستون خاکستری رنگ، آرژیلیت و ماسه سنگ دانه ریز با رخساره کولابی-دلتایی - لنزهای نازک زغال در برخی نقاط دیده می- شوند - رسوبات زیرین این زیر بخش شامل آرژیل- های خاکستری تیره بخش اکراسر است - ضخامت این زیر بخش حدود ۴۵۰ متر است</p>	<p>زیر بخش لاه بند (T3 S-tz - 11)</p>	<p>شمشک</p>
<p>تریاس پسین/ آبرفتی، دریاچه ای- مردابی</p>	<p>- قسمت اعظم لایه- های زغالی منطقه پشکلات را شامل می- گردد - لایه های زغالی شامل زیر هستند: $K_{25}, K_{23}, K_{21}, K_{19} u$ $K_{19} l, K_{14}, K_{13}, K_{12}$ $K_{10}, K_9, K_8, K_6, K_5$ بیشترین ذخیره زغالی مربوط به لایه های K_{19}, K_{10}, K_5 می- باشد</p>	<p>- رسوبات این زیر بخش شامل ماسه سنگ های با دانه بندی مختلف خاکستری رنگ، سیلتستون، آرژیل و زغال می باشند. فسیل های حیوانی همراه با سنگ های رسی در این زیر بخش یافت می شوند - ضخامت این زیر بخش حدود ۶۰۸ متر گزارش شده است</p>	<p>زیر بخش کلاریز (T3 S-tz - K1)</p>	<p>شمشک</p>
<p>لیاس / مردابی - دریاچه ای و مردابی</p>	<p>در منطقه پشکلات رسوبات قسمت فوقانی زیربخش الاشت دارای چهار لایه زغالی اقتصادی با نام های $P_{18}, P_{15}, P_{10}, P_3$ است که بیشترین ذخیره زغالی این زیر بخش مربوط به P_{10} است</p>	<p>- ماسه سنگ هایی با دانه بندی مختلف خاکستری رنگ، گاهی شامل گریت استون و کنگلومر، سیلتستون، آرژیلیت و زغال می باشد. - زیربخش الاشت در منطقه پشکلات به دو قسمت زغال دار و بدون زغال تقسیم می گردد: حدود ۲۰۰ متر قسمت زیرین شامل انواع ماسه سنگ ها کراوالیت با لایه های آرژیل زغالی است. بر روی این رسوبات و سنگ های بدون زغال زیرین، قسمت زغال دار زیربخش الاشت قرار دارد. - ضخامت این زیربخش ۶۲۵ متر است</p>	<p>زیربخش الاشت (J1s - tz - al)</p>	<p>شمشک</p>

<p>لیاس-دوگر/ دریایی و مردابی- دلتایی</p>	<p>فاقد لایه زغالی</p>	<p>- شامل رسوبات دریایی (ماسه-سنگ، سیلتستون، آرژیلیت و لنزهای سنگ آهک)، سنگ‌های ماسه‌ای تجمعی به طرف قسمت تحتانی بخش داشته و در زیر بخش زیرین (روزه) محدود می‌شوند.</p> <p>- سنگ‌های رسی که در ترکیب این بخش برتری دارند در زیر بخش بالایی (کوانسار) دیده می‌شوند. سنگ‌های این بخش حاوی فسیل های دریایی می‌باشند.</p> <p>- مقطع تیپیک این بخش در قسمت مرکزی رسوبات طزره (منطقه رزمجا) در نزدیکی دره شیرین دشت قرار دارد.</p> <p>- ضخامت بخش شیرین دشت حدود ۱۳۰۰ متر است</p>	<p>بخش شیرین دشت (J₁₋₂ s-shr)</p>	<p>شمشک</p>
<p>ژوراسیک میانی/ دریاچه ای-مردابی، آبرفتی، دریایی و دلتایی</p>	<p>- غالباً ۱ تا ۲ لایه زغالی با ضخامت قابل بهره برداری در این بخش پیدا شده</p>	<p>- شامل ماسه-سنگ‌هایی با دانه‌بندی مختلف خاکستری رنگ، تناوب لایه‌های نازک کنگلومرا و گریت استون، سیلتستون، آرژیل زغالی، زغال (زیر بخش دانسریت زیرین)</p> <p>- ماسه سنگ کربناته دانه ریز، خاکستری رنگ و سیلتستون همراه با لنزهای آرژیل زغالی و زغال (زیربخش دانسریت بالایی)</p> <p>- مقطع تیپیک این بخش در منطقه رزمجا قرار دارد و نام آن از کوه دانسریت که یکی از قله-های رشته کوه‌های طزره است اقتباس شده است</p> <p>- بر روی رسوبات این بخش ماسه سنگ دانه ریز کربناته مربوط به قسمت پائینی سازند دلیچای قرار دارد</p>	<p>بخش دانسریت (J₂ s- dn)</p>	<p>شمشک</p>

۳-۶ تأثیرات فرآیند زغالشویی البرز شرقی بر اکولوژی منطقه

همانگونه که کاربرد زغال سنگ قدمت تاریخی دارد، مشکلات زیست محیطی آن نیز از ریشه تاریخی برخوردار است. استخراج زغال سنگ در منطقه البرز شرقی، مراحل نظیر برداشت و انباشت باطله‌ها، انفجارات مختلف، ایجاد گودال در اثر برداشت مواد روباره و زغال سنگ و سایر فعالیت‌های جنبی معدنکاری نظیر ساخت راه، ایجاد

واحدهای مسکونی، عملیات شستشوی زغال، ایجاد تأسیسات رفاهی، رفت و آمد ماشین آلات معدنی و کامیون- های حمل زغال و ... همگی باعث بر هم زدن تعادل حیات حیوانات در محیط زیست و حتی از بین رفتن حیات وحش در منطقه می‌شود. یکی از اثرهای زیان بار معدنکاری زغال سنگ در منطقه، آلودگی آب‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی است که در اثر هوازدگی و اکسایش پیریت و انتقال آلاینده‌هایی همچون سولفات‌ها، سلنیم، اورانیوم، آرسنیک و ... به صورت محلول در چرخه آب‌های منطقه می‌شود و باعث آسیب رسانی به محیط زیست می‌گردد.

آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کارخانه زغالشویی در منطقه نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. در طی فرآیند زغالشویی، برخی از عناصر موجود در زغال سنگ به صورت محلول در می‌آیند و سپس در محیط آزاد می‌شوند. عناصر آزاد شده از طریق آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توانند وارد چرخه محیط زیست شوند. در اثر انتقال این عناصر توسط آب‌های سطحی و زیرزمینی، آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد. عناصر می‌توانند توسط حیوانات و حتی حشرات مثل زنبور عسل در محیط زیست انتقال یابند. آب‌هایی که برای شستشو بکار می‌روند، پس از رسوب زدایی دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر مدیریت صحیحی روی رسوبات و باطله- های حاصل از زغالشویی انجام نگیرد موجب آلودگی محیط زیست خواهد شد (دولتی ارده‌جانی، ۱۳۸۶).

۳-۷ آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

به طور کلی پردازش رقومی تصاویر شامل مراحل زیر است:

الف) پیش پردازش^۱

ب) بازسازی شکل^۲

1. Pre-Processing
2. Image enhancement

ج) طبقه‌بندی اطلاعات^۱

د) بررسی‌ها و پردازش نهایی^۲

که در این فصل دو مرحله‌ی اول بررسی می‌شوند. در مرحله‌ی پیش‌پردازش، با یک سری عملیات روی داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد توجه قرار می‌گیرند. بنابراین شناسایی و تشخیص خطاهای احتمالی موجود در داده‌های ماهواره‌ای اهمیت زیادی دارد. لازم است پس از دریافت داده‌ها، بررسی دقیقی درمورد آن‌ها از نظر هندسی و رادیومتری به عمل آید. حتی اگر قبلاً تصحیحاتی روی این داده‌ها به عمل آمده باشد، باید به طور کامل از خطاهای چنین داده‌هایی آگاهی داشت.

۳-۷-۱ پیش پردازش

برای پیش‌پردازش داده‌ها لازم است ابتدا با خطاهای موجود آشنایی داشته باشیم. داده‌های خام ماهواره‌ای^۳، دارای خطاهای متعددی هستند که قبل از استفاده باید خطاها بررسی و برای رفع آنها اقدام کرد. خطاهای داده‌های ماهواره‌ای به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:

الف) خطای ناشی از سکو (حرکت ماهواره): این خطا از نوع خطاهای هندسی به شمار می‌رود و شامل تغییر سرعت و شتاب، تغییر ارتفاع و حرکت چرخشی ماهواره در مسیر حرکت خود حول سه محور است.

ب) خطای ناشی از سنجنده: این خطا شامل ازکارافتادگی حسگرها و برهم خوردن تنظیم آن‌هاست. گاهی تعدادی از پیکسل‌های شکل ماهواره‌ای نیز ارزش طیفی صفر دارند و بر روی شکل به رنگ سیاه دیده می‌شوند یا برعکس حداکثر میزان ارزش طیفی را دارند و گاهی به صورت نشانه‌های ناخواسته به صورت نقاط یا خطوطی

1. Data classification
2. Post-Processing
3. Raw data

افقی یا عمودی بر روی شکل دیده می‌شوند. خطای راه راه شدگی^۱ که در برخی محیط‌های همگن نظیر بیابان قابل تشخیص است، به شکل، حالت راه راه می‌دهد.

ج) خطای ناشی از حرکت زمین: این خطا شامل خطای چرخش زمین و تغییر ارتفاع است. خطای ناشی از چرخش زمین به دلیل حرکت زمین به هنگام گذر ماهواره از روی ناحیه‌ای از زمین که شکلبرداری می‌شود، ایجاد می‌گردد. خطای مربوط به تغییرات ارتفاع سبب می‌گردد ماهواره‌ها در قسمت‌های مرتفع به زمین نزدیکتر و در قسمت‌های پست از زمین دورتر شوند، در نتیجه پوشش تصاویر در ارتفاعات کمتر و در مناطق پست بیشتر می‌شود. از دست رفتن خط اطلاعات، زمانی پیش می‌آید که حسگرهای سنجنده به دلایلی نقص فنی پیدا می‌کنند و در نتیجه در بین خطوط اسکن شده، خطوطی ایجاد می‌شود که درجه روشنایی آنها صفر است، زیرا حسگر این خطوط را ثبت نکرده است.

۳-۷-۱-۱ تصحیح پراکنش اتمسفری^۲

اتم‌سفر بر روی طول موج‌های کوتاه‌تر از 0.5 میکرومتر، بیشترین و بر روی طول موج‌های بلندتر، کمترین تأثیر پراکنشی را دارد. پراکنش اتمسفری سبب پایین آمدن تابین در شکل می‌شود؛ به عبارتی موجب روشنایی اضافی شکل شده و در نتیجه مشکلاتی برای شناسایی پدیده‌ها ایجاد می‌کند. پراکنش اتمسفری بر هر کدام از باندها اثر متفاوت دارد.

دو روش اصلی برای تصحیح اتمسفری وجود دارد. اولین روش با استفاده از هیستوگرام است که در این روش، هیستوگرام‌های باندها به صورت مجزا محاسبه و ترسیم می‌گردد. معمولاً مناطقی که از آب صاف یا سایه و بازالت تیره تشکیل شده باشد، دارای انعکاس پایین است. پیکسل‌های این مناطق در طول موج مادون قرمز نزدیک، مقادیر رقومی نزدیک به صفر دارند. چنانچه هیستوگرام دیگر باندها نیز رسم شود، مشاهده خواهد شد

1. Striping
2. Haze correction

که مقادیر رقومی مناطق تیره در این باندها بیشتر از باند مادون قرمز (برای مثال باند ۴ در لندست‌های ۴ و ۵) است و هیچ‌گاه از صفر شروع نمی‌شود. حداقل مقادیر رقومی در هیستوگرام‌های باند ۱ و ۳ در مناطق تیره (مقدار افزون بر صفر)، مبین مقدار اثر پراکنش جوی است، بنابراین برای حذف آثار جوی می‌توان این حداقل مقدار رقومی را از مقادیر رقومی باندهای دیگر کسر کرد. دومین روش به کار رفته در تصحیحات اتمسفری، روش رگرسیون است. این روش در مناطقی کاربرد دارد که بخش‌های تیره (آب صاف، سایه و بازالت) دارند. در این روش، مقادیر رقومی باند مادون قرمز (TM_7 یا MSS_4) روی محور X در مقابل سایر باندها روی محور Y ترسیم می‌شود. سپس با استفاده از روش رگرسیون استاندارد، بهترین خط مستقیم برازش داده می‌شود. انحراف از محور X نشان دهنده مقدار اثر پراکنش اتمسفری است.

۳-۷-۱-۲ تصحیح هندسی^۱

معمولاً تصاویر رقومی دارای انحراف‌هایی هستند به طوری که این‌گونه تصاویر نمی‌توانند به عنوان نقشه مورد استفاده قرار گیرند. از جمله‌ی این انحراف‌ها می‌توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین و جابجایی پستی و بلندی اشاره کرد.

منظور از تصحیح هندسی، جبران انحراف‌هاست، به نحوی که شکل تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد. در تصحیح هندسی تغییر سیستم مختصات پیکسل‌های شکل به این صورت انجام می‌شود که نقاط کنترلی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب بر روی نقشه و شکل انتخاب می‌شود. در انتخاب این نقاط باید دقت کافی بشود، زیرا نقاطی که دچار تغییر شده باشند یا اینکه اندازه آن‌ها خیلی بزرگتر از یک پیکسل باشد، موجب بروز خطا می‌شود. اصولاً تصحیحات هندسی در دو نوع سیستماتیک و غیرسیستماتیک برای تصاویر رقومی ماهواره‌ای مطرح است؛ تصحیحات سیستماتیک به دلیل ثابت بودن تغییرات، قبل از آنکه در دسترس استفاده‌کنندگان قرار گیرد، انجام می‌شوند.

1. Geometric correction

تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای طی دو مرحله زیر انجام می‌پذیرد:

الف) زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای^۱

ب) نمونه‌برداری مجدد^۲

تصاویر ماهواره‌ای دارای فرمت رستر^۳ می‌باشند و پیکسل‌های این تصاویر سطر و ستون‌هایی می‌سازند که هیچ‌گونه ارتباطی با مختصات زمینی ندارند. بنابراین برای زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای، باید نقاط کنترل به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب بر روی نقشه و شکل در نظر گرفته شوند. برای انجام تصحیحات هندسی باید نقاط مناسب و مشخصی از زمین که مختصات جغرافیایی آن دقیقاً مشخص است، انتخاب گردد. این نقاط می‌توانند محل‌هایی مانند تقاطع بزرگراه‌ها، باندهای فرودگاه‌ها و میادین باشد. قابل توجه است که انتخاب نقاط باید به گونه‌ای باشد که در نهایت تعداد کافی از نقاط کنترل زمینی با پراکنش مناسب برای تصحیح هندسی استفاده شود.

برای یافتن رابطه‌ی مختصات بین نقاط کنترلی زمینی (GCP)^۴ و پیکسل‌های شکل، از معادلات ریاضی با درجات مختلف استفاده می‌شود. برای استفاده از معادلات با درجات مختلف، حداقل معینی از تعداد نقاط کنترل لازم است. برای مثال در محاسبات معادله‌ی درجه‌ی یک، حداقل سه نقطه‌ی کنترل مورد نیاز است. رابطه‌ی (۱-۳) معادله‌ی درجه‌ی یک، رابطه‌ی (۲-۳) معادله‌ی درجه‌ی دو و رابطه‌ی (۳-۳) معادله‌ی درجه‌ی سه را نشان می‌دهند.

$$\begin{cases} X_1 = a_0 + a_1x + a_2y \\ Y_1 = b_0 + b_1x + b_2y \end{cases} \quad (1-3)$$

-
1. Image referencing
 2. Resampling
 3. Raster
 4. Ground control points

$$\begin{cases} X_1 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \\ Y_1 = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \end{cases} \quad (2-3)$$

$$\begin{cases} X_1 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6x^2y + a_7xy^2 + a_8x^3 + a_9y^3 \\ Y_1 = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6x^2y + b_7xy^2 + b_8x^3 + b_9y^3 \end{cases} \quad (3-3)$$

که در آن‌ها X_1 و Y_1 مختصات پیکسل‌ها در شکل تصحیح نشده و x و y مختصات مشابه همان پیکسل‌ها در شکل تصحیح شده‌اند. در روابط فوق، a و b ضرایبی هستند که بسته به میزان چرخش شکل جدید نسبت به شکل خام تعیین می‌شوند و با تغییر درجه‌ی چرخش، مقدار ضرایب نیز تغییر می‌کند.

انتخاب معادله (درجه‌ی اول، دوم یا سوم) بستگی به پستی و بلندی منطقه‌ی مورد نظر، حداقل تعداد نقاط کنترل مورد نیاز، دقت مورد نظر و نرم‌افزار مورد استفاده دارد. پس از انتخاب معادله، مختصات نقاط کنترل زمینی به پیکسل‌هایی از شکل که با آن‌ها مطابقت می‌کند، نسبت داده می‌شود که در نتیجه معادله‌ی مورد نظر حل گردیده و به شکل مرتبط می‌شود.

