

رسالة محمد



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

تعیین پارامترهای هندسی دانسیته، فاصله‌داری متوسط و میانگین طول خط اثر

شکستگی‌ها، با استفاده از روش آنالیز تصویر و ارزیابی نتایج آن مطالعه موردی: توده سنگ

معادن سنگ ساختمانی

نگارنده: مجتبی تقی زاده

اساتید راهنما:

دکتر رضا خالو کاکایی

دکتر حسین میرزایی نصیرآباد

شهریور ۱۳۹۵

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند
و خود را سپر بلا می مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که
اکنون در آن ایستاده ام برسم.

تشکر و قدردانی:

از استادان گرامیم جناب آقای دکتر خالوکا کاپی و دکتر میرزایی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

از آقای مهندس علی نوری به دلیل یاریها و راهنماییهای بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمودند، بسیار سپاسگزارم.

در انتها از مهندس مسعود بهروزی، مهندس حمزه جمشیدی، مهندس امین دهقانی و مهندس علی مولودی به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در مراحل مختلف پایان نامه داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب مجتبی تقی زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تعیین پارامترهای هندسی دانسیته، فاصله‌داری متوسط و میانگین طول خط اثر شکستگی‌ها، با استفاده از روش آنالیز تصویر و ارزیابی نتایج آن مطالعه موردی: توده سنگ معادن سنگ ساختمانی تحت راهنمایی دکتر رضا خالو کاکایی و دکتر حسین میرزایی متعهد می شوم .

- 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 صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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 .

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

در این پایان‌نامه از دو الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی برای شناسایی خط اثر ناپیوستگی‌های معادن سنگ ساختمانی استفاده شده است. در الگوریتم تبدیل هاف ابتدا با اعمال ملایم‌ساز میانه به تصویر، اثر نویزها و ریزترک‌های موجود کاسته شده و سپس با استفاده از آشکارساز کنی، لبه‌های موجود آشکار شده و با استفاده از برچسب زدن اجزای متصل، لبه‌های کوتاه حذف شده است. سپس با استفاده از تبدیل هاف خطوط نشان‌دهنده خط اثر ناپیوستگی‌ها شناسایی شده و در ادامه با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی، نتایج حاصل از تبدیل هاف بهبود یافته و دسته درزه‌ها شناسایی شده است. در الگوریتم درجه همسایگی همانند الگوریتم تبدیل هاف ابتدا با اعمال ملایم‌ساز میانه به تصویر، اثر نویزها و ریزترک‌های موجود کاسته شده و سپس با استفاده از آشکارساز کنی، لبه‌های موجود آشکار شده و با استفاده از برچسب زدن اجزای متصل، لبه‌های کوتاه حذف شده است. در ادامه، عملیات نازک‌سازی بر روی تصویر مورد نظر انجام شده و پس از آن درجه همسایگی پیکسل‌های خطواره مشخص شده، در ادامه خطوط کوتاه با استفاده مجدد از برچسب زدن اجزای متصل حذف شده و خطوط ناپیوستگی‌ها با توجه به درجه همسایگی مشخص شده است. در مرحله آخر خطوطی که از یکدیگر جدا شده‌اند به یکدیگر متصل شده است.

با مقایسه نتایج، مقادیر به‌دست آمده از پردازش تصویر دارای اختلاف بسیار کمی با برداشت‌های میدانی است به طوری که خطای نسبی متوسط بین مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی و حاصل از پردازش تصویر در الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی به ترتیب $4/08$ و $4/63$ به‌دست آمده است که این مقدار درصد خطا نشان‌دهنده کارایی روش پردازش تصویر برای به دست آوردن پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌ها در حالت نرم بودن بافت سنگ، است. با مقایسه چند تصویر دیگر مشخص شده در تصاویری با تعداد خط اثر کم و بافت نرم، هر دو الگوریتم به‌خوبی قادر به تشخیص خط اثرها هستند اما با پیچیده شدن تصویر و زیاد شدن تعداد خط اثرها، الگوریتم درجه همسایگی نتایج بهتری به‌عنوان خروجی

می دهد.

کلمات کلیدی:

پردازش تصویر، ناپیوستگی های توده سنگ، فاصله داری متوسط، دانسیته، میانگین طول خط اثر، شدت

شکستگی، خط برداشت، پنجره برداشت، خط برداشت دایروی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ ضرورت انجام تحقیق	۳
۳-۱ اهداف پایان نامه	۳
۴-۱ سابقه تحقیق	۴
۵-۱ ساختار پایان نامه	۶
فصل دوم: ناپیوستگی ها.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ اهمیت مطالعه درزه ها در معادن سنگ ساختمانی	۱۰
۳-۲ پارامترهای ناپیوستگی ها.....	۱۱
۴-۲ روشهای برداشت ناپیوستگی ها از رخنمون توده سنگ	۱۴
۱-۴-۲ روش خط برداشت	۱۵
۲-۴-۲ روش پنجره برداشت.....	۱۷
۳-۴-۲ برداشت از رخنمون توده سنگ با استفاده از اسکنر لیزری سه بعدی	۱۷
۵-۲ پارامترهای هندسی ناپیوستگی های توده سنگ	۱۸
۱-۵-۲ میانگین طول خط اثر.....	۱۹
۲-۵-۲ فاصله داری متوسط	۲۰
۳-۵-۲ دانسیته شکستگی ها.....	۲۲
۴-۵-۲ شدت خط اثر	۲۴
۶-۲ روش های برآورد پارامترهای هندسی ناپیوستگی های توده سنگ	۲۵
۱-۶-۲ روش پال (برآورد طول خط اثر).....	۲۵
۲-۶-۲ روش کولاتیلاک و وو (برآورد طول خط اثر و دانسیته)	۲۷
۳-۶-۲ روش مالدون (برآورد طول خط اثر و دانسیته).....	۲۹
۴-۶-۲ روش ژانگ و انیشتین (برآورد میانگین طول خط اثر)	۳۱
۵-۶-۲ روش مالدون و همکاران (برآورد میانگین طول خط اثر، دانسیته و شدت شکستگی)	۳۲
۶-۶-۲ روش کولاتیلاک و وو (برآورد طول خط اثر و دانسیته تصحیح شده روابط قبلی).....	۳۴
۷-۶-۲ روش سانگ (برآورد میانگین طول خط اثر و دانسیته).....	۳۶
۷-۲ جمع بندی	۳۷
فصل سوم: پردازش تصویر و خوشه بندی.....	۳۹

۴۰	مقدمه	۱-۳
۴۰	فیلتر گذاری مکانی	۲-۳
۴۴	همسایگان یک پیکسل	۳-۳
۴۵	ریخت شناسی تصویر	۴-۳
۴۵	گسترش و فرسایش	۱-۴-۳
۴۶	برچسب زدن اجزای متصل	۲-۴-۳
۴۶	تشخیص لبه	۵-۳
۴۹	تشخیص خطوط توسط تبدیل هاف	۶-۳
۵۳	خوشه بندی	۷-۳
۵۴	روش K میانگین	۱-۷-۳
۵۵	روش خوشه بندی فازی	۲-۷-۳
۵۶	روش خوشه بندی کاهشی	۳-۷-۳
۵۷	جمع بندی	۸-۳

فصل چهارم: تشخیص خط اثر ناپیوستگی ها با استفاده از پردازش تصویر ۵۹

۶۰	مقدمه	۱-۴
۶۰	پردازش تصویر رخنمون توده سنگ	۲-۴
۶۱	مراحل انجام کار با استفاده از تبدیل هاف	۳-۴
۶۲	تهیه تصویر دیجیتالی از توده سنگ مورد نظر	۴-۴
۶۳	عملیات پیش پردازش	۵-۴
۶۶	آشکار سازی لبه های تصویر	۶-۴
۶۹	عملیات ریخت شناسی	۷-۴
۷۱	تشخیص خطوط با استفاده از تبدیل هاف	۸-۴
۷۲	بهبود نتایج تبدیل هاف با استفاده از الگوریتم خوشه بندی فازی	۹-۴
۷۵	تعیین تعداد دسته درزه	۱۰-۴
۷۶	مراحل انجام کار با استفاده از درجه همسایگی	۱۱-۴
۷۷	عملیات نازک سازی	۱۲-۴
۷۷	تعیین درجه همسایگی خطواره ها	۱۳-۴
۸۰	حذف خطواره های کوتاه	۱۴-۴
۸۱	تشخیص و نمایش خط اثر ناپیوستگی ها	۱۵-۴
۸۲	اتصال خطوط جدا شده	۱۶-۴
۸۵	شناسایی خط اثرهای تصویر دوم	۱۷-۴
۹۰	جمع بندی	۱۸-۴

فصل پنجم: تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از تعیین درجه همسایگی و

تعیین پارامترهای هندسی آن ۹۱

۱-۵ مقدمه ۹۲

۲-۵ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده پردازش تصویر و الگوریتم تبدیل هاف ۹۲

۱-۲-۵ تعیین مشخصات توده سنگ توسط خط برداشت ۹۲

۱-۱-۲-۵ خط برداشت ۹۳

۲-۱-۲-۵ خط برداشت دایروی (روش مالدون و همکاران) ۹۶

۲-۲-۵ تعیین مشخصات توده سنگ توسط پنجره برداشت ۹۷

۱-۲-۲-۵ پنجره برداشت ۹۸

۲-۲-۲-۵ پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون) ۹۹

۳-۲-۲-۵ پنجره برداشت دایروی (روش ژانگ و انیشتین) ۱۰۰

۴-۲-۲-۵ پنجره برداشت دایروی (روش مالدون) ۱۰۰

۳-۵ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده پردازش تصویر و الگوریتم درجه

همسایگی ۱۰۳

۴-۵ اندازه‌گیری مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده از برداشت‌های میدانی ۱۰۳

۵-۵ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر دوم با پردازش تصویر ۱۰۵

۶-۵ اندازه‌گیری مشخصات توده سنگ تصویر دوم با استفاده از برداشت‌های میدانی ۱۱۲

۷-۵ اعتبارسنجی نتایج ۱۱۴

۸-۵ جمع‌بندی ۱۲۱

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۲۳

۱-۶ نتیجه‌گیری ۱۲۴

۲-۶ پیشنهادات ۱۲۵

منابع ۱۲۷

I پیوست (الف)

XV پیوست (ب)

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) - پارامترهای ناپیوستگی توده سنگ ۱۴
- شکل (۲-۲) - خط برداشت ۱۶
- شکل (۳-۲) - سطح سه‌بعدی رنگی اسکن شده یک تونل با استفاده از اسکنر لیزری ۱۸
- شکل (۴-۲) - انواع فاصله‌داری به صورت شماتیک ۲۱
- شکل (۵-۲) - دانسیته خط اثر ۲۳
- شکل (۶-۲) - برداشت فاصله‌داری خط اثر ۲۵
- شکل (۷-۲) - انواع ناپیوستگی در روش پال ۲۷
- شکل (۸-۲) - انواع پنجره‌ها در روش مالدون ۳۰
- شکل (۹-۲) - انواع ناپیوستگی در روش ژانگ و انیشتین ۳۲
- شکل (۱۰-۲) - روش خط برداشت دایروی ۳۴
- شکل (۱۱-۲) - پارامترهای M و N در روش مالدون ($M=۶$ و $N=۴$) ۳۴
- شکل (۱۲-۲) - یک سطح غیر مسطح ۳۶
- شکل (۱۳-۲) - پنجره غیر مسطح با سه زیر پنجره مستطیلی و n بردار یکه نرمال دیسکهای ناپیوستگی است ۳۷
- شکل (۱-۳) - یک منطقه همسایگی ۳×۳ حول نقطه (X, Y) در یک تصویر در حوزه مکان ۴۲
- شکل (۲-۳) - انواع همسایگی ۴۴
- شکل (۳-۳) - عملیات گسترش و فرسایش ۴۶
- شکل (۴-۳) - چند ماسک برای تشخیص لبه ۴۸
- شکل (۵-۳) - تبدیل خط از فضای تصویر به نقطه در فضای پارامتر ۵۱
- شکل (۶-۳) - تبدیل چند نقطه در فضای تصویر به چند خط در فضای پارامتر ۵۱
- شکل (۷-۳) - تبدیل تصویر از فضای تصویر به فضای پارامتری نرمال ۵۳
- شکل (۱-۴) - خط اثر شکستگی و اختلاف سطح خاکستری پیکسل‌ها ۶۱
- شکل (۲-۴) - تصویر اصلی ۶۳
- شکل (۳-۴) - فیلترهای اعمال شده با اندازه ماسک ۵×۵ ۶۵

- شکل (۴-۴) - مقایسه اندازه ماسک‌های فیلترهای میانه و میانگین. ۶۶.....
- شکل (۵-۴) - مقایسه آشکارسازهای مختلف با فیلترهای میانه و میانگین. ۶۸.....
- شکل (۶-۴) - خروجی حاصل از الگوریتم کنی با مقدار آستانه پایین ۰/۰۸ و آستانه بالا ۰/۲. ۶۹.....
- شکل (۷-۴) - تصویر حاصل از عملیات گسترش. ۶۹.....
- شکل (۸-۴) - حذف لبه‌های کوتاه پس از برچسب زدن اجزای متصل. ۷۱.....
- شکل (۹-۴) - نتایج حاصل از اجرای الگوریتم تبدیل هاف. ۷۲.....
- شکل (۱۰-۴) - نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی. ۷۴.....
- شکل (۱۱-۴) - نتایج حاصل از اجرای الگوریتم دورترین نقاط. ۷۵.....
- شکل (۱۲-۴) - تعداد دسته درزه به دست آمده. ۷۶.....
- شکل (۱۳-۴) - تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی. ۷۷.....
- شکل (۱۴-۴) - روند تعیین درجه همسایگی پیکسل‌ها. ۷۹.....
- شکل (۱۵-۴) - تصویر حاصل پس از حذف درجه همسایگی‌های ۳ و بالاتر. ۸۰.....
- شکل (۱۶-۴) - نتایج حاصل از برچسب‌گذاری اجزای متصل و حذف خطوط کوتاه. ۸۱.....
- شکل (۱۷-۴) - تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آنها با خط. ۸۲.....
- شکل (۱۸-۴) - پر شدن فاصله خطواره‌های واجد شرایط. ۸۴.....
- شکل (۱۹-۴) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده. ۸۴.....
- شکل (۲۰-۴) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی. ۸۴.....
- شکل (۲۱-۴) - تصویر اصلی. ۸۵.....
- شکل (۲۲-۴) - مراحل مشترک دو الگوریتم. ۸۶.....
- شکل (۲۳-۴) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف. ۸۶.....
- شکل (۲۴-۴) - تصویر حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط. ۸۶.....
- شکل (۲۵-۴) - نتایج نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف بر روی تصویر اصلی. ۸۷.....
- شکل (۲۶-۴) - تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی. ۸۷.....
- شکل (۲۷-۴) - تصویر حاصل پس از حذف درجه همسایگی‌های ۳ و بالاتر. ۸۷.....
- شکل (۲۸-۴) - نتایج حاصل از برچسب‌گذاری اجزای متصل و حذف خطوط کوتاه. ۸۸.....

- شکل (۴-۲۹) - تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آنها با خط ۸۸
- شکل (۴-۳۰) - پر شدن فاصله خطواره‌های واجد شرایط ۸۸
- شکل (۴-۳۱) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده ۸۹
- شکل (۴-۳۲) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی ۸۹
- شکل (۴-۳۵) - دسته درزه‌های به‌دست آمده با استفاده از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی ۸۹
- شکل (۵-۱) - خط برداشت‌های نمونه ۹۵
- شکل (۵-۲) - روش خط برداشت دایروی با دایره‌های چندگانه ۹۷
- شکل (۵-۳) - پنجره برداشت ۹۸
- شکل (۵-۴) - روش پنجره برداشت ۹۹
- شکل (۵-۵) - خط برداشت‌های مختلف ۱۰۶
- شکل (۵-۶) - خط (پنجره) برداشت دایروی با دایره‌های چندگانه ۱۰۶
- شکل (۵-۷) - پنجره‌های برداشت مختلف ۱۰۷
- شکل (۵-۸) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده پارامتر میانگین طول خط اثر، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف ۱۱۵
- شکل (۵-۹) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده فاصله‌داری متوسط، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش خط برداشت و الگوریتم تبدیل هاف ۱۱۶
- شکل (۵-۱۰) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده دانسیته دوبعدی، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف ۱۱۶
- شکل (۵-۱۱) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده شدت دوبعدی حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف ۱۱۷
- شکل (۵-۱۲) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده پارامتر میانگین طول خط اثر، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم درجه همسایگی ۱۱۷
- شکل (۵-۱۳) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده فاصله‌داری متوسط، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش خط برداشت و الگوریتم درجه همسایگی ۱۱۸
- شکل (۵-۱۴) - مقایسه مقادیر به‌دست آمده دانسیته دوبعدی، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت ۱۱۸

- شکل (۵-۱۵) - مقایسه مقادیر به دست آمده شدت دوبعدی حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روشهای مختلف برداشت و الگوریتم درجه همسایگی ۱۱۹
- شکل (۱) - مراحل مشترک دو الگوریتم I
- شکل (۲) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی II
- شکل (۳) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی II
- شکل (۴) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی III
- شکل (۵) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف III
- شکل (۶) - تصاویر نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف III
- شکل (۷) - مراحل اولیه الگوریتم درجه همسایگی IV
- شکل (۸) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی IV
- شکل (۹) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی V
- شکل (۱۰) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی V
- شکل (۱۱) - مراحل اولیه الگوریتم تبدیل هاف VI
- شکل (۱۲) - ادامه الگوریتم تبدیل هاف VI
- شکل (۱۳) - ادامه الگوریتم تبدیل هاف VII
- شکل (۱۴) - نمایش خطوط تشخیص داده شده با الگوریتم تبدیل هاف بر روی تصویر اصلی VII
- شکل (۱۵) - مراحل مشترک دو الگوریتم VIII
- شکل (۱۶) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی IX
- شکل (۱۷) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی IX
- شکل (۱۸) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی خطواره ها X
- شکل (۱۹) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف XI
- شکل (۲۰) - تصاویر نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف XI
- شکل (۲۱) - مراحل مشترک دو الگوریتم XII
- شکل (۲۲) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی XII
- شکل (۲۳) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی XIII
- شکل (۲۴) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی خطواره ها XIII

شکل (۲۵) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف XIV

فهرست جداول

جدول (۱-۳) - فیلترهای مکانی	۴۳
جدول (۱-۵) - طول خط برداشت‌های شکل (۱۴-۴)	۹۵
جدول (۲-۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۱-۵) با استفاده از الگوریتم تبدیل هاف	۹۵
جدول (۳-۵) - اندازه شعاع دایره‌های شکل (۱۵-۴)	۹۷
جدول (۴-۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۱۵-۴) با استفاده از تبدیل هاف	۹۷
جدول (۵-۵) - ابعاد پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵)	۹۹
جدول (۶-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) با استفاده از تبدیل هاف	۹۹
جدول (۷-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) (روش مالدون) با استفاده از تبدیل هاف	۱۰۰
جدول (۸-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با استفاده از تبدیل هاف	۱۰۰
جدول (۹-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش مالدون) با استفاده از تبدیل هاف	۱۰۱
جدول (۱۰-۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۱-۵) با استفاده از درجه همسایگی	۱۰۱
جدول (۱۱-۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۲-۵) با استفاده از درجه	۱۰۲
جدول (۱۲-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) با استفاده از درجه همسایگی	۱۰۲
جدول (۱۳-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) (روش مالدون) با استفاده از درجه همسایگی	۱۰۲
جدول (۱۴-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با استفاده از درجه همسایگی	۱۰۳
جدول (۱۵-۵) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش مالدون) با استفاده از درجه همسایگی	۱۰۳

- جدول (۵-۱۶) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از خط برداشت‌های شکل (۵-۱) ... ۱۰۴
- جدول (۵-۱۷) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از خط برداشت‌های دایروی شکل (۲-۵) ۱۰۴
- جدول (۵-۱۸) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۴) ۱۰۴
- جدول (۵-۱۹) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۴) (روش مالدون)..... ۱۰۵
- جدول (۵-۲۰) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش ژانگ و انیشتین) ۱۰۵
- جدول (۵-۲۱) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۲-۵) (روش مالدون) ۱۰۵
- جدول (۵-۲۲) - طول خط برداشت‌های شکل (۵-۴)..... ۱۰۶
- جدول (۵-۲۳) - اندازه شعاع دایره‌های شکل (۵-۶) ۱۰۷
- جدول (۵-۲۴) - ابعاد پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷)..... ۱۰۷
- جدول (۵-۲۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۵-۵) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۷
- جدول (۵-۲۶) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶) (روش مالدون و همکاران) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۸
- جدول (۵-۲۷) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۸
- جدول (۵-۲۸) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷) (روش مالدون) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۹
- جدول (۵-۲۹) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۹
- جدول (۵-۳۰) - مقادیر به‌دست آمده از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۵-۵) (روش مالدون) با استفاده از تبدیل هاف ۱۰۹
- جدول (۵-۳۱) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۵-۵) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۰
- جدول (۵-۳۲) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶) (روش مالدون و همکاران) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۰

- جدول (۳۳-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۱
- جدول (۳۴-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) (روش مالدون) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۱
- جدول (۳۵-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۶-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۱
- جدول (۳۶-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۶-۵) (روش مالدون) با استفاده از درجه همسایگی ۱۱۲
- جدول (۳۷-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های شکل (۵-۵)..... ۱۱۲
- جدول (۳۸-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های دایروی شکل (۶-۵) ۱۱۳
- جدول (۳۹-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) ۱۱۳.
- جدول (۴۰-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) (روش مالدون) ۱۱۳
- جدول (۴۱-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۶-۵) (روش ژانگ و انیشتین) ۱۱۴
- جدول (۴۲-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۶-۵) (روش مالدون) ۱۱۴
- جدول (۴۳-۵) - خطای نسبی بین روش‌های مختلف برداشت با توجه به الگوریتم تبدیل هاف ۱۲۰
- جدول (۴۴-۵) - خطای نسبی بین روش‌های مختلف برداشت با توجه به الگوریتم درجه همسایگی ۱۲۰

فصل اول

کلمات

توده سنگ ترکیبی از سنگ بکر و ناپیوستگی‌هایی مانند درزه‌ها، صفحات لایه‌بندی، گسل‌ها و دیگر صفحات ضعیف است. برای تجزیه و تحلیل تأثیر شکستگی بر رفتار هیدرولیکی و مکانیکی شکستگی توده سنگ، توصیف هندسه شکستگی توده سنگ درزه‌دار ضروری است [۱]. یکی از مهم‌ترین کارها در مهندسی معدن درک و تجزیه و تحلیل تأثیر ناپیوستگی‌ها در رفتار مهندسی سنگ است که مهم‌ترین عامل در پایداری شیب‌های سنگی و فضاهاى زیرزمینی معدنی یا عمرانی است. تأثیر ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ، بر ویژگی‌های مهندسی توده سنگ، به‌مراتب بیش از نقشی است که خود سنگ بکر می‌تواند در این مورد داشته باشد [۲]. در بسیاری از کاربردهای مهندسی این ناپیوستگی‌ها عامل بحرانی بوده و قابلیت توده سنگ مثل مقاومت ساختارهای سنگی یا کیفیت جریان سیال در توده سنگ را کنترل می‌کنند. در کاربردهای مختلف دیگر نظیر انتقال آب زیرزمینی از طریق سفره‌ها، ساخت مخازن دفن زباله‌های هسته‌ای و حرکت نفت و گاز در مخازن هیدروکربوری، شبکه شکستگی‌های توده سنگ مهم‌ترین نقش را داراست [۳]. بنابراین دستیابی به اطلاعاتی در خصوص ساختار توده سنگ جهت طراحی بهینه در مسائل مهندسی سنگ ضروری است.

پردازش تصویر^۱ دانشی است که عمدتاً در شاخه‌های مهندسی برق و کامپیوتر، رشد و تکامل پیدا کرده ولی در سال‌های اخیر در علوم مهندسی زمین نیز به‌کاررفته است. زمین‌شناسان معمولاً با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای می‌توانند واحدهای سنگی، ساختارهای زمین‌شناسی و عوارض دیگر منطقه مورد بررسی را شناسایی کنند [۲]. کاربردهای پردازش تصویر در علم دورسنجی نیز پررنگ و روبه رشد است. از بارزترین کاربردهای آن می‌توان به بررسی‌های ناحیه‌ای در مقیاس بزرگ بر روی عکس‌های ماهواره‌ای برای اکتشاف معادن اشاره کرد [۴]. در بررسی انفجار سنگ، می‌توان با استفاده از تصویربرداری دیجیتالی، فرآیند شروع ترک، گسترش ترک و هم‌چنین خردایش قطعات سنگی ناشی از

^۱ Image processing

انفجار مواد منفجره را لحظه به لحظه تحلیل کرد [۵]. در بحث پایداری شیب معادن روباز می‌توان با استفاده از پردازش تصویر، مناطقی را که از خود جابجایی نشان می‌دهند، شناسایی و پتانسیل انواع شکست بر روی آن‌ها را بررسی کرد [۶]. در معادن زیرزمینی می‌توان جابجایی طبقات بالایی معدن را با استفاده از پردازش تصویر به دست آورد [۷]. در بحث‌های زیست‌محیطی، می‌توان توزیع منافذ خاک را با استفاده از پردازش تصویر به دست آورد [۸].

۲-۱ ضرورت انجام تحقیق

علی‌رغم اهمیت بالای ناپیوستگی‌ها، اندازه‌گیری و برداشت دقیق سیستم شکستگی‌ها در مقیاس مهندسی امکان‌پذیر نیست. اندازه‌گیری هندسه ناپیوستگی‌ها^۱ از رخنمون سنگ^۲ به صورت برج و با استفاده از وسایلی نظیر کمپاس و متر نواری صورت می‌گیرد. برای برداشت درزه‌ها از روش‌های سنتی خط برداشت^۳ و پنجره برداشت^۴ استفاده می‌شود. برداشت درزه‌ها به این روش‌ها مشکل، زمان‌بر و از نظر اجرا خطرناک است. در این روش به تمام نقاط دسترسی فیزیکی وجود ندارد و نمی‌توان بخشی از توده سنگ را برداشت کرد. از طرف دیگر، روش پردازش تصویر دیجیتالی، روشی ایمن، کم‌هزینه، سریع و قابلیت برداشت تمامی درزه‌ها را دارد. خطای کمتر و حذف خطای انسانی در به دست آوردن داده‌ها از مزایای دیگر این روش است. همچنین یک بانک آماری بسیار بزرگ به وجود خواهد آمد که محدود به قسمت‌های قابل دسترس نمی‌شود [۹ و ۱۰]. لذا ضرورت دارد دقت این روش با روش‌های مرسوم پیمایش خطی و پنجره‌ای برای تعیین پارامترهای هندسی شکستگی‌ها ارزیابی گردد.

۳-۱ اهداف پایان‌نامه

هدف این پایان‌نامه به کارگیری روش‌های تصویربرداری و پردازش تصویر برای تعیین پارامترهای هندسی توده سنگ درزه‌دار، نظیر فاصله‌داری متوسط، دانسیته و میانگین طول خط اثر شکستگی‌ها و ارزیابی

^۱ Discontinuity geometry

^۲ Rock exposures

^۳ Scanline sampling

^۴ Window sampling

نتایج آن است. بدین منظور توده سنگ‌های چند معدن سنگ ساختمانی در نظر گرفته شده و پارامترهای هندسی ذکر شده با روش‌های خط برداشت و پنجره برداشت تعیین و با نتایج به دست آمده از پردازش تصویر مقایسه شده است.

۴-۱ سابقه تحقیق

مطالعات متعددی در مورد برداشت شکستگی‌ها و خصوصیات توده سنگ با استفاده از تصاویر دیجیتال منتشر شده است.

رید^۱ و هریسون^۲ یک روش نیمه خودکار برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از تصاویر دیجیتال ارائه کردند. تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از مفهوم برچسب‌گذاری توپوگرافی تصویر به دست آمد. در این مقاله ابتدا تصاویر نازک شده تا به عرض یک پیکسل برسد و سپس با یک راه‌کار پیکسل‌های زائد حذف شده و با ارائه یک الگوریتم، خطوط جدا شده از یک درزه به یکدیگر وصل شده است. از معایب این روش انتخاب دستی نقطه پایانی است که می‌تواند خسته‌کننده و زمان‌بر باشد [۱۱].

فنگ^۳ در رساله دکتری خود با توجه به مشکلات برداشت دستی درزه‌ها، روش‌های نوین برداشت ناپیوستگی‌ها را پیشنهاد داد. در این رساله سه روش نیمه خودکار برای اندازه‌گیری و تعیین پارامترهای هندسی شکستگی شرح داده شده است. این سه روش عبارت‌اند از: استفاده از دوربین نقشه‌برداری، پردازش تصویر دیجیتالی و استفاده از اسکنر لیزری. در ادامه این روش‌ها بر اساس برداشت‌های صورت گرفته با یکدیگر مقایسه شده‌اند [۱۲].

لمی^۴ و حاجی‌جیورجیو^۵ مزایا و استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل تصویر برای شناسایی توده

^۱ Reid

^۲ Harrison

^۳ Feng

^۴ Lemy

^۵ Hadjigeorgiou

سنگ را نشان دادند. در این مقاله ابتدا خطوط توسط آشکارساز شناسایی شده و سپس با استفاده از نازک‌سازی، عرض خطوط به یک واحد کاهش یافته و بخش اضافی نقشه که خط اثر ناپیوستگی تلقی نمی‌شود توسط شبکه عصبی شناخته شده و حذف شده است. در گام نهایی بخش‌های مشخص خط اثر به یکدیگر وصل و خط اثرها شناسایی شده است [۱۰]. نویسندگان یادشده در مقاله دیگری الگوریتم فوق را برای توده سنگی در معدن زیرزمینی پیاده‌سازی کردند [۲].

کمنی^۱ و پست^۲ با استفاده از یک رویکرد توانستند جهت‌داری سه‌بعدی درزه‌ها را با استفاده از اطلاعات حاصل از جهت‌داری دوبعدی برآورد کنند. در این مقاله با استفاده از ثابت فیشر (K) و اطلاعات حاصل از تصویر دوبعدی، خصوصیات سه‌بعدی درزه به‌دست آمده است. در این مقاله خط اثر شکستگی‌ها با استفاده تبدیل هاف شناسایی شده و با ترکیب اطلاعات حاصل و الگوریتم ژنتیک، خصوصیات سه‌بعدی جهت‌داری شکستگی‌ها برآورد شده است [۱۳].

آنتونی^۳ یک الگوریتم نیمه‌خودکار برای برداشت شکستگی‌ها با استفاده از روش پردازش تصویر به نام Vtrace ارائه کرد. در این الگوریتم ابتدا تصاویر پیش‌پردازش شده و سپس بخش‌بندی و درنهایت نازک شده است [۱۴].

وانگ^۴ و همکاران برای شناسایی خط اثر شکستگی‌ها و دسته‌بندی آن‌ها از الگوریتم‌های پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان بهره جست. در این مقاله، ورودی ماشین بردار پشتیبان شامل یازده پارامتر ورودی است و توسط تعداد زیادی بردار، آموزش دیده شده است [۱۵].

زو^۵ و همکاران برای شناسایی شکستگی سنگ‌ها از ترکیب عکس‌های حاصل از اشعه ماوراءبنفش و تبدیل موجک استفاده کرد [۱۶].

^۱ Kemény

^۴ Wang

^۲ Post

^۵ Xu

^۳ Antony

دب^۱ و همکاران با استفاده از آشکارساز کنی، لبه‌ها و سپس با استفاده از تبدیل هاف، خط اثرها را شناسایی کردند و در نهایت با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی خطوط شناسایی شده را طبقه‌بندی کردند. همچنین روشی برای تبدیل مختصات عکس به مختصات فیزیکی ارائه کردند [۱۷].

وانگ و همکاران برای بخش‌بندی ناپیوستگی‌ها از الگوریتم دیفرانسیل کسری استفاده کرد و نتایج قابل قبولی به دست آورد [۱۸].

نی^۲ با استفاده از پردازش تصاویر نوری توانست جهت‌داری خط اثرها را برآورد کند و با ترکیب اطلاعات حاصل از تصاویر نوری و اسکنر لیزری راه‌حلی برای تمایز میان خط اثرهای طبیعی و سطوح شکسته شده ارائه کرد [۱۹].

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

در این مطالعه، پس از ارائه پیشینه و کلیاتی در مورد به دست آوردن پارامترهای هندسی توده سنگ با استفاده از پردازش تصویر در فصل اول، در فصل دوم ابتدا در مورد ناپیوستگی‌ها بحث شده و در ادامه پارامترهای مختلف ناپیوستگی‌ها تعریف شده، روش‌های مختلف برداشت ناپیوستگی‌ها از رخنمون توده سنگ مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای اصلی این پژوهش یعنی میانگین طول خط اثر، فاصله‌داری متوسط، دانسیته و شدت شکستگی‌ها تعریف شده و در انتها روش‌های برآورد این پارامترها که توسط محققان مختلف انجام شده، آورده شده است. در فصل سوم مقدمه‌ای از پردازش تصویر دیجیتال و مواردی که برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها مورد نیاز است، تعریف شده و در انتها روش‌های خوشه‌بندی بیان شده است. در فصل چهارم ابتدا به فرآیند تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از تبدیل هاف و بهبود نتایج آن پرداخته شده و در ادامه الگوریتم دیگری برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از درجه همسایگی خطواره‌ها ارائه شده است و خط اثرهای دو تصویر

^۱ Deb

^۲ Nii

شناسایی شده است. در فصل پنجم پارامترهای هندسی مدنظر دو تصویر با الگوریتم‌های تبدیل هاف و درجه همسایگی بدست آمده و با نتایج حاصل از برداشت میدانی مقایسه شده است. در فصل ششم، جمع‌بندی این چند فصل و پیشنهادهایی برای به دست آوردن پارامترهای هندسی توده سنگ با استفاده از پردازش تصویر ارائه شده است.

فصل دوم

نایبوستگی

۱-۲ مقدمه

به هر نوع سطح ضعیف از نظر مکانیکی که مقاومت برشی آن ناچیز یا صفر باشد، ناپیوستگی گفته می‌شود. واژه ناپیوستگی را می‌توان برای اغلب درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی، گسل‌ها و مانند آن‌ها به کاربرد. به‌گونه‌ای از ناپیوستگی‌ها که جابجایی در سطح آن‌ها رخ نداده است درزه گفته می‌شود. درزه‌هایی که تقریباً موازی هستند، دسته درزه را می‌سازند و مجموعه‌ی این دسته درزه‌ها، سیستم ناپیوستگی را به وجود می‌آورند. سطوح لایه‌بندی یکی از مهم‌ترین خصوصیات سنگ‌های رسوبی است. طبقه یا لایه را می‌توان به صورت جسم ورقه مانند تعریف کرد که دو بعدش در مقایسه با بعد سوم یعنی ضخامت، زیاد است [۲۰ و ۲۱]. ناپیوستگی‌ها فقط تا حدی در تلاقی خود با رخنمون و گمانه در دسترس هستند که از آن برای تجزیه و تحلیل شبکه‌های ناپیوستگی استفاده می‌شود [۲۱].

در این فصل ابتدا در مورد اهمیت مطالعه درزه‌ها در معادن سنگ ساختمانی صحبت و پس از آن پارامترهای ناپیوستگی‌ها شرح داده می‌شود. در ادامه به شرح ویژگی‌های اصلی برداشت از رخنمون ناپیوستگی‌ها پرداخته شده است. سپس پارامترهای میانگین طول خط اثر، فاصله‌داری متوسط، دانسیته و شدت شکستگی‌ها که پارامترهای اصلی این پایان‌نامه هستند، تعریف می‌شوند. در انتهای فصل در مورد روش‌های برآورد پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌های توده سنگ بحث می‌شود.

۲-۲ اهمیت مطالعه درزه‌ها در معادن سنگ ساختمانی

مطالعه درزه‌ها در بسیاری از کارهای مهندسی از جمله: انتخاب محل تونل‌های راه‌سازی و معدنی، هنگام پی‌جویی منابع معدنی، هنگام حفر چاه آب زیرزمینی و استخراج معادن سنگ ساختمانی اهمیت دارد. وضعیت شکستگی‌های طبیعی بر روی میزان بازیابی معادن سنگ ساختمانی تأثیرگذار است. بسیاری از باطله‌ها و ضایعات در هنگام بهره‌برداری از معادن سنگ ساختمانی به دلیل وجود سطوح شکستگی طبیعی موجود در این توده سنگ‌ها حاصل می‌شود و در بسیاری موارد، علیرغم مناسب بودن سایر

موارد، معدن نمی‌تواند بازدهی مناسب را برای استخراج داشته باشد [۲۲]. معدن سنگ ساختمانی ایده آل، معدنی است که بتوان در امتداد سیستم درزه و شکستگی‌های موجود در سینه کار بلوک‌های بزرگ و قواره استخراج کرد به طوری که سطوح قطعه سنگ‌های استخراج شده، سطوح درزه‌های طبیعی باشند [۲۳]. لذا مطالعه و بررسی وضعیت این سطوح شکستگی، قبل از شروع عملیات استخراج به منظور برنامه‌ریزی برای دستیابی به حداکثر کوپ‌دهی و داشتن کمترین میزان ضایعات، امری ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۲ پارامترهای ناپیوستگی‌ها

انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ^۱، ده پارامتر کمی زیر را برای شرح ناپیوستگی‌ها در توده سنگ معرفی کرده است: جهت‌داری^۲، فاصله‌داری^۳، تداوم^۴، زبری^۵، مقاومت دیواره^۶، بازشدگی^۷، پرشدگی^۸، وجود آب^۹، تعداد دسته درزه^{۱۰} و اندازه بلوک^{۱۱}. این پارامترها در شکل (۱-۲) نشان داده شده و در ادامه هر کدام تعریف شده است [۱، ۲۰ و ۲۴]:

۱. جهت‌داری: جهت ناپیوستگی‌ها و یا راستای نسبی آن‌ها عبارت است از وضع ناپیوستگی در فضا و با جهت شیب^{۱۲} (آزیموت^{۱۳}) و شیب^{۱۴} خط بزرگ‌ترین شیب در صفحه‌ی ناپیوستگی تعریف می‌شود. شیب نسبت به افق و جهت شیب در جهت عقربه‌های ساعت نسبت به شمال مغناطیسی اندازه گرفته می‌شود.

^۱International Society for Rock Mechanics (ISRM)

^۲Orientation

^۳Spacing

^۴Persistence

^۵Roughness

^۶Strength Wall

^۷Aperture

^۸Filling

^۹Seepage

^{۱۰}Number of sets

^{۱۱}Block size

^{۱۲}Dip direction

^{۱۳}Azimuth

^{۱۴}Dip

۲. فاصله‌داری: به فاصله‌ی عمودی بین دو ناپیوستگی مجاور از یک دسته درزه، فاصله‌داری گفته می‌شود. البته انواع مختلفی از فاصله‌داری تعریف شده که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود. یکی از مفاهیم مرتبط با فاصله‌داری، چگالی درزه‌داری است. چگالی درزه‌داری تعداد درزه‌ها در واحد طول (خط برداشت) است.
۳. تداوم: منظور از تداوم یا پایایی، طول خط اثر ناپیوستگی است که در یک رخنمون مشاهده می‌شود. این پارامتر در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.
۴. زبری: زبری، معرف ناصافی و موجی بودن سطح داخلی ناپیوستگی نسبت به صفحه‌ی اصلی آن است. زبری ناپیوستگی‌ها، هم به وسیله نمودارهای استاندارد و هم از معادلات مختلف، محاسبه می‌شوند.
۵. مقاومت دیواره: مقاومت فشاری معادل با مقاومت دیواره‌های سنگی سطوح مجاور یک ناپیوستگی است که ممکن است در اثر هوازدگی یا دگرسانی، مقاومتی کمتر از بلوک سنگ داشته باشد.
۶. بازشدگی: بازشدگی، فاصله عمودی بین دیواره‌های سنگ مجاور یک ناپیوستگی است که ممکن است توسط هوا یا آب پر شده باشد. این مقدار برای سطوح مجاور صفحه‌ای ثابت، برای سطوح مجاور غیر موازی به صورت خطی تغییر می‌کند و برای سطوح مجاور زبر کاملاً متغیر است.
۷. پرشدگی: پرشدگی، موادی است که دیواره‌های سنگی سطوح مجاور یک ناپیوستگی را از یکدیگر جدا می‌کند و معمولاً از سنگ میزبان ضعیف‌تر است. این سطوح نمونه عبارت‌اند از شن^۱، رس^۲، برش^۳، میلونیت^۴ و رگه‌های کلسیت.
۸. وجود آب (نشت آب): نشت جریان آب و رطوبت آزاد مشهود در هر ناپیوستگی منفرد و یا به‌طور کلی در توده سنگ است.

^۱ Sand

^۲ Clay

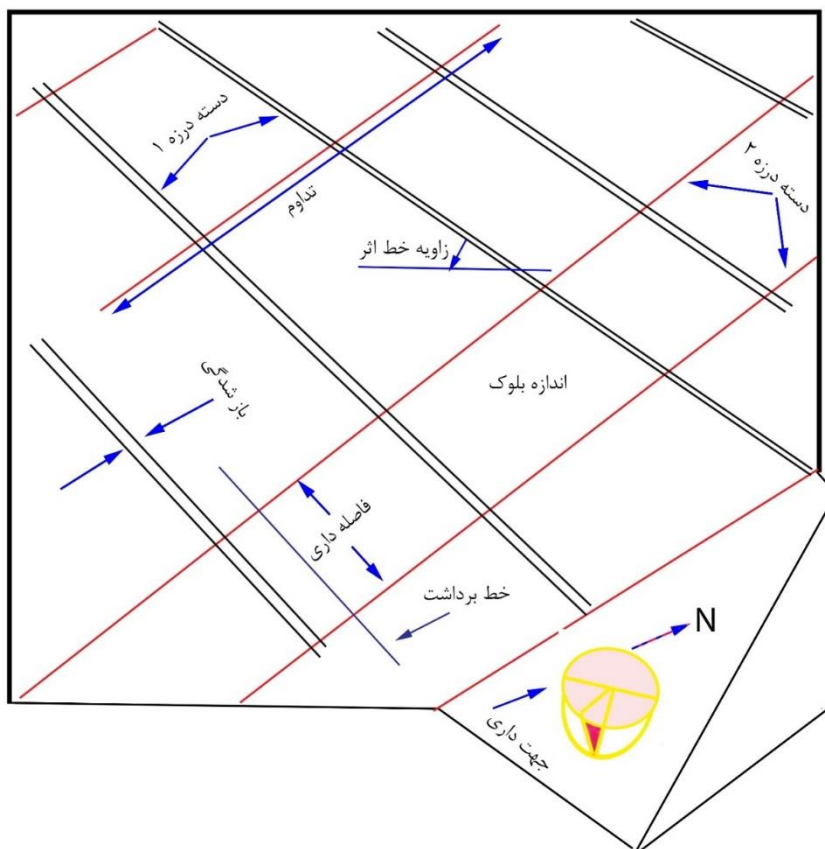
^۳ Breccia

^۴ Mylonite

۹. تعداد دسته درزه: جهت ناپیوستگی‌ها کاملاً به صورت تصادفی رخ نمی‌دهد، آن‌ها با یک دلیل مکانیکی قابل قبولی رخ داده و به صورت دسته‌ای با یک سازوکار مشخصی جمع می‌شوند. پس در اغلب اوقات معرفی کردن دسته ناپیوستگی و تعداد دسته ناپیوستگی‌های یک توده سنگ مشخص، مفید است.

۱۰. اندازه بلوک: ابعاد بلوک سنگ از تقاطع دسته ناپیوستگی‌ها تشکیل می‌شود. ناپیوستگی‌های مجزا ممکن است اثر بیشتری را بر اندازه و شکل بلوک بگذارد. تخمین میانگین اندازه بلوک و توزیع آن در حفاری و نگهداری مفید است که برای سنگ‌های برجا همانند توزیع اندازه ذرات خاک است.

کارهای زیادی برای اندازه‌گیری و ارائه هر یک از این ده ویژگی مهم ناپیوستگی‌ها به‌طور گسترده و متغیر انجام شده است. روش استاندارد و درواقع درستی برای اندازه‌گیری و تعریف ساختار هندسی سنگ وجود ندارد، بنابراین دقت و اهمیت داده‌های اندازه‌گیری شده به هدف مهندسی بستگی دارد. در تمام این برداشت‌ها بیان و نمایش داده‌ها باید به صورتی باشد که قابل درک و فهم بوده و تفسیرهای جامعی را جهت تجزیه و تحلیل امکان‌پذیر سازد. بنابراین در هر مطالعه‌ای ممکن است تعاریف و روش‌های گوناگونی بکار برده شود، ولی آنچه مسلم است و از اهمیت شایانی برخوردار است روش‌هایی مورد استفاده خواهد بود که خطاهای احتمالی را تا آنجا که مقدور است، کاهش دهد [۲۵].



شکل (۱-۲) - پارامترهای ناپیوستگی توده سنگ

۴-۲ روش‌های برداشت ناپیوستگی‌ها از رخنمون توده سنگ

در بعضی از پروژه‌های معدنی امکان دسترسی به سطح زیر زمین وجود ندارد. در این مواقع از رخنمون‌هایی که در سطح زمین دیده می‌شوند، برای به دست آوردن اطلاعات خواص مهندسی و ساختاری توده سنگ استفاده می‌شود. رخنمون‌هایی که از آن‌ها جهت کسب اطلاعات استفاده می‌شود یا باید به صورت طبیعی وجود داشته و یا از حفاری‌های سطحی در معادن روباز و یا از حفر تونل‌های اکتشافی در تونل‌ها به دست آمده باشند [۱۴].

با اندازه‌گیری در سطوح سنگی، چه در روی سطح زمین و چه زیر زمین، در یک ناحیه بزرگ سنگی، می‌توان به‌طور مستقیم جهت‌داری درزه، اندازه و دیگر شاخصه‌های هندسی بزرگ‌مقیاس سنگ

را اندازه‌گیری کرد. همچنین روابط زمین‌شناسی را بین گروه‌های مختلف ناپیوستگی می‌توان مشاهده کرد. اندازه‌گیری پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌ها از رخنمون سنگ به‌طور کلی به روش‌های دستی، پردازش تصویر و اسکنر لیزری انجام می‌شود [۲۶]. پرکاربردترین روش‌های برداشت به‌صورت دستی، پنجره برداشت و خط برداشت است. یکی از معایب این روش این است که سطح سنگی مورد برداشت، اغلب دور از دسترس بوده و یا اینکه در اثر انفجار آسیب‌دیده و یا توسط پوشش گیاهی و یا هوازدهی شدید، پوشیده شده است. در این روش اگرچه به نیروی کار ماهر و باتجربه نیاز است اما در مقایسه با روش نمونه‌برداری از گمانه بسیار کم‌هزینه‌تر است. سادگی نسبی فرآیند اندازه‌گیری در سطوح موردنظر و دقت بالای آماری این روش‌ها، آن‌ها را برای تعیین ویژگی‌های ناپیوستگی‌های سنگ مناسب ساخته است [۲۰]. در ادامه به شرح ویژگی‌های اصلی عملی نمونه‌برداری این دو روش می‌شود.

۲-۴-۱ روش خط برداشت

روش نمونه‌برداری خط برداشت یک روش یک‌بعدی است. یک خط بر روی سطح سنگ ایجاد می‌شود و صفحات ناپیوستگی که خط برداشت را قطع می‌کنند، ثبت می‌شوند. برخی از ویژگی‌هایی که برداشت می‌شوند موقعیت، جهت‌داری، طول خط اثر، زبری و پرشدگی هستند. خط برداشت، اطلاعات آماری مناسبی برای طراحی و مهندسی فراهم می‌کند [۲۷].

سطح سنگی تمیز و تقریباً مسطح که مرتبط با اندازه و فاصله‌داری ناپیوستگی‌هاست باید انتخاب شود. به‌عنوان یک راهنمای مفید منطقه برداشت بایستی شامل ۱۵۰ تا ۳۵۰ ناپیوستگی باشد که حداقل انتهای ۵۰٪ از آن‌ها قابل‌رؤیت باشد. اگر سطحی برای برداشت انتخاب شود، مهم است که خط برداشت‌های اضافی را در جهات مختلف، برای تهیه نمونه سه‌بعدی شبکه ناپیوستگی اعمال شود [۲۰]. در شکل (۲-۲) نمونه‌ای از روش خط برداشت نشان داده شده است.

با این حال خط برداشت یک روش استاندارد شده نیست و در برداشت‌ها بایاس وجود دارد. انواع

بایاس‌ها به شرح زیر است [۲۸، ۲۹ و ۳۰]:

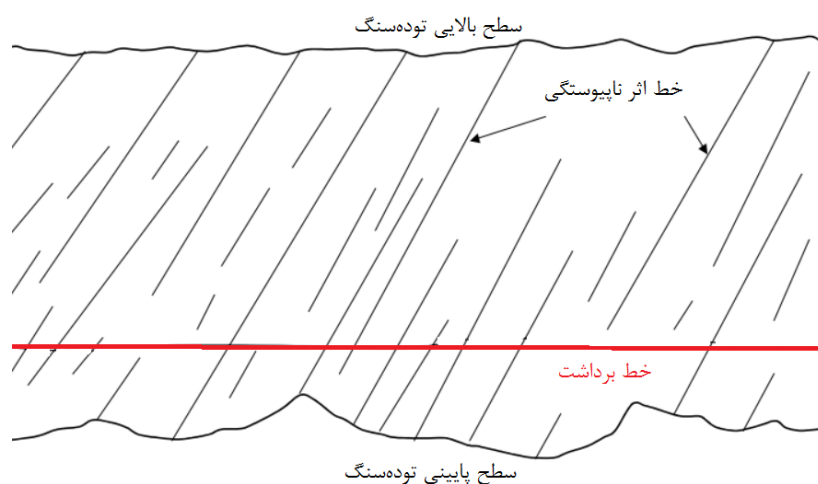
(۱) بایاس جهت‌داری^۱: احتمال ظاهر شدن ناپیوستگی در رخنمون بستگی به جهت‌داری نسبی بین رخنمون و ناپیوستگی دارد.

(۲) بایاس اندازه^۲: احتمال برخورد ناپیوستگی‌های بزرگ با خط برداشت بیشتر است. این بایاس به دو صورت بر روی نتایج تأثیر می‌گذارد: الف) احتمال ظاهر شدن ناپیوستگی بزرگ‌تر نسبت به یک ناپیوستگی کوچک‌تر در رخنمون بیشتر است. ب) احتمال ظاهر شدن خط اثر بلندتر نسبت به یک خط اثر کوتاه‌تر در منطقه برداشت بیشتر است.

(۳) بایاس کوتاه‌شدگی^۳: اندازه‌گیری طول خط اثرهای بسیار کوچک دشوار است و یا گاهی اوقات غیرممکن است.

(۴) بایاس سانسور^۴: اگر خط اثر ناپیوستگی خیلی بلند باشد، یک سر و یا هر دو انتهای خط اثر ناپیوستگی دیده نمی‌شود.

برای از بین بردن بایاس‌ها اصلاحات آماری زیادی توسط محققان مختلف انجام شده است که در انتهای فصل به بررسی چند مورد از این روش‌ها پرداخته می‌شود.



شکل (۲-۲) - خط برداشت

^۱ Orientation bias

^۲ Size bias

^۳ Truncation bias

^۴ Censoring bias

۲-۴-۲ روش پنجره برداشت

روش‌های اندازه‌گیری مشابه یا جایگزین، روش پنجره برداشت است تا بتوان از سطح سنگ مورد نظر برداشت‌های مربوط به ناپیوستگی‌ها را انجام داد. مقدمات و روش‌های اندازه‌گیری به همان اندازه که برای خط برداشت ضروری‌اند برای پنجره برداشت نیز اهمیت دارد. این روش همچنین انحرافات برداشت جهت‌داری و اندازه خط اثر که توسط خط برداشت به وجود آمده و همچنین مشکلات کوتاه‌سازی ناپیوستگی در جاییکه سطح سنگ محدود است را کاهش می‌دهد [۳۱].

در این روش محدوده‌ای از سطح که بیانگر مشخصات کلی توده سنگ است انتخاب و تمام درزه‌هایی که در این محدوده قرار دارند برداشت می‌شود، حداقل باید از دو پنجره که در یک صفحه قرار ندارند استفاده شود. موقعیت درزه توسط مختصات انتهای آن در پنجره تعریف می‌شود [۲۰].

۳-۴-۲ برداشت از رخنمون توده سنگ با استفاده از اسکنر لیزری سه‌بعدی

استفاده از اسکنر لیزری یک روش سنجش از راه دور است که پتانسیل بسیار زیادی برای به دست آوردن مقدار قابل توجهی اطلاعات دقیق از وضعیت هندسی توده سنگ دارد. یکی از جنبه‌های قابل توجه، امکان بازسازی سطح توده سنگ و استخراج اطلاعات هندسی از سطح با استفاده از روش‌های تحلیلی است. در واقع این سیستم به‌طور منظم کلیه نقاطی را که در میدان دید دستگاه قرار دارد، اسکن می‌نماید و برای تمام نقاط مختصات تولید می‌کند و اصطلاحاً ابری از نقاط^۱ ایجاد می‌کند. انواع مختلفی از این سیستم‌ها با طیف گسترده‌ای از مقیاس وجود دارد، بر اساس برد این سیستم‌ها به سه دسته، اسکنر لیزری هوایی^۲، اسکنر لیزری زمینی^۳ و اسکنر لیزری میکرو^۴ طبقه‌بندی می‌شوند. اسکنر لیزری هوایی در یک هواپیما قرار داده‌شده و برای به دست آوردن داده‌های سه‌بعدی از مناطق بزرگ مانند زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، مناطق شهری و غیره استفاده می‌شود. از اسکنر لیزری میکرو برای اسکن

^۱ Point cloud

^۲ Airborne Laser Scanning (ALS)

^۳ Terrestrial Laser Scanning (TLS)

^۴ Micro-Laser Scanning (MicroLS)

شیءهایی با اندازه کوچک و عمدتاً در بازرسی اسناد و مدارک و کنترل کیفیت استفاده می‌شود. معمولاً از اسکنر لیزری زمینی در پروژه‌های مهندسی سنگ استفاده می‌شود. این نوع اسکنر بر روی یک سه‌پایه قرار داده می‌شود و دورتادور خود را به صورت استوانه‌ای برداشت می‌کند. از مزایای این ابزار برداشت نقاط با سرعت زیاد، قابل استفاده بودن در تاریکی مطلق و امکان ادغام اطلاعات با تصاویر است. با استفاده از روش اسکن سه‌بعدی با لیزر که در واقع روش برداشت مستقیم نقاط است، می‌توان به مدل سه‌بعدی رقومی از زمین دست‌یافت، روش کار به این صورت است که پرتو لیزر تحت زاویه خاصی به سمت منطقه مورد نظر فرستاده می‌شود و پرتوهای برگشتی از نقاط به‌طور منظم و به تعداد زیاد ثبت می‌شود. محققان زیادی در زمینه به دست آوردن پارامترهای هندسی توده سنگ با استفاده از اطلاعات حاصل از اسکنر لیزری تلاش داشته‌اند. در شکل (۲-۳) سطح اسکن شده از یک تونل با استفاده از اسکنر لیزری نشان داده شده است [۳۲، ۳۳ و ۳۴].



شکل (۲-۳) - سطح سه‌بعدی رنگی اسکن شده یک تونل با استفاده از اسکنر لیزری [۳۲]

۲-۵ پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌های توده سنگ

خصوصیاتی که هندسه شکستگی‌ها را در توده سنگ تعریف می‌کند عبارت‌اند از [۳]: جهت‌داری،

فاصله‌داری، شکل^۱، طول خط اثر^۲، اندازه^۳، بازشدگی، دانسیته^۴ و موقعیت مرکز شکستگی. در این پایان‌نامه به بررسی پارامترهای میانگین طول خط اثر، فاصله‌داری متوسط، دانسیته شکستگی‌ها و شدت شکستگی‌ها پرداخته شده است.

۲-۵-۱ میانگین طول خط اثر^۵

ناپیوستگی‌ها تأثیر قابل توجهی در تغییر شکل، مقاومت و نفوذپذیری توده سنگ‌ها دارد. در نتیجه خصیصه‌سازی^۶ پارامترهای هندسی توده سنگ نقش مهمی در طراحی فضاهای زیرزمینی و معادن دارد. یکی از پارامترهای مهم ناپیوستگی‌ها، اندازه شکستگی است که تأثیر مستقیمی بر اتصال شکستگی‌ها، نفوذپذیری توده سنگ و شکل‌گیری بلوک‌ها دارد [۱]. یکی از مشکلات اصلی برآورد اندازه شکستگی این است که امکان اندازه‌گیری مستقیم آن وجود ندارد و تنها منبع اندازه‌گیری اندازه شکستگی، استفاده از طول خط اثرهای مشاهده شده در رخنمون‌ها است، بنابراین اندازه‌گیری طول خط اثر یکی از پارامترهای مهم در خصیصه‌سازی اندازه ناپیوستگی‌های توده سنگ است [۳۵]. پس در واقع برای اینکه بتوان توزیع اندازه شکستگی را به دست آورد باید توزیع طول خط اثر مشاهده شده در رخنمون را به دست آورد. در ارزیابی تابع توزیع طول خط اثر روند زیر وجود دارد [۳۶]:

الف) برداشت خط اثرهای مشاهده شده در رخنمون با استفاده از روش‌های مختلف برداشت.

ب) به دست آوردن توزیع واقعی طول خط اثر.

در این فرآیندها، دو مشکل عمده وجود دارد، اولی وجود بایاس و دومی تفاوت بین توزیع طول خط اثر اندازه‌گیری شده و توزیع طول خط اثر واقعی. برای مقابله با این مشکلات، ابتدا توزیع طول خط اثر برآورد و فرض بر این می‌شود که توزیع طول خط اثر واقعی است (بدون بایاس) به طوری که تنها

^۱ Form

^۲ Trace length

^۳ Size

^۴ Density

^۵ Mean Trace Length (MTL)

^۶ Characterization

پارامترهای توزیع (معمولا میانگین و واریانس) نیاز است که به دست آورده شود [۳۷]. چندین روش برای تخمین توزیع واقعی میانگین طول خط اثر، پیشنهاد شده‌اند (بر اساس حداکثر احتمال). روش‌های آماری نیز برای برآورد توزیع طول خط اثر ارائه شده‌اند که در انتهای فصل به مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود. توابع توزیع نمایی، لاگ نرمال و قانون توان به‌صورت غالب برای برآورد طول خط اثر، توسط محققان معرفی شده‌اند [۲۵].

۲-۵-۲ فاصله‌داری متوسط

فاصله‌داری ناپیوستگی به‌عنوان فاصله بین دو ناپیوستگی مجاور در امتداد خط برداشت گفته می‌شود. در مورد برداشت‌های سطحی و خط اثرها معمولا از فاصله‌داری متوسط برای درزه‌ها استفاده می‌شود [۳۸]. به‌طور کلی مقادیر به دست آمده برای فاصله‌داری با جهت و محل خط برداشت تغییر می‌کند اما اگر ناپیوستگی‌ها موازی باشند مقدار فاصله‌داری تنها به جهت خط برداشت بستگی دارد. انواع دیگری از فاصله‌داری وجود دارد که می‌توان به‌صورت زیر آن‌ها را تعریف کرد [۳۹ و ۲۰]:

الف) فاصله‌داری کلی^۱: فاصله بین دو ناپیوستگی مجاور که در امتداد خط برداشت، اندازه‌گیری می‌شوند.

ب) فاصله‌داری دسته درزه^۲: فاصله بین دو ناپیوستگی مجاور از یک دسته درزه که در امتداد خط برداشت اندازه‌گیری می‌شوند.

ج) فاصله‌داری دسته درزه نرمال^۳: فاصله بین دو ناپیوستگی مجاور از یک دسته درزه که خط برداشت به‌طور متوسط عمود بر امتداد درزه‌های آن دسته درزه باشد.

این سه نوع فاصله‌داری در شکل (۲-۴) به صورت شماتیک نشان داده شده است. در مورد فاصله‌داری‌های معرفی شده روابط زیر را می‌توان به کار برد:

^۱ Total spacing

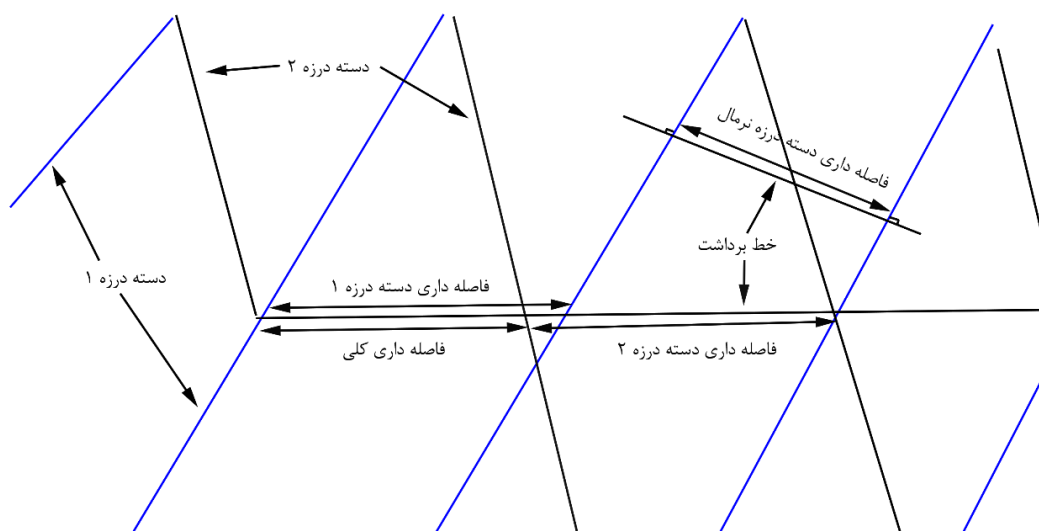
^۲ Normal set spacing

^۳ Set spacing

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1-2)$$

$$x_n = x_d \cdot \sin \delta \quad (2-2)$$

که در این روابط، \bar{x} فاصله‌داری متوسط، x_i i امین فاصله‌داری اندازه‌گیری شده در طول خط برداشت، n تعداد ناپیوستگی، x_n فاصله‌داری ناپیوستگی دسته درزه نرمال، x_d فاصله‌داری ناپیوستگی دسته درزه و δ زاویه حاده بین خط برداشت و ناپیوستگی است.



شکل (۲-۴) - انواع فاصله‌داری به صورت شماتیک

مقادیر فاصله‌داری بسته به روند شکل‌گیری آن‌ها باید دارای توزیع نمایی، ثابت و یا نرمال باشند. توزیع ثابت معمولاً در ناپیوستگی‌های نامنظم و زون‌های خردشده و تابع توزیع نرمال در مناطقی با فاصله‌داری‌های منظم اتفاق می‌افتد. البته در طبیعت ناپیوستگی‌ها توسط ترکیب چندین فرآیند شکل می‌گیرد و حاصل ترکیب این توابع توزیع، توزیع نمایی منفی است [۴۰ و ۱]. توابع توزیع نمایی منفی و لاگ نرمال غالباً برای برآورد فاصله‌داری، توسط محققان معرفی شده‌اند.

یکی از مفاهیم مرتبط با فاصله‌داری، چگالی درزه‌داری یا فرکانس ناپیوستگی (شدت خط اثر یک‌بعدی) است. فرکانس ناپیوستگی، تعداد شکستگی در واحد طول است و معکوس میانگین فاصله‌داری است. فرکانس ناپیوستگی با توجه به روابط زیر به دست می‌آید [۴۱]:

$$\lambda = \frac{n}{L} \quad (۳-۲)$$

$$\lambda \approx \frac{1}{\bar{x}} \quad (۴-۲)$$

در این روابط، λ فرکانس ناپیوستگی، n تعداد خط اثری که خط برداشت را قطع می‌کند، L طول خط برداشت و \bar{x} میانگین طول فاصله‌داری است. در رابطه (۴-۲) اندازه‌ی برداشت باید به اندازه کافی بزرگ باشد. فرکانس ناپیوستگی مانند فاصله‌داری سه نوع است، فرکانس کلی، فرکانس دسته درزه و فرکانس دسته درزه نرمال که از معکوس کردن هر یک از فاصله‌داری‌های متقابل به دست می‌آید [۲۰ و ۴۱].

۳-۵-۲ دانسیته شکستگی‌ها

سیستم شکستگی در توده سنگ را می‌توان با استفاده از اندازه‌گیری‌های فراوانی شکستگی، توصیف کرد. یکی از این فراوانی‌ها، دانسیته شکستگی است که به صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی تعریف شده است. این سه نوع دانسیته شکستگی در زیر نشان داده شده است [۴۲، ۴۳ و ۴۴]:

- دانسیته یک‌بعدی (دانسیته طولی): تعداد شکستگی بر واحد طول

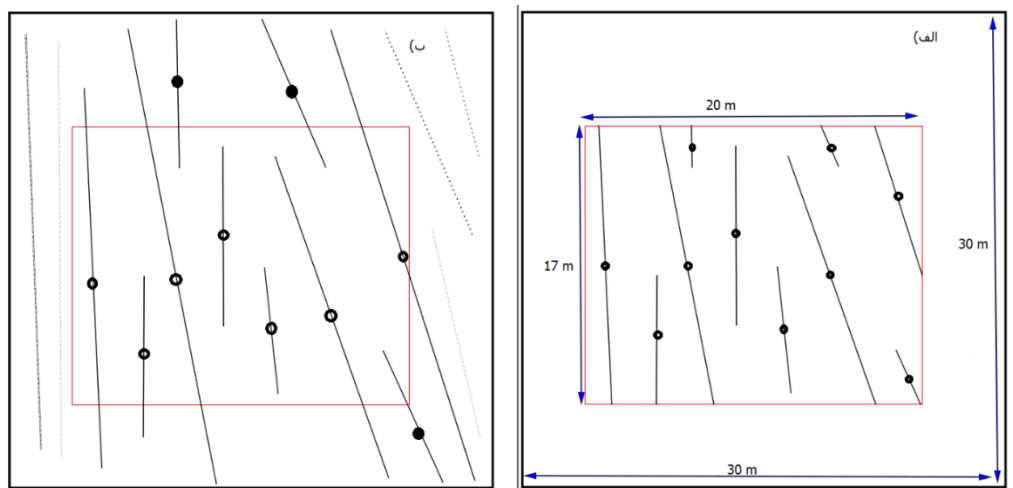
- دانسیته دوبعدی (دانسیته ناحیه‌ای): تعداد شکستگی بر واحد سطح

- دانسیته سه‌بعدی (دانسیته حجمی): تعداد شکستگی بر واحد حجم

یک راه برای برآورد دانسیته ناحیه‌ای خط اثر، شمارش تعداد خط اثرهایی که کاملاً و یا بخشی از آن‌ها در پنجره برداشت قرار می‌گیرند، است. با این حال، حاصل این عملیات دانسیته ظاهری است که وابسته به مقیاس است و بیش از مقدار واقعی را برآورد می‌کند. در مقابل، دانسیته واقعی خط اثر شکستگی، تعداد مرکز خط اثر در واحد سطح تعریف می‌شود که مستقل از مقیاس است اما نمی‌توان

به طور مستقیم از داده‌های میدانی به دست آورد، به خاطر اینکه تنها خط اثرهایی که کاملاً درون پنجره هستند، مرکزشان قابل مشاهده است و شناسایی می‌شوند. خط اثرهایی که بخشی از آن‌ها در پنجره قابل مشاهده هستند، مرکزشان سانسور شده است [۴۵]. دانسیته ظاهری و واقعی در شکل (۵-۲) نشان داده شده‌اند.

برای حل مشکل شناسایی مراکز خط اثر کولاتیلاک^۱ و وو^۲، با فرض توزیع خاصی از طول خط اثر، احتمال اینکه یک پنجره شامل مرکز خط اثر است را برآورد کرده‌اند [۴۳]. هم‌چنین مالدون^۳ و همکاران، روشی بر مبنای توزیع آزاد طول خط اثر ارائه داده‌اند [۴۲].



شکل (۵-۲) - دانسیته خط اثر. الف) دانسیته ظاهری $= \frac{10}{20 \times 17} = 0.3$ ب) دانسیته واقعی $= \frac{7}{20 \times 17} = 0.21$
(دایره‌های خالی خط اثرهایی هستند که مرکزشان درون پنجره است)

^۱ Kulatilake

^۲ Mauldon

^۳ Wu

۴-۵-۲ شدت خط اثر

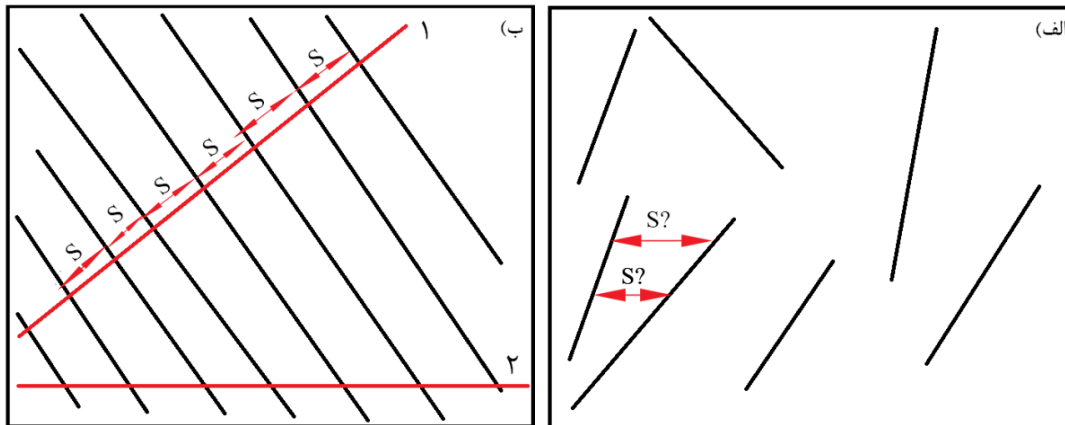
یکی دیگر از فراوانی‌های شکستگی، شدت شکستگی است که به صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی تعریف می‌شود. این سه نوع شدت شکستگی به صورت زیر تعریف می‌شوند [۴۲ و ۴۴]:

- شدت شکستگی یک‌بعدی (شدت خطی): تعداد شکستگی بر واحد طول (دانسیته یک‌بعدی)
- شدت شکستگی دوبعدی (شدت ناحیه‌ای): مجموع طول شکستگی بر واحد سطح
- شدت شکستگی سه‌بعدی (شدت حجمی): مجموع مساحت شکستگی بر واحد حجم

فاصله‌داری متوسط برای خط اثرهای موازی به راحتی اندازه‌گیری می‌شود (شکل (۲-۶ الف)) ولی برای خط اثرهای غیر موازی، تقریباً موازی و بدون تداوم، اندازه‌گیری واضح نیست (شکل (۲-۶ ب)). دانسیته شکستگی و میانگین طول خط اثر، دارای اندازه‌گیری با ابهام کمتر است و به طور مستقیم در شکل دوبعدی قابل اجرا است. برای شکستگی‌هایی با تداوم موازی و خط برداشت نرمال (شکل ۲-۶ (ب) خط ۱) شدت خطی یا فرکانس، عکس میانگین فاصله‌داری است و در نتیجه فاصله‌داری و شدت شکستگی باهم پیوند تنگاتنگ دارند. مزایای استفاده از شدت به جای فاصله‌داری چند مورد است [۴۲]: الف) شدت به طور مستقیم در مواردی مانند شکل (۲-۶ الف) قابل محاسبه است که در آن فاصله‌داری ضعیف تعریف شده است.

ب) شدت شکستگی‌ها مجموعه‌های مستقل (فردی) و افزایشی هستند، در حالی که فاصله‌داری نیست. پ) اگر دانسیته و طول خط اثر مستقل باشند، شدت، حاصل ضرب دانسیته شکستگی و میانگین طول خط اثر است.

بنابراین شدت، دانسیته و میانگین طول خط اثر یک مجموعه واحد از ویژگی‌های منسجم شکستگی هستند در حالی که فاصله‌داری یک پارامتر جدا است.



شکل (۶-۲) - برداشت فاصله‌داری خط اثر الف) خط اثرهای غیر موازی ب) خط اثرها موازی، خط برداشت ۱، خط برداشت نرمال و خط برداشت ۲، خط برداشت با زاویه اختیاری [۴۲].