نمونه‌ای از اطلاعات نقاط کنترل زمینی به همراه مختصات قدیم (پیکسل) و جدید (متریک) نقاط و نیز متوسط مربع خطاها را که به اختصار $RMSE^1$ یا سیگما² گویند، نشان می‌دهد که در واقع شاخص صحت عمل، تصحیح هندسی تصاویر است. فرمول محاسبه $RMSE$ به شرح زیر است:

$$RMSE = \left[(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \right]^{0.5} \quad (4-3)$$

که در آن، X_1 و Y_1 شماره‌ی سطر و ستون پیکسل از شکل تصحیح نشده (خام) است که نقاط کنترل در آن قرار دارد و x و y شماره‌ی سطر و ستون همان نقطه‌ی کنترل بر روی ماتریس تصحیح شده می‌باشد. معمولاً $RMSE$

1. Root means square error
2. Sigma

قابل قبول کمتر از یک و ترجیحاً کمتر از 0.5 است. پس از آنکه معادله‌ی تبدیل ایجاد شد، برای تعیین مقادیر پیکسل شکل خروجی از عملی که نمونه‌برداری مجدد نامیده می‌شود استفاده می‌شود.

در عملیات نمونه‌برداری مجدد، شکلی جدید در هندسه، متناسب با نقشه‌های مرجع زمینی حاصل می‌شود که در آن اندازه‌ی پیکسل‌ها مشخص و همین‌طور جهت آن‌ها نسبت به شمال جغرافیایی تنظیم می‌شود. مقادیر رقومی پیکسل‌های شکل جدید با استفاده از یکی از روش‌های درون‌یابی^۱ تعیین می‌شود. روش‌های درون‌یابی عبارتند از نزدیک‌ترین همسایه، درون‌یابی دوتایی و روش درون‌یابی پیچشی مکعبی که در ادامه ذکر شده‌اند.

۳-۷-۱-۲-۱ روش نزدیک‌ترین همسایه^۲

در این روش برای محاسبه‌ی درجه‌ی روشنایی پیکسل شکل جدید، از درجه‌ی روشنایی نزدیکترین پیکسل‌های مجاور استفاده می‌شود و ارزش طیفی پیکسلی که به پیکسل جدید نزدیکتر است (نزدیکترین همسایه)، به آن پیکسل تعلق می‌گیرد. در این روش، محاسبات، ساده‌تر و در نتیجه زمان عملیات کوتاهتر است. مزیت دیگر این روش آن است که درجه‌ی روشنایی پیکسل‌های محاسبه شده به روش نزدیکترین همسایه، نسبت به دیگر روش‌ها تغییر کمتری می‌کند.

۳-۷-۱-۲-۲ روش درون‌یابی دوتایی^۳

در این روش، ارزش میانگین وزنی ارزش‌های طیفی چهار پیکسل مجاور یک پیکسل خاص مدنظر قرار دارد. محاسبه، با اختصاص دادن وزن بیشتر به پیکسلی که مرکز آن به پیکسل موردنظر نزدیکتر است، صورت می‌گیرد و مقادیر رقومی جدید جایگزین مقدار پیکسل قبلی می‌شود.

1. Interpolation
2. Nearest neighborhood
3. Bilinear interpolation

۳-۷-۱-۲-۳ روش درون‌یابی پیچشی مکعبی^۱

در این روش، متوسط مقادیر رقومی برای ۱۶ پیکسل نزدیک به پیکسل موردنظر در نقشه‌ی اولیه محاسبه و سپس این مقدار به عنوان مقدار رقومی پیکسل جدید منظور می‌شود.

۳-۷-۲ بارزسازی تصاویر

تصاویر رنگی موجب وضوح بهتر پدیده و تفسیر راحت‌تر آنها می‌شود که دلیل آن را می‌توان به شرح زیر دانست: الف) حساسیت چشم انسان به تغییرات رنگ بسیار زیاد است، درحالی که چشم انسان حداکثر می‌تواند بین ۲۰ الی ۲۵ تن خاکستری را تمیز دهد.

ب) تصاویر سیاه و سفید فقط یک لایه اطلاعات مانند تن یا روشنایی یا درجه‌ی خاکستری را دربر می‌گیرد، ولی مکعب رنگ از سه متغیر ته رنگ، اشباع و شدت تشکیل شده است.

ج) ارائه و نمایش شکل چندباندی به صورت رنگی بدین معنی است که سه شکل حاصل از سه باند، همزمان مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه طیف وسیعی از داده‌های سنجش از دور را می‌توان به صورت رنگ‌های کاذب تعریف کرده و نمایش داد، بنابراین رنگ‌های قابل رویت در تصاویر رنگی کاذب، ممکن است هیچ رابطه‌ای با رنگ واقعی اشیای روی زمین نداشته باشد. با توجه به اینکه رنگ‌های متفاوت، ترکیبی از نسبت‌های متفاوت رنگ‌های قرمز، سبز و آبی است، بنابراین می‌توان یک مدل فضایی برای رنگ تصور کرد.

مدل RGB ابتدا به رنگ سیاه در رأس مکعب قرار گرفته و محورهای مکعب، سیاه-قرمز، سیاه-سبز و سیاه-آبی است. با دادن مختصات در طول این سه محور، هرگونه رنگی قابل تعریف است. این مختصات را، مختصات سه گانه رنگ قرمز، سبز و آبی می‌نامند. با ترکیب حداکثر نور قرمز، سبز و آبی، نور سفید تشکیل می‌شود. خطی

1. Cubic convolution interpolation

که رئوس سیاه و سفید را در مکعب به یکدیگر متصل می‌کند، نشان‌دهنده‌ی رنگ‌هایی است که از نور قرمز، سبز و آبی یکسانی تشکیل شده‌اند. اینها سایه‌ها یا سطوح مختلف رنگ خاکستری هستند.

برای بارزسازی تصاویر باید توجه داشته که بین درجه‌ی روشنایی^۱ ورودی و شدت روشنایی خروجی روی صفحه‌ی نمایش، رابطه‌ی یک به یک وجود دارد. برای مثال درجه‌ی روشنایی ورودی صفر شدت خیلی تیره (سیاه) روی صفحه‌ی نمایش تولید می‌کند، درحالی که درجه‌ی روشنایی ۲۵۵ شدت خیلی روشن (سفید) ایجاد می‌کند. تمام درجه‌های روشنایی صفر تا ۲۵۵ به صورت گام‌های خاکستری از سیاه تا سفید نمایش داده می‌شود.

سیستم‌های پردازش رقومی تصاویر که برای کار با تصاویر سنجش از دور طراحی شده‌اند، توانایی تولید نقشه‌های روشنایی^۲ را دارند. کیفیت و قابلیت تفسیر چنین نقشه‌هایی بستگی به الف) نوع دستگاه خروجی نظیر چاپگر و ب) نوع الگوریتم و روش استفاده در تولید نقشه دارد. از الگوریتم‌های بارزسازی، برای بهبود وضعیت ظاهری تصویر جهت تجزیه و تحلیل چشمی یا متعاقب آن تجزیه و تحلیل رایانه‌ای استفاده می‌شود. به این نکته هم باید توجه داشت که در بارزسازی تصاویر ممکن است نتوان به شرایط بارزسازی ایده‌آل دست یافت، زیرا درنهایت تمام تصاویر تولید شده با چشم ارزیابی می‌شود و این قضاوت کیفی است که آیا تصویر حاصل مفید است، خیلی مفید است یا کم. در این فصل، ارزش تجزیه و تحلیل چشمی داده‌های سنجش از دور و متعاقباً تجزیه و تحلیل رایانه‌ای بررسی می‌شود. روش‌های بارزسازی در ادامه توضیح داده شده‌اند.

۳-۷-۲-۱ بزرگ‌نمایی^۲ و کوچک‌نمایی تصویر

اغلب اوقات لازم است کل تصویر را یکجا دید و در نظر گرفت، ولی سیستم‌های پردازش تصاویر فقط تعداد محدودی از پیکسل‌های یک تصویر را همزمان نمایش می‌دهند (مثلاً کمتر از 512×512 پیکسل). بنابراین

1. Digital number
2. Brightness map
3. zooming

برای نمایش باید از روش‌های خاصی برای کاهش داده‌های تصاویر اصلی که m ستون و n ردیف دارند، استفاده شود. بزرگ‌نمایی تصاویر رقومی برای افزایش مقیاس تصویر جهت تفسیر چشم و یا گاهی اوقات برای انطباق و مقایسه‌ی تصویر مورد نظر با تصاویر دیگر صورت می‌گیرد.

۳-۷-۲-۲ تصاویر رنگی کاذب

از ترکیب سه باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود. در تصویر رنگی کاذب (FCC)، رنگ قرمز به باند مادون قرمز، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود، در نتیجه پوشش گیاهی که حداکثر بازتاب را در باند مادون قرمز دارد، به رنگ قرمز، آب به رنگ آبی و خاک بون پوشش گیاهی به رنگ‌های قهوه‌ای - خاکستری دیده می‌شود. اگر تصاویر رنگی کاذب به طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله خوش ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده‌های کم‌ارزش و استفاده‌ی حداکثر از اطلاعات مفید می‌باشد. انتخاب ترکیب باندی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد. یک روش، مقایسه‌ی چشمی تصاویر حاصل از ترکیب‌های مختلف است که معمولاً بسیار مشکل و وقت‌گیر است. راه دیگر، مبتنی بر معیارهای آماری تصاویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی است. از جمله روش‌های انتخاب ترکیب باندی، روش‌های فاکتور شاخص مطلوب (OIF)، تعیین ماتریس حداکثر واریانس - کوواریانس و تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی هستند. ترکیب باندهای مختلف، تصاویری می‌سازد که ممکن است هر ترکیب باندی دارای توانایی خاص برای مطالعه و جداسازی پدیده‌ی خاصی باشد. علاوه بر اهمیت ترکیب باندی و نوع باند به کار رفته که مربوط به قدرت تفکیک طیفی است، قدرت تفکیک مکانی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد.

۳-۷-۲-۳ روش‌های بسط تصاویر^۱

در بسیاری موارد، مواد مختلف موجود در طبیعت یا پدیده‌های گوناگون بازتاب‌های طیفی یا تشعشعات حرارتی مشابهی از خود نشان می‌دهند که در چنین حالتی، تصویری با کنتراست نسبتاً کم حاصل می‌شود. اصولاً وضعیت ساختمانی روستاها به گونه‌ای است که بیشتر از مواد طبیعی نظیر چوب، خاک و سنگ استفاده می‌شود و این وضعیت سبب می‌شود تصاویر مربوط به مناطق روستایی تباین کمتری نسبت به مناطق شهری داشته باشند، زیرا در شهرها طیف متفاوت‌تری از مواد نظیر بتن، آسفالت و مواد فلزی به کار برده می‌شود. عامل دیگری که موجب تباین کم در تصاویر ماهواره‌ای می‌شود، حساسیت آشکار سازه‌هاست. سنجنده‌هایی نظیر TM و HRV دارای توان تفکیک رادیومتری هشت بیتی می‌باشند، یعنی درجه‌روشنایی پیکسل‌ها می‌تواند در تئوری در دامنه ۰-۲۵۵ قرار گیرد. اما در بسیاری موارد درجه‌روشنایی‌ها در عمل در دامنه محدودتری مثلاً بین ۵۰ تا ۱۵۰ قرار می‌گیرند که در این صورت عمل بارزسازی برای تصویر سبب وضوح بیشتر آن شده و از این طریق می‌توان تفاوت بین پدیده‌ها را آشکارتر ساخت. این عمل بارزسازی تصویر موجب افزایش توان فرد برای تفسیر بصری می‌شود. بارزسازی تصویر عملی مطلوب بوده و در تمامی دامنه‌طیفی موردنظر قابل اجراست. روش‌های مختلفی برای بارزسازی تصویر وجود دارد از جمله‌ی این روش‌ها بسط تباین است که طی آن دامنه‌ی تصویر به دامنه‌ی وسیع‌تری از مقادیر درجه‌روشنایی، بسط داده می‌شود و در اثر این بسط به دلیل وضوح بیشتر تصویر، امکان متمایز کردن پدیده‌های بیشتری فراهم می‌گردد.

۳-۸ ماهواره‌ی لندست ۷

ماهواره‌ی لندست ۷، در ۱۵ آوریل ۱۹۹۹ (۲۶ فروردین ۱۳۷۸) به فضا پرتاب شد. این ماهواره مجهز به سنجنده‌ای به نام نقشه‌بردار موضوعی بهبود یافته یا ETM^+ ^۲ است. مشخصات این ماهواره و سنجنده ETM^+

1. Image stretching
2. Enhanced thematic mapper plus

در جدول ۲-۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲-۳ مشخصات ماهواره لندست ۷ و سنجنده ETM⁺ (علوی پناه، ۱۳۸۸)

شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	۰/۴۵ - ۰/۵۱۵	۳۰
۲	۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۵	۳۰
۳	۰/۶۳ - ۰/۶۹	۳۰
۴	۰/۷۵ - ۰/۹۰	۳۰
۵	۱/۵۵ - ۱/۷۵	۳۰
۶	۱۰/۴ - ۱۲/۵	۶۰
۷	۲/۰۹ - ۲/۳۵	۳۰
پانکروماتیک	۰/۵۲ - ۰/۹۰	۱۵

سنجنده ETM⁺ در مقایسه با سنجندهی TM لندست‌های چهار و پنج قابلیت‌های ویژه‌ای دارد:

(الف) وجود باند پانکروماتیک^۱ با محدوده طیفی ۰/۵۲-۰/۹۰ میکرومتر و قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر

(ب) بهبود قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی از ۱۲۰ متر به ۶۰ متر

(ج) وجود تنظیم کننده^۲ که تنظیم و تبدیل انرژی رادیومتری داده‌های سنجنده را بهبود می‌بخشد. تقارن‌های

باندهای طیفی TM و ETM⁺ در جدول ۳-۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳-۳ مقایسه محدوده‌های طیفی باندهای TM و ETM⁺ (علوی پناه، ۱۳۸۸)

باندسنجنده	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷	باند ۸
TM	۰/۴۵-۰/۵۲	۰/۵۲-۰/۶۰	۰/۶۳-۰/۶۹	۰/۷۶-۰/۹۰	۱/۵۵-۱/۷۵	۱۰/۴-۱۲/۵	۲/۰۸-۲/۳۵	-----
ETM ⁺	۰/۴۵-۰/۵۲	۰/۵۳-۰/۶۱	۰/۶۳-۰/۶۹	۰/۷۸-۰/۹۰	۱/۵۵-۱/۷۵	۱۰/۴-۱۲/۵	۲/۰۹-۲/۳۵	۰/۹۰- ۰/۵۲

1. Pan chromatic
2. Calibrator

۳-۸-۱ انواع داده‌های حاصل از ماهواره لندست ۷

به طور کلی، سنجندهٔ ETM⁺ داده‌های خود را در اولین باند X به ایستگاه‌های زمینی ارسال می‌کند این داده‌ها به صورت‌های زیر قابل دسترس می‌باشند:

الف) تنها تصحیحات اولیه نظیر ترتیب باندی بر روی داده‌ها و تصحیح جهت پویس صورت می‌گیرد؛

ب) بر روی داده‌ها تصحیحات رادیومتریک انجام شود؛ و

ج) بر روی داده‌ها هر دو تصحیح رادیومتریک و هندسی انجام می‌شود.

فصل چهارم

نتایج تشخیص مرزها، تمکین واحدهای سنگ شناسی و مناطق آلودگی

۴-۱ مقدمه

در فصل پیش رو نتایج تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی با دو روش توضیح داده شده در فصل دوم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در روش اول از تجزیه موجک استفاده می‌شود. تصاویری که جهت آموزش ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شوند پس از مرحله پیش‌پردازش، مورد سه مرحله تجزیه موجک قرار می‌گیرند. نتیجه حاصل از هر مرحله تجزیه، یک تصویر حاوی اطلاعات تقریبی^۱ و سه تصویر حاوی جزئیات^۲ افقی، عمودی و قطری تصویر اولیه است. در نهایت به ازای هر یک تصویر و سه مرحله تجزیه، سه تصویر جزئیات بدست می‌آید. با استفاده از ماتریس وقوع همزمانی، ویژگی‌های هارالیک هریک از این تصاویر بدست آمده، استخراج می‌گردد. پس از تشکیل بردار ویژگی برای هر تصویر، ماشین بردار پشتیبان توسط این بردارها آموزش داده می‌شود.

در روش دوم، از الگوریتم خوشه‌بندی استفاده شده است. الگوریتم خوشه‌بندی گرچه همانند ماشین بردار پشتیبان، داده‌های ورودی را به کلاس‌ها و دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌نماید؛ این روش دسته‌بندی را به صورت غیر هوشمند و بدون استفاده از نمونه‌های آموزشی انجام می‌دهد و صرفاً داده‌های ورودی را با توجه به اختلافات موجود بین آن‌ها به k دسته‌ای از پیش تعیین شده تفکیک می‌نماید. گرچه دقت تفکیک این روش بسیار پایین‌تر از روش اول است، مزیت این روش سرعت پاسخ‌دهی فوق‌العاده بالای آن است.