۶-۲ روش‌های برآورد پارامترهای هندسی ناپیوستگی‌های توده سنگ

روش‌های مختلفی برای برآورد پارامترهای هندسی توده سنگ توسط محققان مختلف ارائه شده است که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۶-۲ روش پال (برآورد طول خط اثر)

پال^۱ از یک برآوردگر برای به دست آوردن میانگین طول خط اثر متوسط (μ) ناپیوستگی‌های مشاهده شده در دیواره معدن استفاده کرد، با فرض اینکه نقاط میانی خط اثر به صورت تصادفی و یکنواخت توزیع شده است. این روش تصحیح بایاس‌های اندازه و سانسور را انجام می‌دهد. این روش مستقل از توزیع طول خط اثر و منحصر به دسته ناپیوستگی‌هایی است که جهت‌گیری یکسانی دارند. این روش قابل اطمینان‌تر است اگر توزیع حاکم بر نقاط میانی، توزیع پواسون باشد که برای این حالت، بایستی توزیع فاصله‌داری، توزیع نمایی باشد. در روش پیشنهادی پال نیاز است تا سه نوع ناپیوستگی اندازه‌گیری

^۱ Pahl

شود [۳۱]:

الف) ناپیوستگی‌هایی که دو انتهای آن در پنجره دیده می‌شوند، اصطلاحاً درون پنجره‌اند.^۱
ب) ناپیوستگی‌هایی که تنها یک انتهای آن در پنجره است و اصطلاحاً پنجره را تکه تکه^۲ می‌کنند.
ج) ناپیوستگی‌هایی که انتهای قابل مشاهده‌ای در پنجره ندارند و پنجره را سرتا سر بریده^۳ است.
در شکل (۷-۲) این سه نوع ناپیوستگی نشان داده شده است. روابط ارائه شده توسط پال به صورت زیر است (حالتی که خط اثرها عمودی باشند):

$$m = \left(\frac{n_t - n_c}{n + 1} \right) \quad (۵-۲)$$

$$\hat{L} = h \cdot \left(\frac{1 + m}{1 - m} \right) \quad (۶-۲)$$

و در هر حالتی که خط اثرها عمودی نباشند رابطه به صورت زیر است:

$$H = l \cdot h / (l \cdot \cos \varphi + h \cdot \sin \varphi) \quad (۷-۲)$$

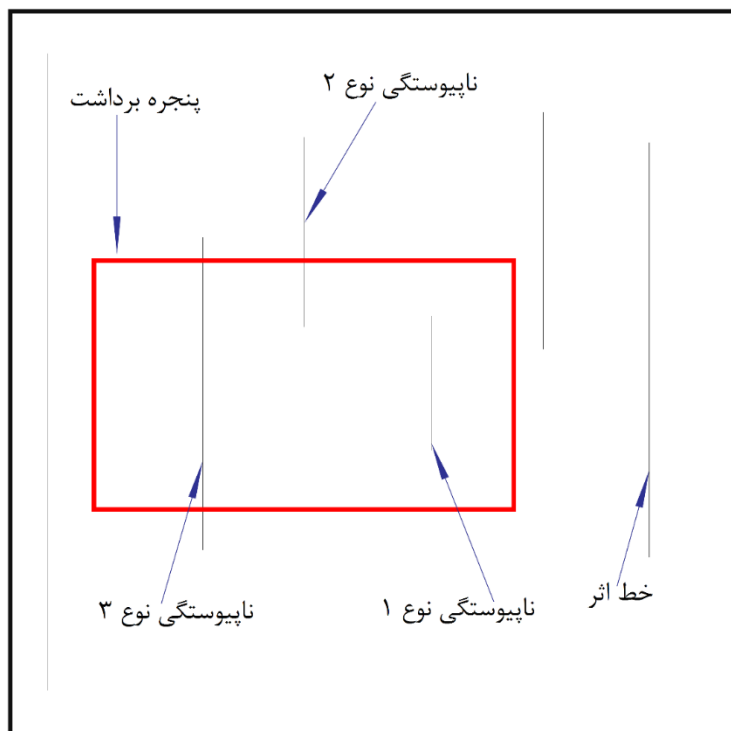
$$\hat{L} = H \cdot \left(\frac{1 + m}{1 - m} \right) \quad (۸-۲)$$

در این روابط، h ارتفاع پنجره، l عرض پنجره، n تعداد کل سه کلاس خط اثر شکل (۷-۲)، n_t تعداد خط اثرهایی که هر دو انتهایشان سانسور شده، n_c تعداد خط اثرهایی که هر دو انتها درون پنجره است، \hat{L} میانگین طول خط اثر و φ زاویه خط اثر نسبت به خط عمود است.

^۱ containment

^۲ transection

^۳ intersection



شکل (۷-۲) - انواع نایپوستگی در روش پال

۲-۶-۲ روش کولاتیلاک و وو (برآورد طول خط اثر و دانسیته)

کولاتیلاک و وو، روش پال را برای نایپوستگی‌هایی که جهت‌داری آن‌ها به وسیله یک تابع توزیع احتمال توصیف شده است، ارتقا دادند. با توجه به معادله، نایپوستگی‌ها به سه گروه تقسیم می‌شوند: (۱) نایپوستگی‌هایی که هر دو انتهای آن سانسور شده است. (۲) نایپوستگی‌هایی که یک انتهای آن سانسور شده است. (۳) نایپوستگی‌هایی که هر دو انتهای آن قابل مشاهده است. این روش اصلاحاتی، برای بایاس اندازه و سانسور خط اثرها در برداشت پنجره‌ای مستطیلی فراهم می‌کند. در این روش، فرض شده که نقاط میانی به صورت یکنواخت و عمودی توزیع شده است. هم‌چنین جهت‌داری و طول خط اثرها مستقل از هم فرض شده‌اند. معادله پیشنهادی در زیر آورده شده است [۳۰]:

$$\mu = \frac{wh(1 + R_o - R_r)}{(1 + R_o - R_r) \cdot (wB + hA)} \quad R_o = \frac{N_o}{N} \quad R_r = \frac{N_r}{N} \quad (۹-۲)$$

$$A = \int_{\alpha_l}^{\alpha_u} \int_{\theta_l}^{\theta_u} |\cos \varphi| (f(\theta, \alpha)) d\theta d\alpha \quad (10-2)$$

$$B = \int_{\alpha_l}^{\alpha_u} \int_{\theta_l}^{\theta_u} \sin \varphi (f(\theta, \alpha)) d\theta d\alpha \quad (11-2)$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\left((1 + \tan^2 \theta \cos^2 \delta)^{\frac{1}{2}} \right)} \quad (12-2)$$

$$\sin \varphi = \frac{1}{\left((1 + \cot^2 \theta \sec^2 \delta)^{\frac{1}{2}} \right)} \quad (13-2)$$

در این روابط، W و h عرض و ارتفاع پنجره مستطیل شکل، R_o ، R_r به ترتیب نسبت ناپیوستگی‌هایی که هر دو انتها سانسور شده‌اند و هر دو قابل مشاهده هستند، به کل ناپیوستگی‌ها (یک انتها سانسور، هر دو سانسور و هر دو در پنجره) است، θ و α شیب و جهت شیب هستند، $f(\theta, \alpha)$ تابع چگالی احتمال جهت‌داری ناپیوستگی‌ها با فرض $\theta_l \leq \theta \leq \theta_u$ و $\alpha_l \leq \alpha \leq \alpha_u$ که در آن اندیس l و u حد بالا و پایین هستند. ϕ زاویه شیب ظاهری و δ نشان دهنده زاویه حاده بین جهت شیب و صفحه عمودی ناپیوستگی است.

رابطه ارائه شده برای برآورد دانسیته شکستگی به صورت زیر است [۴۳]:

$$\lambda = \frac{n_a + \sum_{i=1}^{n_b} [P_1(C)]_i + \sum_{j=1}^{n_c} [P_2(C)]_j}{n_a + n_b + n_c} N_t \quad (14-2)$$

$$P_1(C) = \frac{\int_a^{2a} f(x) dx}{\int_a^{\infty} f(x) dx} \quad (15-2)$$

$$P_2(C) = \frac{\int_{ra}^{\infty} \frac{a}{x-a} f(x) dx}{\int_a^{\infty} f(x) dx} + \frac{\int_a^{2a} f(x) dx}{\int_a^{\infty} f(x) dx} \quad (16-2)$$

در این روابط، N_a ، N_b و N_c به ترتیب تعداد ناپیوستگی‌هایی که هر دو انتها مشاهده شده (نوع a)، یک

انتها مشاهده شده (نوع b) و هر دو انتها سانسور شده (نوع c) است. i نشان دهنده آامین ناپیوستگی نوع b است، j نشان دهنده آامین ناپیوستگی نوع c است، $P_1(C)$ و $P_2(C)$ به ترتیب به معنی احتمال این که نقطه میانی خط اثر از نوع b و نوع c در پنجره باشد، a طولی از خط اثر که درون پنجره است و $f(x)$ تابع چگالی احتمال طول خط اثر x در صفحه‌ی دوبعدی بی‌نهایت است.

۲-۶-۳ روش مالدون (برآورد طول خط اثر و دانسیته)

مالدون اصلاحاتی، برای بایاس اندازه و سانسور خط اثرها در برداشت پنجره‌ای مستطیلی و دایره‌ای فراهم کرد. این روش برای پنجره‌ای با مرزهای محدب است و دو حالت خاص آن پنجره مستطیلی و پنجره دایروی است. توزیع طول خط اثر آزاد و دانسیته نیز با پنجره‌ای با مرزهای محدب و توزیع آزاد جهت‌داری و طول خط اثر به دست می‌آید. وقتی پنجره دایروی باشد، میانگین طول خط اثر، مستقل از توزیع جهت‌داری است. مالدون دو نوع برآوردگر برای میانگین طول خط اثر ارائه کرد، یک برآوردگر به نام نقطه پایانی^۱ که درواقع همان رابطه پال است و دیگری به نام برآوردگر استریولوژیک^۲ که این برآوردگر فقط برای خط اثرهای موازی در پنجره مستطیل شکل است. برآوردگر دایروی برای طول خط اثر مستقل از توزیع طول خط اثر و جهت‌داری است و در تمام موارد، برآوردگر نقطه پایانی برای دانسیته مستقل از این دو پارامتر است [۴۵].

روابط ارائه شده توسط مالدون برای میانگین طول خط اثر و دانسیته در روابط (۲-۱۷) تا (۲-۲۵)

آورده شده است.

$$\tilde{\mu}_1 = h \left(\frac{N + N_T - N_C}{N - N_T + N_C} \right) \quad (۲-۱۷)$$

$$\tilde{\mu} = \frac{A}{E[W]} \left(\frac{N + N_T - N_C}{N - N_T + N_C} \right) \quad (۲-۱۸)$$

$$\tilde{\mu} = \frac{A}{aE[|\sin \theta| + bE[|\cos \theta|]]} \left(\frac{N + N_T - N_C}{N - N_T + N_C} \right) \quad (۲-۱۹)$$

^۱ End-Point

^۲ stereological

$$\tilde{\mu}_v = \frac{\pi R}{r} \left(\frac{N + N_T - N_C}{N - N_T + N_C} \right) \quad (20-2)$$

$$\frac{1}{\tilde{\mu}_v} = \frac{1}{\tilde{\mu}} - \frac{1}{h} \quad (21-2)$$

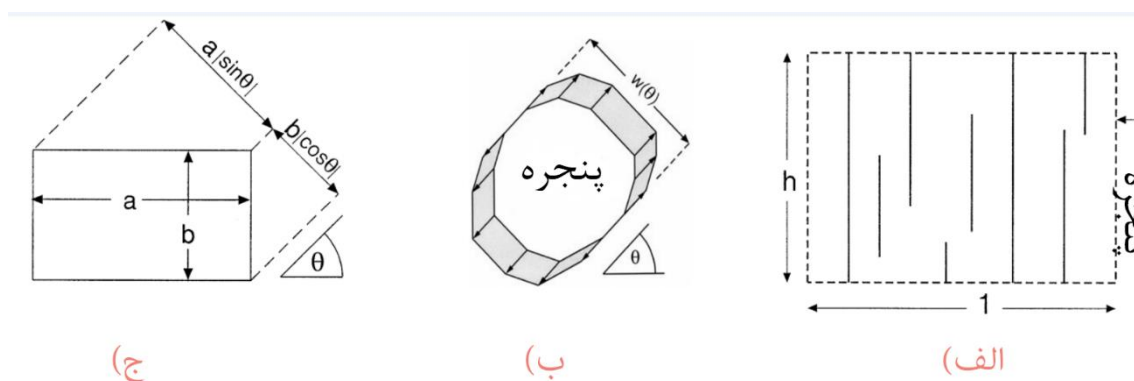
$$\tilde{\rho} = \frac{1}{r h} (N - N_T + N_C) \quad (22-2)$$

$$\tilde{\rho} = \frac{1}{r A} (N - N_T + N_C) \quad (23-2)$$

$$\tilde{\rho} = \frac{1}{r a b} (N - N_T + N_C) \quad (24-2)$$

$$\tilde{\rho} = \frac{1}{r \pi R^2} (N - N_T + N_C) \quad (25-2)$$

در این روابط، h ارتفاع پنجره، N ، N_T و N_C همان پارامترهای رابطه کولاتیلاک و وو هستند، $E[W]$ عرض پنجره محدب، θ زاویه پنجره مستطیلی با سطح افق، R شعاع پنجره دایروی و $\tilde{\mu}$ میانگین ظاهری طول خط اثر (آن بخش از طول خط اثر که درون پنجره قرار دارد) است. روابط (۲-۱۹) و (۲-۲۴) برای پنجره‌های مستطیلی و روابط (۲-۲۰) و (۲-۲۵) برای پنجره‌های دایروی است. در شکل (۲-۸) انواع پنجره‌ها نشان داده شده است.



شکل (۲-۸) - انواع پنجره‌ها در روش مالدون الف) پنجره مستطیلی با عرض واحد و خط اثرهای عمودی و موازی ب) پنجره با مرزهای محدب ج) پنجره مستطیلی [۴۵].

۴-۶-۲ روش ژانگ و انیشتین (برآورد میانگین طول خط اثر)

ژانگ^۱ و انیشتین^۲ برای برآورد میانگین طول خط اثر از پنجره دایروی استفاده کردند. آگاهی از طول خط اثر مشاهده شده و توزیع طول خط اثر مورد نیاز نیست. این روش مناسب خط اثرهایی با توزیع اختیاری جهت‌داری است. این روش اصلاحاتی، برای بایاس اندازه و سانسور خط اثرها در برداشت پنجره دایروی فراهم می‌کند. درواقع این روش، مانند روش‌های پال و کولاتیلاک و وو است با این تفاوت که برای پنجره‌های دایروی است. سه نوع ناپیوستگی این روش در شکل (۲-۹) نشان داده شده است. فرضیات اساسی این روش به‌صورت زیر است [۲۹]:

- همه ناپیوستگی صفحاتی هستند که در پنجره برداشت به‌عنوان خط قطع می‌شوند.
- نقاط میانی طول خط اثر به‌صورت یکنواخت در فضای دوبعدی، یعنی در پنجره برداشت توزیع شده است.

- طول خط اثر و جهت‌داری از نظر آماری مستقل از یکدیگر هستند.
رابطه ارائه شده توسط ژانگ و انیشتین همان رابطه (۲-۲۰) است.

برای استفاده از این معادله، دو مورد خاص باید در نظر گرفته شود:

الف) $\hat{N}_T = \hat{N}$ آنگاه $\mu \rightarrow \infty$ یعنی تمام ناپیوستگی‌های موجود در پنجره هر دو انتهایشان سانسور شده است، درواقع مساحت پنجره برای برداشت ناپیوستگی‌ها خیلی کوچک است. برای حل این مشکل بایستی پنجره را بزرگ‌تر در نظر گرفت.

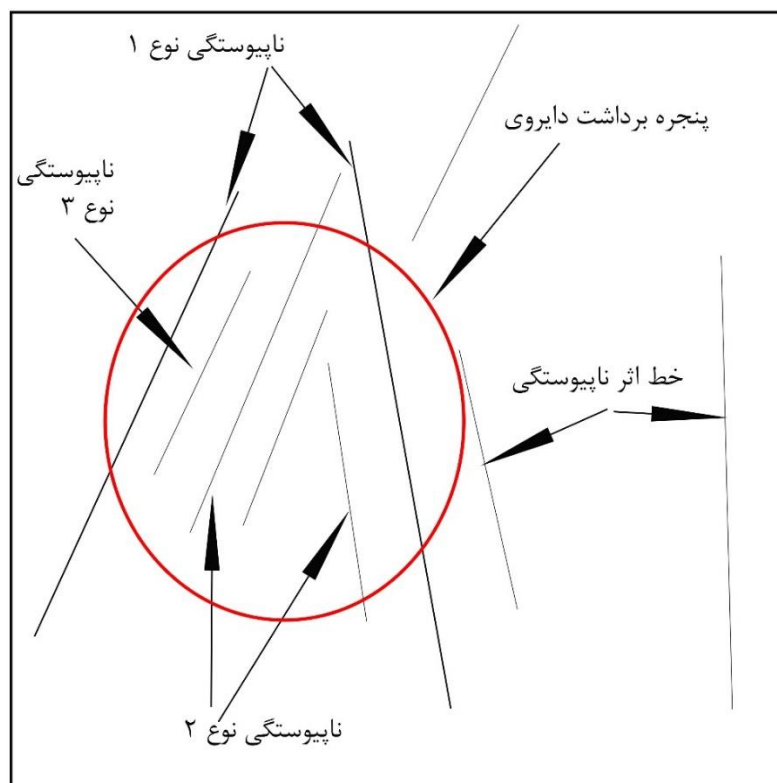
ب) $\hat{N}_C = \hat{N}$ آنگاه $\mu = 0$ یعنی تمام ناپیوستگی‌ها هر دو انتهایشان در پنجره قرار دارد. با توجه به روش پال این نتیجه نقض فرضیه‌ای است که نقاط وسط خط اثرها به‌طور یکنواخت در فضای دوبعدی

^۱ Zhang

^۲ Einstein

توزیع شده است. در این حالت، از روش حداکثر احتمال می‌توان برای به دست آوردن توزیع طول خط اثر استفاده کرد.

توصیه می‌شود که در برداشتهای عملی، پنجره‌های متعدد با اندازه یکسان و در مکان‌های مختلف، به‌جای یک پنجره، مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۲-۹) - انواع نایبوستگی در روش ژانگ و انیشیتین

۲-۶-۵ روش مالدون و همکاران (برآورد میانگین طول خط اثر، دانسیته و شدت

شکستگی)

مالدون و همکاران از یک برآوردگر به نام خط برداشت دایروی^۱ برای برآورد میانگین طول خط اثر،

^۱ Scanline circular

دانسیتته و شدت شکستگی خط اثرها استفاده کردند. این روش اصلاحاتی، برای بایاس اندازه، سانسور و طول خط اثرها فراهم می‌کند. برآورد میانگین طول خط اثر، توزیع آزاد است. در سراسر این روش، استقلال آماری بین مکان خط اثر و مکان برداشت دایروی مفروض است. درواقع می‌توان فکر کرد که الگوی خط اثر شکستگی‌ها ثابت و دایره‌ها به‌طور تصادفی قرار داده می‌شوند. برای برداشت دایره در یک منطقه نامنظم، می‌توان دایره‌ها را به‌طور یکنواخت در محیط یک مستطیل مستقر و فقط آن دسته از دایره‌هایی را که به‌طور کامل در داخل منطقه برداشت قرار می‌گیرند، برای تجزیه و تحلیل استفاده کرد (شکل (۲-۱۰)) [۴۲]. روابط مالدون و همکاران برای یک دایره و دایره‌های چندگانه در روابط (۲-۲۶) تا (۳-۳۱) آورده شده است.

$$\hat{I} = \frac{n}{4r} \quad (۲-۲۶)$$

$$\hat{I} = \frac{\bar{n}}{4\bar{r}} \quad (۲-۲۷)$$

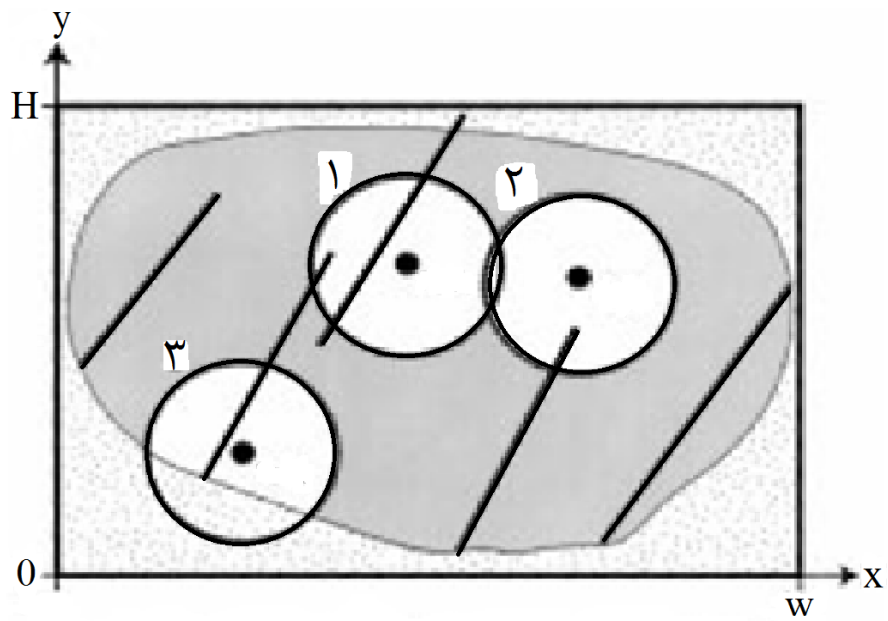
$$\hat{\mu} = \frac{\pi r}{\gamma} \left(\frac{n}{m} \right) \quad (۲-۲۸)$$

$$\hat{\mu} = \frac{\pi \bar{r}}{\gamma} \left(\frac{\bar{n}}{\bar{m}} \right) \quad (۲-۲۹)$$

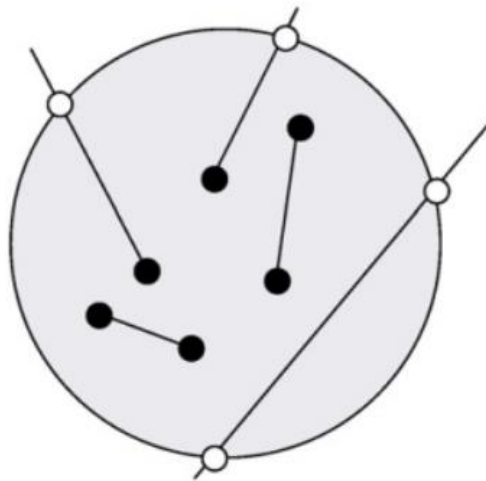
$$\hat{\rho} = \frac{m}{2A} \quad (۲-۳۰)$$

$$\hat{\rho} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\sum m}{\sum r^2} \right) \quad (۲-۳۱)$$

در این روابط، n تعداد خط اثرهایی که دایره را قطع می‌کند، m تعداد نقاط پایانی در داخل پنجره است، این دو پارامتر در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است، r شعاع دایره، A مساحت دایره، \bar{n} میانگین تعداد خط اثرهایی که دایره را قطع می‌کنند (در دایره‌های چندگانه)، \bar{m} میانگین تعداد نقاط پایانی در داخل پنجره (در دایره‌های چندگانه) و \bar{r} میانگین شعاع (دایره‌های چندگانه) است.



شکل (۱۰-۲) - روش خط برداشت دایروی [۴۲]



شکل (۱۱-۲) - پارامترهای m و n در روش مالدون ($m=6$ و $n=4$) [۴۲]

۲-۶-۶ روش کولاتیلاک و وو (برآورد طول خط اثر و دانسیته تصحیح شده روابط قبلی)

کولاتیلاک و وو بر روی معادلات قبلی خود، تصحیحاتی انجام دادند. مقادیر $\sin\varphi$ و $\cos\varphi$ در معادله

(۱۲-۲) و (۱۳-۲) به صورت زیر محاسبه می شود [۴۶]:

$$E(\sin \varphi) \approx \sum_{i=1}^N [\sin \varphi_i \times Rf(\varphi_i)] \quad (32-2)$$

$$E|\cos \varphi| \approx \sum_{i=1}^N [|\cos \varphi_i| \times Rf(\varphi_i)] \quad (33-2)$$

در این معادلات، φ_i نشان‌دهنده شیب ظاهری آمین خط اثر $Rf(\varphi_i)$ نشان‌دهنده فراوانی نسبی آمین خط اثر ظاهرشده در پنجره با شیب ظاهری φ_i که حاصل از زاویه شیب مربوطه و یک ترکیبی از جهت شیب است، $(\theta, (\alpha))$ را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

احتمال تقاطع بین یک ناپیوستگی و دامنه نمونه‌برداری با حجم V_i در آن مرکز ناپیوستگی باید در دامنه نمونه‌برداری قرار گیرد، بر اساس فرضیات گفته‌شده، $Rf(\varphi_i)$ با توجه به معادلات زیر به دست می‌آید:

$$V_i = whd_i [\cos^2 \theta_i + \sin^2 \theta_i \cos^2(\alpha_r - \alpha_i)]^{0.5} + \frac{\pi d_i^2}{4} [w \sin \theta_i |\cos(\alpha_r - \alpha_i)| + h \cos \theta_i]$$

در این معادله، α_i و θ_i به ترتیب جهت شیب و زاویه شیب آمین ناپیوستگی هستند، d_i قطر ناپیوستگی نام، α_r جهت شیب پنجره برداشت است. در صورت عدم وجود مقادیر قطر برای ناپیوستگی، یک اندازه قطر برابر با ۱۰ درصد بالاتر از حداکثر طول خط اثر ممکن، برای تمام ناپیوستگی‌های موجود در معادله بالا استفاده می‌شود. تابع وزن برای ناپیوستگی نام (W_i) برابر است با:

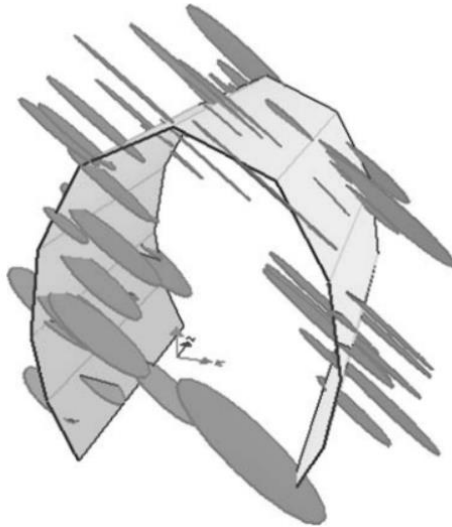
$$W_i = \frac{1}{V_i} \quad (35-2)$$

سپس فراوانی نسبی اصلاح شده ناپیوستگی نام برابر است با:

$$Rf(\varphi_i) = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (36-2)$$

۷-۶-۲ روش سانگ (برآورد میانگین طول خط اثر و دانسیته)

سانگ^۱، معادلات مالدون که با نام برآوردگر نقطه-پایان بود را برای سطوح غیر مسطح، گسترش داد. در واقع منظور از سطح غیر مسطح، سطحی منحنی مانند تونل است. در شکل (۲-۱۲) یک سطح غیرمسطح نشان داده شده است.



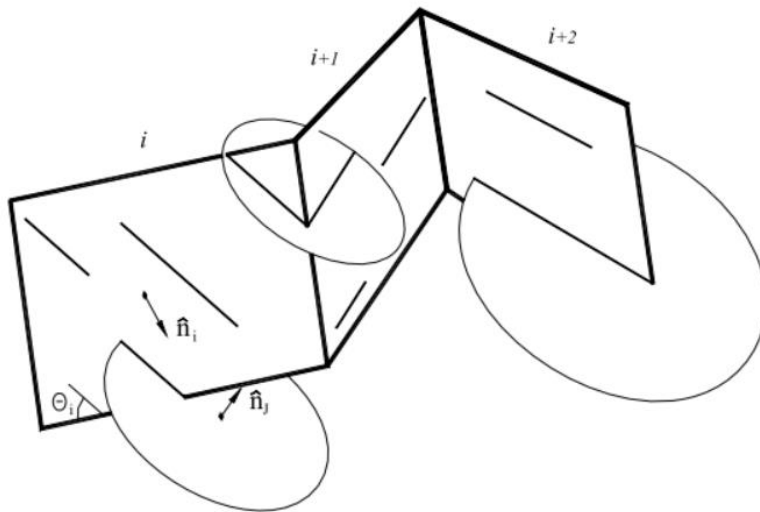
شکل (۲-۱۲) - یک سطح غیر مسطح [۴۷]

در شکل (۲-۱۳) یک پنجره غیر مسطح (در یک صفحه نیستند) شامل سه زیر پنجره غیر موازی i ، $i+1$ و $i+2$ نشان داده شده است. تمام ناپیوستگی‌ها نسبت به یکدیگر موازی هستند، زاویه بین بردار نرمال \hat{n}_i زیر پنجره و ناپیوستگی φ_i است و زاویه بین خط اثر ناپیوستگی و خط مرزی \hat{n}_i زیر پنجره θ_i است (وقتی جهت‌داری زیر پنجره تغییر می‌کند این هم تغییر می‌کند). در اینجا $\sin \varphi_i$ بر اساس حاصل ضرب خارجی بردار نرمال \hat{n}_i زیر پنجره و ناپیوستگی به دست می‌آید $(|\hat{n}_i \times \hat{n}_j|)$. روابط ارائه شده توسط سانگ به ترتیب برای دانسیته دوبعدی نرمال و میانگین طول خط اثر به صورت زیر است [۴۷]:

^۱ Song

$$\lambda^A = \frac{\sum_{i=1}^M (N_i - N_i^T + N_i^C)}{2 \sum_{j=1}^M A_j \sin \varphi_j} \quad (37-2)$$

$$\mu^L = \sum_{i=1}^M \left(\frac{\sin \varphi_i A_i^2 (N_i + N_i^T - N_i^C)}{W(\theta_i) (N_i - N_i^T + N_i^C)} \right) / \sum_{j=1}^M A_j \sin \varphi_j \quad (38-2)$$



شکل (۲-۱۳) - پنجره غیر مسطح با سه زیر پنجره مستطیلی و \hat{n}_j بردار یکه نرمال دیسک‌های ناپیوستگی است [۴۷]

۷-۲ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا در مورد ناپیوستگی‌ها بحث شد و در ادامه پارامترهای مختلف ناپیوستگی‌ها تعریف شد. پس از آن روش‌های مختلف برداشت ناپیوستگی‌ها از رخنمون توده سنگ مورد بررسی قرار گرفت. سپس پارامترهای اصلی این پژوهش یعنی میانگین طول خط اثر، فاصله‌داری متوسط، دانسیته و شدت شکستگی‌ها تعریف شدند

فصل سوم

پردازش تصویر

خوشه بندی

یک تصویر می‌تواند به صورت یک تابع دوبعدی $f(x, y)$ تعریف شود، که در آن x و y مختصات مکانی (در روی صفحه) هستند و دامنه f در هر زوج از مختصات (x, y) به نام شدت روشنایی^۱ یا سطح خاکستری تصویر، در آن نقطه نامیده می‌شود. هنگامی که x و y و مقادیر شدت روشنایی f همگی کمیت‌های محدوده گسسته باشند، آنگاه این تصویر را یک تصویر دیجیتال نامیده می‌شود. توجه شود که یک تصویر دیجیتال از تعداد محدودی از عناصر تشکیل می‌شود که هر کدام یک مکان و مقدار بخصوص دارد. این عناصر به نام عنصر تصویر، عنصر عکس، پل^۲ و پیکسل^۳ نامیده می‌شوند [۴۸]. در معنای خاص پردازش تصویر عبارت است از هر نوع پردازش سیگنال که ورودی یک تصویر است، مانند عکس یا صحنه‌ای از یک فیلم، خروجی پردازشگر تصویر می‌تواند یک تصویر یا یک مجموعه از نشان‌های ویژه یا متغیرهای مربوط به تصویر باشد [۴۹].

در این فصل ابتدا در مورد فیلترهای مکانی و انواع آن صحبت می‌شود پس از آن همسایگی پیکسل و انواع آن‌ها تعریف شده است. در ادامه عملکردهای گسترش، فرسایش و برچسب زدن اجزای متصل تعریف می‌شود. سپس مبانی تشخیص لبه و الگوریتم‌های مختلف آن آورده می‌شود. پس از آن الگوریتم تبدیل هاف شرح داده می‌شود، در انتها در مورد مبانی خوشه‌بندی و انواع آن بحث شده است.

۲-۳ فیلترگذاری مکانی

حوزه‌ی مکان، صفحه دربرگیرنده‌ی پیکسل‌های یک تصویر است و روش‌های فیلترگذاری مکانی مستقیماً بر روی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌شوند. فرآیندهای حوزه‌ی مکان را می‌توان به صورت زیر نمایش داد

^۱ Intensity

^۲ Pixel

^۳ Pel

[۵۰]:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (۱-۳)$$

در این رابطه، $f(x, y)$ تصویر ورودی، $g(x, y)$ تصویر خروجی و T عملگری بر روی f است که در همسایگی نقطه (x, y) تعریف می‌شود. علاوه بر آن T می‌تواند بر روی یک مجموعه از تصاویر اعمال شود. در شکل (۱-۳) پیاده‌سازی معادله‌ی (۱-۳) نشان داده شده است. برای اعمال فیلتر مکانی ابتدا حول نقطه (x, y) و به مرکزیت خودش یک مربع یا مستطیل به‌عنوان همسایگی قرار داده می‌شود و سپس عملیات از پیش تعریف شده‌ای بر روی پیکسل‌های همسایگی اجرا می‌شود. به این همسایگی پنجره، نقاب یا ماسک گفته می‌شود. سپس پیکسلی در یک تصویر جدید متناظر با مختصات (x, y) ایجاد گردیده که مقدارش برابر نتیجه عملیات فیلتر کردن است. اگر محاسبات انجام شده بر روی پیکسل‌های همسایگی مورد نظر خطی باشند، عملیات تحت عنوان فیلترگذاری خطی مکانی نام‌گذاری و در غیر این صورت فیلترگذاری غیرخطی مکانی نامیده می‌شود.

زمانی که یک تصویر تشکیل می‌شود، عواملی مانند روشنایی (طیف، منبع و شدت) و ویژگی‌های دوربین (پاسخ حس‌گر، عدسی) بر روی تصویر تأثیر می‌گذارد، بنابراین، عامل اولیه‌ای که باعث کاهش کیفیت تصویر می‌شود، نویز^۱ است. نویز جزئیات مهم از تصاویر را پنهان می‌کند. به‌منظور افزایش کیفیت تصویر، باید نویز از تصویر، بدون از دست دادن اطلاعات تصویر، حذف شود. حذف نویز یکی از مراحل پیش‌پردازش تصویر است. انواع مختلفی از نویز که تصاویر را خراب می‌کنند، وجود دارد، مانند: نویزهای گوسی^۲، رایلی^۳، ضربه‌ای^۴، گاما^۵ و ثابت^۶. بخش اصلی نویز در تصاویر دیجیتال، به‌هنگام عکس‌برداری و یا انتقال پدید می‌آید. در بعضی موارد سطح نور و درجه دمای محیط در میزان نویز تصویر حاصل نقش دارند [۵۱].