در این فصل به توضیح مبسوط این دو روش پرداخته شده و مسائل به وجود آمده در پیاده‌سازی هر کدام از این روش‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۲ استفاده از تجزیه موجک

-
1. Approximate
 2. Details

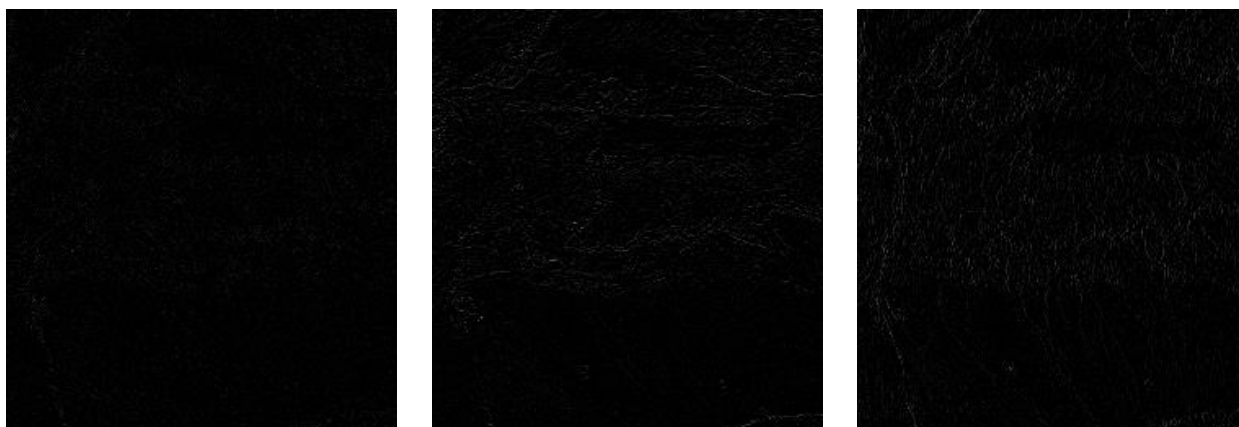
امروزه تجزیه‌ی موجک به عنوان یکی از روش‌های پر استفاده جهت فشردن‌سازی تصویر شناخته می‌شود. انتخاب درست تابع موجک مادر با توجه به نوع تصویر می‌تواند تاثیر بسزایی در نرخ فشردن‌سازی و کیفیت تصویر نهایی داشته باشد.

بطور کلی در پژوهش‌هایی که تاکنون صورت گرفته، دلیل واحدی برای انتخاب موجک مادر ارائه نشده است. در مقاله خراته و همکاران چندین تابع موجک مادر از جمله دابیچیز^۱، بایوآرتوگونال^۲ و کویفلت^۳ مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت تابع دابیچیز به عنوان تابعی با نرخ فشردن‌سازی و کیفیت خروجی بسیار بالا معرفی شده است (Kharate et al, 2007).

در این تحقیق برای استخراج اطلاعات، از سه لایه‌ی یک، چهار و هفت ماهواره لندست^۴ استفاده شده است. برای استفاده از این لایه‌ها دو راه‌کار وجود دارد. راه‌کار اول اینکه هر یک از این لایه‌ها به تنهایی به صورت یک تصویر در نظر گرفته شده و تمامی مراحل بالا بر روی آن به صورت جداگانه اعمال گردد و راه کار دوم اینکه این سه لایه با استفاده از یک ترکیب مناسب، یک تصویر نهایی را تشکیل دهند تا باقی مراحل پردازش بر روی تصویر بدست آمده اعمال گردد. ابتدا به توصیف راه کار اول و نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود.

نتایج حاصل از مرحله اول تجزیه موجک بر روی تصویر باند یک ماهواره لندست، مربوط به منطقه مورد مطالعه، در شکل ۴-۱ قابل مشاهده است. شکل ۴-۱-الف تصویر جزئیات عمودی حاصل از تجزیه موجک باند اول را نمایش می‌دهد. شکل‌های ۴-۱-ب و ۴-۱-ج نیز به ترتیب جزئیات افقی و قطری مربوطه را نشان می‌دهند.

-
1. Daubechies
 2. Biorthogonal
 3. Coiflets
 4. LandSat



شکل ۱-۴ باند یک، تجزیه‌ی مرحله یک، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی ج- جزئیات قطری

شکل ۲-۴ الف مانند شکل ۱-۴ الف مربوطه به جزئیات عمودی حاصل از تجزیه موجک است با این تفاوت که مرحله دوم تجزیه موجک را نمایش می‌دهد. شکل‌های ۲-۴ ب و ۲-۴ ج نیز نمایش جزئیات افقی و قطری نتیجه هستند.



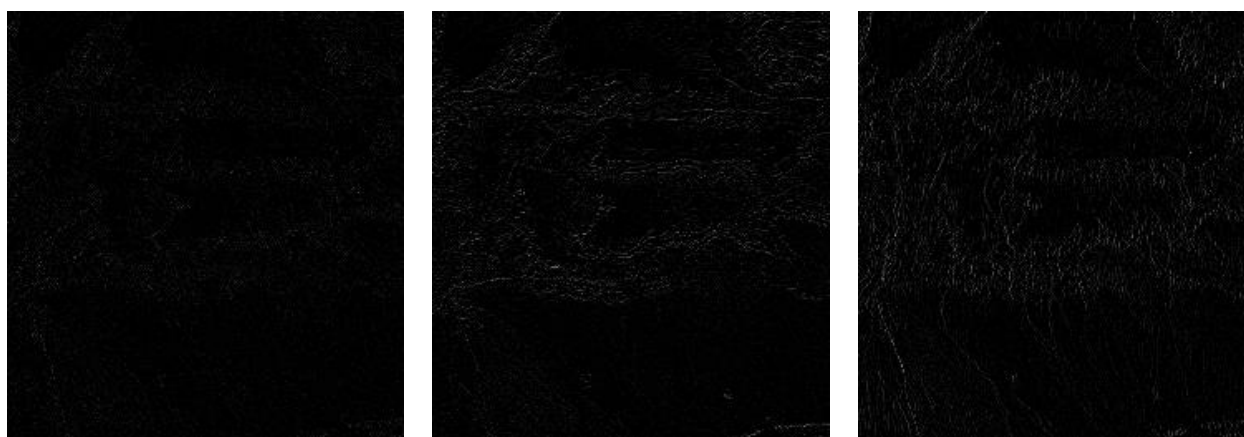
شکل ۲-۴ باند یک، تجزیه‌ی مرحله دو، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- باند یک، مرحله دو، جزئیات قطری

نتایج مرحله سوم تجزیه‌ی موجک نیز مانند بالا در شکل‌های ۳-۴ (الف، ب و ج) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴-۳ باند یک، تجزیه‌ی مرحله سه، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

مراحل گفته شده، بر روی تصویر باند چهار منطقه مورد مطالعه نیز پیاده‌سازی شده است. در شکل‌های ۴-۴-الف الی ۴-۴-ج تصاویر حاصل از سه مرحله تجزیه موجک بر روی باند چهار نمایش داده شده است. شکل‌های ۴-۴-الف الی ۴-۴-ج به ترتیب تصاویر مربوط به جزئیات عمودی، افقی و قطری حاصل از یک مرحله تجزیه‌ی موجک بر روی باند چهارم ماهواره لندست را نمایش می‌دهند.



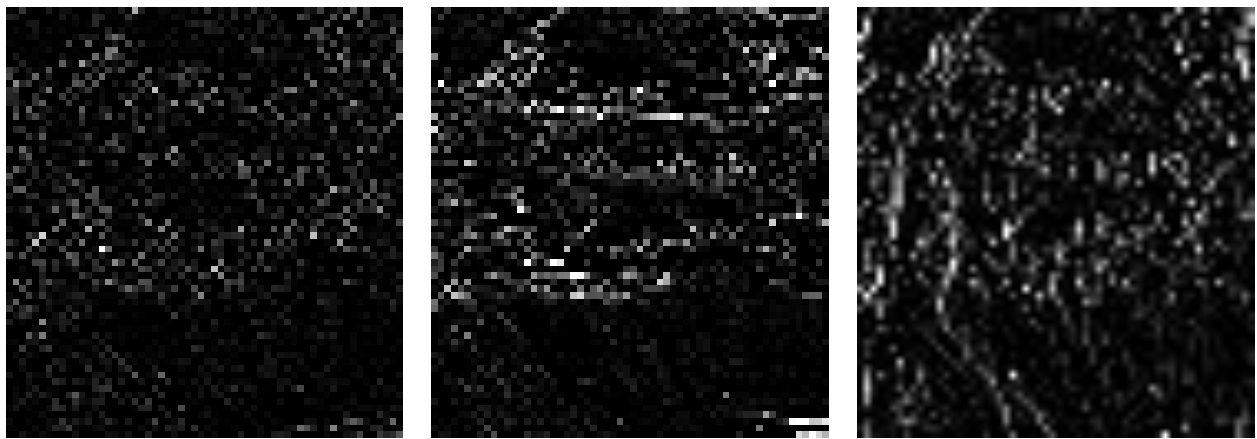
شکل ۴-۴ باند چهار، تجزیه‌ی مرحله یک، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

شکل‌های ۴-۵ الف الی ۴-۵ ج مانند شکل‌های قبلی، نمایش دهنده‌ی تصاویر جزئیات عمودی، افقی و قطری مرحله دوم تجزیه‌ی باند چهارم هستند.



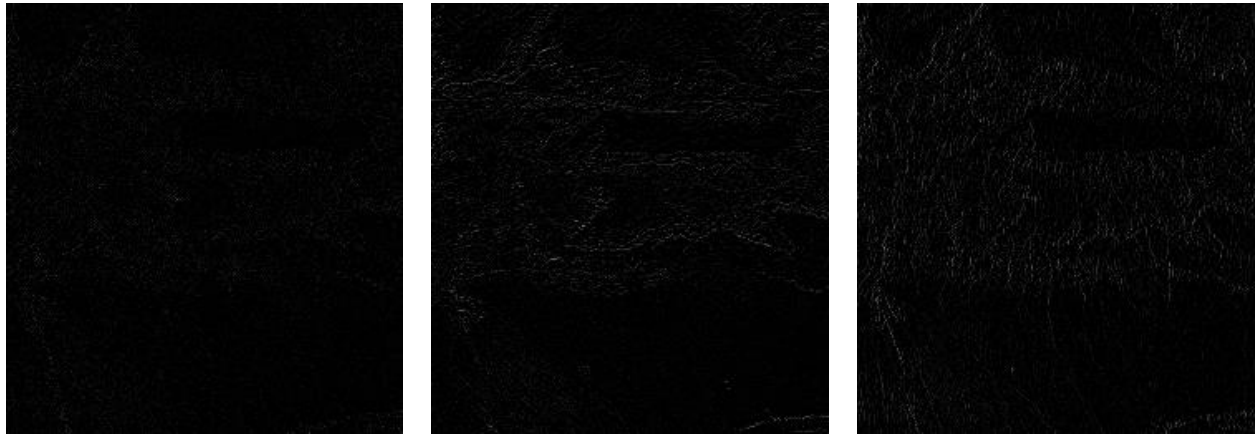
شکل ۴-۵ باند چهارم، تجزیه‌ی مرحله دو، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

تصاویر جزئیات حاصل از مرحله سوم تجزیه‌ی باند چهارم در شکل‌های ۴-۶ الف الی ۴-۶ ج نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴-۶ باند چهارم، تجزیه‌ی مرحله سه، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

شکل‌های ۴-۷-الف الی ۴-۹-ج، نشان‌دهنده‌ی نتایج حاصل از سه مرحله تجزیه‌ی موجک بر روی باند هفت ماهواره لندست هستند. شکل ۴-۷-الف مربوط به جزئیات عمودی حاصل از مرحله اول تجزیه است و شکل‌های ۴-۷-ب و ۴-۷-ج به ترتیب حاوی اطلاعات مربوط به جزئیات افقی و قطری نتیجه حاصل هستند.



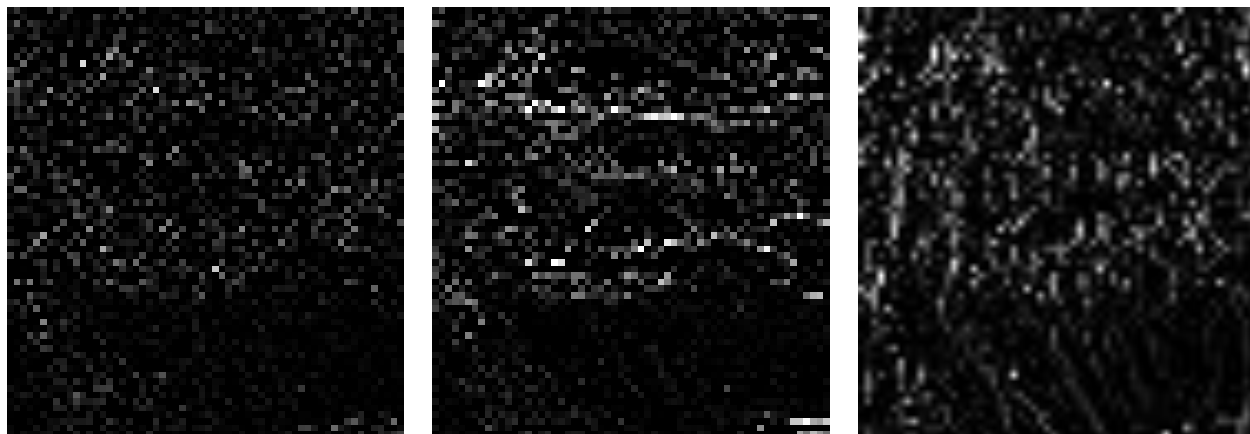
شکل ۴-۷ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله یک، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

در شکل‌های ۴-۸ (الف، ب و ج) جزئیات حاصل از مرحله دوم تجزیه‌ی باند هفتم تصویر منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل ۴-۸ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله دو، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

در نهایت نتیجه‌ی سومین مرحله تجزیه موجک بر روی باند هفت، در شکل‌های ۴-۹-الف، ۴-۹-ب و ۴-۹-ج نمایش داده شده است.



شکل ۴-۹ باند هفت، تجزیه‌ی مرحله سه، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

از آنجایی که با هر بار تجزیه‌ی موجک، اندازه تصویر حاصل، نصف اندازه‌ی تصویر اولیه خواهد بود، برای نمایش بهتر این تصاویر، نتیجه‌ی هر مرحله از تجزیه با دو برابر اندازه واقعی آن نمایش داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مراحل تجزیه موجک، خطوط عمودی بیشتری در تصویر جزئیات عمودی مشاهده می‌گردد. همچنین خطوط افقی و قطری بیشتری از تصویر اصلی استخراج شده و در تصویر جزئیات مربوطه قابل مشاهده می‌شود. یکی از دلایلی که باعث شده تا تجزیه‌ی موجک مورد استقبال تحقیقات در زمینه‌ی تشخیص خطوط قرار گیرد نیز همین است.

شکل‌های ۴-۱-الف تا ۴-۹-ج مربوط به کل تصویر منطقه مورد مطالعه هستند، در حالی که برای آموزش مناطق مختلف سنگ‌شناسی به ماشین بردار پشتیبان لازم است تصویر نمونه‌ای از هر منطقه انتخاب شده و به ماشین داده شود. ماشین بردار پشتیبان پس از یادگیری کلاس‌های مختلف، این قابلیت را دارد که هر یک از داده‌های ورودی جدید خود را به یکی از این کلاس‌ها تخصیص دهد. در واقع هر منطقه سنگ‌شناسی به عنوان یک کلاس به ماشین بردار پشتیبان آموزش داده می‌شود.