^۱ Noise

^۲ Guussian noise

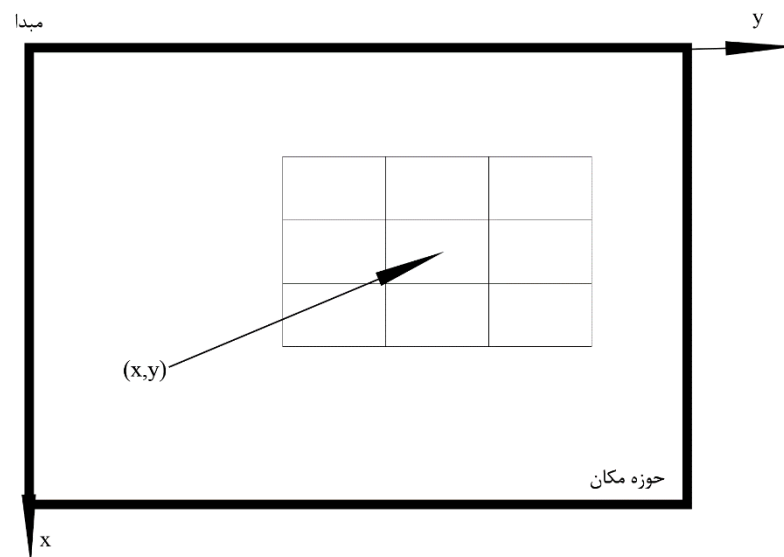
^۳ Rayleigh noise

^۴ Salt & Pepper noise

^۵ Erlang noise

^۶ Uniform noise

فیلترهای مکانی هموارساز جهت کاهش نویز به کار می‌رود. کاهش نویز را می‌توان از طریق مات سازی با یک فیلتر خطی و نیز از طریق فیلترگذاری غیرخطی انجام داد. مهم‌ترین فیلتر هموارسازی خطی و غیرخطی (مرتبه-آماری^۱) به ترتیب فیلتر میانگین^۲ و فیلتر میانه^۳ است. در فیلتر میانگین، پیکسل مرکزی با متوسط شدت روشنایی در آن جایگزین و در فیلتر میانه، با مقدار میانه شدت روشنایی در همسایگی آن پیکسل جایگزین می‌شود [۴۸]. انواع مختلفی از فیلترهای متوسط‌گیر و فیلترهای مرتبه-آماری وجود دارد که در جدول (۳-۱) به همراه معادله فیلتر و توضیحات آن، نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) - یک منطقه همسایگی 3×3 حول نقطه (x,y) در یک تصویر در حوزه مکان

^۱ Order statistic

^۲ Median dilter

^۳ Average filter

جدول (۱-۳) - فیلترهای مکانی [۴۸]

معادله	نام فیلتر	ردیف
$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)$	میانگین حسابی	۱
$\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{1/mn}$	میانگین هندسی	۲
$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s, t)}}$	میانگین هارمونیک	۳
$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)^Q}$	میانگین پادهارمونیک ^۱	۴
$\hat{f}(x, y) = \text{median} \{g(s, t)\}_{(s,t) \in S_{xy}}$	فیلتر میانه	۵
$\hat{f}(x, y) = \max \{g(s, t)\}_{(s,t) \in S_{xy}}$	فیلتر بیشینه ^۲	۶
$\hat{f}(x, y) = \min \{g(s, t)\}_{(s,t) \in S_{xy}}$	فیلتر کمینه ^۳	۷
$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{\gamma} \left[\max \{g(s, t)\}_{(s,t) \in S_{xy}} + \min \{g(s, t)\}_{(s,t) \in S_{xy}} \right]$	فیلتر نقطه وسط ^۴	۸
$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn-d} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g_r(s, t)$	فیلتر میانگین با برش آلفا ^۵	۹

در این جدول، S_{xy} نماینده‌ی ناحیه $m \times n$ از تصویر ورودی نويز دار g است، زیرنویس S نشان‌دهنده مختصات مرکز ناحیه در (x, y) است، Q مرتبه فیلتر و $\hat{f}(x, y)$ پاسخ فیلتر در مختصات (x, y) است.

^۱ Contraharmonic

^۲ Max

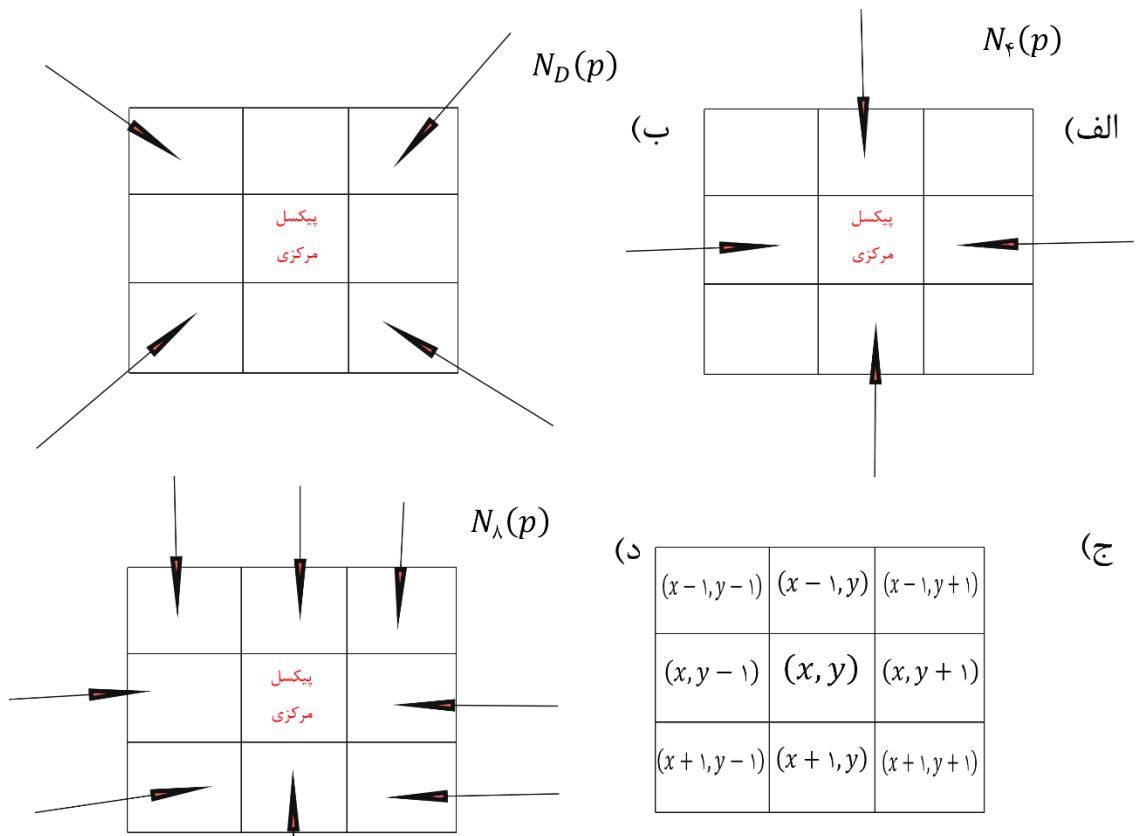
^۳ Min

^۴ Midpoint filter

^۵ α -trimmed

۳-۳ همسایگان یک پیکسل

یک پیکسل با مختصات (x, y) ، چهار همسایه افقی و عمودی دارد. این مجموعه از این پیکسل‌ها، چهار همسایگان نامیده می‌شود و به صورت $N_4(p)$ نمایش داده می‌شود. هر پیکسل یک واحد از (x, y) فاصله دارد، اگر (x, y) در مرز تصویر باشد، برخی از همسایگان در خارج تصویر دیجیتال قرار می‌گیرند. چهار همسایه قطری نیز با $N_D(p)$ نشان داده می‌شوند. این نقاط به همراه چهار همسایه، هشت همسایه نامیده می‌شود و با $N_8(p)$ نشان داده می‌شوند [۴۸]. این همسایگی‌ها در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) - انواع همسایگی (الف) چهار همسایه (ب) همسایگی قطری (ج) مختصات هشت همسایه (د) هشت همسایه

۴-۳ ریخت‌شناسی^۱ تصویر

ریخت‌شناسی در بحث پردازش تصویر به‌عنوان ابزاری برای استخراج اجزای تصویر به‌کار برده می‌شود. در این پایان‌نامه از دو عملکرد گسترش^۲ و فرسایش^۳ و همچنین استخراج اجزای متصل که مبتنی بر عملیات ریخت‌شناسی است مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱-۴-۳ گسترش و فرسایش

گسترش یا اتساع، عملیاتی است که طی آن اشیا در یک تصویر دودویی^۴ ضخیم‌تر می‌شوند و عملکرد فرسایش، برای کوتاه کردن و یا نازک کردن اشیا در یک تصویر دودویی به‌کار می‌رود. رفتار و اندازه‌ی ضخیم‌شدن و نازک‌شدن با توجه به عضو ساختاری^۵ کنترل می‌شود. از نظر ریاضی، این دو عملکرد بر مبنای مجموعه‌ای از عملیات تعریف می‌شود. گسترش و فرسایش دو مجموعه‌ی A و B به ترتیب زیر تعریف می‌شود [۴۹]:

$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (۲-۳)$$

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap A^c \neq \emptyset\} \quad (۳-۳)$$

در این روابط A تصویر مورد نظر، B عضو ساختاری، $(B)_z$ دوران یافته B حول مبدا مختصات، \emptyset نشان‌دهنده مجموعه‌ی تهی و A^c متمم A است. عمل گسترش اشیای موجود در یک تصویر دودویی را ضخیم‌تر می‌کند اگر A حداقل با بخشی از B هم‌پوشانی داشته باشد. در عملیات فرسایش، اگر A حداقل با بخشی از B هم‌پوشانی داشته باشد جزییاتی از تصویر حذف می‌شود. در شکل (۳-۳) تأثیر عملگرهای گسترش و فرسایش با توجه به عضو ساختاری نشان داده شده است.

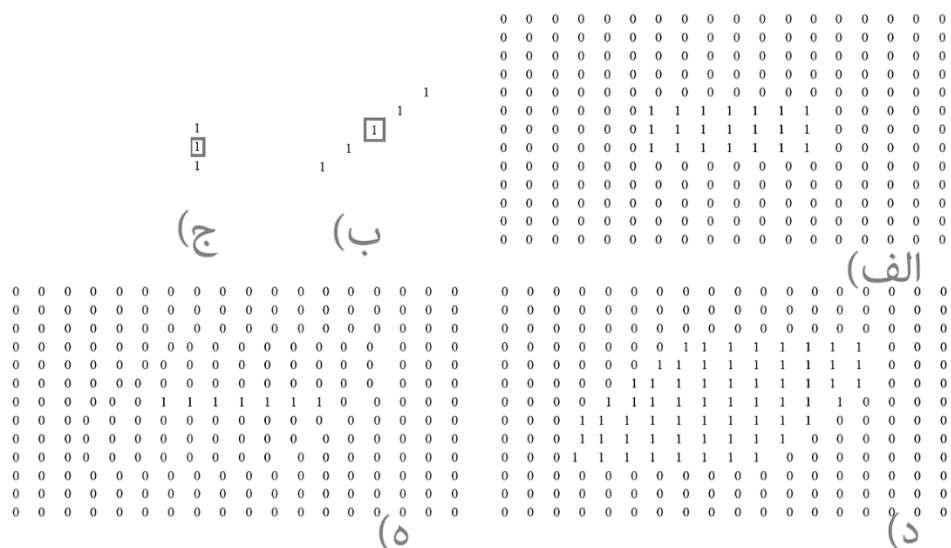
^۱ Morphological

^۲ Dilation

^۳ Erosion

^۴ Binary

^۵ Structuring element



شکل (۳-۳) - عملیات گسترش و فرسایش (الف) تصویر اصلی (ب) عضو ساختاری اول (ج) عضو ساختاری دوم (د) تصویر حاصل پس از انجام عملیات گسترش با عضو ساختاری اول (ه) تصویر حاصل پس از عملیات فرسایش با عضو ساختاری دوم

۳-۴-۲ برچسب زدن اجزای متصل^۱

برچسب زدن اجزای متصل یک تصویر باینری، اساس بسیاری از کاربردهای خودکار تصاویر است. اساس کار بدین شکل است که الگوریتم قسمت‌هایی از تصویر را که به یکدیگر متصل هستند با یک شماره برچسب می‌زند و اگر دیگر پیکسلی به آن‌ها متصل نباشد به سراغ قسمت بعدی می‌رود و آن را با یک شماره دیگر برچسب می‌زند و بدین ترتیب کل تصویر را جستجو می‌کند [۵۲].

۳-۵-۲ تشخیص لبه^۲

در پردازش تصویر به الگوریتمی که لبه‌های موجود در یک تصویر را آشکارسازی می‌کند، آشکارساز لبه گفته می‌شود. یک آشکارساز لبه، یک تصویر دیجیتال را به‌عنوان ورودی می‌گیرد و نقشه لبه را که یک تصویر دودویی است را به‌عنوان خروجی تولید می‌کند. آشکارسازی لبه روشی است که معمولاً برای بخش‌بندی تصاویر بر مبنای تغییرات سریع (محلی) شدت روشنایی استفاده می‌شود. آشکارسازی

^۱ Labeling connected components

^۲ Edge detection

تغییرات در شدت روشنایی به منظور یافتن لبه‌ها می‌تواند توسط مشتقات مرتبه‌ی اول و دوم انجام شود [۵۰]. ابزار یافتن اندازه و جهت لبه در یک تصویر، گرادیان تصویر یا مشتق مرتبه اول است که به صورت بردار زیر تعریف می‌شود [۵۳]:

$$\nabla f = \text{grad}(f) = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (۴-۳)$$

$$g_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = f(x + 1, y) - f(x, y) \quad (۵-۳)$$

$$g_y = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = f(x, y + 1) - f(x, y) \quad (۶-۳)$$

مشتقات مرتبه دوم در پردازش تصویر عموماً با استفاده از روش لاپلاس محاسبه می‌شوند که یک مکمل قوی در ترکیب با سایر روش‌های تشخیص لبه که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (۷-۳)$$

با توجه به مباحث گفته شده ایده اساسی در تشخیص لبه، یافتن مکان‌هایی است که در آن شدت روشنایی به سرعت تغییر می‌کند. در این راستا از یکی از دو معیار کلی زیر استفاده می‌شود [۴۹]:

الف) یافتن مکان‌هایی که مشتق اول شدت روشنایی، از نظر اندازه بزرگ‌تر از آستانه تعیین شده باشد.

ب) یافتن مکان‌هایی که مشتق دوم شدت روشنایی، دارای گذر از صفر باشد.

در تشخیص لبه به روش‌های سوبل^۱، پرویت^۲ و رابرتز^۳ از ماسک‌ها و تخمین‌های مشتقات نشان داده شده در شکل (۷-۳) استفاده می‌شود.

^۱ Sobel
^۲ Prewitt

^۳ Roberts

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

(الف)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

$$g_x = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)$$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$$g_y = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_4 + 2Z_5 + Z_6)$$

(ب)

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

$$g_x = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

$$g_y = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_4 + Z_5 + Z_6)$$

(ج)

-1	0
0	1

$$g_x = Z_9 - Z_7$$

-1	0
0	1

$$g_y = Z_8 - Z_6$$

(د)

شکل (۳-۴) - چند ماسک برای تشخیص لبه، الف) همسایگی تصویر، ب) سوبل، ج) پرویت، د) رابرتز

روش‌های مختلفی برای آشکارسازی لبه‌ها وجود دارد که با در نظر گرفتن عواملی چون نویز و ماهیت لبه‌ها عمل می‌کنند. آشکارساز کنی^۱ یکی از قوی‌ترین روش‌های تشخیص لبه با در نظر گرفتن این عوامل است. این روش بر اساس سه موضوع اساسی نرخ خطای پایین، تشخیص درست نقاط لبه و منحصر به فرد بودن لبه‌ها استوار است. این روش را می‌توان در مراحل زیر خلاصه نمود [۵۴]:

^۱ Canny

الف) نرم کردن: برای حذف نویز از تصویر و با استفاده از فیلتر گوسی انجام می‌گیرد.

ب) یافتن گرادیان: گرادیان تصویر با استفاده از روابط (۳-۹) و (۳-۱۰) و ماسک‌های شکل (۳-۷) محاسبه می‌شود تا نواحی با تغییرات بالا پیدا شود.

ج) حذف اعضای غیر بیشینه: فقط اعضای بیشینه باید به عنوان لبه در نظر گرفته شود.

د) آستانه دوگانه: از دو حد آستانه بالا و پایین استفاده می‌شود. اگر اندازه و مقدار شدت در پیکسل از حد آستانه‌ی اول، کوچک‌تر باشد، مقدارش صفر قرار داده می‌شود.

ه) ردیابی لبه‌ها: اگر مقدار شدت پیکسل بین دو آستانه بود، مقدارش صفر می‌گردد مگر اینکه یک اتصال با پیکسل‌هایی که مقدارش از آستانه دوم بالاتر است داشته باشد.

یکی از مهم‌ترین اهداف در این پایان‌نامه یافتن خط اثر ناپیوستگی‌های توده سنگ است که برای رسیدن به این هدف از الگوریتم تبدیل هاف استفاده شده که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۳-۶ تشخیص خطوط توسط تبدیل هاف^۱

یکی از روش‌های یافتن و سپس اتصال پیکسل‌ها در قالب خطوط، تبدیل هاف است. تبدیل هاف، اغلب برای تشخیص خطوط در تصاویر حاصل از لبه‌یابی استفاده می‌شود و امکان تشخیص سایر شکل‌های هندسی (دایره‌ها و بیضی‌ها) با استفاده از این تبدیل وجود دارد.

یک پاره‌خط را می‌توان در فضای تصویر^۲ با دو کمیت شیب و عرض از مبدأ توصیف کرد:

$$y_i = mx_i + c \quad (۳-۸)$$

در این رابطه m شیب و c عرض از مبدأ است. در تبدیل هاف، نقطه (x_i, y_i) و تمامی خطوطی که از آن عبور می‌کنند، مطلوب است. بی‌نهایت خط از نقطه (x_i, y_i) عبور می‌کنند که هر یک از آن‌ها روی

^۱ Hough transform

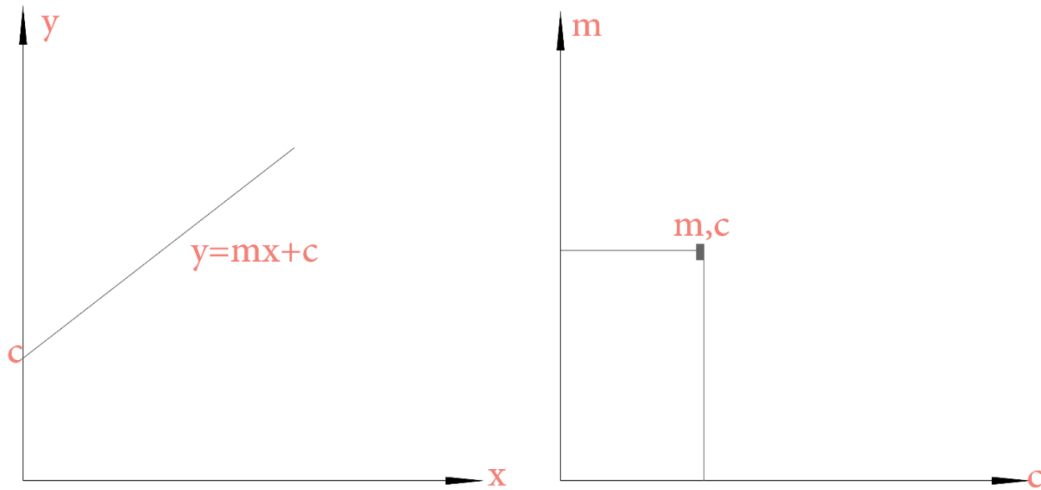
^۲ Image space

خط معادله (۸-۳) قرار دارند. می‌توان این خط را بدون از دست دادن تمام اطلاعات به صورت یک نقطه در فضای پارامتری^۱ (فضای هاف) نمایش داد (شکل (۳-۵))، بنابراین هر خط در فضای تصویر برابر با یک نقطه منفرد در فضای پارامتری است. معادله (۸-۳) را می‌توان به صورت معادله زیر در فضای پارامتری نوشت [۵۳]:

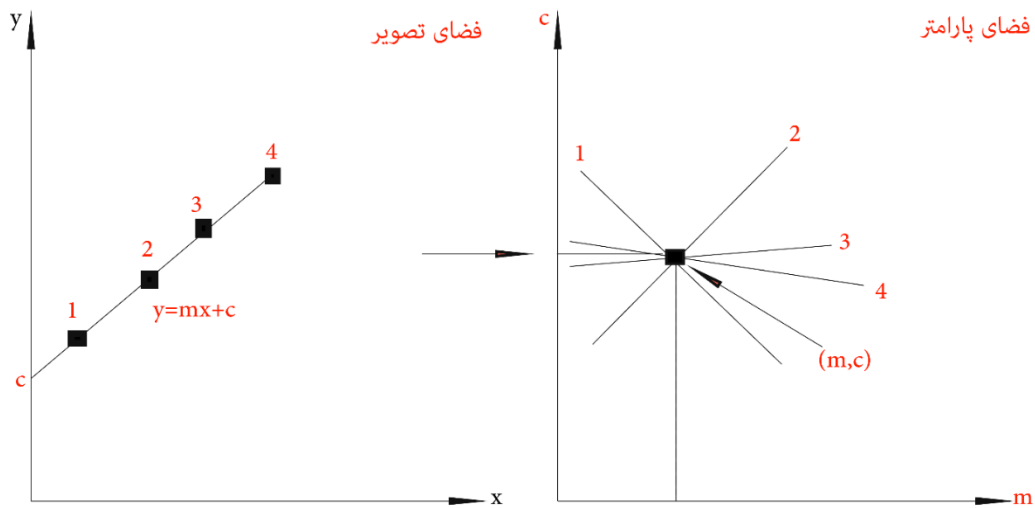
$$c = y_i - mx_i \quad (۹-۳)$$

در این معادله c و m ثابت هستند و y_i و x_i متغیر هستند و این رابطه معادله یک خط در فضای پارامتری است. حال اگر چند نقطه در فضای تصویر که بر روی یک خط قرار دارند به فضای پارامتری انتقال داده شود، مطابق شکل (۳-۶) این خطوط در یک نقطه همدیگر را قطع می‌کنند. پس پیدا کردن خطوط غالب در فضای تصویر هم‌اکنون می‌تواند به عنوان پیدا کردن تمام مکان‌هایی در فضای پارامتری که در آن تعداد قابل توجهی از خطوط همدیگر را قطع می‌کنند، بیان شود. به بیان دیگر همه‌ی نقاط موجود در معادله خط (۸-۳) دارای خطوطی در فضای پارامتری می‌باشند که همگی در (m, c) دارای تقاطع هستند، در واقع این اساس و هدف تبدیل هاف است [۴۸].

^۱ Parameter space



شکل (۵-۳) - تبدیل خط از فضای تصویر به نقطه در فضای پارامتر



شکل (۶-۳) - تبدیل چند نقطه در فضای تصویر به چند خط در فضای پارامتر

مشکل این روش در عمل این است که m با عمودی شدن خط به بی نهایت نزدیک می شود. این

مشکل با استفاده از روشی دیگر برای تعیین پارامتر حل می شود. به جای ترکیب شیب- عرض از مبدأ

از نمایش بردار نرمال استفاده می شود. این نمایش به صورت زیر است [۴۸ و ۵۳]:

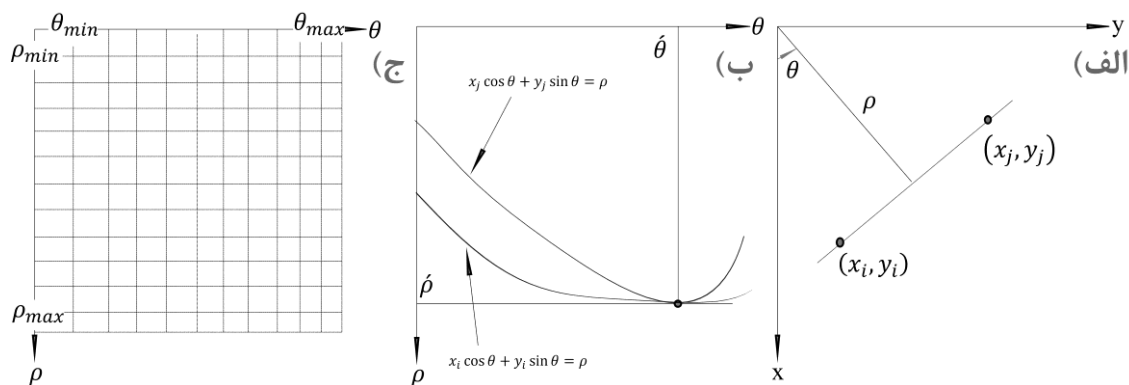
$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad (10-3)$$

در این رابطه θ زاویه نرمال وارد بر خط و ρ طول بردار نرمال از مبدأ تا خط است. ρ می‌تواند از مقدار صفر تا قطر تصویر باشد. در این نوع نمایش، معادله خط به صورت زیر است:

$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta \quad (11-3)$$

در این رابطه (x_i, y_i) نقاطی هستند که خط از آن‌ها عبور می‌کند. با توجه به این رابطه، یک خط همچنان در فضای تصویر برابر با یک نقطه در فضای پارامتری نرمال است اما یک نقطه در فضای تصویر برابر با یک منحنی سینوسی در فضای پارامتری نرمال است. با توجه به اینکه خطوط در فضای تصویر کاملاً مستقیم نیستند خطوط در فضای پارامتری همدیگر را دقیقاً در یک نقطه قطع نمی‌کنند و فضای پارامتری نرمال به سلول‌هایی با نام سلول‌های انباشتگر^۱ تقسیم‌بندی می‌شود. نمایش نرمال خط و سلول انباشتگر در شکل (۷-۳) نشان داده شده است. سلول مربوط به مختصات (i, j) با یک مربع در مختصات (ρ_i, θ_j) از فضای پارامتری متناظر است. هر پیکسل غیر صفر روی لبه، یک منحنی سینوسی در فضای پارامتری نرمال ایجاد می‌کند. روش کار بدین صورت است که ابتدا، θ ، -90 در نظر گرفته می‌شود و مقدار ρ متناظر با آن محاسبه می‌شود و حاصل آن به نزدیک‌ترین مقدار سلول روی محور ρ گرد می‌شود، سپس مقدار θ یک واحد افزایش می‌یابد و ρ بعدی محاسبه می‌شود و این فرآیند تا θ برابر 90 درجه ادامه می‌یابد. هنگامی که هر منحنی از یک سلول عبور می‌کند مقدار آن سلول، یک واحد افزایش می‌یابد. اکنون برای هر پیکسل یک منحنی سینوسی در فضای پارامتری نرمال وجود دارد که برخی از این سلول‌ها مقدار بیشتری دارند که این نقاط روی خطی با پارامترهای آن سلول قرار دارند. در واقع مختصات مرکز سلول‌هایی که از یک مقدار آستانه بیشتر هستند به‌عنوان پارامترهای خط مستقیم در فضای تصویر در نظر گرفته می‌شوند [۴۸ و ۴۹].

^۱ Accumulator



شکل (۷-۳) - تبدیل تصویر از فضای تصویر به فضای پارامتری نرمال (الف) پارامترهای ρ و θ در صفحه xy . (ب) منحنی‌های سینوسی در فضای پارامتری نرمال (ج) تقسیم فضای پارامتری نرمال به سلول‌های انباشتگر [۵۳].

۷-۳ خوشه‌بندی

خوشه‌بندی^۱ به معنی تقسیم داده‌ها به گروه‌هایی از اشیا مشابه است. کلمه‌ی خوشه به معنای دسته‌ای از گروه‌های مشابه، در حال حاضر در زمینه‌های مختلف علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به بیان دیگر خوشه‌بندی بدان معنی است که می‌توان به روشنی گفت که آیا یک شی متعلق به یک خوشه است یا خیر. خوشه‌بندی را می‌توان به عنوان مهم‌ترین مسئله در یادگیری بدون نظارت در نظر گرفت. در یادگیری بدون نظارت هیچ اطلاعاتی به جز داده‌های آموزشی در اختیار یادگیرنده وجود ندارد درحالی‌که در یادگیری با نظارت از ابتدا دسته‌ها مشخص هستند و هر یک از داده‌های آموزشی به دسته‌ای خاص نسبت داده شده است [۵۵].

دسته‌بندی الگوریتم‌های خوشه‌بندی، کار دشواری است، در واقع گروه‌های ایجاد شده با یکدیگر هم‌پوشانی دارند و به‌طور قطعی نمی‌توان آن‌ها را از یکدیگر جدا کرد. می‌توان روش‌های خوشه‌بندی را به دو دسته اصلی تفکیکی^۲ و سلسله‌مراتبی^۳ تقسیم‌بندی کرد [۵۶ و ۵۷]:

^۱ Clustering

^۲ Hierarchical

^۳ Partitional

الف) الگوریتم‌های تفکیکی n داده از پایگاه داده را به k دسته تقسیم می‌کند. یک الگوریتم تفکیکی با یک مقدار اولیه و معمولاً تصادفی شروع می‌کند و با جابجایی اشیا از یک خوشه به خوشه دیگر، دسته‌بندی را بهبود می‌دهد. این بهبود معمولاً با کمینه‌سازی یک تابع هدف تعریف شده، میسر می‌شود.

ب) الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی، یک تجزیه سلسله‌مراتبی از اشیا ایجاد می‌کند. این نوع الگوریتم‌ها در دو دسته تراکمی^۱ (پایین به بالا) و تقسیمی^۲ (بالا به پایین) قرار می‌گیرند. در الگوریتم تراکمی، هر شیء ابتدا در یک خوشه جداگانه قرار می‌گیرد و طی فرآیندی تکراری در هر مرحله خوشه‌هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل شود. الگوریتم‌های تقسیمی، روش مخالفی را دنبال می‌کنند. در این روش ابتدا تمام داده‌ها به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس در طی یک فرآیند تکراری داده‌هایی که شباهت کمتری به هم دارند به خوشه‌های مجزا تقسیم می‌شوند و این روند تا زمانی که همه اشیا در خوشه‌های جداگانه قرار گیرند ادامه می‌یابد.

یکی از مهم‌ترین اهداف در این پایان‌نامه تعیین تعداد دسته درزه است و اینکه هر درزه به کدام دسته درزه تعلق دارد که برای رسیدن به این هدف از خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی استفاده شده که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۳-۷-۱ روش K میانگین

الگوریتم K میانگین یکی از معروف‌ترین و ساده‌ترین الگوریتم‌ها است و به دلایلی چون سادگی، کارایی بالا و سهولت پیاده‌سازی به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم با K نقطه تصادفی به‌عنوان مراکز خوشه‌ها آغاز می‌شود و سپس هر داده به خوشه متناظرش نسبت داده می‌شود. در ادامه از داده‌های یک خوشه میانگین گرفته می‌شود و مقدار میانگین به‌عنوان مرکز جدید خوشه، جایگزین

^۱ Agglomerative

^۲ Divisive

مرکز قبلی می‌شود حال دوباره نمونه‌ها با مراکز جدید سنجیده و آن‌ها به خوشه‌های مربوطه جدید نسبت داده می‌شود. این عملیات آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا به یک معیار همگرایی رسیده شود. این معیار همگرایی می‌تواند این باشد که مراکز جدید و قدیم باهم برابر باشند یا اینکه بعد از چند مرحله کاهش مربع خطا غیر محسوس باشد. در این حالت الگوریتم متوقف می‌شود [۵۸و۵۵].

۳-۷-۲ روش خوشه‌بندی فازی^۱

روش خوشه‌بندی فازی برای ساختن خوشه‌هایی با مرزهای نامشخص ارائه شده است. در مجموعه‌های فازی، عضویت به‌طور نسبی است و میزان عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های فازی بین صفر و یک متغیر است، بنابراین این روش اجازه می‌دهد یک شی که متعلق به چندین خوشه است به درجه‌های مختلف جدا شود، به عبارت دیگر ماهیت خوشه‌بندی فازی، فقط مطرح کردن وضعیت تعلق خوشه‌ها نیست، بلکه مطرح کردن این است که هر شیء تا چه حد به خوشه‌ها تعلق دارد [۵۹]. تابع هدف این الگوریتم که شکل توسعه یافته روش K میانگین است به صورت زیر است [۶۰و۵۸]:

$$F_{FCM} = \sum_{K=1}^K \sum_{j=1}^n \mu_{j,k}^{\rho} \|y_j - m^{(K)}\|^2 \quad (۱۲-۳)$$

در این رابطه، $\mu_{j,k}$ درجه عضویت شیء z در خوشه K ، m مرکز خوشه K ، ρ میزان فازی بودن را کنترل می‌کند و هرچه این پارامتر کوچک‌تر باشد فازی بودن کمتر و هر چه به بی‌نهایت نزدیک‌تر باشد فازی بودن بیشتر است. درجه عضویت و مرکز خوشه به ترتیب از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\mu_{j,k} = \frac{1}{\sum_{K=1}^K \left(\frac{y_j - m^{(K)}}{y_j - m^{(k)}} \right)^{\frac{2}{\rho-1}}} \quad (۱۳-۳)$$

$$m^{(K)} = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_{j,k}^{\rho} \cdot y_j}{\sum_{j=1}^N \mu_{j,k}^{\rho}} \quad , \quad K = 1, 2, \dots, K \quad (۱۴-۳)$$

^۱ Fuzzy C-Mean (FCM)

۳-۷-۳ روش خوشه‌بندی کاهشی^۱

یکی از مهم‌ترین عوامل در محاسبه پارامتر فاصله‌داری متوسط، تعیین تعداد دسته درزه (خوشه) است. یکی از روش‌هایی که برای تعیین تعداد خوشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش خوشه‌بندی کاهشی است. گاهی اوقات مراکز که توسط این روش تخمین زده شده‌اند به‌عنوان نقاط اولیه برای دیگر الگوریتم‌های خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش هر نقطه، یک پتانسیل برای مرکز خوشه فرض می‌شود و بر اساس چگالی نقاط اطراف، احتمال اینکه هر نقطه یک مرکز خوشه تعریف شود، محاسبه می‌شود. پتانسیل مرکز خوشه به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۶۱]:

$$P_i = \sum_{j=1}^m \exp\left(\frac{-\|X_i - X_j\|^2}{\left(\frac{r_a}{2}\right)^2}\right) \quad (۱۵-۳)$$

در این رابطه، P_i پتانسیل مرکز خوشه نقطه X_i است، m مجموع تعداد نقاط در فضای N بعدی، r_a مقدار ثابت مثبت شعاع همسایگی است. با توجه به این رابطه پتانسیل هر خوشه به فاصله‌ی آن از نقاط دیگر وابسته است و اگر همسایه نقطه دارای چگالی بالا باشد، حاصل آن خوشه‌هایی با پتانسیل بالا است. بعد از محاسبه‌ی پتانسیل برای هر نقطه، یک نقطه که دارای بالاترین پتانسیل است به‌عنوان مرکز خوشه انتخاب می‌شود. برای انتخاب دومین مرکز خوشه، تأثیر مرکز خوشه اول برای تعیین مقادیر چگالی جدید به‌صورت زیر کاهش می‌یابد:

$$P_i = P_i - P_{C_1}^* \exp\left(\frac{-\|X_i - X_{C_1}\|^2}{\left(\frac{r_b}{2}\right)^2}\right) \quad (۱۶-۳)$$

$$r_b = \eta^* r_a \quad (۱۷-۳)$$

در این روابط، C_1 اولین مرکز خوشه، $P_{C_1}^*$ پتانسیل اولین مرکز خوشه و η یک ثابت بزرگ‌تر از یک است که از نزدیکی بیش از حد مراکز خوشه جلوگیری می‌کند. با توجه به این معادله پتانسیل نقاط در نزدیکی

^۱ subtractive clustering

مرکز خوشه اول C_1 ، به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. نقطه C_1 دارای بالاترین پتانسیل به‌عنوان مرکز خوشه دوم انتخاب می‌شود. به‌طور کلی پس از تعیین K امین مرکز خوشه C_k ، پتانسیل توسط رابطه زیر تجدید نظر می‌شود:

$$P_i = P_i - P_k^* \exp\left(\frac{-\|X_i - X_k\|^2}{\left(\frac{r_b}{2}\right)^2}\right) \quad (3-18)$$

در این رابطه، C_k موقعیت K امین مرکز خوشه و P_k^* بزرگ‌ترین پتانسیل چگالی است. مراکز خوشه مکرراً انتخاب می‌شوند تا اینکه معیارهای توقف تأمین گردد.

۳-۸ جمع‌بندی

در این فصل مقدمه‌ای از پردازش تصویر دیجیتال گفته شد. سپس مواردی که برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها مورد نیاز است، مانند روش‌های آشکارسازی لبه، تبدیل هاف و حذف نویز با فیلتر مکانی مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه روش‌های خوشه‌بندی از قبیل خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی که برای تعیین دسته درزه‌ها و بهبود نتایج تبدیل هاف مورد نیازند، بیان شدند.

فصل چهارم

تشخیص خط اثر ناپیوستگی با استفاده از پردازش

تصویر

۱-۴ مقدمه

در این فصل، دو روش برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از پردازش تصویر ارائه می‌شود. برای رسیدن به این هدف از دو الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی استفاده می‌شود. برای تشخیص خط اثرها با استفاده از دو روش ذکر شده ابتدا مراحل مشترکی بر روی تصویر صورت می‌گیرد. عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر انجام و پس از آن تصویر تحت عملیات لبه‌یابی قرار می‌گیرد تا لبه‌ها شناسایی شوند. در ادامه عملیات ریخت‌شناسی بر روی تصویر انجام گرفته و لبه‌های کوتاه حذف می‌شوند. پس از این مرحله دو الگوریتم روش متفاوتی در پیش می‌گیرند.

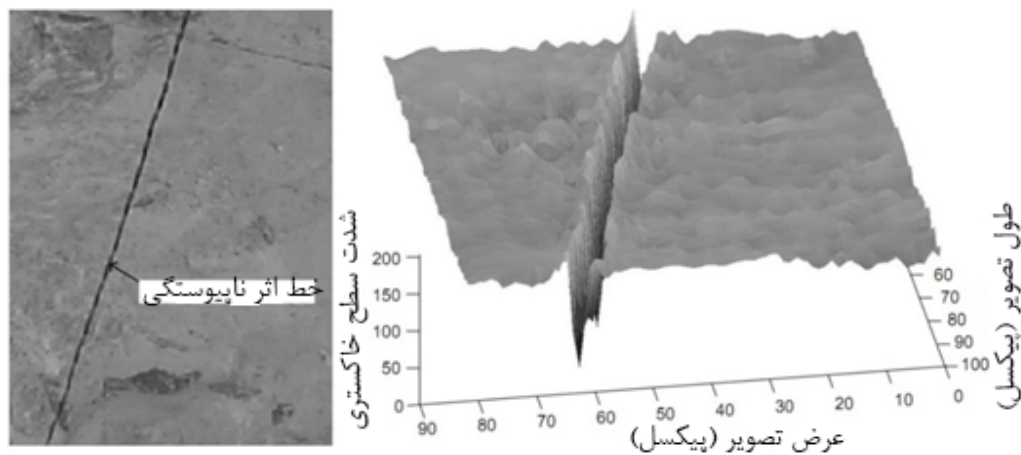
در الگوریتم تبدیل هاف ابتدا این الگوریتم بر روی تصویر اجرا می‌شود و خط اثرها با خط نمایش داده می‌شود. پس از آن نتایج تبدیل هاف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی بهبود می‌یابد. پس از این مرحله کار شناسایی خط اثرها تمام است و می‌توان پارامترهای هندسی مورد نظر را از تصویر استخراج کرد.

در الگوریتم درجه همسایگی، پس از انجام مراحل مشترک، در ابتدا عملیات نازک‌سازی بر روی تصویر مورد نظر انجام و درجه همسایگی پیکسل‌های خطواره مشخص می‌شود، در ادامه خطوط کوتاه حذف شده و خطوط ناپیوستگی‌ها با توجه به درجه همسایگی مشخص می‌شود. در مرحله آخر خطوطی که از یکدیگر جدا شده‌اند با روشی که شرح داده شده است به هم متصل می‌شوند.

۲-۴ پردازش تصویر رخنمون توده سنگ

در یک عکس دیجیتال، خط اثر شکستگی‌ها به واسطه تغییر ناگهانی مقدار سطح خاکستری پیکسل‌ها قابل مشاهده است. چشم انسان می‌تواند این تغییر ناگهانی در شدت پیکسل‌ها را به راحتی تشخیص داده و پردازش نماید. در شکل (۱-۴) خط اثر یک شکست و تغییرات متناظر شدت پیکسل‌ها در اطراف این شکست رسم شده است. از این شکل مشخص است که این تغییر در مقدار سطح خاکستری پیکسل‌ها

به راحتی قابل تشخیص است. ولی با این وجود برای همه گسستگی‌ها این قبیل تمایز امکان پذیر نیست. اغلب به دلیل وجود نویز یا ناچیز بودن دهانه بازشدگی گسستگی‌ها، درزه‌ها به راحتی با چشم غیر مسلح قابل شناسایی نیست در صورتی که الگوریتم‌های پردازش تصویر، قادر به شناسایی گسستگی‌ها با خط اثر حتی بسیار ناچیز است [۱۷].



شکل (۴-۱) - خط اثر شکستگی و اختلاف سطح خاکستری پیکسل‌ها [۱۷]

۳-۴ مراحل انجام کار با استفاده از تبدیل هاف

برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از تبدیل هاف، ابتدا عملیات پیش پردازش بر روی تصویر انجام می‌گیرد، پس از آن تصویر حاصل تحت عملیات لبه‌یابی قرار می‌گیرد. در ادامه عملیات ریخت‌شناسی بر روی تصویر انجام گرفته و لبه‌های کوتاه حذف می‌شوند. سپس الگوریتم تبدیل هاف بر روی تصویر اجرا می‌شود و خط اثرها با خط نمایش داده می‌شود. پس از آن نتایج تبدیل هاف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی بهبود می‌یابد. پس از این مرحله کار شناسایی خط اثرها تمام است و می‌توان پارامترهای هندسی مورد نظر را از تصویر استخراج کرد.

کلیه مراحل در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است و در ادامه به توضیح هر مرحله پرداخته

می‌شود.

۴-۴ تهیه تصویر دیجیتال از توده سنگ مورد نظر

برای تهیه تصویر از توده سنگ‌های مورد نظر از دوربین دیجیتال استفاده شده است. این دوربین یک نمونه عادی از دوربین‌های موجود در بازار است و نیازی به استفاده از تجهیزات گران قیمت نیست. در هنگام عکس‌برداری باید به چند نکته توجه شود:

الف) زاویه دوربین با سطح مورد نظر بسیار اهمیت دارد، پس برای عکس‌برداری بایستی حتماً از سه‌پایه استفاده شود و عکس برداشت شده در صورت امکان به‌صورت عمود باشد تا از به وجود آمدن خطا جلوگیری شود.

ب) زمان عکس‌برداری باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که نور کافی باشد و سایه در تصویر وجود نداشته باشد یا اینکه تمام تصویر در سایه باشد.

ج) از یک مقیاس در عکس استفاده شود تا هنگام پردازش تصویر، اندازه‌های واقعی به دست آید.

به علت عدسی دوربین و همچنین تغییر نور، معمولاً در حاشیه تصاویر (مرزها) خطوطی به‌اشتباه شناسایی می‌شوند، بنابراین توصیه می‌شود که جهت جلوگیری از بروز این مشکل، در صورت امکان حاشیه‌های تصویر، بریده^۱ و از آن جدا شود.

برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها با استفاده از پردازش تصویر از معادن سنگ ساختمانی مختلفی عکس‌برداری شده است. با توجه به اینکه اکثر معادن سنگ ساختمانی دارای توده سنگ‌هایی با درزه‌های کم هستند، کار برای انتخاب معدن مناسب (با درزه‌های زیاد) مشکل است. از میان تصاویر گرفته شده از معادن مختلف، ۶ مورد آن برای این پایان‌نامه در نظر گرفته شده است. خط اثرهای تصویر اول و دوم

^۱ Crop

با استفاده از هر دو الگوریتم در این فصل شناسایی می‌شود. در پیوست (الف) خط اثرهای ۴ تصویر دیگر شناسایی می‌شوند.

تصویر اول که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد تصویری از معدن سنگ مرمریت حسن‌آباد واقع در شهرستان صفاشهر و در فاصله ۱۸۵ کیلومتری شمال شیراز است. شکل (۲-۴) تصویری است که مراحل مختلف بر روی آن انجام شده است.



شکل (۲-۴) - تصویر اصلی

۵-۴ عملیات پیش‌پردازش

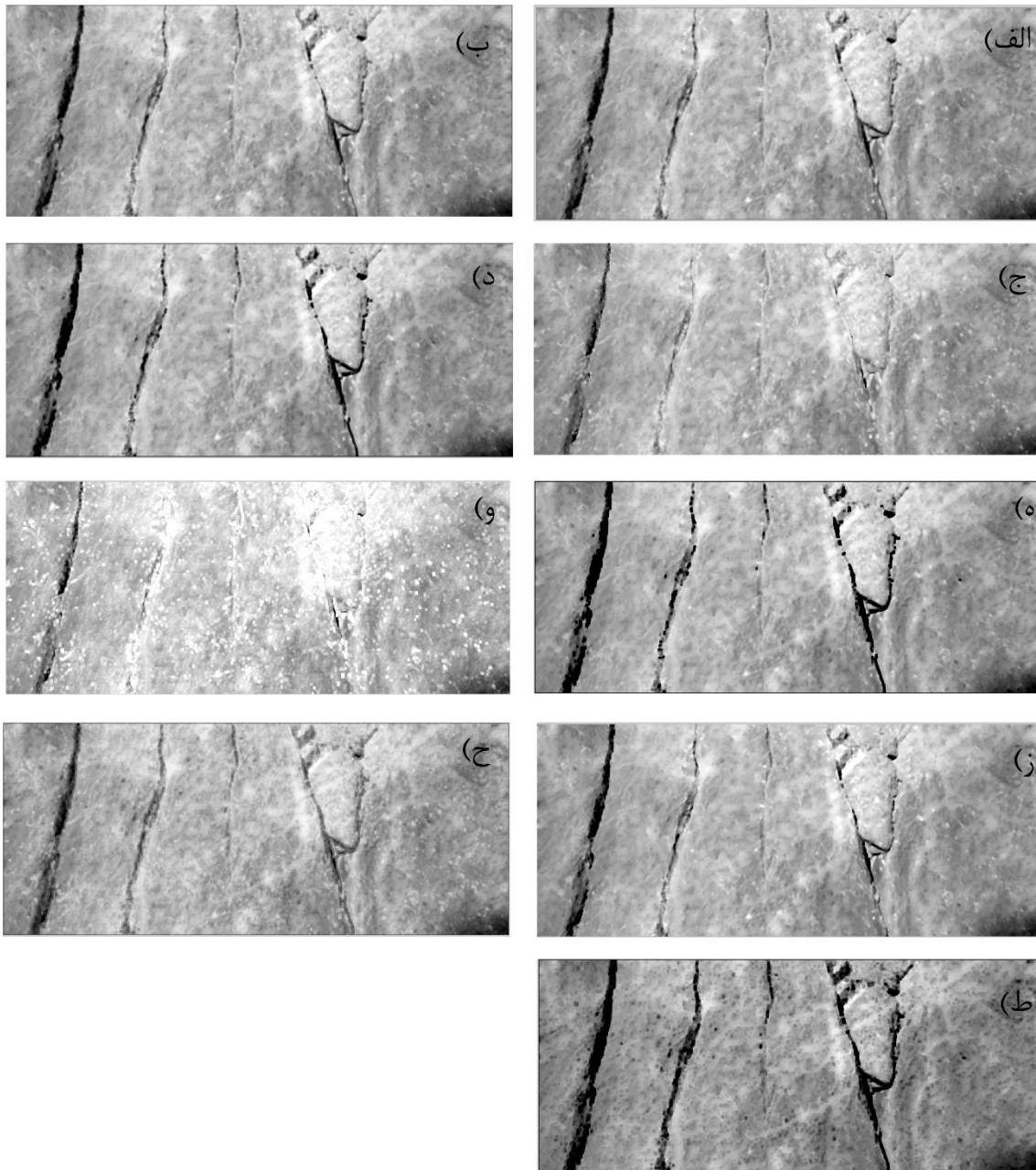
قبل از فرآیند لبه‌یابی باید تصویر از لحاظ نویز بهبود یابد، هم‌چنین لازم است درزه‌های کوچک و ریزترک‌ها از تصویر حذف شوند. از این رو چند فیلتر در حوزه مکان با یکدیگر مقایسه می‌شود، سپس فیلترهایی که بهترین نتیجه را دارند برای انتخاب اندازه ماسک در نظر گرفته می‌شود. پس از انتخاب اندازه ماسک، در مرحله لبه‌یابی فیلتری که بهترین نتیجه را در تشخیص لبه‌ها دارد به‌عنوان فیلتر نهایی انتخاب می‌شود.

فیلترهایی که مورد استفاده قرار گرفته شامل فیلترهای میانگین با برش آلفا، میانگین، میانگین

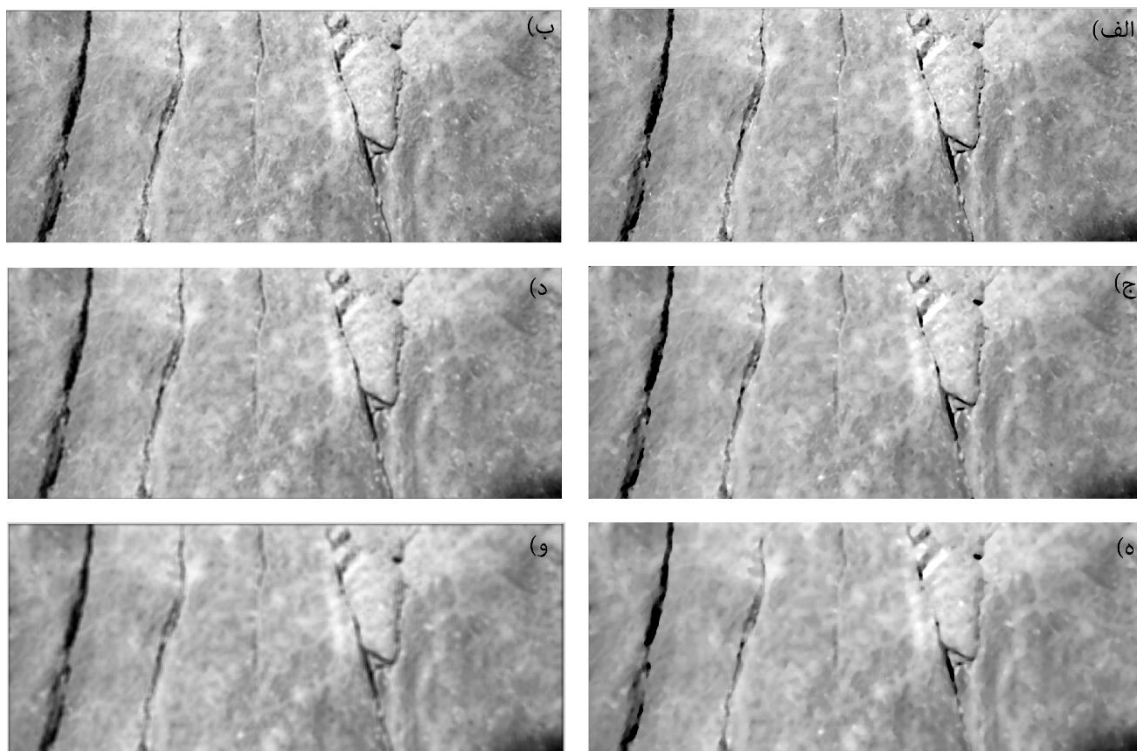
پادهارمونیک، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک، بیشینه، میانه، نقطه وسط و کمینه است. تمامی این فیلترها در جعبه ابزار پردازش تصویر^۱ نرم‌افزار MATLAB موجود است. در نرم‌افزار MATLAB کدی تعریف شده که تصویر را دریافت و تمامی فیلترهای ذکر شده را بر روی آن اعمال می‌کند. در شکل (۳-۴) نتایج حاصل از اعمال این فیلترها با اندازه ماسک ۵×۵ نشان داده شده است. از میان فیلترهای اعمال شده، فیلترهای میانگین (شکل ۳-۴ ب) و میانه (شکل ۳-۴ ز)، نتایج قابل قبول‌تری ارائه داده‌اند.

پس از انتخاب این فیلترها، لازم است اندازه ماسک انتخاب شود. در شکل (۴-۴) فیلترهای میانگین و میانه با اندازه ماسک‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به این شکل با افزایش ماسک در فیلتر میانگین، تصاویر مات‌تر و لبه‌های خطواره‌ها پهن‌تر می‌شوند و با افزایش ماسک در فیلتر میانه، تصاویر مات‌تر و عوارض کوچک حذف می‌شوند. هم‌چنین فیلتر میانه نسبت به فیلتر میانگین، ملایم‌سازی بیشتری را اعمال کرده است. با توجه به این شکل، اندازه ماسک ۷×۷ انتخاب شده است. پس از انتخاب اندازه ماسک، از میان فیلترهای میانگین و میانه، فیلتری که بهترین نتیجه را در تشخیص لبه دارد، انتخاب می‌شود.

^۱ Image Processing Toolbox (IPT)



شکل (۳-۴) - فیلترهای اعمال شده با اندازه ماسک 5×5 . الف) فیلتر میانگین با برش آلفا، ب) فیلتر میانگین، ج) فیلتر میانگین پادهارمونیک، د) فیلتر میانگین هندسی، ه) فیلتر میانگین هارمونیک، و) فیلتر بیشینه، ز) فیلتر میانه، ح) فیلتر نقطه وسط، ط) فیلتر کمینه



شکل (۴-۴) - مقایسه اندازه ماسک‌های فیلترهای میانه و میانگین. الف) میانه با اندازه ماسک ۵×۵، ب) میانگین با اندازه ماسک ۵×۵، ج) میانه با اندازه ماسک ۷×۷، د) میانگین با اندازه ماسک ۷×۷، ه) میانه با اندازه ماسک ۱۰×۱۰، و) میانگین با اندازه ماسک ۱۰×۱۰

۴-۶ آشکارسازی لبه‌های تصویر

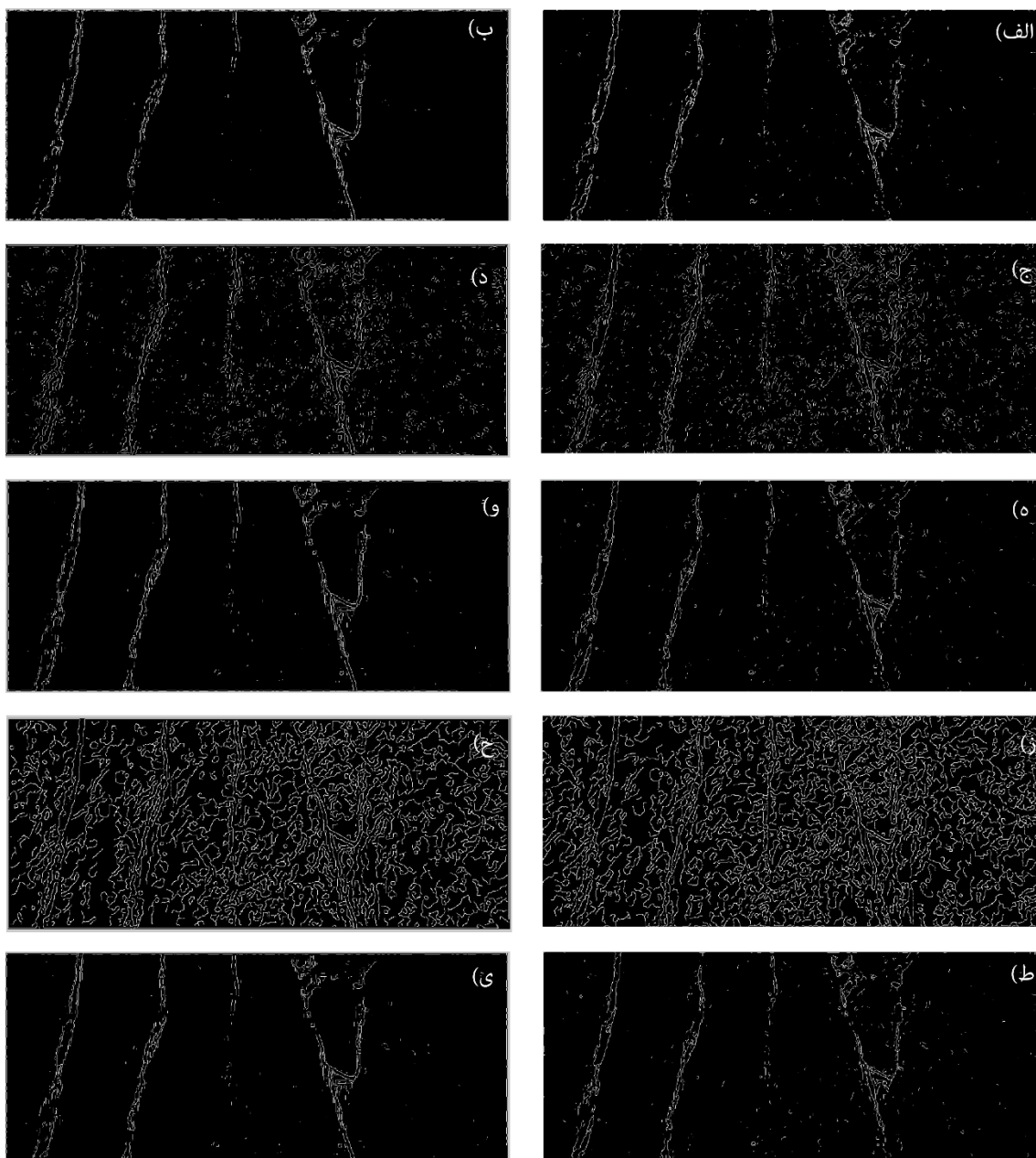
پس از بهسازی تصویر در مرحله قبل، باید لبه‌های موجود در تصویر که بیانگر درزه‌های موجود در توده سنگ است، شناسایی شوند. در ادامه لبه‌های مختلف بررسی و بهترین الگوریتم لبه‌یابی و همچنین بهترین روش ملایم‌سازی، انتخاب می‌شود. الگوریتم‌های لبه‌یابی که مورد مقایسه قرار گرفته‌اند شامل: سوبل، پرویت، رابرتز، لاپلاسیون گوسی و کنی است. در شکل (۴-۵) آشکارسازهای یاد شده با فیلترهای میانگین و میانه آورده شده است (اندازه ماسک برای ملایم‌سازی ۷×۷ است). این شکل با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است.

با توجه به شکل (۴-۵) می‌توان دریافت که ملایم‌ساز میانگین در تشخیص لبه مقدار نویز بیشتر و

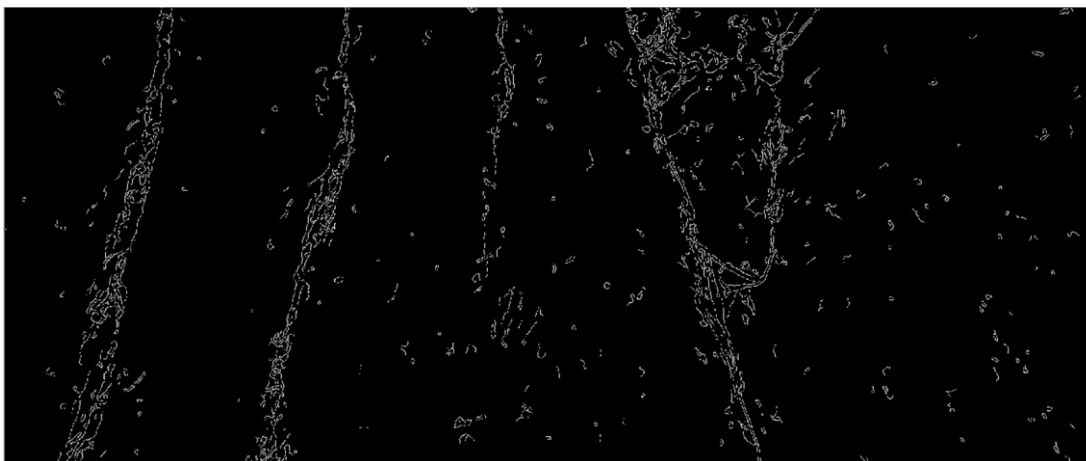
مات‌سازی کمتری نسبت به ملایم‌ساز میانه دارد. از این رو در این پایان‌نامه از ملایم‌ساز میانه برای حذف نویز استفاده شده است. البته نمی‌توان نسخه واحدی برای ملایم‌سازی تصاویر توده سنگ‌ها پیچید. در واقع روش واحدی را نمی‌توان یافت که همه اطلاعات خطواره‌ها را حفظ کرده و همزمان تاثیر سایر عوامل (نویز) را از بین ببرد، به این دلیل، بهتر است نتایج حاصله، بسته به قضاوت مهندسی بررسی و الگوریتم مورد نظر انتخاب شود.

در بحث تشخیص لبه باید به این نکته توجه کرد که آشکارسازی خوب است که در برابر نویز مقاوم باشد و لبه‌های پیوسته تولید کند. از میان آشکارسازهای اعمال شده به شکل (۴-۵) آشکارساز کنی دارای چنین خصوصیتی است. لذا در این پایان‌نامه از آشکارساز کنی استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای آشکارسازهای لبه، میزان حد آستانه است. آشکارساز کنی دارای دو مقدار آستانه پایین و بالا است که آستانه پایین ۰/۰۸ و آستانه بالا ۰/۲ در نظر گرفته شده است. این آستانه با توجه به انتخاب کاربر می‌تواند تغییر کند. در شکل (۴-۶) آشکارساز کنی با استفاده از حد آستانه‌های ذکر شده، نشان داده شده است.

پس از عملیات لبه‌یابی، بایستی لبه‌های جدا شده از یک درزه، به یکدیگر وصل شوند و همچنین لبه‌های غیر اصلی و کوتاه حذف شوند از این رو از عملیات ریخت‌شناسی استفاده می‌شود.



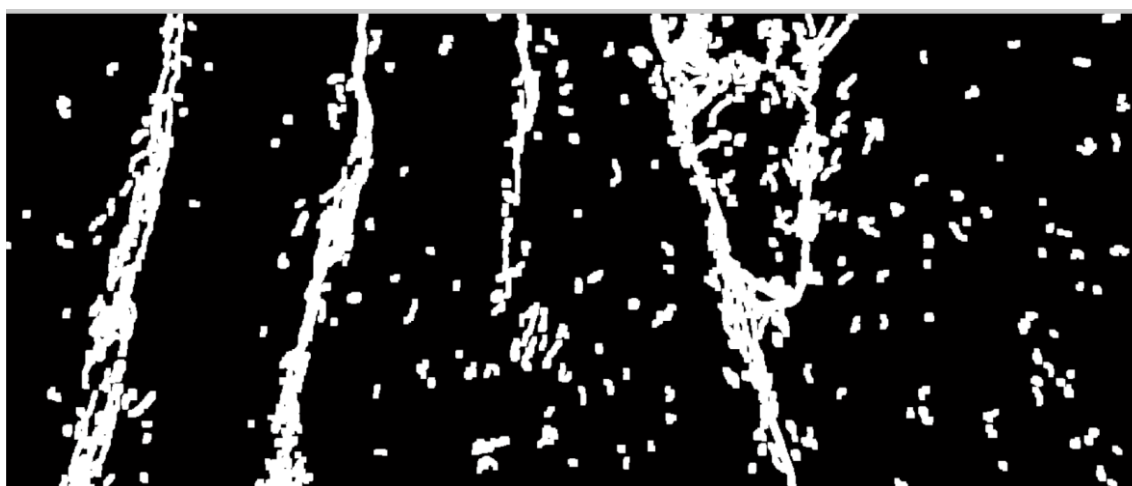
شکل (۴-۵) - مقایسه آشکارسازهای مختلف با فیلترهای میانه و میانگین. (الف) آشکارساز رابرتز با فیلتر میانه، (ب) آشکارساز رابرتز با فیلتر میانگین، (ج) آشکارساز لاپلاسیان گوسی با فیلتر میانه، (د) آشکارساز لاپلاسیان گوسی با فیلتر میانگین، (ه) آشکارساز سوبل با فیلتر میانه، (و) آشکارساز سوبل با فیلتر میانگین، (ز) آشکارساز کنی با فیلتر میانه، (ح) آشکارساز کنی با فیلتر میانگین، (ط) آشکارساز پرویت با فیلتر میانه، (ی) آشکارساز پرویت با فیلتر میانگین



شکل (۴-۶) - خروجی حاصل از الگوریتم کنی با مقدار آستانه پایین ۰/۰۸ و آستانه بالا ۰/۲

۷-۴ عملیات ریخت‌شناسی

در ادامه تصویر حاصل از الگوریتم کنی، تحت عملیات ریخت‌شناسی گسترش قرار می‌گیرد که این عملیات باعث وصل شدن لبه‌های جدا شده از یک درزه می‌شود. در شکل (۷-۴) تأثیر عملیات گسترش بر روی شکل (۴-۶) نشان داده شده است.



شکل (۷-۴) - تصویر حاصل از عملیات گسترش

تصویر مورد نظر همچنان نیاز به پردازش دارد و لازم است لبه‌های غیر اصلی و کوتاه حذف شوند. بدین منظور از برچسب زدن اجزای متصل استفاده می‌شود. این الگوریتم در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB موجود است. کار الگوریتم برچسب زدن پیکسل‌های متصل به هم با یک شماره است. پس از اجرای این الگوریتم، لبه‌های متصل به هم دارای شماره برچسب یکسان می‌شود. حال می‌توان

برچسب‌هایی که دارای مساحت کم هستند را حذف کرد. با توجه به اینکه تابعی برای این کار پیش‌بینی نشده لذا چند خط کد در نرم‌افزار MATLAB تهیه که روند زیر را دنبال می‌کند:

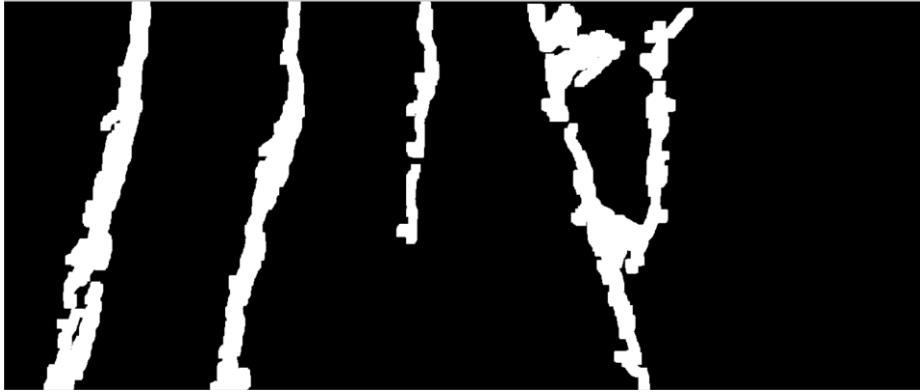
الف) محاسبه مساحت هر برچسب برحسب تعداد پیکسل مربع و تبدیل آن به مقیاس واقعی

ب) گذاشتن یک حد آستانه

ج) مقایسه مساحت هر برچسب با حد آستانه

د) حذف برچسب‌هایی با مساحت کمتر از حد آستانه

برای پیدا کردن حد آستانه، لازم است تصویر دارای مقیاس باشد تا ابعاد هر پیکسل با توجه به اندازه واقعی به دست آید. این اندازه 5×5 سانتی‌متر مربع در نظر گرفته شده و برچسب‌هایی با اندازه کمتر از این مقدار حذف می‌شوند. این مقدار آستانه با توجه به انتخاب کاربر می‌تواند تغییر کند. شکل (۴-۸) حاصل از انجام برچسب‌گذاری اجزای متصل، اجرای کد تهیه شده و انجام مجدد عملیات گسترش بر روی شکل (۴-۷) است. با توجه به این شکل لبه‌های کوتاه حذف شده است.



شکل (۸-۴) - حذف لبه‌های کوتاه پس از برچسب زدن اجزای متصل

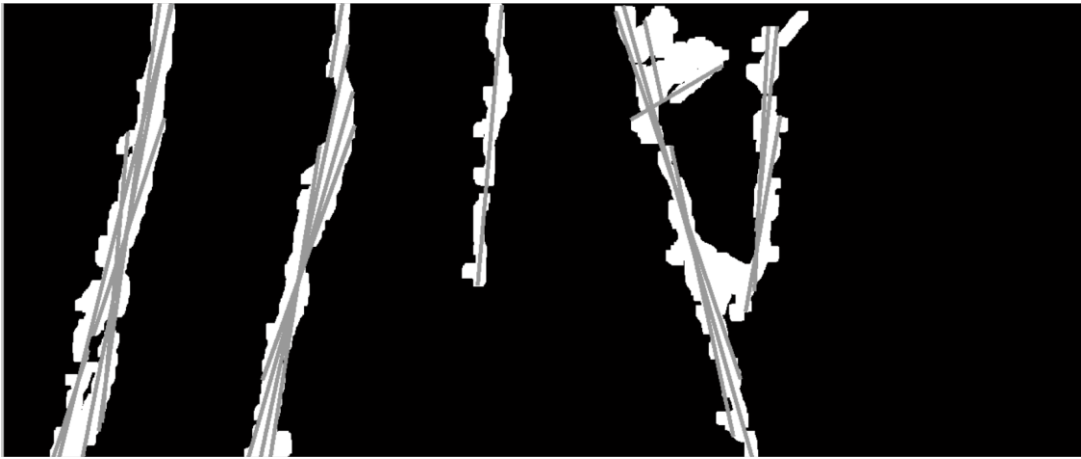
اکنون تصویر مناسب‌تر است و می‌توان خطوط را از آن شناسایی کرد، برای این کار از تبدیل هاف استفاده می‌شود.

۸-۴ تشخیص خطوط با استفاده از تبدیل هاف

پس از تشخیص لبه‌ها، باید از الگوریتم مناسبی برای تشخیص خطوط استفاده شود. برای این هدف از تبدیل هاف استفاده می‌شود. در تبدیل هاف می‌توان یک خط مستقیم را به وسیله زاویه نرمال وارد بر خط (θ) و فاصله آن از مبدا (ρ) مشخص کرد، همچنین این روش می‌تواند لبه‌های جدا شده را به صورت یک خط نمایش دهد. این الگوریتم در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB موجود است. ورودی این الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB، حداقل طول خط و حداقل فاصله بین لبه‌های جدا شده است که این پارامترها به ترتیب ۲۰ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده و با توجه به انتخاب کاربر می‌تواند تغییر کند. شکل (۹-۴) نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم بر روی شکل (۸-۴) در نرم‌افزار MATLAB است. این الگوریتم مختصات ابتدا و انتهای خطوط، زاویه نرمال هر خط و فاصله از مبدا را به‌عنوان خروجی می‌دهد که در ادامه از آن استفاده می‌شود. در واقع زاویه نرمال وارد بر خط، زاویه خط اثر است و مقادیر این زاویه مستقل از جهت‌داری توده سنگ و زاویه دوربین است [۱۷].

مشکل الگوریتم تبدیل هاف با توجه به شکل (۹-۴) در این است که تعداد خطوط شناسایی شده برای هر درزه زیاد است در حالی که هر درزه باید با یک خط نمایش داده شود. در ادامه به بهبود خطوط

شناسایی شده توسط الگوریتم خوشه‌بندی فازی پرداخته می‌شود.



شکل (۹-۴) - نتایج حاصل از اجرای الگوریتم تبدیل هاف

۹-۴ بهبود نتایج تبدیل هاف با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی

برای اینکه تمام خطوط یک درزه با یک خط نشان داده شود بایستی تمام خطوط با یک شماره خوشه‌بندی شود. برای استفاده از تابع الگوریتم خوشه‌بندی فازی در نرم‌افزار MATLAB لازم است تعداد خوشه‌ها و داده‌های ورودی مشخص باشد. برای انتخاب داده‌های ورودی مناسب، چندین پارامتر به‌عنوان ورودی به الگوریتم داده شده و با مقایسه نتایج حاصل، داده‌های ورودی برای انجام این کار دو پارامتر زیر انتخاب شد (داده‌ها قبل از ورود به تابع باید نرمالیزه شوند):

الف) شیب خطوط (θ حاصل از تبدیل هاف)، این زاویه نسبت به افق و در خلاف جهت

عقربه‌های ساعت در صفحه تصویر اندازه‌گیری می‌شود.

ب) عرض از مبدا که برای تمام خطوط محاسبه می‌شود.

در الگوریتم خوشه‌بندی فازی بایستی تعداد خوشه‌ها مشخص باشد. در حالت کلی روشی برای تعیین

دقیق تعداد خوشه‌ها وجود ندارد. یکی از روش‌هایی که عمدتاً برای تعیین خوشه‌ها استفاده می‌شود،

استفاده از روش خوشه‌بندی کاهشی است. ورودی این تابع در نرم‌افزار MATLAB، داده‌های مورد نظر (شیب و عرض از مبدا) و شعاع خوشه‌بندی است. شعاع خوشه‌بندی یکی از پارامترهای مهم این است. با توجه به این موضوع برای اینکه بتوان به‌طور مناسبی تعداد خوشه‌ها را به دست آورد شعاع همگرایی با گام‌های ۰/۰۱ از ۰/۰۶ تا ۰/۵ افزایش می‌یابد، در صورتی که در سه شعاع متوالی تعداد خوشه‌ها تغییر نکند، به‌عنوان تعداد نهایی خوشه‌ها در نظر گرفته می‌شود [17]. برای اجرای این روند، چند خط کد در نرم‌افزار MATLAB تهیه شده که به‌صورت زیر است:

الف) محاسبه تعداد خوشه با گام اولیه ۰/۰۶ برای شعاع همگرایی.