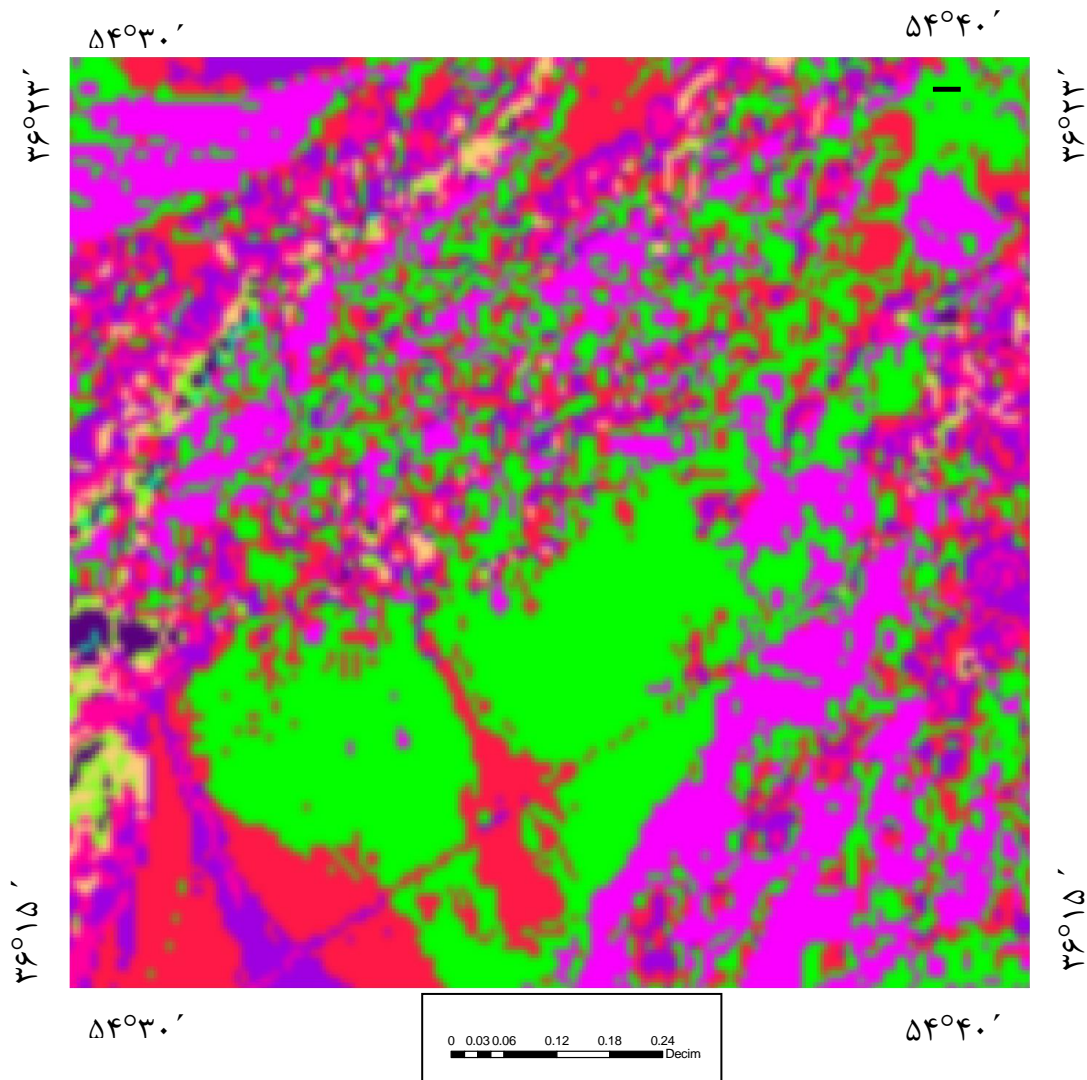
برای آموزش مؤثرتر ماشین بهتر است تا از هر کلاس، چند نمونه به ماشین داده شود. در این صورت ماشین، مشخصه‌های دقیق‌تری از اعضای هر کلاس یاد گرفته و تمایز بین کلاس‌ها را به شکل بهتری درک خواهد کرد. در عین حال اگر تعداد نمونه‌های داده شده به ماشین بیش از اندازه باشد، ماشین در تخصیص نمونه‌های جدید به یک کلاس بیش از اندازه دقیق شده و در نهایت، توانایی اختصاص درست ورودی‌ها به کلاس مربوطه را از دست می‌دهد. در این حالت ماشین اصطلاحاً اشباع^۱ شده و توانایی تشخیص صحیح را نخواهد داشت.

برای آموزش مناطق مختلف سنگ‌شناسی به ماشین بردار پشتیبان، لازم است تا کاربر از تصویر ماهواره‌ای اولیه و یا تصویر ماهواره‌ای دیگری، نمونه‌هایی از مناطق مختلف سنگ‌شناسی را انتخاب نماید. این نمونه‌ها پس از گذر از تمام مراحل که قرار است تصویر آزمودنی از آن‌ها گذر نماید، به صورت یک بردار ویژگی در آمده و به ماشین بردار پشتیبان داده می‌شود. برای رعایت ظرفیت ماشین بردار پشتیبان و جلوگیری از اشباع شدن آن و در عین حال از دست رفتن دقت و بدست آوردن نتیجه مطلوب، در این تحقیق کاربر به ازای هر منطقه سنگ-شناسی سه نمونه انتخاب می‌نماید.

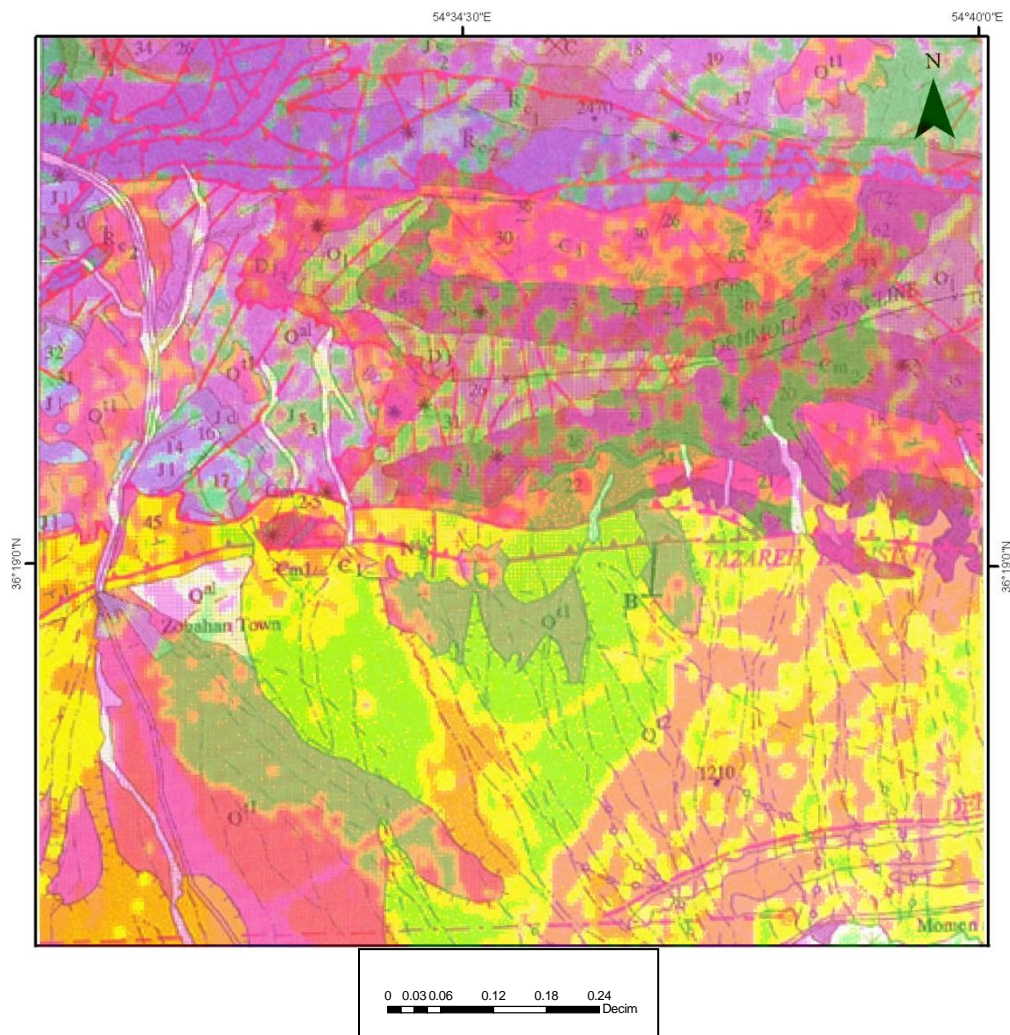
برای راحتی کار، آمادگی جهت آزمایش روش‌های مختلف بر روی این نمونه‌ها و عدم نیاز به کاربر برای انتخاب مجدد ناحیه‌های نمونه، مختصات پیکسلی این ناحیه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید. با داشتن این مختصات، امکان انجام اعمال ریاضی و ماتریسی بر روی باندهای مختلف این تصاویر در نرم‌افزار MATLAB فراهم گردید. بنابراین، آزمایش روش‌های مختلف جهت استخراج بردارهای ویژگی و آموزش ماشین بردار پشتیبان با استفاده از آن‌ها بسیار ساده‌تر و با صرف زمان بسیار کمتری انجام گرفت.

1. Saturated

در راه کار اول، همانطور که گفته شد، هر نمونه انتخابی توسط کاربر ابتدا به لایه‌های R، G و B تشکیل دهنده تفکیک می‌گردد. این لایه‌ها به ترتیب حاوی اطلاعات باندهای ۷، ۴ و ۱ هستند. سپس هر یک از این لایه‌ها مورد سه مرحله تجزیه‌ی موجک قرار می‌گیرد تا ۲۷ تصویر جزئیات مانند تصاویر توصیف شده بالا حاصل شود. پس از آن، ۲۲ ویژگی هارالیک مهم این تصاویر استخراج شده و بردار نتیجه که شامل ۵۹۴ ویژگی است به ماشین بردار پشتیبان داده می‌شود. نتایج حاصل از این روش در شکل ۴-۱۰ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۴-۱۱، نتایج بدست آمده بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه انداخته شده است تا بهتر بتوان در مورد تصویر بدست آمده قضاوت نمود.



شکل ۴-۱۰ نتیجه‌ی تشخیص با استفاده از اعمال تجزیه موجک بر روی هر سه لایه‌ی تصویر



شکل ۴-۱۱ مقایسه‌ی نتیجه‌ی حاصله با تصویر زمین‌شناسی منطقه زغالی البرز شرقی

همان‌گونه که در شکل ۴-۱۱ مشخص است، در این روش با وجود آنکه تعداد ویژگی‌های استخراج شده برای هر منطقه سنگ‌شناسی قابل ملاحظه است، نتایج تشخیص قابل قبول نیست. با توجه به تعدد ناحیه‌های بسیار کوچکی که در تصویر در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و به اشتباه به کلاس‌های مختلف تخصیص داده شده‌اند، می‌توان حدس زد که ماشین بردار پشتیبان با ازدیاد تعداد ویژگی‌ها، اشباع شده و توانایی تشخیص درست خود را از دست داده است.

از آنجایی که مشکل اشباع ماشین در حال آموزش، یک پدیده شناخته شده در مسائل مربوط به یادگیری ماشین^۱ است، تا کنون راه‌حل‌های مختلفی برای رفع آن پیشنهاد شده است. نتیجه‌ای که در نهایت، تمامی این راه‌حل‌ها در پی آن هستند، کاهش تعداد ویژگی‌های استخراجی است به‌ترتیبی که اثر منفی بر روی جواب نهایی تشخیص ایجاد نشود. به زبان دیگر، در تمامی این روش‌ها به گونه‌ای تلاش می‌شود تا ویژگی‌های تاثیرگذار بر روی نتیجه‌ی تشخیص انتخاب شوند.

برای کاهش تعداد ویژگی‌ها به نحو مؤثر، ویژگی‌هایی که در اغلب کلاس‌ها مشترک بوده و عموماً باعث تخصیص داده‌ی جدید به یک کلاس خاص نمی‌شوند، می‌بایست حذف گردند. همچنین ویژگی‌هایی که در کلاس‌های مختلف، دارای مقادیر بسیار نوسانی و ناهمگون هستند نیز در نظر گرفته نمی‌شوند. این روش‌ها با توجه به وظیفه‌ای که بر عهده دارند، روش‌های انتخاب ویژگی^۲ نامیده می‌شوند.

حدس دوم در مورد تشخیص نادرست ماشین بردار پشتیبان این است که ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۷ برای تشخیص مناطق سنگ‌شناسی ترکیب مناسبی نیست یعنی این باندها حاوی اطلاعات کافی جهت تمییز واحد-های مختلف سنگ‌شناسی نیستند. از آنجایی که در منابعی مانند (Ali et al, 2012) از این باندها جهت تشخیص واحدهای سنگ‌شناسی استفاده شده است، احتمال بیشتری وجود داشت که ماشین به علت تعدد داده‌های آموزشی اشباع شده باشد.

جهت آزمایش و رفع ایراد ماشین در تشخیص مناطق سنگ‌شناسی لازم است تعداد داده‌های ورودی کاهش یابد. روش انتخابی که به سرعت، قابل پیاده‌سازی بوده و داده‌های ارسالی به ماشین بردار پشتیبان را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهد تبدیل تصویر رنگی به تصویر طیف خاکستری است. توضیح این روش در زیر آمده است.

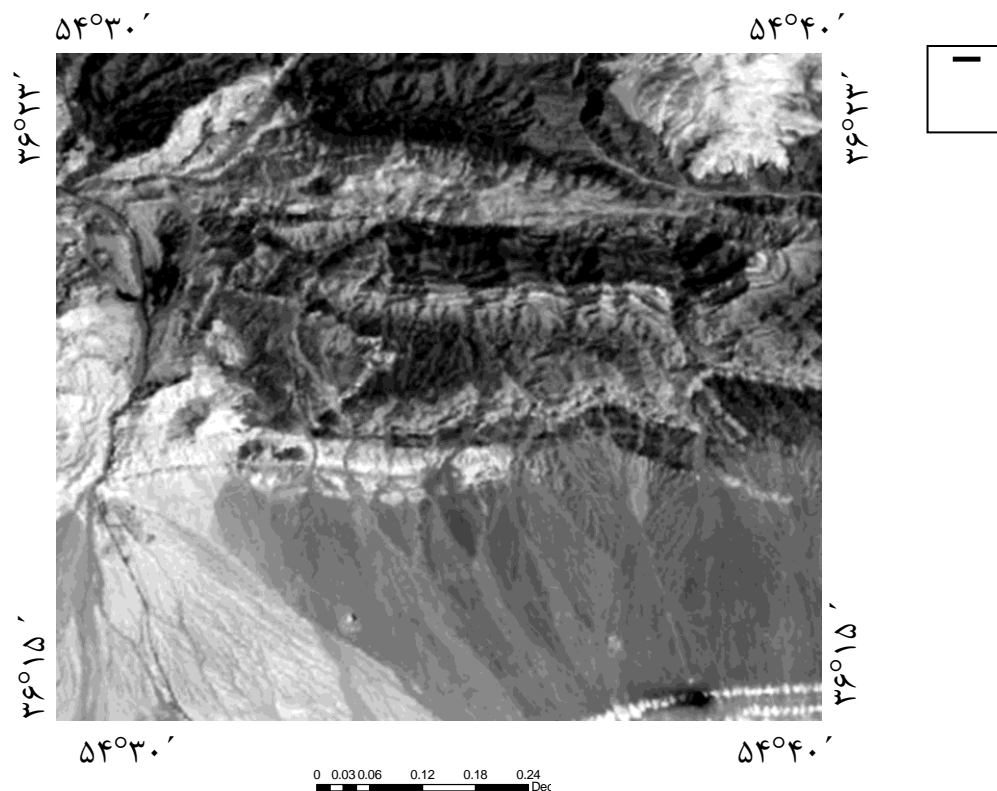
1. Machine Learning

2. Feature Selection

در این روش، با استفاده از تابع Grayscale در نرم‌افزار MATLAB، تصویر رنگی شامل سه لایه R، G و B به یک تصویر سیاه و سفید تبدیل می‌گردد. با استفاده از این تابع، به صورت پیش‌فرض لایه‌های قرمز، سبز و آبی به ترتیب با نسبت $0.299/0.587/0.114$ ، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. تصویر حاصل، تصویری است که تنها شامل طیف خاکستری است. در این تصویر، مقدار صفر نمایش دهنده رنگ سیاه و مقدار ۲۵۵ نمایشگر رنگ سفید است. با توجه به اینکه این لایه‌ها به ترتیب نماینده باندهای ۷، ۴ و ۱ هستند، بنابراین تصویر خاکستری حاصل نیز نماینده ترکیب این باندها با همین نسبت خواهد بود. این ترکیب در رابطه (۱-۴) نمایش داده شده است.

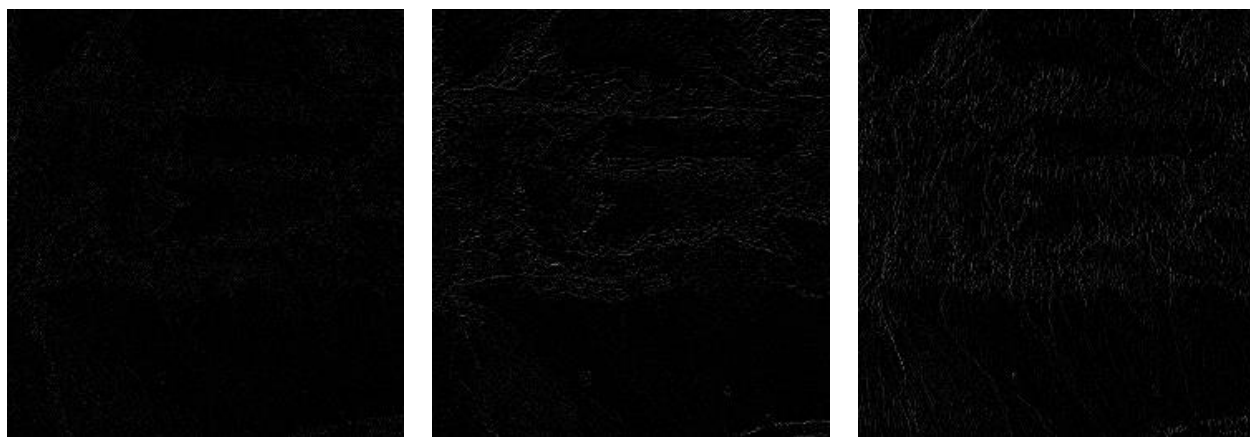
$$\text{Pixel Value} = 0.299 * \text{Band7} + 0.587 * \text{Band4} + 0.114 * \text{Band1} \quad (1-4)$$

تصویر طیف خاکستری^۱ بدست آمده از این ترکیب در شکل ۴-۳۰ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۲ تصویر طیف خاکستری حاصل از رابطه ۱-۴

با اعمال سه مرحله تجزیه‌ی موجک بر روی تصویر شکل ۴-۱۲، تعداد نه تصویر جزئیات بدست می‌آید که در شکل‌های ۴-۱۳ الف-ج نمایش داده شده‌اند. شکل‌های ۴-۱۳ الف، ۴-۱۳ ب و ۴-۱۳ ج به ترتیب جزئیات عمودی، افقی و قطری مرحله‌ی اول تجزیه‌ی موجک تصویر طیف خاکستری شکل ۴-۱۲ را نمایش می‌دهند.