ب) افزایش شعاع همگرایی به میزان ۰/۰۱ و محاسبه دوباره تعداد خوشه.

ج) افزایش شعاع همگرایی به میزان ۰/۰۱ میزان قبلی و محاسبه دوباره تعداد خوشه.

د) مقایسه تعداد خوشه‌های به‌دست آمده، اگر تعداد خوشه‌ها یکی باشد به عنوان تعداد نهایی خوشه در نظر گرفته می‌شود.

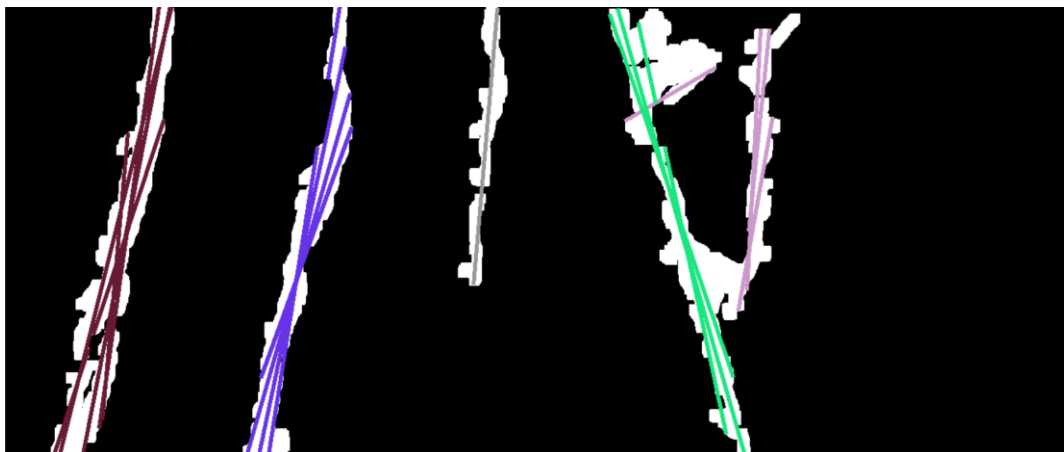
(کد این بخش در پیوست (ب) نشان داده شده است). در ادامه تعداد خوشه به‌دست آمده و ماتریس

داده‌های ورودی (شیب و عرض از مبدا خطوط) در نرم‌افزار MATLAB به الگوریتم خوشه‌بندی فازی

داده می‌شود. خروجی این الگوریتم مرکز و ماتریس تابع عضویت خوشه‌ها است. بیشترین میزان تابع

عضویت هر خط به‌عنوان خوشه آن در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۴-۱۰) نتایج حاصل از خوشه‌بندی

کاهشی و خوشه‌بندی فازی نشان داده شده است. در این شکل خوشه‌های یکسان هم‌رنگ هستند.



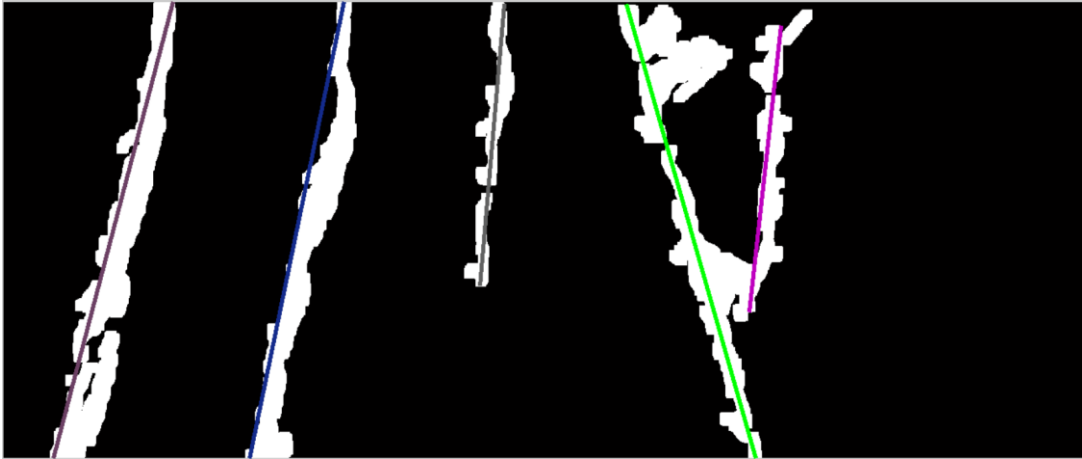
شکل (۴-۱۰) - نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی

با توجه به شکل (۴-۱۰) مشخص است که پارامترهای ورودی برای تشخیص درزه مناسب بوده و الگوریتم توانسته خطوط متعلق به یک درزه را به خوبی تفکیک کند.

حال باید هر درزه با یک خط نشان داده شود. برای این هدف، کدی در نرم‌افزار MATLAB تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است:

- الف) دریافت مختصات تمامی خطوط یک خوشه.
- ب) محاسبه فاصله ابتدا و انتهای تمامی خطوط نسبت به یکدیگر.
- ج) محاسبه نقاطی که بیشترین فاصله را نسبت به یکدیگر دارند.
- د) وصل کردن این نقاط (نقاطی با بیشترین فاصله) به شرط دارا بودن برچسب یکسان یا کم‌بودن فاصله برچسب‌ها از یکدیگر.

نام این الگوریتم دورترین نقاط است (کد این بخش در بخش پیوست (ب) نشان داده شده است) و نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱) - نتایج حاصل از اجرای الگوریتم دورترین نقاط

با توجه به شکل (۴-۱۲) مشخص است که خطوط اضافی حذف شده و تنها یک خط به عنوان نماینده هر درزه باقیمانده است. در واقع با این الگوریتم بخش‌هایی که دارای انحنا هستند نیز در خط جای می‌گیرند و نیازی به مستقیم کردن خطوط منحنی نیست.

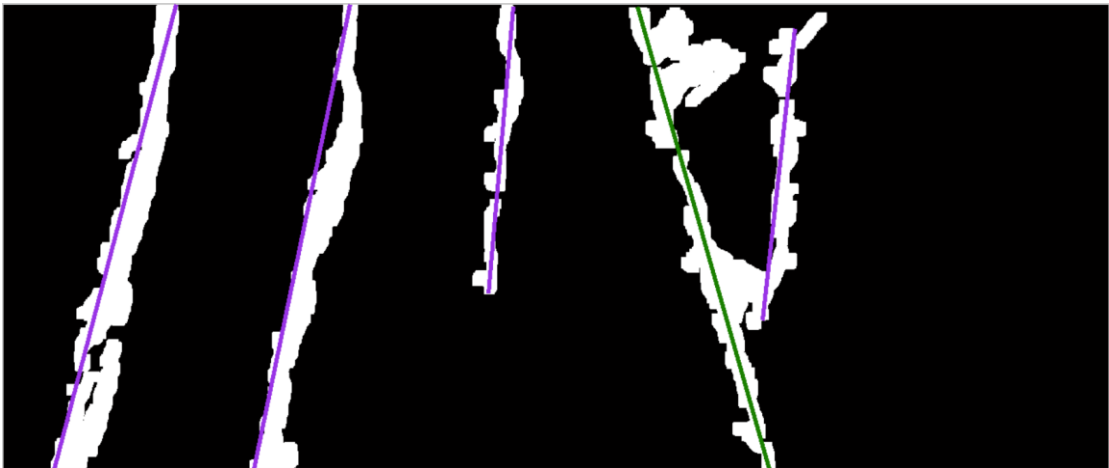
حال که خطوط تشخیص داده شده‌اند می‌توان پارامترهای هندسی مورد نظر را از آن‌ها استخراج کرد. بدین منظور لازم است که ابتدا تعداد دسته درزه تشخیص داده شود. در ادامه به فرآیند شناسایی تعداد دسته درزه پرداخته می‌شود.

۴-۱۰ تعیین تعداد دسته درزه

روند تعیین تعداد دسته درزه همانند خوشه‌بندی بخش قبل است با این تفاوت که ورودی تابع خوشه‌بندی فازی تنها شیب خطوط است. در مرحله‌ی قبل یک شیب میانگین برای خطوطی که از یک خوشه بودند، محاسبه و در ماتریسی ذخیره شد. مقدار آن به عنوان ورودی تابع در این مرحله در نظر گرفته می‌شود. ابتدا ماتریس شیب میانگین به الگوریتم خوشه‌بندی کاهش داده می‌شود تا تعداد خوشه به دست آید، این تعداد خوشه همانند روند قبلی با مقایسه سه شعاع همگرایی به دست می‌آید.

سپس تعداد خوشه به دست آمده و ماتریس شیب میانگین به عنوان ورودی به تابع خوشه بندی فازی داده می شود. پس از آن اعضای هر خوشه تعیین و درزه هایی که از یک دسته درزه هستند با یک شماره یکسان مشخص می شود. این شماره ها در ماتریسی ذخیره و در ادامه از آن استفاده می شود. در شکل (۴-۱۲) دسته درزه های یکسان هم رنگ است.

حال که خطوط تشخیص داده و تعداد دسته درزه ها به دست آمده، می توان پارامترهای مورد نظر را استخراج کرد. پس از این مرحله کار تشخیص خطوط با استفاده از الگوریتم تبدیل هاف تمام است و در ادامه خطوط با استفاده از الگوریتم درجه همسایگی تشخیص داده می شود.



شکل (۴-۱۲) - تعداد دسته درزه به دست آمده

۴-۱۱ مراحل انجام کار با استفاده از درجه همسایگی

در این بخش الگوریتم دیگری برای تشخیص خط اثر ناپیوستگی ها با استفاده از درجه همسایگی ارائه شده است. در این الگوریتم همانند الگوریتم قبلی ابتدا بر روی تصویر مورد نظر عملیات پیش پردازش انجام شده، سپس لبه ها با استفاده از آشکارساز کنی، شناسایی شده و عملیات گسترش بر روی لبه ها انجام می شود. از این مرحله به بعد این الگوریتم روش دیگری در مقایسه با الگوریتم قبلی در پیش می گیرد. در ابتدا عملیات نازک سازی بر روی تصویر مورد نظر انجام و پس از آن درجه همسایگی

پیکسل‌های خطواره مشخص می‌شود، در ادامه خطوط کوتاه حذف شده و خطوط ناپیوستگی‌ها با توجه به درجه همسایگی مشخص می‌شود. در مرحله آخر خطوطی که از یکدیگر جدا شده‌اند با روشی که شرح داد شده است به هم متصل می‌شوند. کلیه مراحل در ادامه توضیح داده می‌شود. مراحل اولیه این الگوریتم همانند الگوریتم تبدیل هاف است.

۱۲-۴ عملیات نازک‌سازی

عملیات گسترش باعث افزایش عرض پیکسل‌های سیاه می‌شود در حالی که برای تشخیص درجه همسایگی خطواره‌ها به پیکسلی با عرض یک نیاز است و باید از عملیات نازک‌سازی استفاده شود. تابع این الگوریتم در جعبه ابزار پردازش تصویر است. نازک‌سازی به صورت متقارن لایه‌برداری می‌کند و یک اسکلت باقی می‌ماند (جاهایی که متقارن است را لایه‌برداری می‌کند). نتایج این عملیات که بر روی شکل (۸-۴) انجام شده در شکل (۱۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۱۳-۴) - تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی

۱۳-۴ تعیین درجه همسایگی خطواره‌ها

یک پیکسل با مختصات (x, y) ، چهار همسایه افقی و عمودی دارد. در این پایان‌نامه، ۸-همسایه در نظر گرفته شده و با توجه به پیکسل‌های یک (ناپیوستگی‌ها) اطراف پیکسل مرکزی یک عدد به عنوان

درجه همسایگی به دست می‌آید. از آنجا که تصویر نازک شده و دارای عرض یک پیکسل است حداکثر همسایگی پیکسل، چهار است که این پیکسل و هم‌چنین پیکسل‌هایی با درجه همسایگی سه، متناظر با نقاط تقاطع و یا انشعاب ناپیوستگی‌ها است. همسایگی دو، متناظر با پیکسل‌های طول ناپیوستگی و همسایگی یک، نقاط انتهایی ناپیوستگی است.

برای تعیین درجه همسایگی هشتگانه پیکسل در نرم‌افزار MATLAB کدی تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است (کد این بخش در پیوست (ب) است):

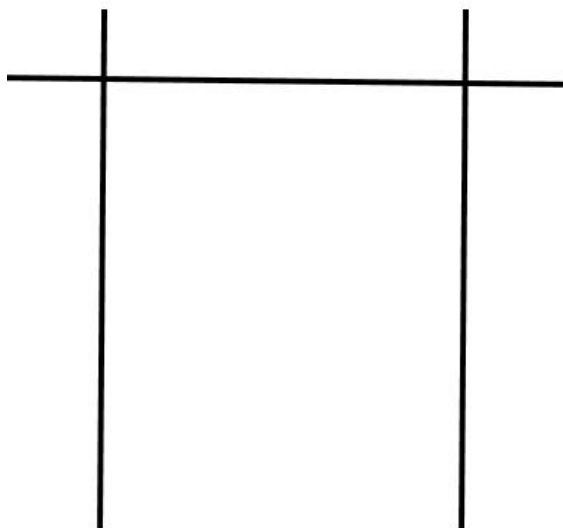
الف) محاسبه عدد همسایگی: یک ماسک 3×3 در نظر گرفته شده که مرکز آن بر روی نقطه (x, y) قرار دارد و تعداد پیکسل‌های برابر یک (به‌استثنای پیکسل مرکزی) به‌عنوان عدد همسایگی پیکسل (x, y) در نظر گرفته و در ماتریسی ذخیره می‌شود. در مرزها که همسایگی در خارج از تصویر دیجیتال قرار می‌گیرد، نقاط خارج از تصویر صفر در نظر گرفته می‌شود.

ب) حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر.

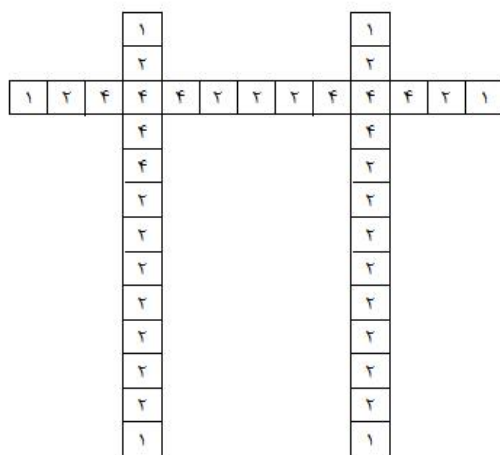
ج) به‌روز رسانی ماتریس اطلاعات درجه همسایگی: این نکته را باید در نظر داشت که اگر پیکسلی حذف شود درجه همسایگی پیکسل بعدی با در نظر گرفتن حذف این پیکسل محاسبه می‌شود.

د) ذخیره مختصات پیکسل‌هایی با درجه همسایگی یک.

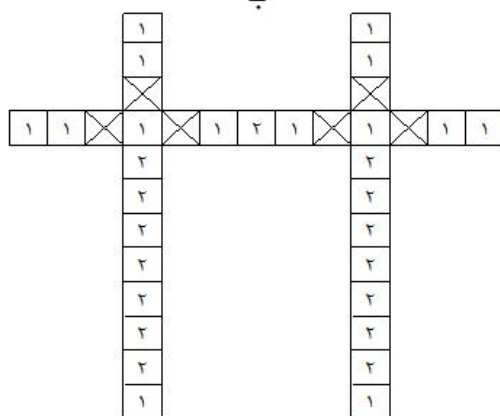
این روند در شکل (۴-۱۴) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است و هم‌چنین تأثیر این روند بر روی تصویر شکل (۴-۱۳) در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.



الف



ب.



ج

شکل (۴-۱۴) - روند تعیین درجه همسایگی پیکسل‌ها، الف) خط اثر ناپیوستگی‌ها، ب) درجه همسایگی خط اثرها، ج) درجه همسایگی خط اثرها پس از حذف درجه همسایگی‌های ۳ و بالاتر و به‌روز رسانی آن



شکل (۴-۱۵) - تصویر حاصل پس از حذف درجه همسایگی های ۳ و بالاتر

۴-۱۴ حذف خطواره های کوتاه

پس از حذف درجه همسایگی های ۳ و بالاتر خطواره هایی با طول کوتاه ایجاد می شود که بایستی حذف شوند. در این مرحله بار دیگر از برچسب گذاری اجزای متصل استفاده و خطواره هایی که دارای طولی کمتر از ۵ سانتی متر هستند حذف می شود. شکل (۴-۱۶) نتایج حاصل از حذف خطوط کوتاه است.



شکل (۴-۱۶) - نتایج حاصل از برچسب‌گذاری اجزای متصل و حذف خطوط کوتاه

۱۵-۴ تشخیص و نمایش خط اثر ناپیوستگی‌ها

در این مرحله خطوط ناپیوستگی تشخیص و با خط نمایش داده می‌شوند. با توجه به حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر، اکنون فقط پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۱ و ۲ باقی‌مانده است. پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۱، نقاط انتهایی خط اثرها هستند و پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۲، در طول خط اثرها قرار دارند. در بخش قبل، مختصات پیکسل‌های انتهایی در ماتریسی ذخیره شد. در این بخش کدی تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است:

الف) انجام عملیات برچسب‌گذاری اجزای متصل

ب) وصل کردن نقاطی دارای برچسب یکسان و درجه همسایگی ۱ به هم: با توجه به اینکه در هر برچسب دو پیکسل انتهایی وجود دارد می‌توان این نقاط را با خط به یکدیگر وصل کرد.

با این روند نیازی به شکستن خطواره‌های منحنی به خطوط مستقیم نیست. نتایج حاصل از این روند در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۷) - تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط

۱۶-۴ اتصال خطوط جداشده

با توجه به حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر در تصویر، نقاطی که متعلق به یک درزه هستند از یکدیگر جدا شده‌اند، این انقطاع باعث مشکلات فراوانی در هنگام تعیین خصوصیات ناپیوستگی‌ها می‌شود و باید به طریقی این نقاط را به یکدیگر وصل کرد.

برای این منظور کدی تهیه شده که کار را به صورت زیر انجام دهد:

(الف) محاسبه شیب تمامی خطوط.

(ب) محاسبه زاویه حاده بین تمامی خطوط.

(ج) محاسبه کوتاه‌ترین فاصله بین تمامی خطوط.

(د) بررسی شرط‌های اتصال خطوط: برای اتصال خطوط به یکدیگر دو شرط زاویه و فاصله بین خطوط در نظر گرفته شده است، بدین منظور خطوطی که دارای فاصله کمتر از ۵ سانتی‌متر هستند و زاویه حاده بین آن‌ها کمتر از ۱۰ درجه است، واجد شرایط وصل شدن به یکدیگر هستند، اگر بیش از دو خط واجد شرایط باشند خطوطی که زاویه حاده بین آن‌ها کمتر است در نظر گرفته می‌شود (کد این بخش در پیوست (ب) است).

ه) پر کردن فاصله بین خطوط واجد شرایط وصل شدن.

حال خطواره‌هایی که واجد شرایط هستند به یکدیگر متصل می‌شوند (پیکسل‌های سیاه بین آن‌ها با پیکسل سفید جایگزین شده است). شکل (۴-۱۸) نتایج حاصل از این روند است.

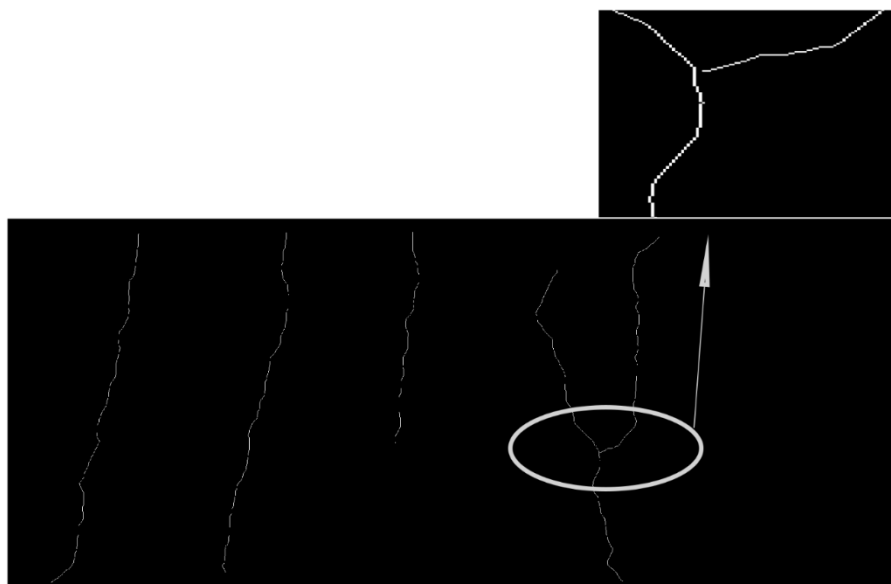
تصویر موردنظر، همچنان نیاز به پردازش دارد و بایستی خط اثرهای متعلق به یک درزه با یک خط نمایش داده شوند. با توجه به پر شدن فاصله خطواره‌ها در مرحله قبل پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ در این مرحله به وجود می‌آید. برای این منظور کدی تهیه شده که کار را به صورت زیر انجام دهد:

الف) محاسبه درجه همسایگی پیکسل‌ها و حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر.
ب) انجام برچسب‌گذاری اجزای متصل.

ج) بررسی شرط‌های اتصال خطوط (مانند مرحله قبل) و ذخیره کردن نقاط واجد شرایط در یک ماتریس.

د) استفاده از الگوریتم دورترین نقاط برای ماتریس قبلی: دورترین نقاط ماتریس قبلی محاسبه و به عنوان مختصات ابتدا و انتهای یک خط اثر در نظر گرفته و با خط به یکدیگر وصل می‌شود.

نتایج اجرای کدهای تهیه شده این بخش در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است. پس از این مرحله کار تشخیص خطوط تمام می‌شود و می‌توان خصوصیات خط اثر ناپیوستگی‌ها را به دست آورد. در شکل (۴-۲۰) خط اثر ناپیوستگی‌های تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۸) - پر شدن فاصله خطواره‌های واجد شرایط



شکل (۴-۱۹) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده



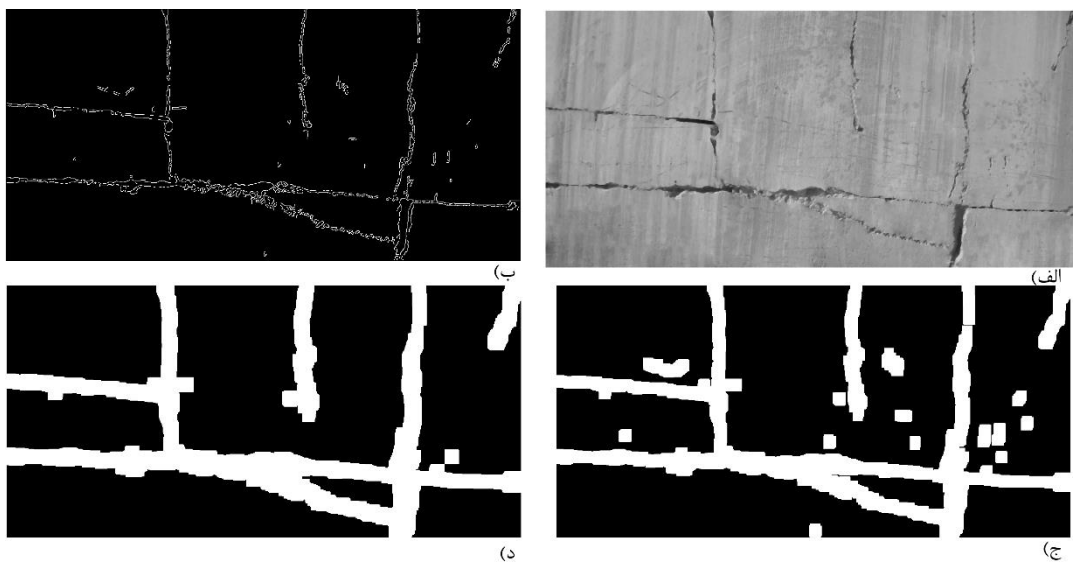
شکل (۴-۲۰) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی

۱۷-۴ شناسایی خط اثرهای تصویر دوم

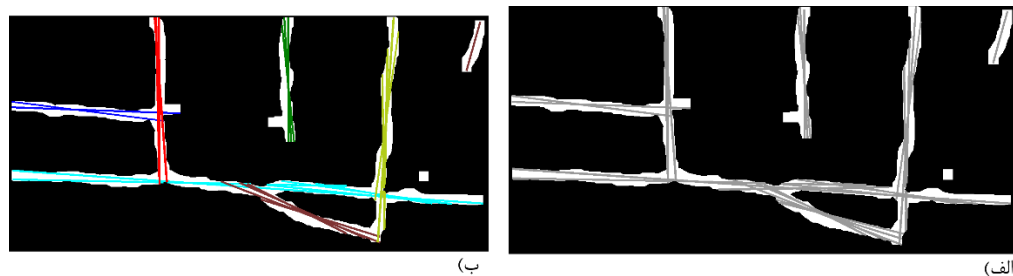
در این بخش یک تصویر دیگر در نظر گرفته شده و خط اثرهای آن با استفاده از هر دو الگوریتم شناسایی می‌شود. تصویری که مراحل مختلف بر روی آن انجام گرفته، تصویری از معدن سنگ ساختمانی مرمریت پر طاووسی واقع در منطقه کره‌ای شهرستان ارسنجان و در ۱۲۰ کیلومتری شیراز است. شکل (۴-۲۱) تصویر اصلی است که مراحل تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها بر روی آن انجام گرفته است. مراحل مشترک دو الگوریتم بر روی شکل (۴-۲۲) نشان داده شده است. مراحل مختلف شناسایی خطوط توسط تبدیل هاف بر روی شکل‌های (۴-۲۳) تا (۴-۲۵) و درجه همسایگی (۴-۲۶) تا (۴-۳۴) نشان داده شده و همچنین تعداد دسته درزه بدست آمده بر روی شکل (۴-۳۵) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۲۱) - تصویر اصلی



شکل (۴-۲۲) - مراحل مشترک دو الگوریتم الف) تصویر حاصل از عملیات پیش پردازش، ب) تصویر حاصل از لبه یابی با آشکارساز کنی، ج) تصویر حاصل از عملیات گسترش، د) تصویر حاصل از برچسب زدن اجزای متصل



شکل (۴-۲۳) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از تبدیل هاف، ب) نتایج حاصل از خوشه بندی کاهشی و خوشه بندی فازی



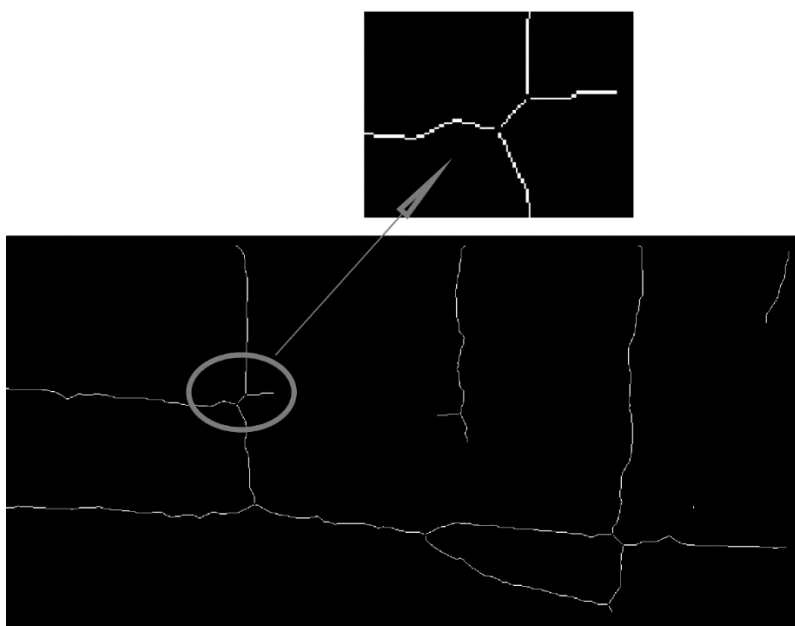
شکل (۴-۲۴) - تصویر حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط



شکل (۴-۲۵) - نتایج نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف بر روی تصویر اصلی



شکل (۴-۲۶) - تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی



شکل (۴-۲۷) - تصویر حاصل پس از حذف درجه همسایگی‌های ۳ و بالاتر



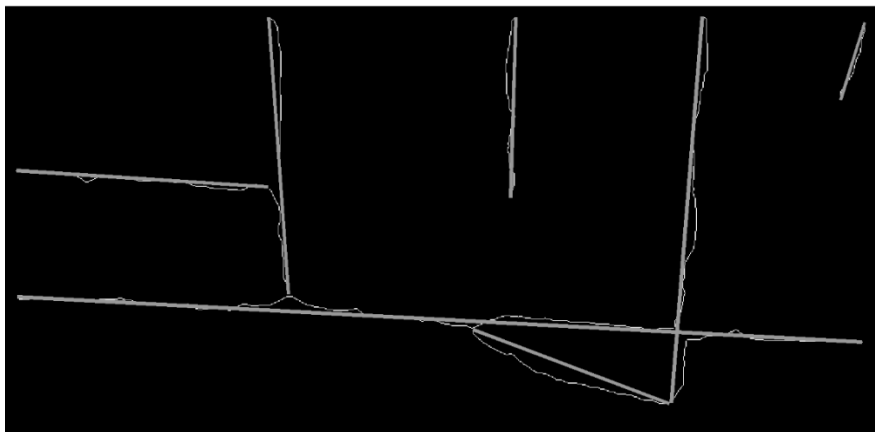
شکل (۴-۲۸) - نتایج حاصل از برچسب‌گذاری اجزای متصل و حذف خطوط کوتاه



شکل (۴-۲۹) - تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط



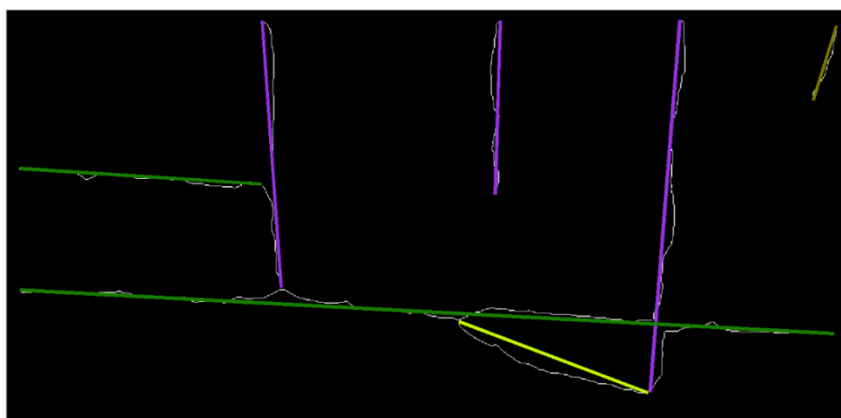
شکل (۴-۳۰) - پر شدن فاصله خطواره‌های واجد شرایط



شکل (۴-۳۱) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده



شکل (۴-۳۲) - نمایش خط اثرهای تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی



شکل (۴-۳۵) - دسته درزه‌های به‌دست آمده با استفاده از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی

پارامترهای هندسی مورد نظر این تصویر به همراه تصویر قبلی با استفاده از هر دو الگوریتم در فصل بعد بدست آورده و پس از آن نتایج حاصل از این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌شود.

۱۸-۴ جمع‌بندی

در این فصل، خط اثر ناپیوستگی‌های تصویر مورد نظر با استفاده از دو الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی شناسایی شد. در مراحل مشترک دو الگوریتم در ابتدا عملیات پیش‌پردازش به منظور حذف نویز توسط فیلترهای مکانی مختلف بر روی تصویر انجام شد و سپس لبه‌ها با استفاده از آشکارسازهای مختلف تعیین شد. از این مرحله به بعد هر الگوریتم راه خود را در پیش گرفت. با الگوریتم تبدیل هاف خط اثرهای ناپیوستگی تصویر مورد نظر شناسایی و نتایج حاصل از تبدیل هاف با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی فازی و خوشه‌بندی کاهشی بهبود یافت. پس از این مرحله کار شناسایی خطوط با استفاده از تبدیل هاف تمام شد. در الگوریتم درجه همسایگی، پس از انجام مراحل مشترک، در ابتدا عملیات نازک‌سازی بر روی تصویر مورد نظر انجام و پس از آن درجه همسایگی پیکسل‌های خطواره مشخص شد، در ادامه خطوط کوتاه حذف شده و خطوط ناپیوستگی‌ها با توجه به درجه همسایگی مشخص شد. در مرحله آخر خطوطی که از یکدیگر جدا شده‌اند با روشی که شرح داد شده است به هم متصل شدند. در انتهای فصل خط اثرهای تصویر دیگری از توده‌سنگ معادن سنگ ساختمانی با استفاده از دو الگوریتم ذکر شده، شناسایی شد.

فصل پنجم

تعیین پارامترهای هندسی خط اثر ناپیوستگی‌های

توده سنگ با استفاده از پردازش تصویر

۵-۱ مقدمه

پس از به دست آمدن مختصات نقاط و تعداد دسته درزه‌ها می‌توان مشخصات توده سنگ از قبیل فاصله‌داری متوسط، میانگین طول خط اثر، دانسیته و شدت شکستگی‌ها را به دست آورد. بدین منظور در این فصل این پارامترها با استفاده از روش‌های خط برداشت و پنجره برداشت به دست می‌آید. پس از آن نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی و پردازش تصویر حاصل از دو تصویر فصل قبل با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در انتها خط اثرهای چند تصویر دیگر با استفاده از دو الگوریتم مورد نظر شناسایی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۵-۲ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده پردازش تصویر و

الگوریتم تبدیل هاف

پس از به دست آمدن مختصات نقاط و تعداد دسته درزه‌ها می‌توان مشخصات توده سنگ از قبیل فاصله‌داری متوسط، میانگین طول خط اثر، دانسیته و شدت شکستگی‌ها را به دست آورد. بدین منظور این پارامترها با استفاده از روش‌های زیر محاسبه می‌شوند:

الف) خط برداشت، شامل خط برداشت و خط برداشت دایروی (روش مالدون و

همکاران)

ب) پنجره برداشت، شامل پنجره برداشت، پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون) و

پنجره برداشت دایروی (روش مالدون و روش ژانگ و انیشتین)

۵-۲-۱ تعیین مشخصات توده سنگ توسط خط برداشت

برای تعیین مشخصات توده سنگ با استفاده از خط برداشت دو حالت خط برداشت و خط برداشت دایروی (روش مالدون و همکاران) بررسی می‌شود.

۵-۲-۱-۱ خط برداشت

برای به دست آوردن پارامترهای مورد نظر با استفاده از خط برداشت کدی در نرم افزار MATLAB تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است (کد این بخش در پیوست (ب) نشان داده شده است):

الف) دریافت مختصات خطوط و خط برداشت.

ب) بررسی عبور خط برداشت از خطوط (اگر خط برداشت، خطی را قطع کند، برچسب خط یک و اگر آن را قطع نکند، برچسب خط صفر است).

ج) در نظر گرفتن پارامترهای خط اگر خط برداشت آن را قطع کرده باشد.

نام این الگوریتم خط برداشت است و می توان پارامترهای مورد نظر زیر را محاسبه کرد.

الف) محاسبه میانگین طول خط اثر

طول تمامی خطوط با توجه به مختصات آن محاسبه و با در نظر گرفتن مقیاس تصویر، با اندازه واقعی ذخیره شد. با اعمال الگوریتم خط برداشت، فقط طول خطوطی که توسط خط برداشت قطع شده اند در نظر گرفته شده و میانگین آنها محاسبه می شود.

ب) محاسبه فاصله داری متوسط کلی

برای به دست آوردن این پارامتر کدی تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است (کد این بخش در پیوست (ب) نشان داده شده است):

الف) پیدا کردن مختصات نقاط برخورد خط برداشت و خطوط و ذخیره کردن آن در یک ماتریس.

ب) مرتب کردن مختصات نقاط برخورد برحسب پارامتر x (طول) (اگر خط برداشت کاملاً عمودی باشد براساس پارامتر y مرتب می شود).