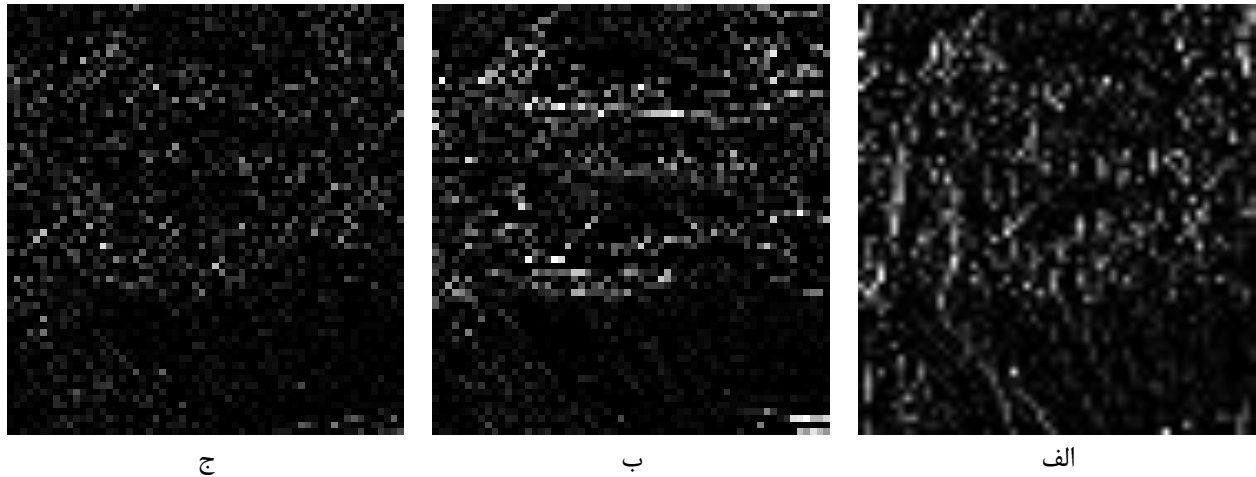
شکل ۴-۱۳ تصویر Grayscale، تجزیه‌ی مرحله اول، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

شکل‌های ۴-۱۴ (الف، ب و ج) مانند نمونه‌ی مطرح شده در بالا، تصاویر حاصل از مرحله‌ی دوم تجزیه‌ی موجک تصویر منطقه‌ی مورد مطالعه را نمایش می‌دهند.



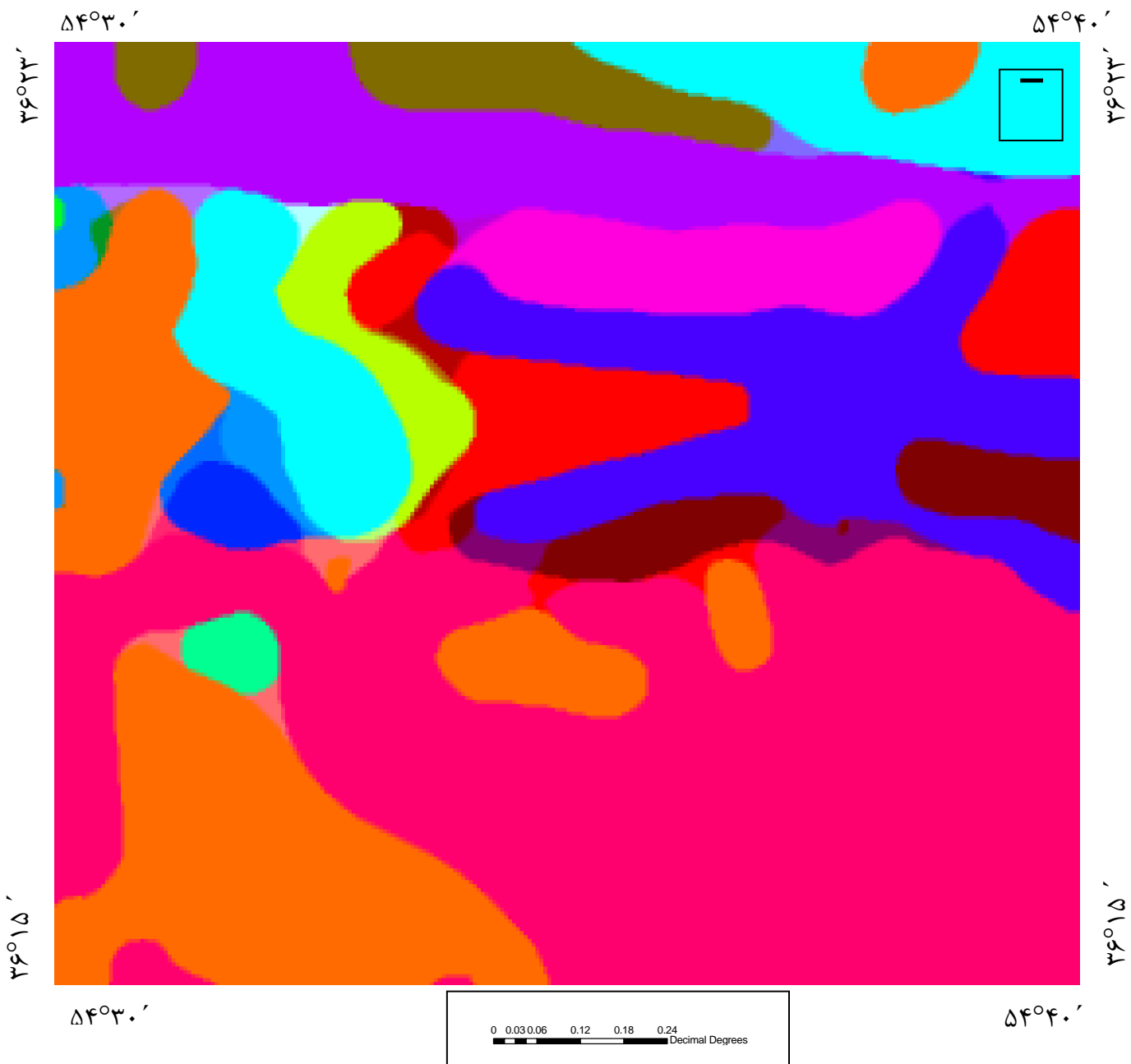
شکل ۴-۱۴ تصویر Grayscale، تجزیه مرحله دوم، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

تصاویر جزئیات مربوط به مرحله‌ی سوم تبدیل موجک نیز در شکل‌های ۴-۱۵ (الف، ب و ج) نمایش داده شده-
اند.



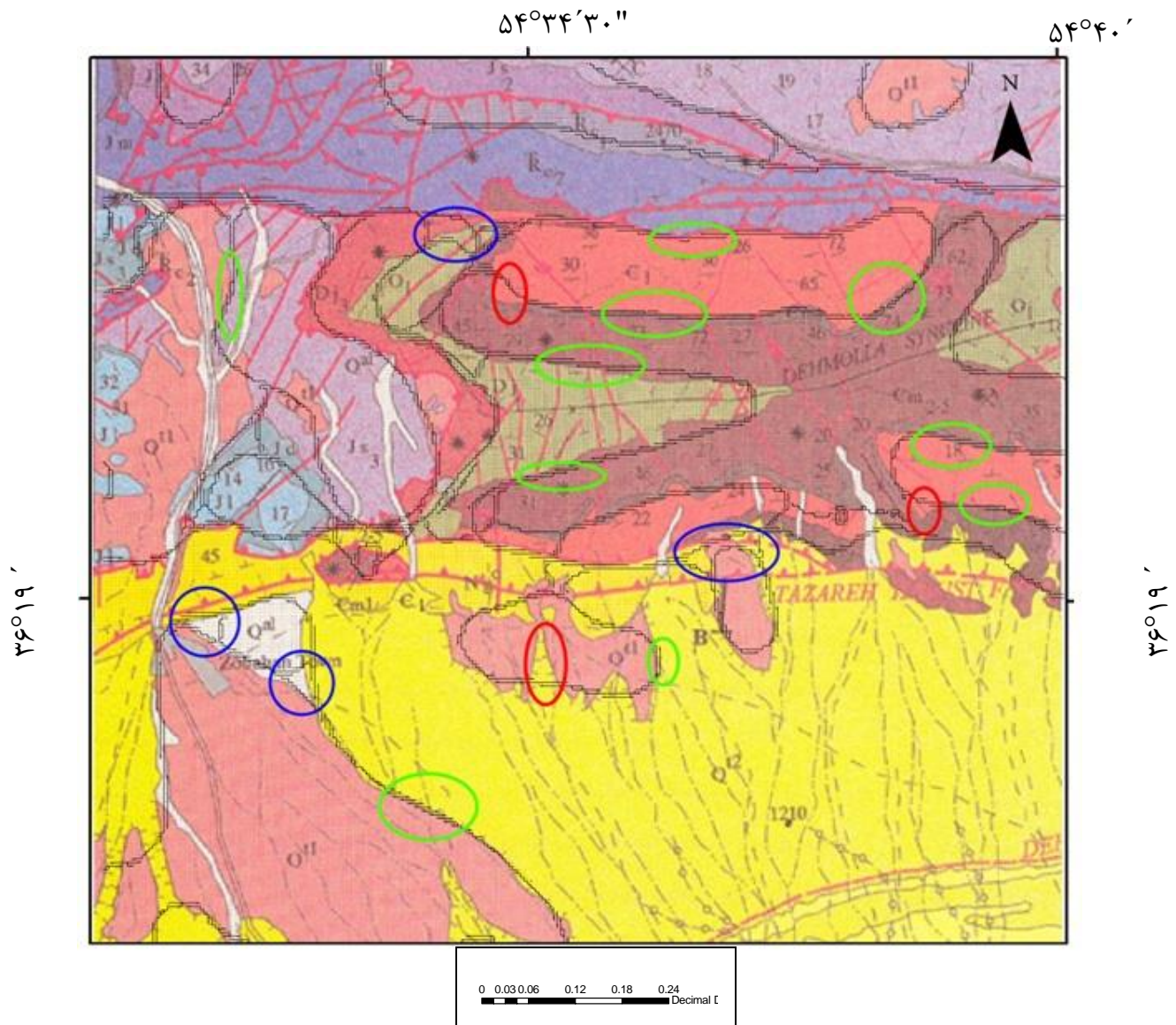
شکل ۴-۱۵ تصویر Grayscale، تجزیه‌ی مرحله سوم، الف- جزئیات عمودی، ب- جزئیات افقی، ج- جزئیات قطری

مانند روش توضیح داده شده، با اعمال تجزیه موجک بر روی تصاویر نمونه کلاس‌ها و استخراج ویژگی‌های هارالیک از تصاویر جزئیات بدست آمده، به ازای هر نمونه، یک بردار با ۱۹۸ ویژگی بدست می‌آید. با استفاده از این بردارها، ماشین بردار پشتیبان، آموزش داده می‌شود. نتیجه‌ی حاصل از این روش در شکل ۴-۱۶ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۶ نتیجه تشخیص مناطق سنگ‌شناسی با استفاده از تصویر طیف خاکستری

همان‌طور که در شکل ۴-۱۶ مشاهده می‌گردد نتیجه‌ی این روش بسیار رضایت‌بخش بوده و مناطق زمین‌شناسی با کمترین نویز و اعوجاج تشخیص داده شده‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که ماشین از حالت اشباع به طور کامل خارج شده است و تعداد مناسبی از داده‌های نمونه را دریافت نموده است. برای مقایسه‌ی بهتر، لبه‌های موجود از این تصویر توسط الگوریتم Canny استخراج شده و بر روی تصویر زمین‌شناسی این منطقه انداخته شده است. نتیجه جهت مقایسه در شکل ۴-۱۷ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۷ مقایسه‌ی نتیجه‌ی بدست آمده با تصویر زمین‌شناسی منطقه زغالی البرز شرقی

در تصویر بالا مرزهایی که توسط الگوریتم به خوبی تشخیص داده شده است با دایره سبز رنگ و مرزهایی که به اشتباه کشیده شده‌اند با دایره قرمز رنگ مشخص شده‌اند. با بررسی این تصویر مشخص می‌گردد که این الگوریتم، مرز مناطق را به صورت نرم و هموار شده مشخص می‌نماید. در مرزهای تشخیصی توسط متد، خطوط شکسته و تغییر زوایای ناگهانی دیده نمی‌شود. دلیل این امر می‌تواند استفاده از پنجره‌های پنج پیکسلی جهت ناحیه‌بندی تصویر باشد. به علت استفاده از پنجره‌ها، تشخیص تغییر جنس ناحیه‌ها در فاصله‌ای کمتر از طول و عرض این پنجره‌ها برای الگوریتم دشوار شده است، به همین دلیل مرزهایی که دارای زوایای تند هستند عموماً از دید الگوریتم مخفی مانده و تشخیص داده نشده‌اند.

در برخی از مناطق تصویر ماهواره‌ای ورودی، سایه‌های سازندهای مجاور به چشم می‌خورند. از آنجایی که باند اول، باند طیف نور مرئی است، این سایه‌ها بیشترین تاثیر را بر روی این باند می‌گذارند. وجود سایه‌ی این سازندها بر روی تصویر، باعث شده است که مرزهای تشخیصی در برخی مناطق با کمی اعوجاج همراه باشد، همچنین باعث شده‌اند تا چندین منطقه سنگ‌شناسی کوچک، همجوار با مرزهای واقعی تشخیص داده شوند که در واقع وجود خارجی ندارند. تعدادی از این مناطق در شکل ۴-۱۷ به رنگ آبی نمایش داده شده‌اند. در عین حال، در قسمت‌هایی که مرزهای هموار و صاف وجود داشته است الگوریتم به خوبی موفق به تشخیص مرز مناطق سنگ‌شناسی شده است.

۴-۳ ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر

تصاویر خروجی از تبدیل موجک دارای تمرکز انرژی بهینه در فضا و حوزه فرکانس می‌باشند که این امر باعث سهولت استخراج ویژگی از آن‌ها می‌شود. برای استخراج ویژگی‌ها از تصاویر، ابتدا ماتریس وقوع همزمان طیف خاکستری^۱ تصاویر محاسبه شده و سپس با استفاده از آن، ویژگی‌های هارالیک استخراج می‌گردند. لیست ۲۲

1. Gray-Level Co-occurrence Matrix

ویژگی استخراج شده از تصویر در جدول ۴-۱ آمده است.

جدول ۴-۱ لیست ویژگی‌های هارالیک استخراج شده

#	ویژگی‌های استخراج شده	#	ویژگی‌های استخراج شده
۱	هموژنیتی ^۱	۱۲	کنتراست
۲	هم بستگی	۱۳	آنتروپی تفاضل
۳	عدم تجانس ^۲	۱۴	واریانس تفاضل
۴	برجستگی خوشه ^۳	۱۵	بیشترین احتمال
۵	معکوس تفاضل لحظه‌ای نرمال شده ^۴	۱۶	مجموع واریانس
۶	اندازه‌گیری اطلاعات هم‌بستگی (۱)	۱۷	مجموع مربعات واریانس
۷	مجموع آنتروپی	۱۸	خود-هم بستگی
۸	معکوس تفاضل نرمال شده ^۵	۱۹	انحراف معیار
۹	اندازه‌گیری اطلاعات هم‌بستگی (۲)	۲۰	واریانس
۱۰	انرژی	۲۱	سایه خوشه ^۶
۱۱	آنتروپی	۲۲	مجموع میانگین

با پیاده‌سازی الگوریتم‌های انتخاب ویژگی می‌توان تعدادی از این ویژگی‌های لیست شده را حذف نمود و با کاهش خطر اشباع، ظرفیت ماشین بردار پشتیبان را بدون آنکه تاثیر منفی بر روی نتیجه کار داشته باشد، بالا برد. با افزایش ظرفیت ماشین می‌توان تعداد کلاس‌های بیشتری را به ماشین آموزش داد، به زبان دیگر می‌توان به بررسی و پردازش تصاویر بزرگ‌تر پرداخت.

1. Homogeneity
2. Dissimilarity
3. Cluster Prominence
4. Inverse Different Moment Normalized
5. inverse different normalized
6. Cluster Shade

با افزایش ظرفیت ماشین می توان تعداد کلاس های بیشتری را به ماشین آموزش داد، به زبان دیگر می توان به بررسی و پردازش تصاویر بزرگ تر پرداخت. در جدول ۴-۲ تعدادی از مقادیر استخراج شده برای ۱۳ کلاس مختلف آمده است.