ج) گرفتن مشتق از ماتریس مختصات برخورد و ذخیره در یک ماتریس دیگر.

د) محاسبه مجموع مجذور المان‌های ماتریس مشتق و گرفتن جذر آن، فاصله‌داری متوسط کلی برابر با میانگین این جذر است.

ج) محاسبه فاصله‌داری متوسط دسته درزه

برای محاسبه این پارامتر، عملیات انجام شده برای تعیین مقدار متوسط فاصله‌داری کلی، برای درزه‌هایی که از یک دسته درزه هستند، انجام می‌شود.

د) محاسبه فاصله‌داری متوسط دسته درزه نرمال

برای به دست آوردن این پارامتر کدی تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است (کد این بخش در پیوست (ب) نشان داده شده است):

الف) محاسبه شیب خط برداشت.

ب) محاسبه شیب میانگین خطوط دسته درزه‌های یکسان.

ج) محاسبه زاویه حاده بین شیب خط برداشت و شیب میانگین خطوط یک دسته درزه.

د) محاسبه فاصله‌داری دسته درزه نرمال با استفاده از رابطه زیر:

$$x_n = x_d \cdot \sin \delta \quad (1-4)$$

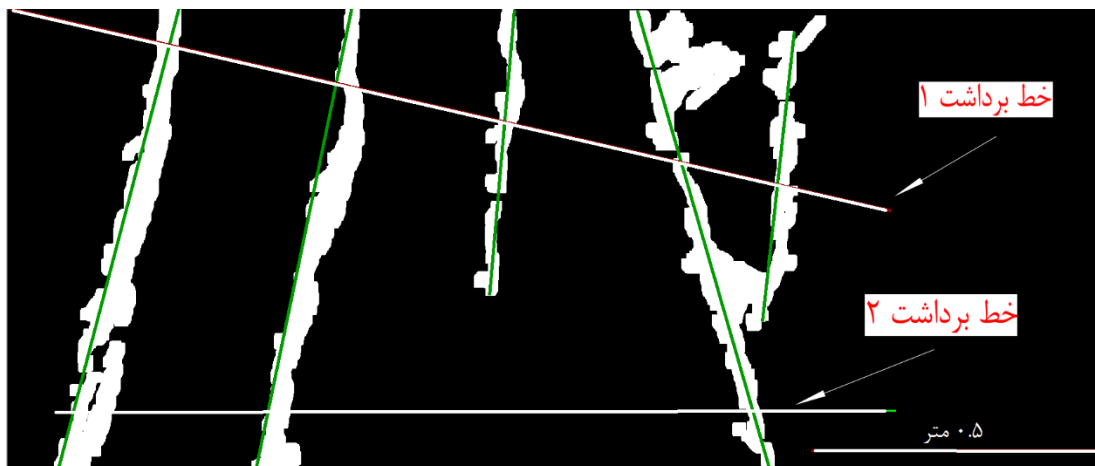
در این رابطه x_n فاصله‌داری ناپیوستگی دسته درزه نرمال، x_d فاصله‌داری ناپیوستگی دسته درزه و δ زاویه حاده بین خط برداشت و ناپیوستگی است.
ه) گرفتن میانگین از مقادیر فاصله‌داری دسته درزه نرمال.

ه) شدت شکستگی یک بعدی (دانسیته یک بعدی)

شدت شکستگی با داشتن طول خط برداشت و تعداد شکستگی که آن را قطع می‌کند به راحتی قابل محاسبه است. تعداد شکستگی برابر با تعداد یک‌های الگوریتم خط برداشت است. با تقسیم این عدد بر

طول خط برداشت شدت شکستگی به دست می آید.

کدهای تهیه شده در این بخش بر روی خط برداشت‌های شکل (۱-۵) اجرا گردید. جدول (۱-۵) طول خط برداشت‌های شکل (۱-۵) است و مقادیر حاصل از اجرای کدهای تهیه شده در جدول (۲-۵) آورده شده است.



شکل (۱-۵) - خط برداشت‌های نمونه

جدول (۱-۵) - طول خط برداشت‌های شکل (۱-۴) (۱۴-۴)

شماره خط برداشت	۱	۲
طول خط برداشت (متر)	۱/۵۵	۱/۵

جدول (۲-۵) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۱-۵) با استفاده از الگوریتم تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۰/۷	۰/۸۲
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۳/۱۷	۲/۰۳
۳	متوسط فاصله‌داری دسته درزه (متر)	۰/۳۶	۰/۳۴
۴	متوسط فاصله‌داری دسته درزه نرمال (متر)	۰/۲۸	۰/۲۲
۵	متوسط فاصله‌داری کلی	۰/۲۷	۰/۵۹

۵-۲-۱-۲ خط برداشت دایروی (روش مالدون و همکاران)

برای به دست آوردن پارامترهای هندسی مورد نظر باید پارامترهای m و n در روابط مالدون و همکاران محاسبه شود. برای به دست آوردن پارامترهای هندسی با روش مالدون و همکاران کدی تهیه شده که دارای مراحل به شرح زیر است (کد این بخش در پیوست (ب) نشان داده شده است):

الف) دریافت مرکز و شعاع دایره و محاسبه مساحت دایره.

ب) تعیین وضعیت خطوط نسبت به دایره، خطوط نسبت به دایره چهار حالت دارد: الف) خط کاملاً بیرون دایره باشد (برچسب خط=۱) ب) یک انتهای خط در درون دایره و انتهای دیگر در خارج آن باشد (برچسب خط=۲). ج) هر دو انتها خارج دایره باشد و آن را قطع کند (برچسب خط=۳). د) خط کاملاً درون دایره باشد (برچسب خط=۴).

ج) محاسبه پارامترهای m و n با توجه به روابط زیر:

$$m = (\text{تعداد خطوطی با برچسب } ۲ + ۲ \text{ برابر تعداد خطوطی با برچسب } ۴) \quad (۲-۴)$$

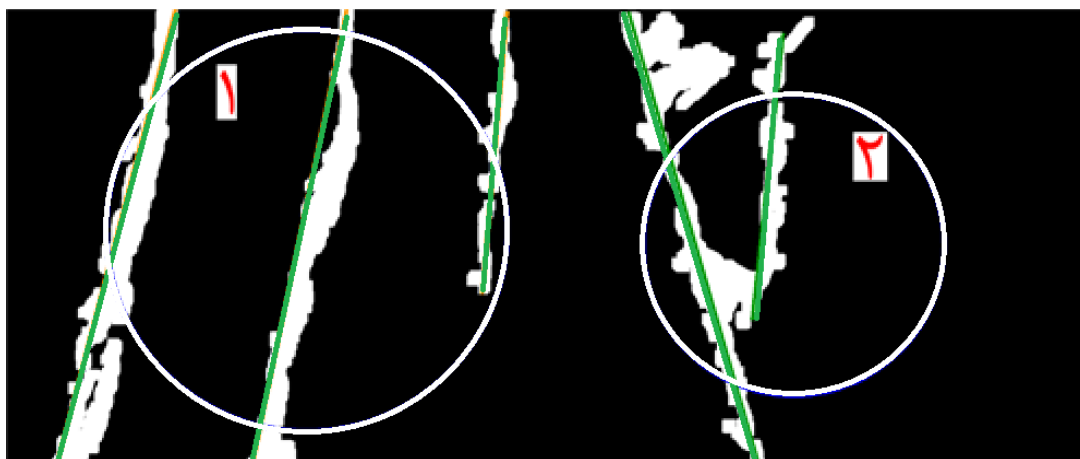
$$n = (\text{تعداد خطوطی با برچسب } ۲ + ۲ \text{ برابر تعداد خطوطی با برچسب } ۳) \quad (۳-۴)$$

د) محاسبه پارامترهای هندسی مورد نظر با توجه به روابط مالدون و همکاران (جدول (۲-۵)).

کدهای تهیه شده در این بخش بر روی خط برداشت‌های دایروی شکل (۲-۵) اجرا گردید. جدول

(۳-۵) شعاع دایره‌های این شکل است و مقادیر حاصل از اجرای کدهای تهیه شده در جدول

(۴-۵) آورده شده است.



شکل (۲-۵) - روش خط برداشت دایروی با دایره‌های چندگانه

جدول (۳-۵) - اندازه شعاع دایره‌های شکل (۴-۱۵)

شماره دایره	۱	۲
شعاع دایره (متر)	۰/۳۵	۰/۲۵

جدول (۴-۵) - مقادیر به‌دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۴-۱۵) با استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر دایره	میانگین طول خط اثر (متر)	دانسیته (تعداد در مترمربع)	شدت (متر بر مترمربع)
۱	دایره (۱)	۲/۷۷	۱/۲۸	۳/۵۴
۲	دایره (۲)	۱/۲۵	۲/۲۷	۲/۸۳
۳	میانگین	۱/۹۴	۱/۶۳	۳/۲۳

۲-۲-۵ تعیین مشخصات توده سنگ توسط پنجره برداشت

برای تعیین مشخصات توده سنگ توسط پنجره برداشت سه حالت بررسی می‌شود: الف) پنجره برداشت

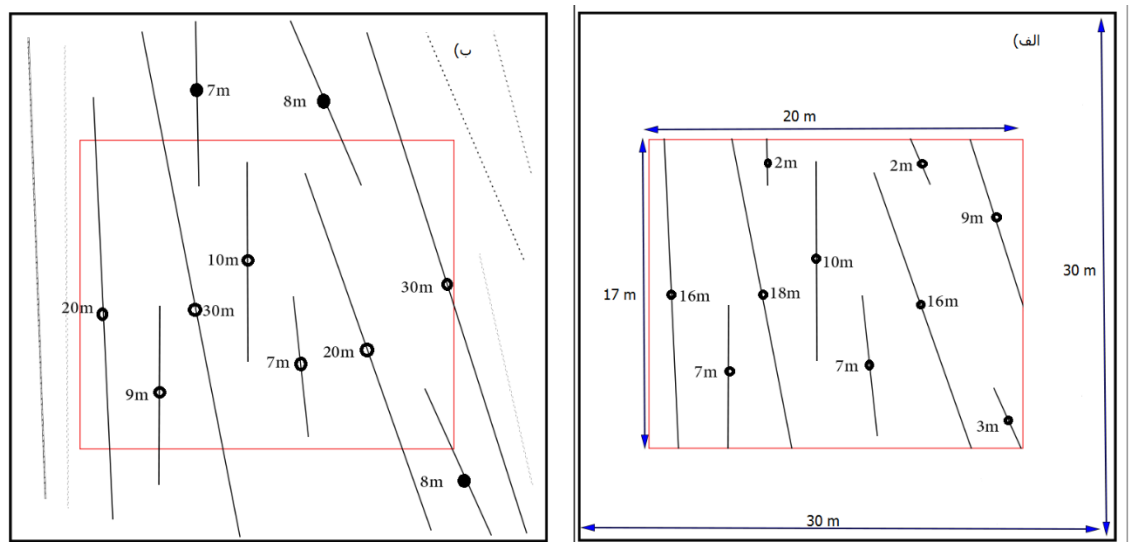
ب) پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون) ج) پنجره برداشت دایروی (روش ژانگ و انیشتین و روش

مالدون)

۵-۲-۲-۱ پنجره برداشت

در پنجره برداشت مستطیلی، سه پارامتر میانگین طول خط اثر، دانسیته و شدت شکستگی، به صورت مقادیر ظاهری و واقعی اندازه گیری می شود. برای اینکه تفاوت مقادیر واقعی و ظاهری روشن شود این مقادیر در شکل (۳-۵) به صورت شماتیک نشان داده شده است.

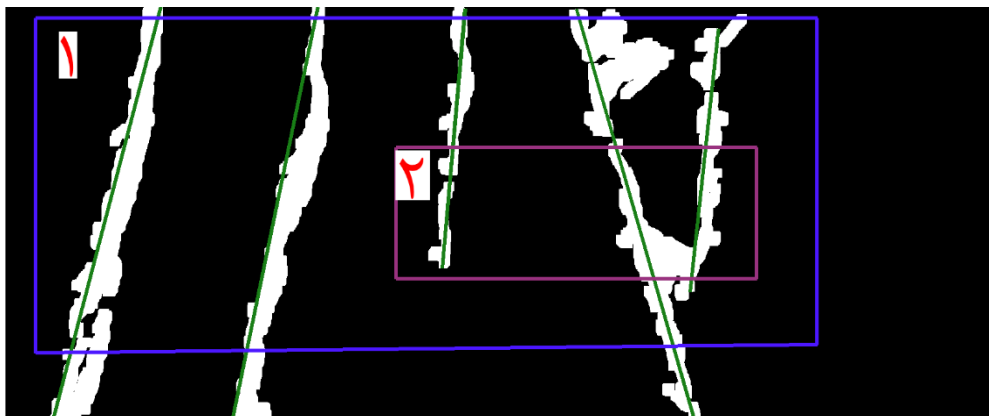
خطوط نسبت به مستطیل چهار حالت دارد (مانند دایره)، با توجه به وضعیت خط نسبت به مستطیل و داشتن ابعاد و مساحت مستطیل پارامترهای مورد نظر به دست می آید. کد تهیه شده در این بخش روندی شبیه به کدهای قبلی دارد (کدهای این بخش در پیوست (ب) آورده شده است). کد تهیه شده در این بخش بر روی شکل (۴-۵) اجرا گردید، ابعاد این پنجره ها در جدول (۵-۵) است و نتایج حاصل از اجرای کد تهیه شده در جدول (۶-۵) موجود است.



شکل (۳-۵) - پنجره برداشت الف) مقادیر ظاهری، میانگین طول خط اثر $\frac{16+7+18+2+10+7+16+2+9+3}{10} = 8.3$

دانسیته $= \frac{10}{20 \times 17} = 0.03$ و شدت $= \frac{83}{20 \times 17} = 0.244$ (ب) مقادیر واقعی، میانگین طول خط اثر

$\frac{20+9+30+10+7+20+30+8+8+7}{10} = 14.9$ ، دانسیته $= \frac{7}{20 \times 17} = 0.021$ و شدت $= \frac{149}{30 \times 30} = 0.165$



شکل (۴-۵) - روش پنجره برداشت

جدول (۵-۵) - ابعاد پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵)

شماره پنجره	۱	۲
ابعاد پنجره (متر)	۱/۵×۰/۶۵	۰/۷×۰/۲۵

جدول (۶-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) با استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۰/۶۹	۰/۲۵
۲	دانسیته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۵/۳۷	۱۷/۳۴
۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۳/۷۳	۴/۳
۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۰/۷	۰/۶۱
۵	دانسیته واقعی (تعداد در مترمربع)	۵/۳۷	۱۱/۵۶
۶	شدت (متر بر مترمربع)	۲/۲۶	۲/۲۷

۲-۲-۲-۵ پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون)

در ادامه به بررسی پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) و پارامترهای به دست آمده از آن با توجه به پردازش تصویر و با استفاده از روابط مالدون (۲-۱۹) و (۲-۲۴) پرداخته می‌شود. کد تهیه شده در این بخش روندی شبیه به کدهای قبلی دارد. در جدول (۵-۷) نتایج حاصل از اجرای کد تهیه شده، آورده شده است.

جدول (۷-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) (روش مالدون) با استفاده از

تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱/۵	۱/۲۵
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۵۶	۲/۸۹

۳-۲-۲-۵ پنجره برداشت دایروی (روش ژانگ و انیشتین)

در این قسمت پارامتر میانگین طول خط اثر با استفاده از رابطه ژانگ و انیشتین و از شکل (۲-۵) به دست می‌آید. کد تهیه شده در این بخش روندی شبیه به کدهای قبلی دارد و نتایج حاصل از اجرای این کد در جدول (۸-۵) آورده شده است.

جدول (۸-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با

استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط (متر)	۲/۷۸	۱/۲۵

۴-۲-۲-۵ پنجره برداشت دایروی (روش مالدون)

در ادامه به بررسی پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) و پارامترهای به دست آمده از آن، با توجه به پردازش تصویر و با استفاده از روابط مالدون (۲-۲۰) و (۲-۲۵) پرداخته می‌شود. کد تهیه شده در این بخش روندی شبیه به کدهای قبلی دارد و نتایج حاصل از اجرای این کد در جدول (۹-۵) آورده شده است.

جدول (۹-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش مالدون) با استفاده از

تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۷۸	۱/۲۵
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۲۸	۲/۲۷

۳-۵ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده پردازش تصویر و

الگوریتم درجه همسایگی

در این بخش پارامترهای هندسی مورد نظر با استفاده از تصویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی بدست آورده می شود. موقعیت خط برداشت و پنجره برداشت مانند حالت تبدیل هاف است. مقادیر بدست آمده برای روش های مختلف برداشت با توجه به تصویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی در جداول (۱۰-۵) تا (۱۵-۵) آورده شده است.

جدول (۱۰-۵) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت های شکل (۱-۵) با استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۰/۶۵	۰/۷۵
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۳/۱۷	۲/۰۳
۳	متوسط فاصله داری دسته درزه (متر)	۰/۳۶	۰/۳۴
۴	متوسط فاصله داری دسته درزه نرمال (متر)	۰/۲۸	۰/۲۲
۵	متوسط فاصله داری کلی	۰/۲۷	۰/۵۹

جدول (۱۱-۵) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۲-۵) با استفاده از درجه

همسایگی

ردیف	پارامتر دایره	میانگین طول خط اثر (متر)	دانسیته (تعداد در مترمربع)	شدت (متر بر مترمربع)
۱	دایره (۱)	۲/۷۷	۱/۲۸	۳/۵۴
۲	دایره (۲)	۱/۲۵	۲/۲۷	۲/۸۳
۳	میانگین	۱/۹۴	۱/۶۳	۳/۲۳

جدول (۱۲-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) با استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۰/۶۰	۰/۲۰
۲	دانسیته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۵/۳۷	۱۷/۳۴
۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۳/۶۹	۴/۲۴
۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۰/۶۵	۰/۵۷
۵	دانسیته واقعی (تعداد در مترمربع)	۵/۳۷	۱۱/۵۶
۶	شدت (متر بر مترمربع)	۲/۲۰	۲/۲۱

جدول (۱۳-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۴-۵) (روش مالدون) با استفاده از

درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱/۵	۱/۲۵
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۵۶	۲/۸۹

جدول (۱۴-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش ژانگ و انیشتین)

با استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط (متر)	۲/۷۸	۱/۲۵

جدول (۱۵-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره برداشت دایروی شکل (۲-۵) (روش مالدون) با استفاده از

درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۷۸	۱/۲۵
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۲۸	۲/۲۷

۴-۵ اندازه‌گیری مشخصات توده سنگ تصویر اول با استفاده از برداشت‌های

میدانی

تمامی پارامترهای حاصل از پردازش تصویر به صورت میدانی اندازه‌گیری شده است. موقعیت تمامی خط برداشت‌ها و پنجره‌های برداشت در هر دو روش یکسان است. در این بخش پارامترهای به دست آمده از روش‌های مختلف با توجه به مقادیر حاصل از برداشت میدانی در جدول‌های (۱۶-۵) تا (۱۶-۴) آورده شده است.

جدول (۵-۱۶) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های شکل (۵-۱)

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۰/۷۲	۰/۸۳
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۳/۲۲	۲
۳	متوسط فاصله‌داری دسته درزه (متر)	۰/۴	۰/۳۸
۴	متوسط فاصله‌داری دسته درزه نرمال (متر)	-	-
۵	متوسط فاصله‌داری کلی	۰/۲۶	۰/۶۲

جدول (۵-۱۷) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۲)

ردیف	پارامتر دایره	میانگین طول خط اثر (متر)	دانسیته (تعداد در مترمربع)	شدت (متر بر مترمربع)
۱	دایره (۱)	۲/۷۵	۱/۳	۳/۵۷
۲	دایره (۲)	۱/۲	۲/۵۵	۳
۳	میانگین	۱/۸۹	۱/۷۲	۳/۳۳

جدول (۵-۱۸) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۴)

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۰/۶۷	۰/۲۷
۲	دانسیته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۵/۳۹	۱۷/۱۴
۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۳/۷۱	۴/۶۲
۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۰/۶۸	۰/۶
۵	دانسیته واقعی (تعداد در مترمربع)	۵/۳۹	۱۷/۱۴
۶	شدت (متر بر مترمربع)	۲/۲۴	۲/۲۴

جدول (۵-۱۹) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۴) (روش

مالدون)

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱/۵۱	۱/۲۵
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۵۳	۲/۸۵

جدول (۵-۲۰) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۵-۲)

(روش ژانگ و انیشتین)

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط (متر)	۲/۷۵	۱/۲۳

جدول (۵-۲۱) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۵-۲)

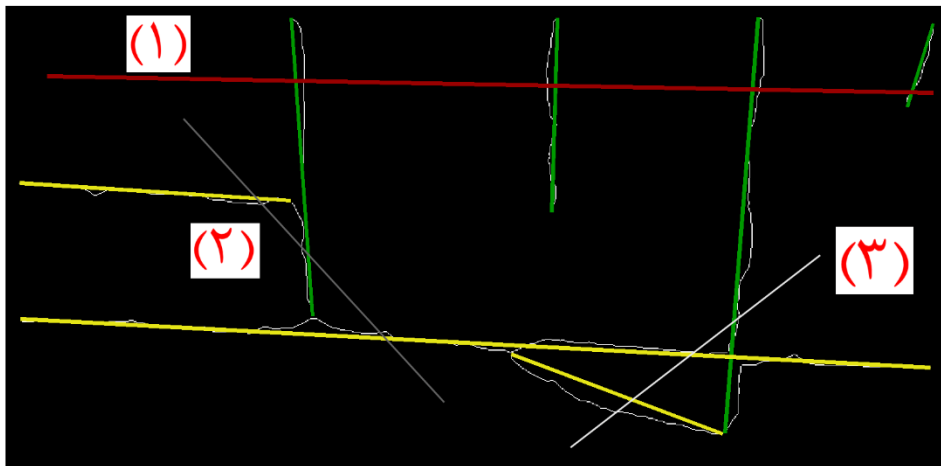
(روش مالدون)

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۷۵	۱/۲۳
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۱/۳	۲/۵۴

۵-۵ تعیین مشخصات توده سنگ تصویر دوم با پردازش تصویر

روند تعیین پارامترهای مورد نظر همانند قبل است. خط برداشت، پنجره برداشت دایروی و پنجره برداشت مستطیلی مورد استفاده، به‌ترتیب در شکل‌های (۵-۵) تا (۷-۵) نشان داده شده و ابعاد متناظر با آن‌ها در جدول‌های (۵-۲۲) تا (۵-۲۴) آورده شده است. نتایج به‌دست آمده حاصل از اجرای کدهای تهیه شده بر روی این شکل‌ها برای الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی در جداول (۵-۲۵) تا

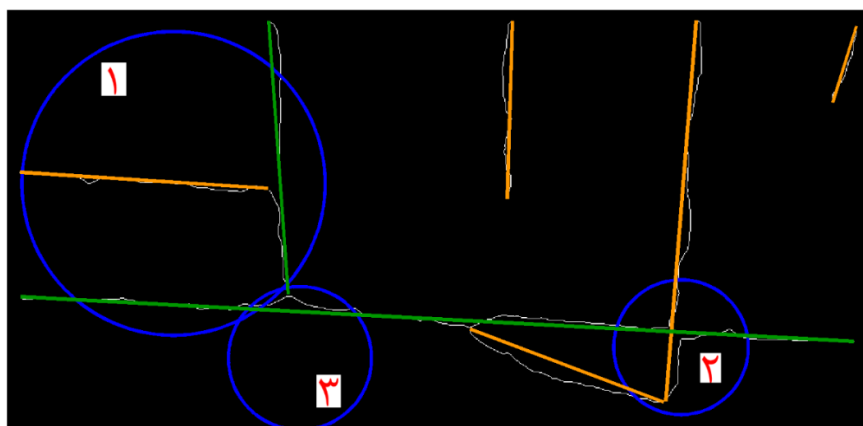
(۳۶-۵) آورده شده است.



شکل (۵-۵) - خط برداشت‌های مختلف

جدول (۲۲-۵) - طول خط برداشت‌های شکل (۴-۵)

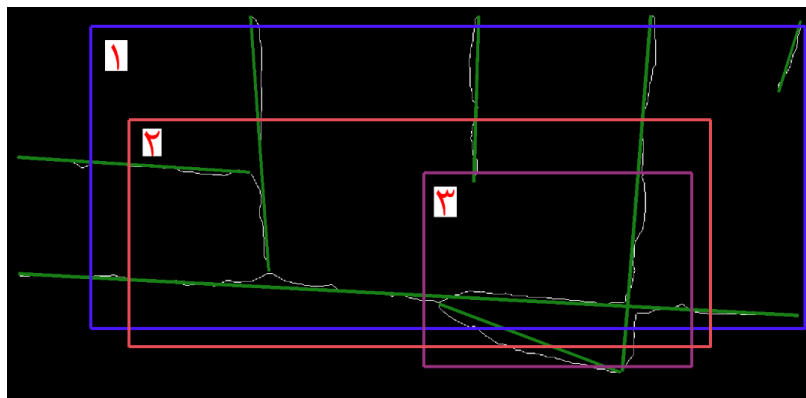
شماره خط برداشت	۱	۲	۳
طول خط برداشت (متر)	۹	۴	۳/۵



شکل (۶-۵) - خط (پنجره) برداشت دایروی با دایره‌های چندگانه

جدول (۲۳-۵) - اندازه شعاع دایره‌های شکل (۵-۶)

شماره خط برداشت (پنجره) دایروی	۱	۲	۳
شعاع خط برداشت دایروی (پنجره) (متر)	۱/۸	۰/۷۵	۰/۸



شکل (۷-۵) - پنجره‌های برداشت مختلف

جدول (۲۴-۵) - ابعاد پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵)

شماره پنجره	۱	۲	۳
ابعاد پنجره (متر)	۸/۴۵ × ۳/۵۵	۳/۱۵ × ۲/۲۵	۶/۹ × ۲/۶

جدول (۲۵-۵) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۵-۵) با استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)	خط برداشت (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۶۰	۴/۹۰	۵/۵۵
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۰/۴۵	۰/۷۲	۰/۸۳
۳	متوسط فاصله‌داری دسته درزه (متر)	۲/۳۲	۲/۲	۰
۴	متوسط فاصله‌داری دسته درزه نرمال (متر)	۲/۳۲	۱/۳۴	۰
۵	متوسط فاصله‌داری کلی	۲/۱	۱/۱	۰/۸۷

جدول (۵-۲۶) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶) (روش مالدون و همکاران) با

استفاده از تبدیل هاف

شدت (متر بر مترمربع)	دانسیتته (تعداد در مترمربع)	میانگین طول خط اثر (متر)	پارامتر دایره	ردیف
۰/۷۴	۰/۰۵۶	۱۳/۲۱	دایره (۱)	۱
۱/۳۴	۰/۵۷	۲/۳۵	دایره (۲)	۲
۰/۹۴	۰/۲۵	۳/۷۷	دایره (۳)	
۰/۹۳	۰/۱۶	۵/۰۶	میانگین	۳

جدول (۵-۲۷) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷) با استفاده از تبدیل هاف

پنجره (۳)	پنجره (۲)	پنجره (۱)	پارامتر	ردیف
۲/۶۱	۱/۹۹	۲/۹۵	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۱
۰/۳۲	۰/۵۵	۰/۲۳	دانسیتته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۲
۰/۸۷	۱/۱۵	۰/۷۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۳
۳/۹۹	۴/۵۱	۳/۵۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۴
۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲	دانسیتته واقعی (تعداد در مترمربع)	۵
۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	شدت (متر بر مترمربع)	۶

جدول (۲۸-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) (روش مالدون) با استفاده از

تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)	پنجره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۴/۷۷	۶/۸۷	۵/۳۶
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۰/۰۹۹	۰/۱۴	۰/۱۰۸

جدول (۲۹-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با

استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط (متر)	۱۳/۲۱	۲/۳۵	۳/۷۵

جدول (۳۰-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۵-۵) (روش مالدون) با

استفاده از تبدیل هاف

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱۳/۲۱	۲/۳۵	۳/۷۴
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۰/۰۴۵	۰/۴۳	۰/۲

جدول (۵-۳۱) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های شکل (۵-۵) با استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)	خط برداشت (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۵۳	۴/۸۳	۵/۴۶
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۰/۴۵	۰/۷۲	۰/۸۳
۳	متوسط فاصله‌داری دسته درزه (متر)	۲/۳۲	۲/۲	۰
۴	متوسط فاصله‌داری دسته درزه نرمال (متر)	۲/۳۲	۱/۳۴	۰
۵	متوسط فاصله‌داری کلی	۲/۱	۱/۱	۰/۸۷

جدول (۵-۳۲) - مقادیر به دست آمده از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶) (روش مالدون و همکاران) با

استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر دایره	میانگین طول خط اثر (متر)	دانسیته (تعداد در مترمربع)	شدت (متر بر مترمربع)
۱	دایره (۱)	۱۳/۲۱	۰/۰۵۶	۰/۷۴
۲	دایره (۲)	۲/۳۵	۰/۵۷	۱/۳۴
	دایره (۳)	۳/۷۷	۰/۲۵	۰/۹۴
۳	میانگین	۵/۰۶	۰/۱۶	۰/۹۳

جدول (۳۳-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) با استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)	پنجره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۲/۸۹	۱/۹۲	۲/۵۵
۲	دانسیته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۳۲
۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۰/۶۹	۱/۱۱	۰/۸۱
۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۳/۴۸	۴/۴۴	۳/۹۲
۵	دانسیته واقعی (تعداد در مترمربع)	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۷
۶	شدت (متر بر مترمربع)	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴

جدول (۳۴-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۷-۵) (روش مالدون) با استفاده از

درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)	پنجره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۴/۷۷	۶/۸۷	۵/۳۶
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۰/۰۹۹	۰/۱۴	۰/۱۰۸

جدول (۳۵-۵) - مقادیر به دست آمده از پنجره‌های برداشت شکل (۶-۵) (روش ژانگ و انیشتین) با

استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط (متر)	۱۳/۲۱	۲/۳۵	۳/۷۵

جدول (۵-۳۶) - مقادیر به دست آمده از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶) (روش مالدون) با

استفاده از درجه همسایگی

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱۳/۲۱	۲/۳۵	۳/۷۴
۲	دانسیتته (تعداد در مترمربع)	۰/۰۴۵	۰/۴۳	۰/۲

۵-۶ اندازه‌گیری مشخصات توده سنگ تصویر دوم با استفاده از برداشت‌های

میدانی

تمامی پارامترهای حاصل از پردازش تصویر به صورت میدانی اندازه‌گیری شده است. موقعیت تمامی خط برداشت‌ها و پنجره‌های برداشت در هر دو روش یکسان است. در این بخش پارامترهای به دست آمده از روش‌های مختلف با توجه به مقادیر حاصل از برداشت میدانی در جدول‌های (۵-۳۷) تا (۵-۱۵) آورده شده است.

جدول (۵-۳۷) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های شکل (۵-۵)

ردیف	پارامتر	خط برداشت (۱)	خط برداشت (۲)	خط برداشت (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۲/۶۳	۵/۰۳	۵/۵۶
۲	شدت شکستگی (تعداد در متر)	۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۸۵
۳	متوسط فاصله‌داری دسته درزه (متر)	۲/۳۵	۲	۰
۴	متوسط فاصله‌داری دسته درزه نرمال (متر)	-	-	-
۵	متوسط فاصله‌داری کلی	۲/۲	۱	۰/۹

جدول (۵-۳۸) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از خط برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶)

ردیف	پارامتر دایره	میانگین طول خط اثر (متر)	دانسیته (تعداد در مترمربع)	شدت (متر بر مترمربع)
۱	دایره (۱)	۱۳/۳۵	۰/۰۵۵	۰/۷۳
۲	دایره (۲)	۲/۳۶	۰/۵۶	۱/۳۳
۳	دایره (۳)	۳/۷۷	۰/۲۵	۰/۹۴
۴	میانگین	۵/۱	۰/۱۵	۰/۹۲

جدول (۵-۳۹) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷)

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)	پنجره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر ظاهری (متر)	۳	۲	۲/۷۳
۲	دانسیته ظاهری (تعداد در مترمربع)	۰/۲۳	۰/۵۷	۰/۳۳
۳	شدت شکستگی (متر بر مترمربع)	۰/۷۸	۱/۳۶	۰/۹
۴	میانگین طول خط اثر واقعی (متر)	۳/۵۶	۴/۴۷	۴
۵	دانسیته واقعی (تعداد در مترمربع)	۰/۲	۰/۲۸	۰/۳۳
۶	شدت (متر بر مترمربع)	۰/۵۵	۰/۴	۰/۵۳

جدول (۵-۴۰) - مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت میدانی از پنجره‌های برداشت شکل (۵-۷)

(روش مالدون)

ردیف	پارامتر	پنجره (۱)	پنجره (۲)	پنجره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۴/۷	۶/۷۵	۵/۳
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۹

جدول (۴۱-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره‌های برداشت دایروی شکل (۵-۶)

(روش ژانگ و انیشتین)

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط (متر)	۱۳/۳۵	۲/۳۶	۳/۷۷

جدول (۴۲-۵) - مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی از پنجره برداشت‌های دایروی شکل (۵-۶)

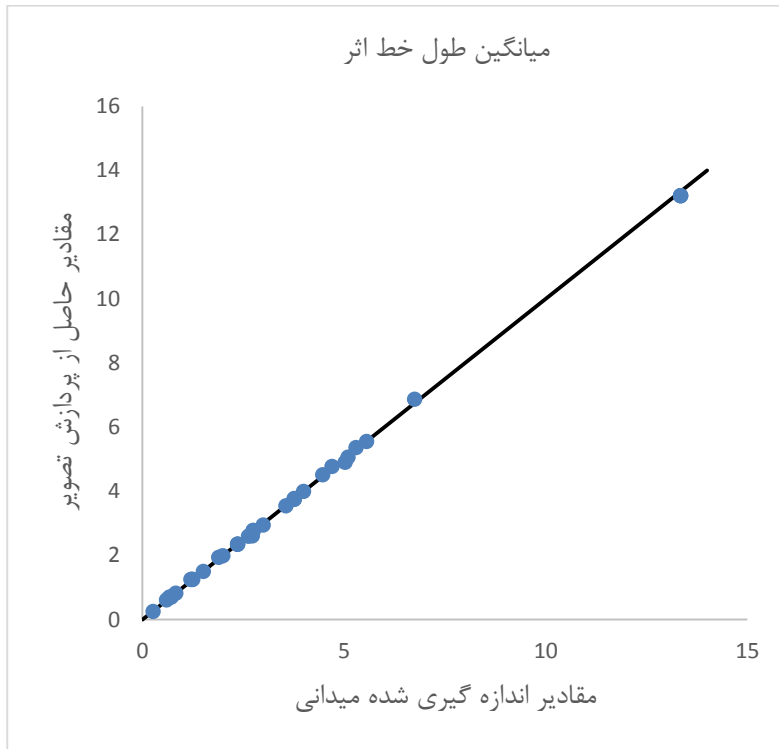
(روش مالدون)

ردیف	پارامتر	دایره (۱)	دایره (۲)	دایره (۳)
۱	میانگین طول خط اثر (متر)	۱۳/۳۵	۲/۳۶	۳/۷۷
۲	دانسیته (تعداد در مترمربع)	۰/۰۴۹	۰/۵۶	۰/۲۵

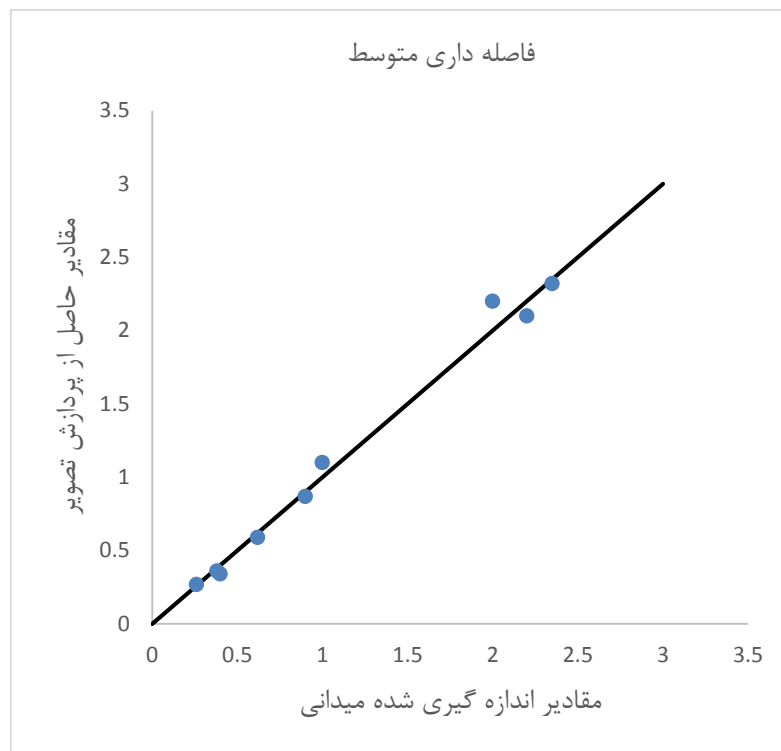
۵-۷ اعتبارسنجی نتایج

پس از به دست آوردن پارامترهای مورد نظر توسط روش‌های مختلف می‌توان نتایج به‌دست آمده از برداشت میدانی و پردازش تصویر را با یکدیگر مقایسه کرد. در این بخش پارامترهای به‌دست آمده از روش‌های مختلف با توجه به مقادیر حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با یکدیگر مقایسه می‌شود تا کارایی روش پردازش تصویر به دست آید. در شکل‌های (۵-۸) تا (۵-۱۵) مقایسه نتایج حاصل از پردازش تصویر و برداشت میدانی برای پارامترهای مختلف با توجه به دو تصویر قبل و دو الگوریتم یاد شده، نشان داده شده است. در این شکل‌ها خط رسم‌شده نیمساز ربع اول است. در جداول (۵-۴۳) و (۵-۴۴) خطای نسبی روش‌های مختلف و پارامترهای مختلف بین مقادیر حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر برای الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی آورده شده است. خطای نسبی نسبت قدر

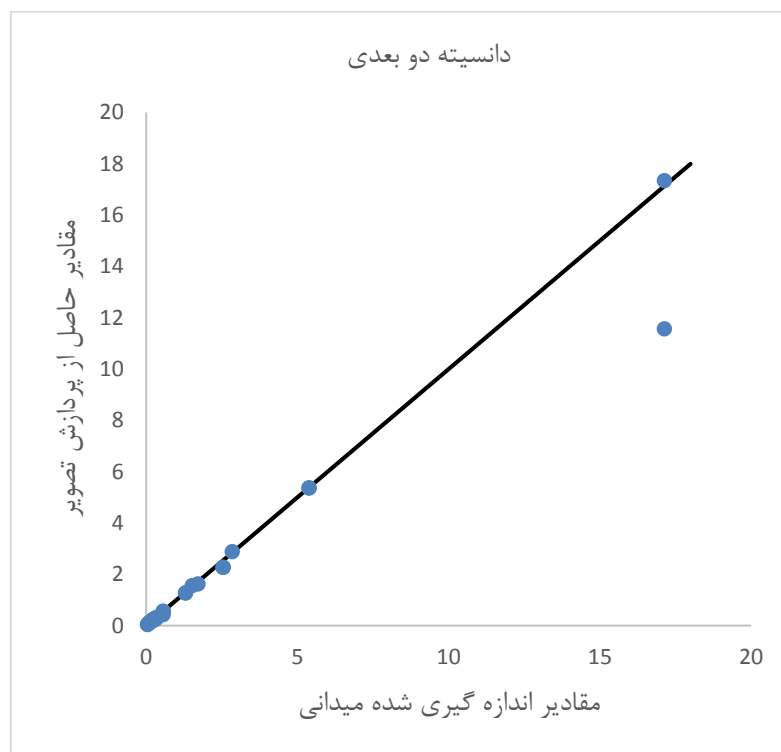
مطلق تفاضل مقادیر حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر به مقادیر حاصل از برداشت میدانی
 است.