جدول ۴-۲ نمونه ویژگی های استخراجی هارالیک (۱۰ ویژگی برای ۱۳ کلاس آموزش داده شده)

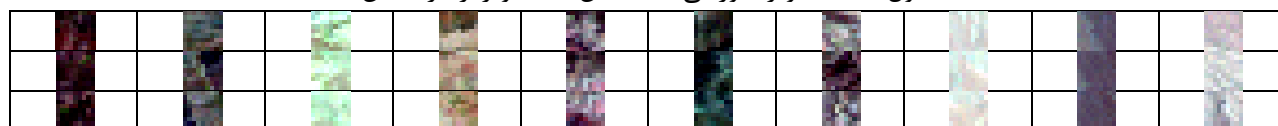
autoc	contr	corrmm	corrpp	cprom	cshad	dissi	energ	entro	homom
21.328571	18.116666	18.839285	17.400000	16.516666	12.375000	15.442857	19.133333	16.803571	14.714285
21.880000	17.108974	18.686666	17.194285	19.166666	17.560000	21.714285	20.557692	23.813333	20.160000
25.939393	18.166666	20.872727	10.454545	13.966666	12.472727	13.439393	12.266666	15.418181	12.893939
17.835164	14.571428	14.269230	23.384615	28.000000	23.974358	16.736263	14.845238	18.641025	15.978021
18.500000	13.775000	14.800000	19.976190	27.925000	20.971428	23.000000	24.800000	30.000000	17.500000
18.733333	19.666666	17.520000	10.333333	8.000000	7.160000	13.366666	4.966666	7.440000	21.233333
20.789968	14.813333	14.889655	16.401253	17.820000	16.034482	12.846394	12.716666	14.972413	15.746081
17.992610	16.374358	17.647214	18.046798	22.246153	19.692307	15.864532	17.928205	19.328912	20.642857
11.500000	15.000000	15.000000	24.100000	33.666666	19.200000	5.900000	13.833333	5.200000	29.400000
5.083333	9.750000	4.888888	6.250000	10.333333	11.111111	15.000000	10.916666	18.111111	28.583333

برای کاهش اثر مقادیر بزرگ در ماتریس ویژگی ها، ویژگی های استخراج شده باید نرمالایز شوند. روش های استفاده شده برای اعمال تبدیل های نرمال ساز در مقاله بک و همکاران توضیح داده شده است (Becq et al, 2005). در این مقاله نشان داده شده است که برخی از این تبدیل ها موجب بهبود نتایج طبقه بندی می شوند. برای جلوگیری از محو شدن اثر مقادیر کوچک توسط مقادیر بزرگ در مرحله انتخاب ویژگی هریک از ویژگی ها درباره [۰،۱] نرمال شدند (Aksoy and Haralick, 2001).

۴-۴ تصاویر آزمودنی و آموزش داده شده

در جدول ۴-۳ تصاویر استفاده شده برای آموزش ماشین بردار پشتیبان نمایش داده شده اند. از هر منطقه سنگ شناسی موجود در تصویر، سه نمونه تصویر ۹×۹ پیکسل برداشته شده است. سائز این نمونه ها به گونه ای انتخاب شده است که شامل تعداد پیکسل های مناسبی جهت تشخیص بافت باشند.

جدول ۳-۴ تصاویر آموزشی ۱۰ کلاس (۳ تصویر از هر کلاس)



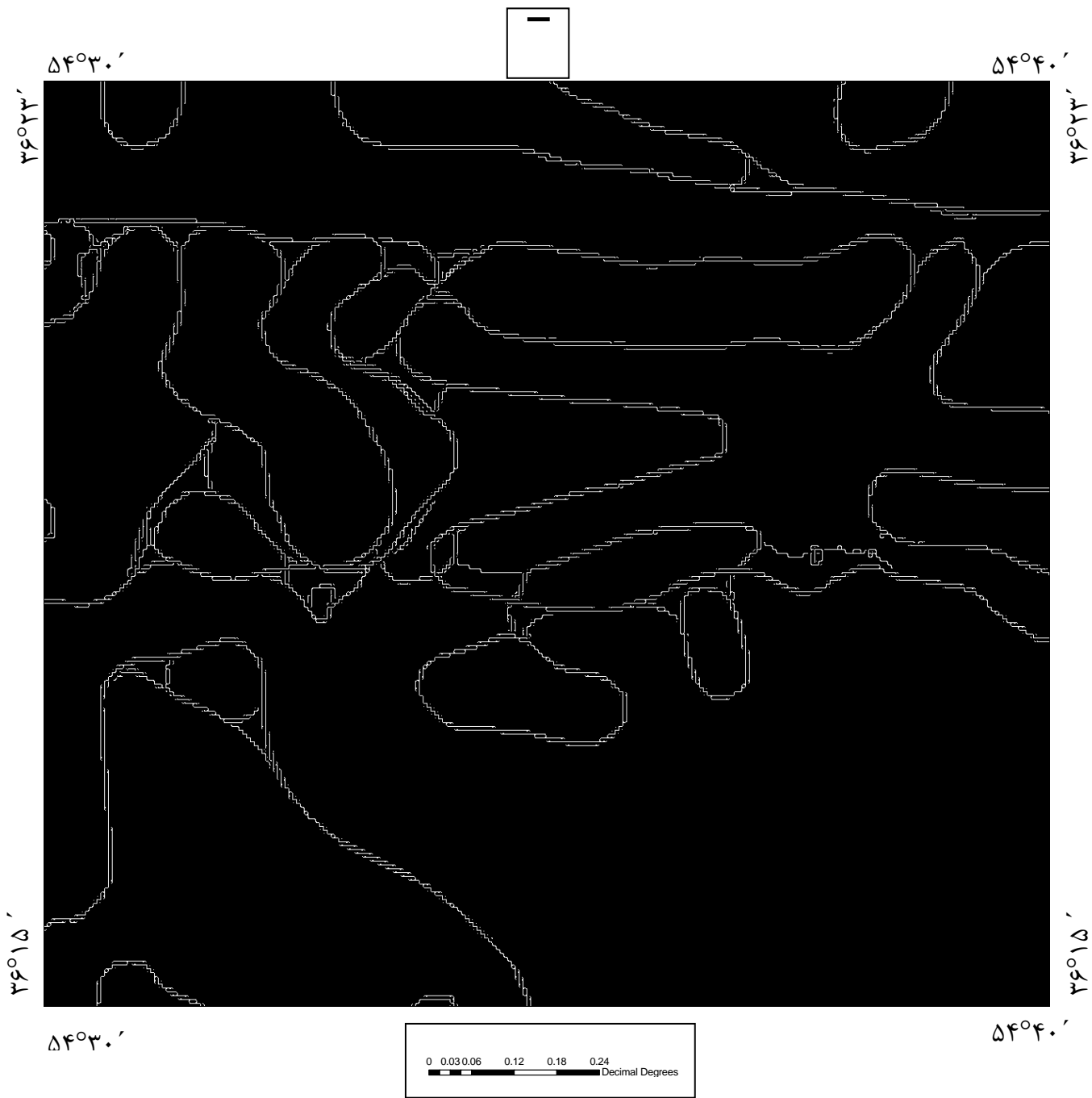
برای تشخیص مناطق سنگ‌شناسی، تصویر آزمودنی به پنجره‌های کوچک تقسیم شده و این پنجره‌های کوچک پس از اعمال تجزیه‌ی موجک و استخراج ویژگی به بردارهای ویژگی متناظر خود تبدیل می‌شوند. سپس بردار ویژگی‌های بدست آمده جهت تشخیص به ماشین بردار پشتیبان ارسال می‌شوند. ماشین بردار پشتیبان با توجه به کلاس‌ها و بردارهای ویژگی مختلفی که به آن آموزش داده شده است، مشخص می‌نماید که هر کدام از پنجره‌ها به کدام کلاس تعلق دارد.

از کنار هم قرار دادن این پنجره‌ها، تصویری پردازش شده از تصویر اولیه ساخته می‌شود که در آن هر یک از مناطق با یک شماره یکتا (شماره کلاس تخصیص داده شده از طرف ماشین بردار پشتیبان) مشخص شده است. در نرم‌افزار MATLAB این تصاویر با نام تصاویر برچسب^۱ شناخته می‌شوند. این نرم‌افزار به کاربر این قابلیت را می‌دهد تا این تصاویر را به صورت رنگی نمایش دهد به این ترتیب که به نقاطی از تصویر که با شماره یکسان علامت‌گذاری شده‌اند، رنگی یکتا اختصاص داده و سپس تصویر را با این رنگ‌های نمایش می‌دهد.

۴-۵ تصویر لبه‌یابی شده

در نهایت، پس از بدست آمدن نتیجه نهایی تشخیص، لبه‌های تصویر که در واقع نمایان‌گر مرزهای سنگ‌شناسی هستند با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی Canny استخراج شده‌اند. نتیجه اعمال این الگوریتم بر روی شکل ۴-۱۶ در شکل ۴-۱۸ قابل مشاهده است.

1. Label Images



شکل ۴-۱۸ نتیجه اعمال الگوریتم **Canny** روی تصویر مناطق سنگ‌شناسی تشخیص داده شده

۴-۶ تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی

در این روش، بدست آوردن نتیجه با سرعت بسیار بالا و بدون نیاز به حضور کاربر در نظر بوده است. در این روش کاربر نیازی به انتخاب نمونه‌های آموزشی ندارد و خروجی تماماً به صورت خودکار و با سرعت بسیار بالا تولید می‌شود.

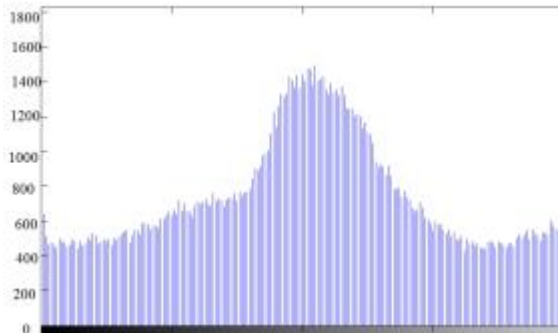
تفاوت این روش با روش قبلی این است که در روش قبل، کاربر با آموزش واحدهای مختلف سنگ‌شناسی به ماشین بردار پشتیبان این توانایی را به ماشین می‌داد که علاوه بر تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی، نوع این واحدها را نیز تشخیص دهد؛ در صورتی که در روش دوم، الگوریتم خوشه‌بندی k داده (k -means) توانایی تشخیص نوع واحدهای سنگ‌شناسی را ندارد و تنها کاری که انجام می‌دهد این است که کل پیکسل‌های موجود در تصویر را با توجه به مشخصات و ویژگی‌های آن‌ها به k دسته تقسیم‌بندی می‌نماید. پس از تقسیم‌بندی تمامی پیکسل‌های تصویر، واحدهای سنگ‌شناسی مختلف با رنگ‌های متفاوت از یکدیگر تفکیک شده و مرز بین آن‌ها به راحتی قابل تشخیص خواهد بود. سپس می‌توان با استفاده از الگوریتم Canny مرز واحدهای سنگ‌شناسی را رسم نمود.

۴-۶-۱ استفاده از تعدیل هیستوگرام

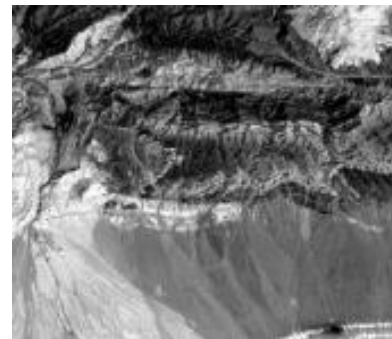
به این علت که در روش دوم، تفکیک به صورت خودکار و با توجه به تفاوت بین رنگ پیکسل‌ها انجام می‌شود، افزایش تمایز بین رنگ پیکسل‌ها می‌تواند تاثیر بسزایی در تفکیک واحدها داشته باشد. برای دستیابی به این مهم می‌توان از روش‌های افزایش کنتراست^۱ استفاده نمود. یکی از این روش‌ها که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعدیل هیستوگرام است. هیستوگرام، نمودار میله‌ای فراوانی شدت نورهای مختلف موجود در تصویر است.

1. Contrast

به این معنی که اگر شدت نورهای موجود در تصویر را ۲۵۵ سطح در نظر بگیریم، نمودار دارای ۲۵۵ میله خواهد بود که بلندی هر میله نمایشگر تعداد پیکسل‌های موجود با شدت نور مربوطه است. تصویر منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۴-۱۹-الف و هیستوگرام آن در شکل ۴-۱۹-ب نشان داده شده است.



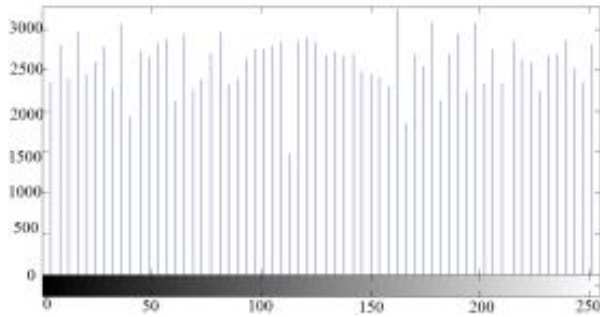
شکل ۴-۱۹-ب هیستوگرام عادی



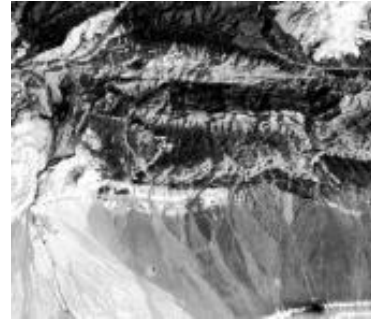
شکل ۴-۱۹-الف تصویر عادی منطقه

با توجه به شکل ۴-۱۹-ب می‌توان متوجه شد که فراوانی پیکسل‌های با شدت نور متفاوت، به طور یکنواخت در تصویر گسترده نشده‌اند و غالب پیکسل‌ها دارای شدت نور متوسط و نزدیک به هم هستند و اختلاف نور اندکی با یکدیگر دارند.

با استفاده از تابع تعدیل هیستوگرام در نرم‌افزار MATLAB، فراوانی پیکسل‌ها در طول نمودار گسترده شده و اختلاف شدت نور پیکسل‌ها به حداکثر می‌رسد. تصویر نتیجه‌ی اعمال این تابع بر روی منطقه مورد مطالعه در شکل ۴-۲۰-الف و نمودار هیستوگرام آن در شکل ۴-۲۰-ب قابل مشاهده است.



شکل ۴-۲۰-ب هیستوگرام تعدیل شده



شکل ۴-۲۰-الف تصویر تعدیل شده منطقه

با مقایسه نمودار شکل ۴-۲۰-ب و شکل ۴-۱۹-ب به وضوح می‌توان درک کرد که گستردگی شدت نور در تصویر بیشتر شده است. نتیجه این پراکندگی بیشتر، افزایش اختلاف، بین شدت نور پیکسل‌ها است که با مقایسه شکل‌های ۴-۱۹-الف و ۴-۲۰-الف به خوبی قابل مشاهده است.

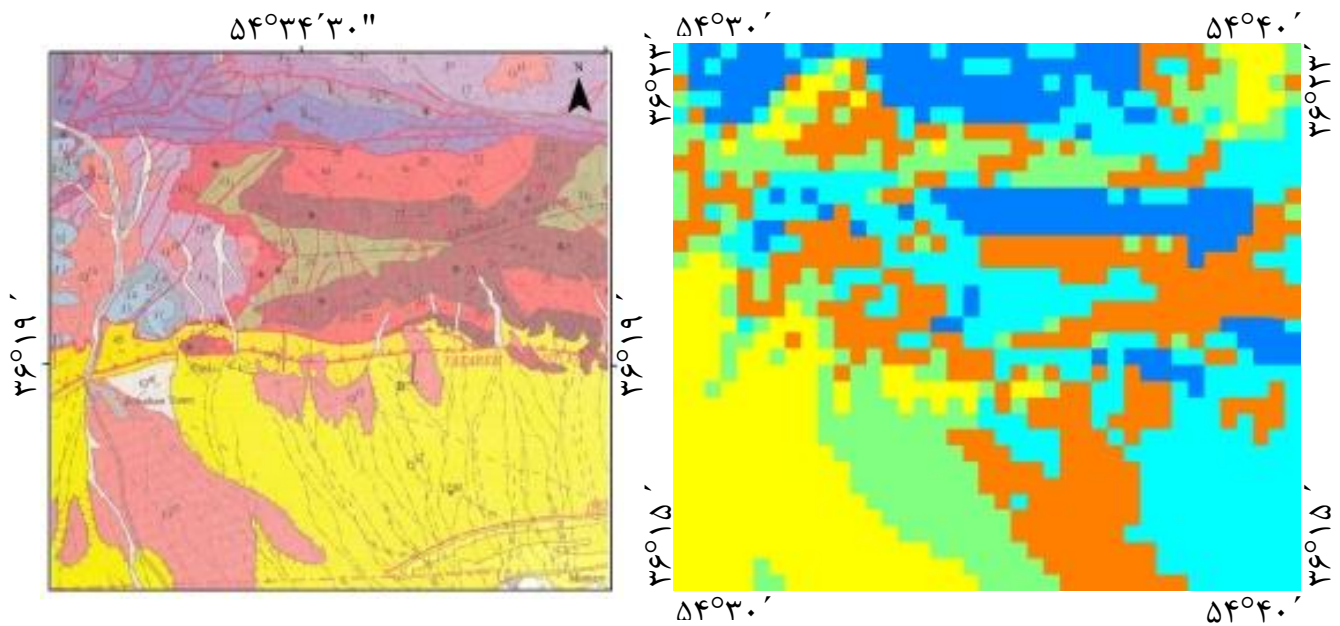
در استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی^۱ نکته‌ی مورد توجه این است که نقاط با توجه به فاصله‌ی ویژگی‌های آن‌ها با مراکز خوشه‌ها دسته‌بندی می‌شوند. بنابراین هرچه فاصله نقاط از یکدیگر بیشتر باشد، کلاس‌بندی آن‌ها کار ساده‌تری خواهد بود و نتیجه‌ی بهتری را نیز به همراه خواهد داشت.

۴-۶-۲ اعمال الگوریتم k-means

برای آماده‌سازی تصویر جهت ارسال به الگوریتم k-means، ابتدا تصویر به پنجره‌های 11×11 پیکسل تقسیم‌بندی شد. سپس با پشت سر هم قرار دادن مقادیر پیکسل‌های این پنجره‌ها برای هر پنجره یک آرایه خطی با ۱۲۱ درایه ایجاد گردید. در نهایت هر یک از این آرایه‌ها برای دسته‌بندی به الگوریتم k-means ارسال می‌شوند. این الگوریتم در ازای هر آرایه، شماره دسته تخصیصی آن را برمی‌گرداند که در تصویر نهایی هر یک از این اعداد با یک رنگ یکتا مشخص شده‌اند.

چنانچه تصویر آزمودنی بدون این چیدمان پنجره‌ای و به صورت پیکسل به پیکسل به الگوریتم k-means ارسال می‌شد، این الگوریتم تنها با توجه به شدت نور یک پیکسل و بدون توجه به همسایگی، آن را به یک دسته خاص تخصیص داده و باعث ایجاد نویز بسیار زیاد در تصویر خروجی می‌شد. همچنین به علت عدم بررسی پیکسل‌های کناری، خطای روش بالا می‌رفت.

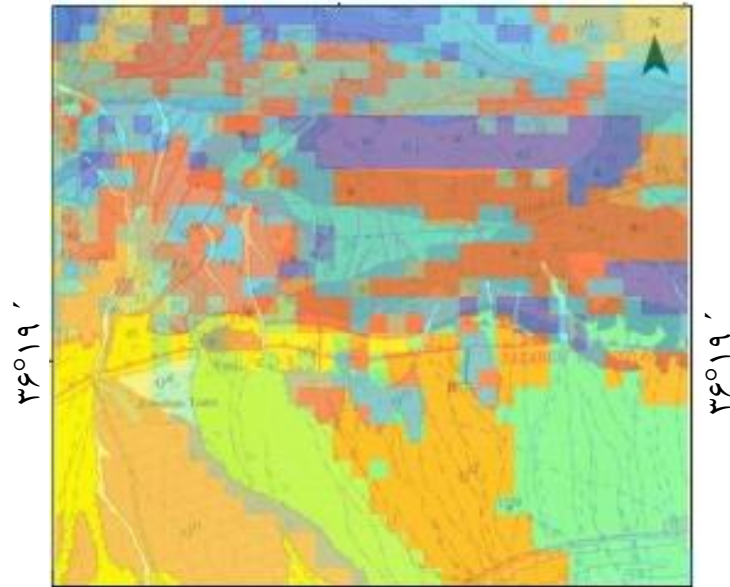
شکل ۴-۲۱-الف نشان‌دهنده تصویر خروجی برنامه است که در آن هر یک از واحدهای سنگ‌شناسی با یک رنگ منحصر به فرد مشخص شده‌اند. مدت زمان صرف شده برای به دست آوردن این خروجی ۱/۴ ثانیه می‌باشد. این زمان به میزان قابل ملاحظه‌ای کوتاه است و این مسئله از مزایای این روش می‌باشد. شکل ۴-۲۱-ب تصویر نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد. از روی هم قرار دادن این دو تصویر شکل ۴-۲۱-ج نتیجه می‌شود.



شکل ۴-۲۱-ب تصویر زمین‌شناسی موجود منطقه

شکل ۴-۲۱-الف نتیجه اعمال k-means

۵۴°۳۴'۳۰"



شکل ۴-۲۱-ج تصویر حاصل از روی هم انداختن شکل‌های ۴-۲۱-الف و ۴-۲۱-ب

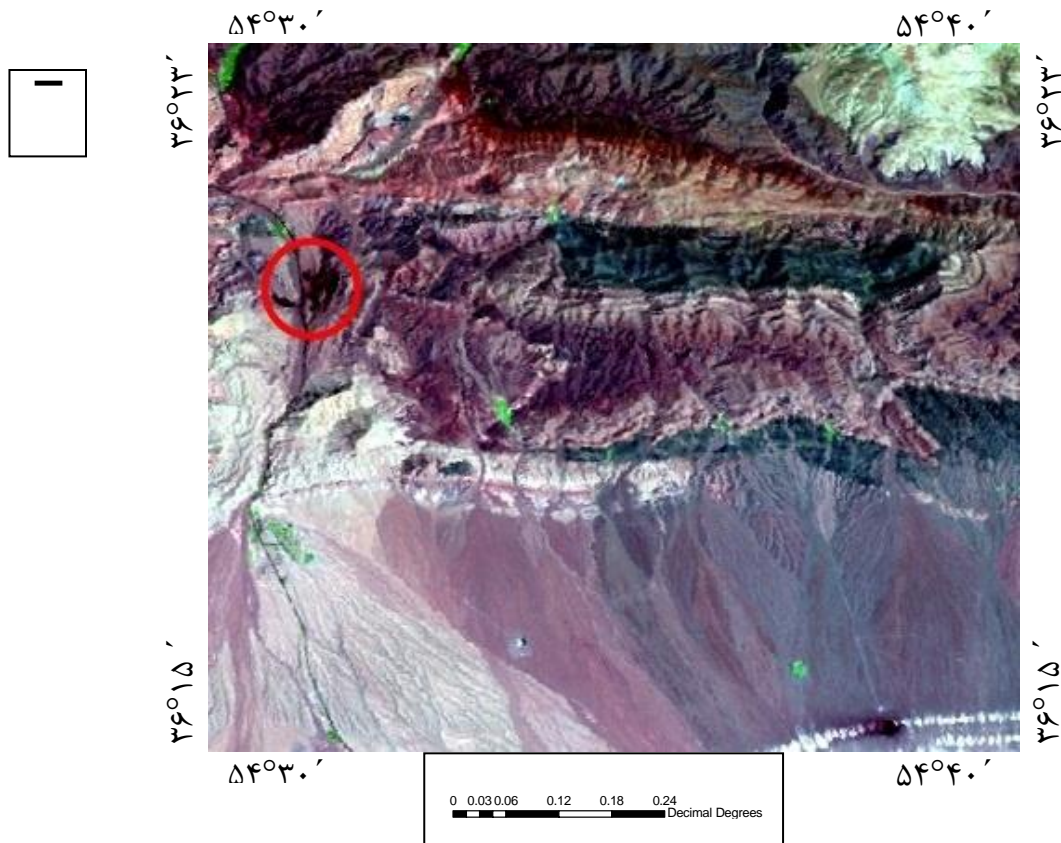
همان‌گونه که در شکل ۴-۲۱-ج مشاهده می‌شود نیمی از مناطق به درستی و سایر نواحی با مقداری نویز و تداخل مشخص شده‌اند. علی‌رغم اینکه خاتمه‌پذیری الگوریتم k-means تضمین شده است، جواب نهایی آن واحد نبوده و همواره جواب، بهینه نمی‌باشد. به طور کلی این روش دارای مشکلات زیر است:

- جواب نهایی به انتخاب خوشه‌های اولیه بستگی دارد.
- روالی مشخص برای محاسبه اولیه مراکز خوشه‌ها وجود ندارد.
- اگر در تکراری از الگوریتم تعداد داده‌های متعلق به خوشه‌ای صفر شد راهی برای تغییر و بهبود ادامه روش وجود ندارد.
- در این روش فرض شده که تعداد خوشه‌ها از ابتدا مشخص است اگرچه معمولاً در موارد زیادی از مسائل تعداد خوشه‌ها مشخص نمی‌باشد.

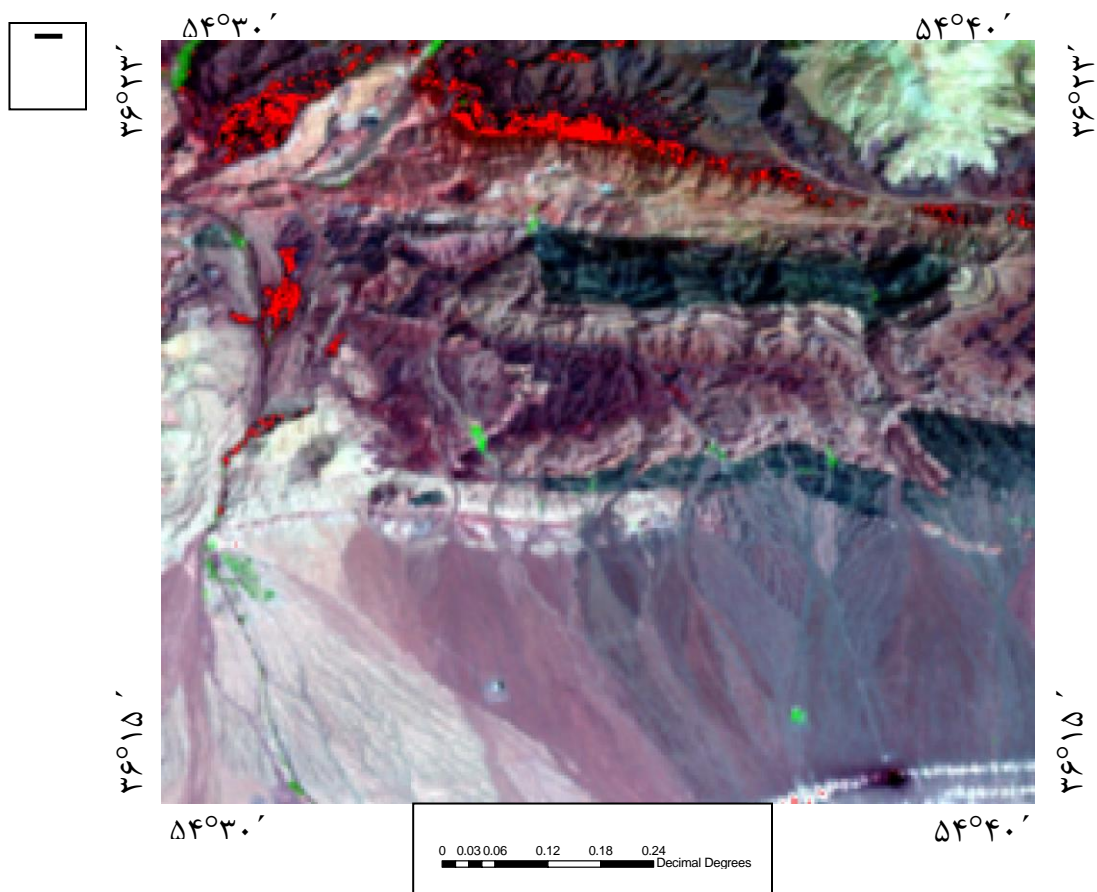
۷-۴ تشخیص مناطق آلودگی ناشی از شستشوی زغال در منطقه

همان گونه که گفته شد در روش استفاده شده در این تحقیق، این امکان وجود دارد تا با استفاده از چند نمونه‌ی کوچک از مناطق مختلف سنگ‌شناسی، ماشین بردار پشتیبان را آموزش داد تا بخش‌هایی از تصویر را که مشخصاتی شبیه به این نمونه‌ها دارند را تشخیص دهد. با استفاده از این قابلیت، می‌توان مناطق آلودگی زغال را به ماشین آموزش داد و انتظار داشت که ماشین مناطق آلودگی را از تصویر استخراج نماید.

در این تحقیق از باطله‌ی زغال موجود در تصویر که در شکل ۴-۲۲-الف با دایره قرمز رنگ مشخص شده است، چند نمونه ۹×۹ پیکسل برداشته و ماشین بردار پشتیبان با آن آموزش داده شد. سپس مانند روش توصیفی بالا، تصویر منطقه مورد مطالعه به ماشین بردار پشتیبان ارسال شد. نتیجه‌ی بدست آمده در شکل ۴-۲۲-ب نمایش داده شده است.



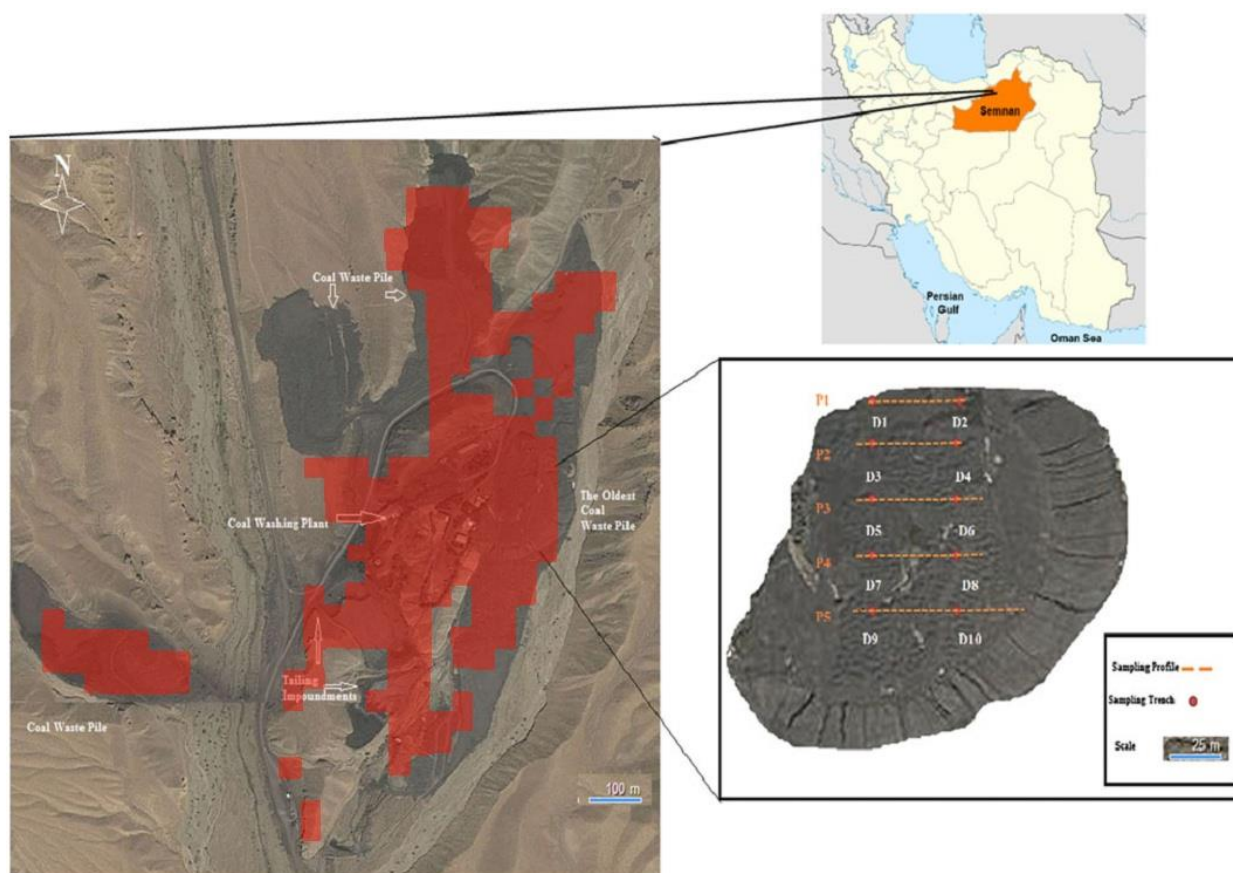
شکل ۴-۲۲-الف باطله‌ی زغال موجود در منطقه زغالی البرز شرقی که جهت آموزش ماشین بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۴-۲۲-ب نتیجه‌ی تشخیص مناطق آلودگی

در شکل ۴-۲۲-ب علاوه بر انباشته‌ی باطله‌ی زغال، مناطق آلوده‌ای در مسیر حمل و نقل منتهی به این انباشته تشخیص داده شده‌اند که بخشی از آن می‌تواند باطله‌های ناشی از حمل و نقل زغال در مسیر کارخانه زغال-شویی باشد. در شکل نشان داده شده است که الگوریتم پیشنهادی، قسمت‌هایی از کوهپایه‌های شمالی را که سایه‌ی سازندهای بالادست بر آن‌ها افتاده است، به عنوان مناطق آلوده به زغال تشخیص داده است. این مطلب نشان می‌دهد که الگوریتم در حذف مناطق اضافی تشخیص داده شده به خوبی عمل نکرده است. برای رفع این ضعف، این الگوریتم نیازمند دریافت اطلاعات بیشتری در مورد مشخصات تصویری آلودگی زغال است. به بیان دیگر، به نظر می‌رسد که اطلاعات موجود در باندهای ۱، ۴ و ۷ به تنهایی برای تشخیص آلودگی‌های ناشی از زغال‌شویی در منطقه کافی نیست.

همچنین لازم به توضیح است که وضوح تصویر ورودی (۲۸/۵ متر بر پیکسل)، تشخیص آلودگی‌هایی که مساحتی کمتر از این مقدار دارند را بسیار دشوار و حتی غیر ممکن ساخته است. بنابراین بسیاری از مناطق آلوده که سطوح کوچک‌تری را اشغال می‌نمایند، از دید تصویربردار ماهواره‌ای دور مانده‌اند. آلودگی‌های با وسعت بیشتر در تصویر قابل تشخیص بوده و غالباً نیز توسط الگوریتم تشخیص داده شده‌اند. انباشته زغال تشخیص داده شده در شکل ۴-۲۲-ب پس از بزرگنمایی بر روی تصویر آلودگی‌های منطقه بر گرفته از پژوهش جدیری شگری و همکاران (Jodeiri Shokri et al, 2013) انداخته شد. نتایج حاصل از روی هم انداختن این دو تصویر در شکل ۴-۲۳ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲۳ انطباق نتیجه‌ی اجرای الگوریتم و تصویر آلودگی‌های منطقه زغالی البرز شرقی (Jodeiri Shokri et al, 2013)

با توجه به شکل ۴-۲۳، می‌توان نتیجه گرفت که غالب سطح انباشته‌ی زغال، توسط الگوریتم پیشنهادی، شناسایی و تفکیک شده‌اند. برای بهبود این روش، لازم است تا راه حلی برای حذف مناطق اضافی تشخیص داده شده پیشنهاد گردد.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۵-۱ نتیجه گیری

- مزیت استفاده از تبدیل موجک، سرعت بالای پردازش و پاسخ‌دهی به علت کاهش چشمگیر حجم داده‌های پردازشی است.
- با نمونه‌برداری از واحدهای سنگ‌شناسی در تصاویر مختلف و تکمیل آموزش ماشین بردار پشتیبان، نیاز به کاربر متخصص، به مرور کاهش می‌یابد.
- ماشین بردار پشتیبان با بردار ویژگی‌هایی آموزش داده شد و هیچ نشانه‌ای از اشباع شدگی در ماشین دیده نمی‌شود.
- مدت زمان لازم برای اجرای برنامه و تشخیص کامل مرزهای تصویر با استفاده از تبدیل موجک و ماشین بردار پشتیبان چهار دقیقه و ۳۰ ثانیه است که به صورت قابل ملاحظه‌ای کوتاه است.
- روش ارائه شده برای تشخیص واحدهای سنگ‌شناسی، به تنهایی برای تشخیص نواحی آلودگی کافی نیست.
- با وجود اینکه غالباً مرزهای هموار به خوبی توسط الگوریتم شناسایی می‌گردند، تشخیص مرزها با زوایای بسیار تند و یا شکستگی‌ها برای الگوریتم دشوار است.
- استفاده از خوشه‌بندی k-means جهت یافتن محدوده واحدهای سنگ‌شناسی و مرزهای آن‌ها جوابگویی فوق‌العاده سریع دارد ولی قابلیت یادگیری و تشخیص واحدها مختلف سنگ‌شناسی را ندارد.
- مدت زمان لازم برای اجرای الگوریتم k-means و تشخیص کامل مرزها با این روش ۱/۴ ثانیه است که در نوع خود بی‌نظیر محسوب می‌شود.
- رسم مرزهای نواحی مشخص شده توسط این الگوریتم‌ها، اعمال نظر کاربر بر روی ترسیم مرزها را به حداقل می‌رساند.

۵-۲ پیشنهادات

- مطالعه در مورد یافتن موجک مادر بهینه جهت تجزیه موجک تصاویر پیشنهاد می‌شود.
- استفاده از روش MRMR در راستای انتخاب ویژگی از سری ویژگی‌های استخراج شده برای بهبود سرعت الگوریتم پیشنهاد می‌شود.
- استفاده از تجزیه موجک ایستا پیشنهاد می‌شود به این دلیل که این نوع موجک مانع از نصف شدن وضوح تصاویر در هر مرحله شده و نیاز به پنجره‌های ۵ پیکسلی را از بین می‌برد. نتیجه این کار، بهبود وضوح مرزهای تشخیصی و همچنین تقویت الگوریتم در تشخیص زوایای تند مرزها خواهد بود.
- افزایش تعداد تصاویر نمونه جهت آموزش ماشین بردار پشتیبان که قدرت تشخیص مناطق آلودگی را به شکل چشمگیری بالا می‌برد پیشنهاد می‌شود.

منابع

اداره کل آمار و فناوری اطلاعات. (۱۳۸۵). *سالنامه آماری هواشناسی*، ناشر سازمان هواشناسی کشور. (آمار هواشناسی مربوط به سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵).

دولتی ارده جانی ف، (۱۳۸۶). " *ارزیابی مشکلات زیست محیطی کارخانه زغالشویی البرز شرقی و ارائه راهکارهای کنترلی* "، گزارش مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران - یزد.

علوی پناه س.ک، (۱۳۸۸). " *اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی* "، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۲۴

قائدرحمتی ر، فتحیان پور ن، امیری ح، (۱۳۸۴). " *تفکیک واحدهای سنگی ناحیه ای ایران کوه اصفهان با استفاده از الگوریتم تهیهی تصاویر طبقه بندی شدهی داده های ماهواره ای ناحیه* "، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد دوم، شماره ۲ پاییز.

گروه تهیه گزارشات دفتر فنی اکتشافات. (۱۳۵۷). *اکتشافات تفصیلی منطقه زغالی پشکلات*، شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ص ۱۸۳.

مؤسسه ی جغرافیایی ایران، (۱۳۸۰). *اطلس راه های ایران*، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی

موسوی حرمی ر و محبوبی ا، (۱۳۷۵) " *مبانی تهیهی نقشه های زمین شناسی* "، شماره ی ۲۱۸، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ص ۴۲.

Aksoy, S., and Haralick, R. M. (2001). "Feature normalization and likelihood-based similarity measures for image retrieval". *Pattern Recognition Letters*, 22(5), 563-582.

Al Saud, M. (2008). "Using ASTER images to analyze geologic linear features in Wadi Aurnah basin, western Saudi Arabia." *Open Remote Sensing Journal 1*: 17-25.

Ali, E. A., El Khidir, S. O., Babikir, I. A. A., & Abdelrahman, E. M. (2012). "Landsat ETM+ 7 Digital Image Processing Techniques for Lithological and Structural Lineament Enhancement: Case Study Around Abidiya Area, Sudan". *Open Remote Sensing Journal*, 5.

Anderberg, M. R., (1973). "Cluster Analysis for Applications", *Academic Press, Inc., New York, NY*.

- Arabjamaloei, R., Edalatkhah, S., Jamshidi, E., Nabaei, M., Beidokhti, M., & Azad, M. (2011). "Exact lithologic boundary detection based on wavelet transform analysis and real-time investigation of facies discontinuities using drilling data". *Petroleum Science and Technology*, 29(6), 569-578.
- Battle, G. (1987). "A block spin construction of ondelettes. Part I: Lemarié functions." *Communications in Mathematical Physics* 110(4): 601-615.
- Bakker, W. H., & Schmidt, K. S. (2002). "Hyperspectral edge filtering for measuring homogeneity of surface cover types". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56(4), 246-256.
- Becq, G., Charbonnier, S., Chapotot, F., Buguet, A., Bourdon, L., & Baconnier, P. (2005). "Comparison between five classifiers for automatic scoring of human sleep recordings". In *Classification and Clustering for Knowledge Discovery* (pp. 113-127). Springer Berlin Heidelberg.
- Behzad, M., Asghari, K., Morteza E., and Palhang M. (2009). "Generalization performance of support vector machines and neural networks in run off modeling". *Elsevier, Expert Systems with Applications* 36, 7624–7629.
- Beliakov G., Pradera A. and Calvo T. (2007). "Aggregation Functions: A Guide for Practitioners". *Heidelberg, Berlin, New York: Springer*.
- Blahwar, B., Srivastav, S. K., & de Smeth, J. B. (2012). "Use of high-resolution satellite imagery for investigating acid mine drainage from artisanal coal mining in North-Eastern India". *Geocarto International*, 27(3), 231-247.(Blahwar, Srivastav et al. 2012)
- Burges, C. J. C. (1998). "A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery* 2(2): 121-167.
- Canny, J. (1986). "A computational approach to edge detection". *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, (6), 679-698.
- Clausi, D. A. (2002). "An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization". *Canadian Journal of Remote Sensing* 28: 45–62.
- Daubechies, I. (1988). "Orthonormal bases of compactly supported wavelets". *Communications on Pure and Applied Mathematics* 41(7): 909-996.
- Daubechies, I. (1992). "Ten Lectures On Wavelets (CBMS-NSF Regional Conference Series In Applied Mathematics) ". SIAM, Philadelphia, MR1162107 (93e: 42045).
- Doulati Ardejani, F., Jodieri Shokri, B., Moradzadeh, A., Soleimani, E., & Ansari Jafari, M. (2008). "A combined mathematical geophysical model for prediction of pyrite oxidation and

pollutant leaching associated with a coal washing waste dump". **International Journal of Environmental Science and Technology**, 5, 517-526.

Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., & Wackerle, R. (2005). "Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia". **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 30(1), 97-108.

Grossmann, A. and J. Morlet (1984). "Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape". **SIAM Journal on Mathematical Analysis** 15(4): 723-736.

Haar, A. (1910). "Zur theorie der orthogonalen funktionensysteme". **Mathematische Annalen**, 69(3), 331-371.

Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. H. (1973). Textural features for image classification. **Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on**, (6), 610-621.

Herbert Jr., R.B. (1994) "Metal transport in groundwater contaminated by acid mine drainage", **Nordic Hydrology** 25, 193-212.

Hilton, M. L., Jawerth, B. D., & Sengupta, A. (1994). "Compressing still and moving images with wavelets". **Multimedia Systems**, 2(5), 218-227.

Jain, A. K., & Flynn, P. J., (1996). "Image segmentation using clustering", **IEEE Press, Piscataway, NJ**, (pp. 65-83).

Jain, A. K., & Dubes, R. C., (1988). "Algorithms for clustering data". **Prentice-Hall, Inc.**

Jaques, A. L., Wellman, P., Whitaker, A., & Wyborn, D. (1997). High-resolution geophysics in modern geological mapping. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, 17, 159-174.

Jodieri Shokri, B., Ramazi, H., Ardejani, F. D., & Moradzadeh, A. (2013). "A statistical model to relate pyrite oxidation and oxygen transport within a coal waste pile: case study, Alborz Sharghi, northeast of Iran". **Environmental Earth Sciences**, 1-10.

Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J., (2009). "Finding groups in data: an introduction to cluster analysis". (Vol. 344). **Wiley. com**.

Khalifa, I. H. and Arnous M. O. (2012). "Assessment of hazardous mine waste transport in west central Sinai, using remote sensing and GIS approaches: a case study of Um Bogma area, Egypt." **Arabian Journal of Geosciences** 5(3): 407-420.

Kharate, G. K., Patil, V. H., & Bhale, N. L. (2007). "Selection of Mother Wavelet For Image Compression on Basis of Nature of Image". **Journal of Multimedia**, 2(6).

Kleinmann, R.L.P. (2001). "Prediction of Water Quality at Surface Coal Mines", **The National Mine Land Reclamation Center**, pp.73-129.

Lemarié, P. (1988). "Une nouvelle base d'ondelettes de $L_2(\mathbb{R}^n)$ ". **J. de Math. Pures et Appl** 67: 227-236.

Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1994) "Remote sensing and image interpretation", John Wiley & Sons, Ltd,

MacQueen, J. (1967). "Some methods for classification and analysis of multivariate observations". **In Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability**, Vol. 1, No. 281-297, p. 14.

Maiti, S. and R. Tiwari (2005) "Automatic detection of lithologic boundaries using the Walsh transform: A case study from the KTB borehole". **Computers and Geosciences** 31(8): 949-955.

Mallat, S. G. (1986). "Multiresolution approximation and wavelets, Preprint GRASP Lab. Department of Computer and Information Science, Uni.of Pennsylvania.

Meyer, Y. (1985). "Principe d'incertitude, bases hilbertiennes et algèbres d'opérateurs." **Seminaire Bourbaki** 662: 1985-1986.

Penn, B. S., Gordon, A. J., & Wendlandt, R. F. (1993). "Using neural networks to locate edges and linear features in satellite images". **Computers and Geosciences**, 19(10), 1545-1565.

Perez-Muñoz, T., Velasco-Hernandez, J., & Hernandez-Martinez, E. (2013). "Wavelet transform analysis for lithological characteristics identification in siliciclastic oil fields". **Journal of Applied Geophysics**, 98, 298-308.

Phinyomark, A., Limsakul, C., & Phukpattaranont, P. (2010). "Optimal wavelet functions in wavelet denoising for multifunction myoelectric control". **ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications.-ECTI**, 8(1), 43-52.

Qureshi, S. (2005). "Embedded image processing on the TMS320C6000TM DSP: examples in code composer studioTM and MATLAB", **Springer**, p. 211-180.

Rasmussen, E. M., (1992). "Clustering Algorithms". **Information retrieval: Data Structures and Algorithms**, 419, 442.

Rianto, Y., Kondo, S., & Kim, T. (2000). "Detection of roads from satellite images using optimal search". **International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, 14(08), 1009-1023.

Rowan, L. C. and J. C. Mars (2003). "Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data." **Remote Sensing of Environment** 84(3): 350-366.(Rowan and Mars 2003)

Sahu, H. B., Panigrahi, D. C., & Mohapatra, S. S., 2009. "Classification of Coal Seams with Respect to their Spontaneous Heating Susceptibility using K-means Clustering". **In 9th International Mine Ventilation Congress, New Delhi, India**, November 10-13, 2009, Pages 273-287. Oxford & IBH.

Salati, S., van Ruitenbeek, F. J., van der Meer, F. D., Tangestani, M. H., & van der Werff, H. (2011). "Lithological mapping and fuzzy set theory: Automated extraction of lithological boundary from ASTER imagery by template matching and spatial accuracy assessment". **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 13(5), 753-765.

Schölkopf B., Simard P., Smola A., and Vapnik V. (1998). "Prior knowledge in support vector kernels". In M. Jordan, M. Kearns, and S. Solla, editors, **Advances in Neural Information Processing Systems 10**, Cambridge, MA. MIT Press.

Shukla, D. P., Dubey, C. S., Singh, N. P., Tajbakhsh, M., & Chaudhry, M. (2010). "Sources and controls of Arsenic contamination in groundwater of Rajnandgaon and Kanker District, Chattisgarh Central India". **Journal of Hydrology**, 395(1), 49-66. (Shukla, Dubey et al. 2010)

Soh, L.-K. and C. Tsatsoulis (1999). "Texture analysis of SAR sea ice imagery using gray level co-occurrence matrices". **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 37.

Stromberg, JO. (1982). "A modified Franklin system and higher order spline systems on R^n as unconditional basis for hardy spaces out of A Zygmund Wadsworth math series"

Udomhunsakul, S. (2013) "Road Extraction Using Stationary Wavelet Transform". **World Academy of Science, Engineering and Technology** 80.

V. Vapnik. (1995). "The Nature of Statistical Learning Theory". **Springer-Verlag, New York**.

Wu, X., Kumar, V., Quinlan, J. R., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., ... & Steinberg, D., (2008). "Top 10 algorithms in data mining". **Knowledge and Information Systems**, 14(1), 1-37.

Zhang, X., Pazner, M., & Duke, N. (2007). Lithologic and mineral information extraction for gold exploration using ASTER data in the south Chocolate Mountains (California). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 62(4), 271-282.

Abstract

Creating geological maps from satellite images can be useful for cost reduction, time saving and providing information of areas that are not easily accessible. For this purpose, detecting lithological boundaries is essential. In most detecting techniques; determination of lithological boundaries is done by classification of an image in to lithological units by spectral variation and then manually draw a boundary. Therefore, identification of lithological boundaries cannot be consistent and is often influenced by the interpreter. The objective of this study is to automatically detect these boundaries using image processing, wavelet transform and classification of the image with support vector machines and clustering. The comparison between the obtained results and the geological map of the study area indicates that implementing these algorithms, the output is adequately accurate. In addition, the lithological units were determined rapidly and the run-time of the algorithm is remarkably low. Another consideration is that mining and the neighboring processing industries cause the low-grade minerals and waste to scatter in the environment which further expands the contamination in the surrounding area. The extracted coal requires washing due to the impurities where waste is produced as low-grade minerals. The composition of the accumulated waste goes through change as they are affected by air and water, causing toxic substance to propagate into the environment. In the following research the detection of contamination zones has also been performed. The results of the study and its comparison with the small scale maps of the study area represent that the algorithm based on clustering, classification and wavelet, benefits from accuracy and speed in creating base geological maps and to some extent in mapping the contamination zones.

Keywords: Wavelet Transform, Support Vector Machines, Clustering, Alborz Sharghi, Lithological boundaries.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

***Detecting Lithological Boundaries and Contaminated zones Adopting
Wavelet based Image Processing Approach: Case Study, Alborz Sharghi,
northeast Iran***

Shiva Tirdad

Supervisors:

Dr. Behzad Tokhmechi

Dr. Faramarz Doulati Ardejani

Advisor:

Dr. Hossein Ahmadi Noubari

May 2014