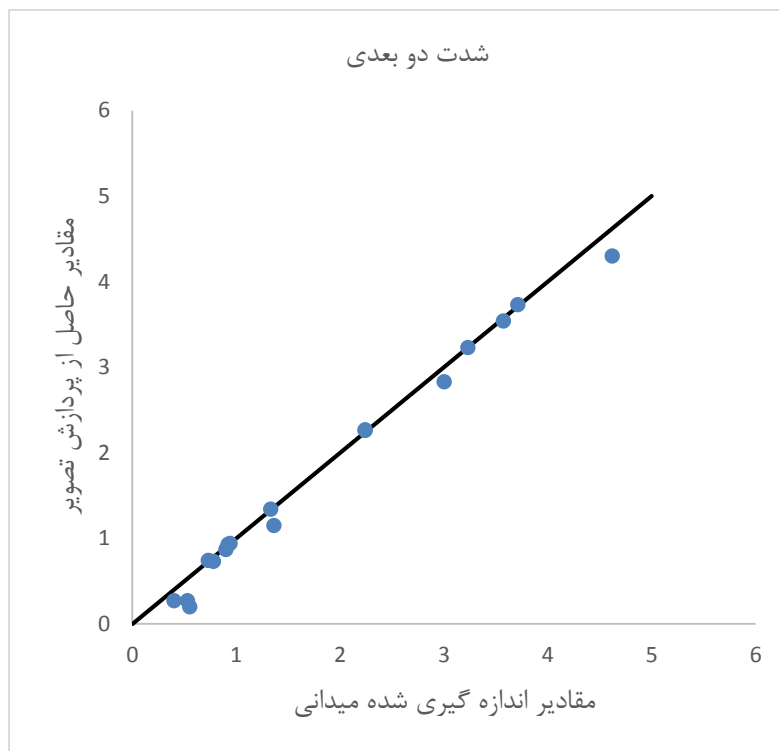
شکل (۵-۸) - مقایسه مقادیر به دست آمده پارامتر میانگین طول خط اثر، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف



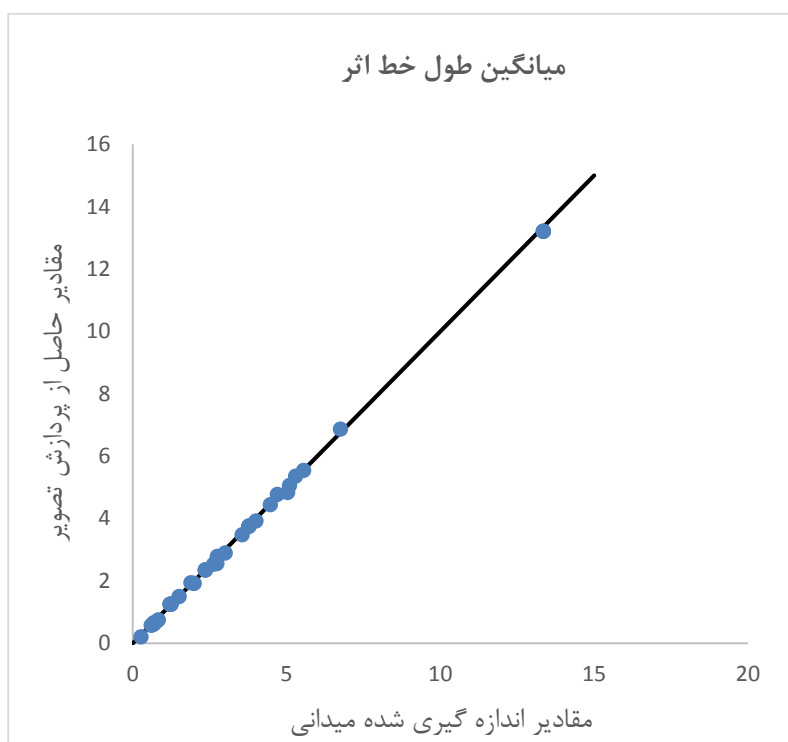
شکل (۹-۵) - مقایسه مقادیر به دست آمده فاصله داری متوسط، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش خط برداشت و الگوریتم تبدیل هاف



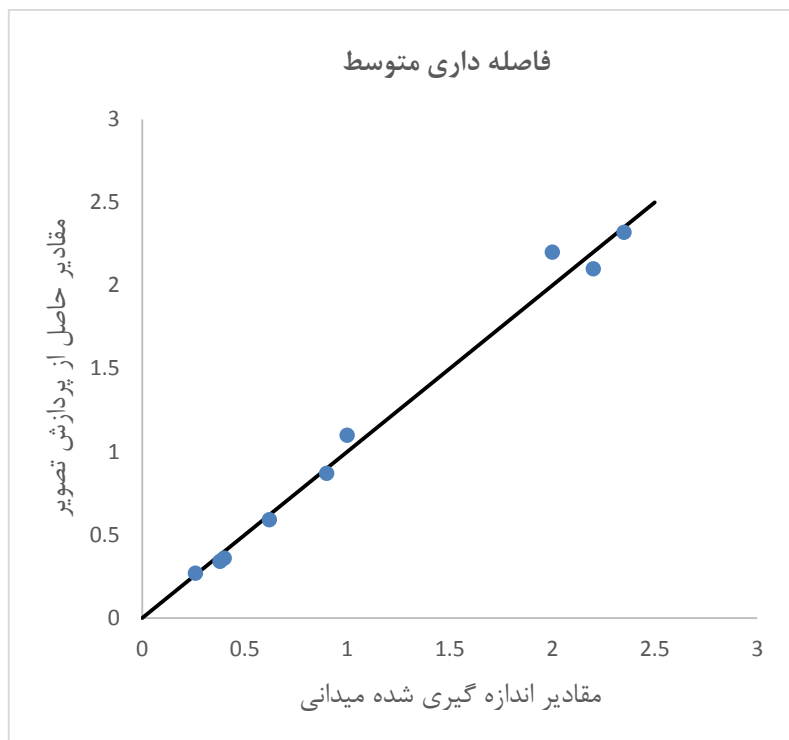
شکل (۱۰-۵) - مقایسه مقادیر به دست آمده دانسیته دوبعدی، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف



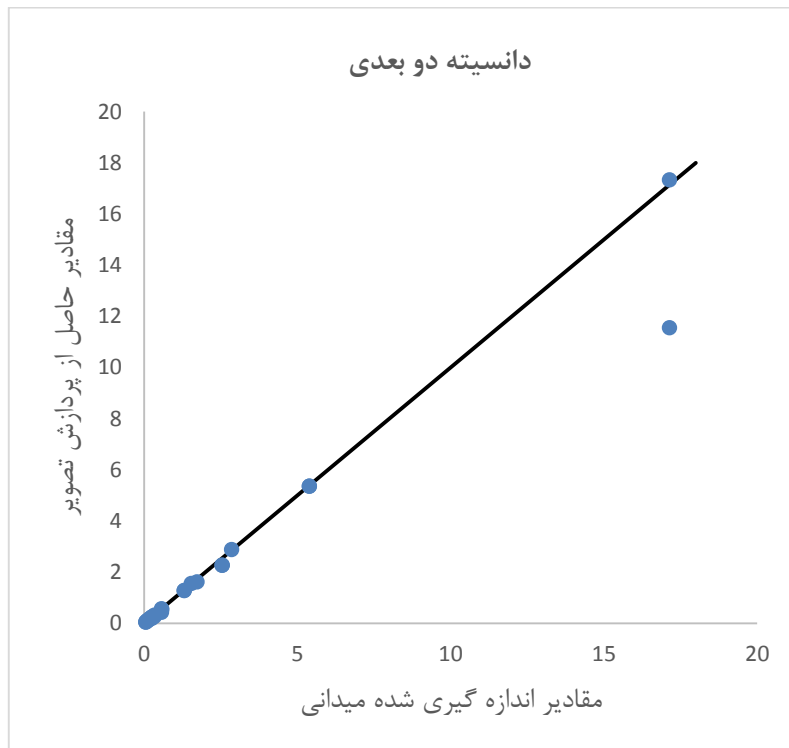
شکل (۵-۱۱) - مقایسه مقادیر به دست آمده شدت دوبعدی حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم تبدیل هاف



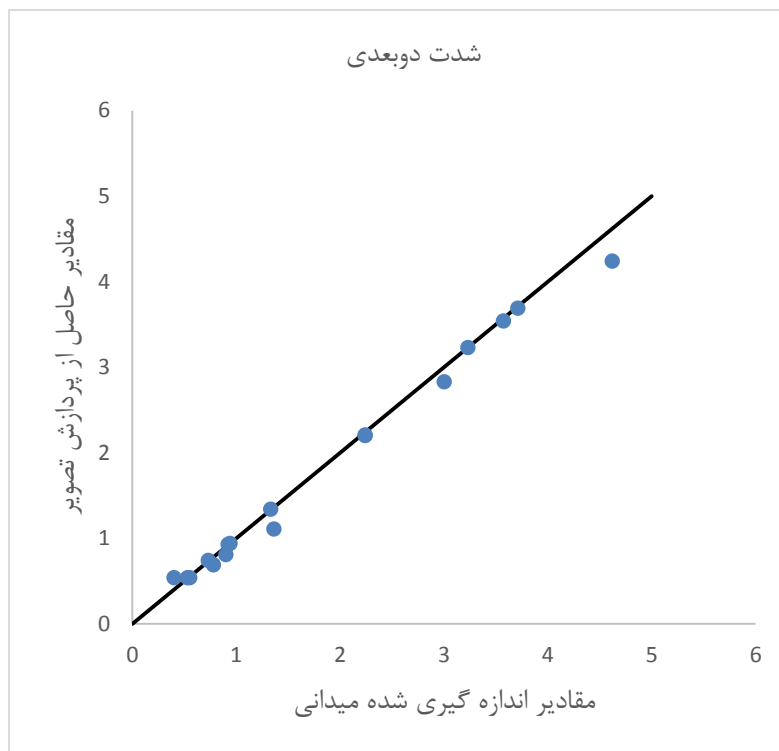
شکل (۵-۱۲) - مقایسه مقادیر به دست آمده پارامتر میانگین طول خط اثر، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم درجه همسایگی



شکل (۵-۱۳) - مقایسه مقادیر به دست آمده فاصله داری متوسط، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش خط برداشت و الگوریتم درجه همسایگی



شکل (۵-۱۴) - مقایسه مقادیر به دست آمده دانسیته دوبعدی، از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش های مختلف برداشت



شکل (۵-۱۵) - مقایسه مقادیر به دست آمده شدت دوبعدی حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به روش‌های مختلف برداشت و الگوریتم درجه همسایگی

با توجه به جدول (۵-۴۳)، خطای نسبی متوسط بین مقادیر حاصل از برداشت میدانی و پردازش تصویر با توجه به الگوریتم تبدیل هاف برابر با ۴/۰۸ درصد است که این میزان خطا، خطای کم و قابل قبولی است. با توجه به شکل‌های (۵-۸) تا (۵-۱۱) تمام مقادیر به دست آمده از برداشت میدانی و پردازش تصویر تقریباً بر روی نیمساز ربع اول قرار دارد و فقط در شکل (۵-۱۰) یکی از نقاط برداشت شده، مقدار بزرگتری از پردازش تصویر دارد و علت آن این است که برای محاسبه دانسیته در برداشت میدانی مرکز یکی از خط‌ها درون پنجره برداشت قرار گرفته اما در پردازش تصویر مرکز آن خط اثر در بیرون پنجره افتاده است بیشترین علت خطا ناشی از تبدیل مقیاس از فضای تصویر به فضای واقعی است.

با توجه به جدول (۵-۴۴)، خطای نسبی متوسط بین مقادیر حاصل از برداشت میدانی و پردازش

تصویر با توجه به الگوریتم درجه همسایگی برابر با $4/63$ درصد است که این میزان خطا، خطای کم و قابل قبولی است. با توجه به شکل های (۵-۱۲) تا (۵-۱۵) تمام مقادیر به دست آمده از برداشت میدانی و پردازش تصویر تقریباً بر روی نیمساز ربع اول قرار دارند. بیشترین علت خطا ناشی از تبدیل مقیاس از فضای تصویر به فضای واقعی است. میزان خطای متوسط این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم تبدیل هاف بیشتر است و علت آن کوتاه شدن طول خطوط در هنگام عملیات نازک سازی و یافتن درجه همسایگی خطوط است.

جدول (۵-۴۳) - خطای نسبی بین روش های مختلف برداشت با توجه به الگوریتم تبدیل هاف

خطای نسبی متوسط (درصد)	پنجره برداشت دایروی (مالدون)	پنجره برداشت دایروی (ژانگ و انیشتین)	پنجره برداشت مستطیلی (مالدون)	پنجره برداشت	خط برداشت دایروی مالدون	خط برداشت	روش برداشت پارامتر
۴/۰۸	۸/۱۳	۰/۹۵	۳/۳۲	۵/۵۶	۲/۳۹	۴/۰۲	خطای نسبی (درصد)

جدول (۵-۴۴) - خطای نسبی بین روش های مختلف برداشت با توجه به الگوریتم درجه همسایگی

خطای نسبی متوسط (درصد)	پنجره برداشت دایروی (مالدون)	پنجره برداشت دایروی (ژانگ و انیشتین)	پنجره برداشت مستطیلی (مالدون)	پنجره برداشت	خط برداشت دایروی (مالدون و همکاران)	خط برداشت	روش برداشت پارامتر
۴/۶۳	۵/۴۵	۰/۹۴	۳/۷۴	۸/۱۹	۲/۵۳	۵/۴۵	خطای نسبی (درصد)

۵-۸ جمع‌بندی

در این فصل، پارامترهای هندسی میانگین طول خط اثر، فاصله‌داری متوسط، شدت و دانسیته شکستگی‌ها با استفاده از روش‌های مختلف برداشت به دست آمد. این روش‌ها شامل خط برداشت، شامل خط برداشت و خط برداشت دایروی (روش مالدون و همکاران) و پنجره برداشت، شامل پنجره برداشت، پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون) و پنجره برداشت دایروی (روش مالدون و روش ژانگ و انیشتین) بود. پس از آن نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی و پردازش تصویر با هر یک از الگوریتم‌های مورد نظر مقایسه شدند. در انتها خطای نسبی بین هر یک از الگوریتم‌ها و مقادیر برداشت شده بدست آمد. میزان خطای متوسط الگوریتم درجه همسایگی در مقایسه با الگوریتم تبدیل هاف بیشتر است و علت آن کوتاه شدن طول خطوط در هنگام عملیات نازک‌سازی و یافتن درجه همسایگی خطوط است.

فصل هشتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۶ نتیجه گیری

در این پایان نامه از روش های تصویربرداری و پردازش تصویر برای تعیین پارامترهای هندسی توده سنگ درزه دار، نظیر فاصله داری متوسط، دانسیته، شدت و میانگین طول خط اثر شکستگی ها استفاده شد. از این رو توده سنگ های چند معدن سنگ ساختمانی در نظر گرفته شد و پارامترهای هندسی ذکر شده با روش های خط برداشت و پنجره برداشت، اندازه گیری و با نتایج به دست آمده از پردازش تصویر مقایسه شد. از دو روش کلی برای شناسایی خط اثر ناپیوستگی ها و تعیین پارامترهای هندسی استفاده شد. کلیه مراحل انجام شده در نرم افزار MATLAB پیاده سازی شد.

در روش اول از الگوریتم تبدیل هاف و در روش دوم از الگوریتم درجه همسایگی برای شناسایی خط اثرها استفاده شد. پس از شناسایی خط اثرها، پارامترهای هندسی مورد نظر از تصویر استخراج شد. پارامترهای ذکر شده با استفاده از روش های زیر محاسبه شدند: الف) خط برداشت، شامل خط برداشت و خط برداشت دایروی (روش مالدون و همکاران) ب) پنجره برداشت، شامل پنجره برداشت، پنجره برداشت مستطیلی (روش مالدون) و پنجره برداشت دایروی (روش مالدون و ژانگ و انیشتین).

مقادیر به دست آمده از پردازش تصویر و مقادیری که به صورت میدانی اندازه گیری شده، مقایسه و کارایی روش پردازش تصویر مشخص شد. با مقایسه نتایج، مقادیر به دست آمده از پردازش تصویر دارای اختلاف بسیار کمی با برداشت های میدانی بود به طوری که خطای نسبی متوسط بین مقادیر اندازه گیری شده میدانی و حاصل از پردازش تصویر در الگوریتم تبدیل هاف و درجه همسایگی به ترتیب ۳/۲۹ و ۴/۶۲ به دست آمد که این مقدار درصد خطا نشان دهنده کارایی روش پردازش تصویر برای به دست آوردن پارامترهای هندسی ناپیوستگی ها در حالت نرم بودن بافت سنگ، است. در حالت پیچیده بودن بافت سنگ الگوریتم های پردازش تصویر قادر به شناسایی خط اثرها نیستند و این محدودیت روش پردازش تصویر است.

در بخش پیوست (الف) چهار تصویر از معادن سنگ ساختمانی آورده شده و خط اثر ناپیوستگی ها با

استفاده از دو الگوریتم ذکر شده، شناسایی شده است. با توجه به تصاویر شماره ۱، ۲ و ۴ مشخص است که هر دو الگوریتم به خوبی توانسته‌اند خط اثرهای موجود را شناسایی کنند اما در تصویر شماره ۳ که دارای پیچیدگی است الگوریتم تبدیل هاف نتوانسته به خوبی خطوط را تشخیص دهد و در شناسایی خطوط دچار خطا شده است، بنابراین می‌توان با مقایسه تصاویر به این نتیجه رسید که در تصاویری با تعداد خط اثر کم و بافت نرم، هر دو الگوریتم به خوبی قادر به تشخیص خط اثرها هستند اما با پیچیده شدن تصویر و زیاد شدن تعداد خط اثرها، الگوریتم درجه همسایگی نتایج بهتری به‌عنوان خروجی می‌دهد.

۲-۶ پیشنهادات

برای بهبود نتایج حاصله پیشنهادهایی برای ادامه این روند مطرح شده است:

الف) می‌توان با استفاده از اندازه‌گیری فاصله دوربین تا توده سنگ و دانستن مشخصات دوربین مانند فاصله کانونی، نرخ باز شونددگی عدسی و زوم اپتیکال، مقیاس تصویر را به مقیاس واقعی تبدیل کرد. در این حالت دیگر نیازی به گذاشتن مقیاس در تصویر وجود ندارد و مقیاس واقعی با استفاده از روابط بین دوربین و فاصله آن تا توده سنگ به دست می‌آید.

ب) در بخش پیش پردازش می‌توان از فیلترهای حوزه فرکانس مانند فیلتر وینر استفاده کرد و نتایج حاصل را با فیلترهای مکانی مقایسه کرد.

ج) برای اینکه بتوان یک دیواره بزرگ را با استفاده از روش پردازش تصویر برداشت کرد می‌توان دیواره را به قسمت‌های کوچک تقسیم و از آن‌ها عکس برداری کرد، بدین منظور بایستی برای جلوگیری از هم‌پوشانی تصاویر، محدوده هر تصویر روی دیواره معدن با رنگ مشخص و شماره‌گذاری شود و در نهایت تصاویر را با استفاده از الگوریتم سراسرنما یا پاناروما به یکدیگر وصل کرد.

د) می‌توان روش‌های مختلف برآورد پارامترهای هندسی خط اثر را با ساختن یک مدل مصنوعی و یا برداشت یک منطقه بزرگ از ناپیوستگی‌ها باهم مقایسه کرد.

منابع

- [1] Wittke, W. (2014). *Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock model (AJRM)*. John Wiley & Sons.
- [2] Feng, Q. (2001). Novel methods for 3-D semi-automatic mapping of fracture geometry at exposed rock faces., Ph.D. Thesis: submitted at the Royal Institute Of Technology.
- [۳] میرزایی نصیر آباد ح ، (۱۳۹۱)، تهیه برنامه کامپیوتری تولید شبکه های مجزای توده سنگ درزه دار "اولین همایش زمین شناسی فلات ایران، کرمان .
- [4] Noori, O., & Panda, S. S. (2016). Site-specific management of common olive: Remote sensing, geospatial, and advanced image processing applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 680-689.
- [۵] بخشنده ح و مالکی نژاد ح، (۱۳۹۴)، کاربرد پردازش تصویر برای تعیین توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار در معادن سنگریزه سد گتوند علیا، نشریه علمی -پژوهشی مهندسی معدن، شماره ۱۰، صفحات ۹-۱۸.
- [6] Kemeny, J. M., Norton, B., & Turner, K. (2006). Rock slope stability analysis utilizing ground-based LiDAR and digital image processing. *Felsbau*, 24(3).
- [7] Ghabraie, B., Ren, G., Smith, J., & Holden, L. (2015). Application of 3D laser scanner, optical transducers and digital image processing techniques in physical modelling of mining-related strata movement. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 80, 219-230.
- [8] Wang, J., Guo, L., Bai, Z., & Yang, L. (2016). Using computed tomography (CT) images and multi-fractal theory to quantify the pore distribution of reconstructed soils during ecological restoration in opencast coal-mine. *Ecological Engineering*, 92, 148-157.

- [9] Hadjigeorgiou, J., Lemy, F., Cote, P., & Maldague, X. (2003). An evaluation of image analysis algorithms for constructing discontinuity trace maps. *Rock mechanics and rock engineering*, 36(2), 163-179.
- [10] Lemy, F., & Hadjigeorgiou, J. (2003). Discontinuity trace map construction using photographs of rock exposures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(6), 903-917.
- [11] Reid, T. R., & Harrison, J. P. (2000). A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(7), 1073-1089.
- [12] Lemy, F., & Hadjigeorgiou, J. (2004). A digital face mapping case study in an underground hard rock mine. *Canadian geotechnical journal*, 41(6), 1011-1025.
- [13] Kemeny, J., & Post, R. (2003). Estimating three-dimensional rock discontinuity orientation from digital images of fracture traces. *Computers & Geosciences*, 29(1), 65-77.
- [14] Antony, A. V. (2005). A New Tool for Rock Mass Discontinuity Mapping from Digital Images: VTrace., Master Thesis: Submitted at Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [15] Wang, W., Liao, H., & Huang, Y. (2007, August). Rock fracture tracing based on image processing and SVM. In *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)* (Vol. 1, pp. 632-635). IEEE.
- [16] Xu, J., Wang, W., & Chen, L. (2007, December). Image fusion algorithm for rock fracture detection using wavelet transform. In *3rd International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and testing technologies: Optical test and Measurement Technology and Equipment* (pp. 672337-672337). International Society for Optics and Photonics.
- [17] Deb, D., Hariharan, S., Rao, U. M., & Ryu, C. H. (2008). Automatic detection and analysis of discontinuity geometry of rock mass from digital images. *Computers & Geosciences*, 34(2), 115-126.
- [18] Wang, W., Wan, J., & Yang, Z. (2010). Rock Fracture Extracting on Fractional

Differential. In *2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*.

[19] Otoo, J. N. A. (2012). Surface expressions of discontinuities, and the estimation of their 3-D orientations using combined LiDAR and optical imaging., Ph.D Thesis: submitted at MISSOURI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY.

[20] Priest, S. D. (1993). Discontinuity analysis for rock engineering.

[21] Jing, L., & Stephansson, O. (2007). 5-The Basics of Fracture System Characterization–Field Mapping and Stochastic Simulations. *Developments in Geotechnical Engineering*, 85, 147-177.

[۲۲] جیرسراتی م، (۱۳۹۰). بررسی تاثیر پارامترهای هندسی شکستگی ها در مرحله اکتشاف ذخایر سنگ های ساختمانی و نما، جهت کاهش ضایعات و بهینه نمودن بلوک های استخراج شده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۲۳] عطایی م، (۱۳۸۷)، استخراج سنگ های ساختمانی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

[24] Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2000). *Engineering rock mechanics-an introduction to the principles*. Elsevier.

[۲۵] زادهش ج، (۱۳۹۱)، مدل سازی تداوم درزه ها و بررسی تاثیر آن بر مقاومت توده سنگ های درزه د،/، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۲۶] یار احمدی ع، کاک ممی س، غلام نژاد ج، صادقی م و مبینی م، (۱۳۹۳)، تعیین ویژگی های هندسه ناپیوستگی ها با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر دیجیتال، نشریه زمین شناسی مهندسی، شماره ۸، صفحات ۲۳۷۱-۲۳۷۸.

[27] Markovaara-Koivisto, M., & Laine, E. (2012). MATLAB script for analyzing and visualizing scanline data. *Computers & Geosciences*, 40, 185-193.

[28] Zhang, L., & Einstein, H. H. (1998). Estimating the mean trace length of rock discontinuities. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 31(4), 217-235.

- [29] Zhang, L., & Ding, X. (2010). Variance of non-parametric rock fracture mean trace length estimator. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(7), 1222-1228.
- [30] Kulatilake, P. H. S. W., & Wu, T. H. (1984). Estimation of mean trace length of discontinuities. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 17(4), 215-232.
- [31] Pahl, P. J. (1981). Estimating the mean length of discontinuity traces. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 18, No. 3, pp. 221-228). Pergamon.
- [32] Feng, Q., & Röshoff, K. (2015). A Survey of 3D Laser Scanning Techniques for Application to Rock Mechanics and Rock Engineering. In *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014* (pp. 265-293). Springer International Publishing.
- [33] Umili, G., Ferrero, A., & Einstein, H. H. (2013). A new method for automatic discontinuity traces sampling on rock mass 3D model. *Computers & Geosciences*, 51, 182-192.
- [34] Torres, C. (2008). Geometric Characterization of Rock Mass Discontinuities Using Terrestrial Laser Scanner and Ground Penetrating Radar. *ITC: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*.
- [35] Jimenez-Rodriguez, R., & Sitar, N. (2006). Inference of discontinuity trace length distributions using statistical graphical models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(6), 877-893.
- [36] Zhu, H., Zuo, Y., Li, X., Deng, J., & Zhuang, X. (2014). Estimation of the fracture diameter distributions using the maximum entropy principle. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 72, 127-137.
- [37] Li, X., Zuo, Y., Zhuang, X., & Zhu, H. (2014). Estimation of fracture trace length distributions using probability weighted moments and L-moments. *Engineering Geology*, 168, 69-85.
- [38] Riquelme, A. J., Abellán, A., & Tomás, R. (2015). Discontinuity spacing analysis in rock masses using 3D point clouds. *Engineering Geology*, 195, 185-195.

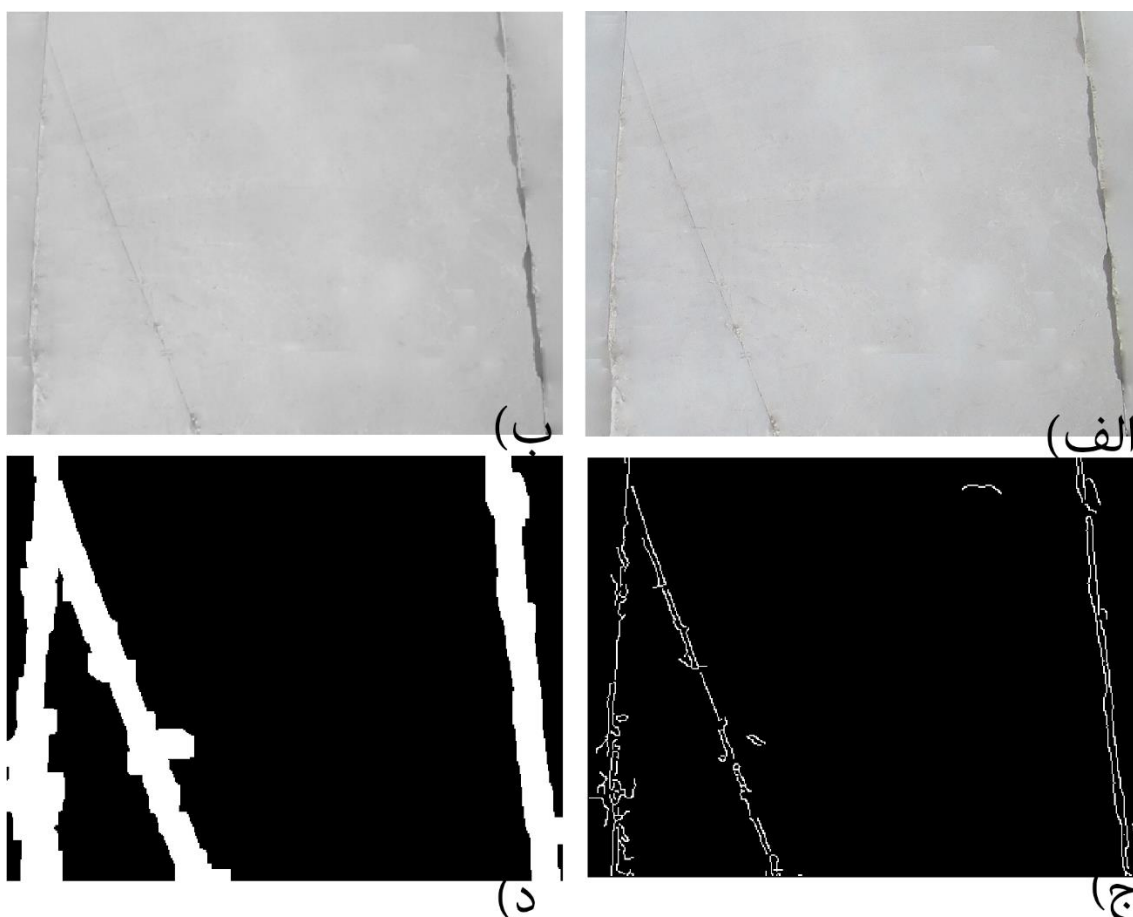
- [39] Ye, J., Zhang, Y., Sun, J., & Wu, F. (2012). Correction of the probabilistic density function of discontinuities spacing considering the statistical error based on negative exponential distribution. *Journal of Structural Geology*, 40, 17-28.
- [40] Priest, S. D., & Hudson, J. A. (1976, May). Discontinuity spacings in rock. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 13, No. 5, pp. 135-148). Pergamon.
- [41] Annavarapu, S., Kemeny, J., & Dessureault, S. (2012). Joint spacing distributions from oriented core data. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 52, 40-45.
- [42] Mauldon, M., Dunne, W. M., & Rohrbaugh, M. B. (2001). Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces. *Journal of Structural Geology*, 23(2), 247-258.
- [43] Kulatilake, P. H. S. W., & Wu, T. H. (1984). The density of discontinuity traces in sampling windows. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 21, No. 6, pp. 345-347). Pergamon.
- [44] Decker, J. B. (2007). *Building, updating and verifying fracture models in real time for hard rock tunneling* (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University).
- [45] Mauldon, M. (1998). Estimating mean fracture trace length and density from observations in convex windows. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 31(4), 201-216.
- [46] Wu, Q., Kulatilake, P. H. S. W., & Tang, H. M. (2011). Comparison of rock discontinuity mean trace length and density estimation methods using discontinuity data from an outcrop in Wenchuan area, China. *Computers and Geotechnics*, 38(2), 258-268.
- [47] Song, J. J. (2006). Estimation of areal frequency and mean trace length of discontinuities observed in non-planar surfaces. *Rock mechanics and rock engineering*, 39(2), 131-146.
- [48] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital image processing. *Nueva Jersey*.

- [49] Gonzalez, W., & Woods, R. E. (2004). Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB. *Third New Jersey: Prentice Hall.*
- [50] Dougherty, G. (2009). *Digital image processing for medical applications.* Cambridge University Press.
- [51] Mohd, B., Jabarullah, S. S., & Babu, D. C. N. K. (2012). Survey on Noise Removal in Digital Images. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*,6(4), 45-51.
- [52] Netzel, P., & Stepinski, T. F. (2013). Connected components labeling for giga-cell multi-categorical rasters. *Computers & Geosciences*, 59, 24-30.
- [53] Burger, W., Burge, M. J. (2009). *Principles of Digital Image Processing* (p. 221). London: Springer.
- [54] Hasan, S. A., & Ko, K. (2016). Depth edge detection by image-based smoothing and morphological operations. *Journal of Computational Design and Engineering.*
- [55] Das, S., Abraham, A., & Konar, A. (2009). *Metaheuristic clustering* (Vol. 178). Springer.
- [56] A. K. Jain and R. C. Dubes, Algorithms for Clustering Data, New Jersey: Englewood Cliffs, 1988.
- [57] Aggarwal, C. C., & Reddy, C. K. (Eds.). (2013). *Data clustering: algorithms and applications.* CRC Press.
- [58] Hosseini-zhad, F., & Salajegheh, A. (2013). Study and Comparison of Partitioning Clustering Algorithms. *Iranian Journal of Medical Informatics*, 2(1).
- [59] عطایی م، (۱۳۸۸)، تصمیم گیری چند معیاره فازی، دانشگاه شاهرود.
- [60] Sato-Ilic, M., & Jain, L. C. (2006). *Innovations in fuzzy clustering.* Heidelberg: Springer.
- [61] Kim, D. W., Lee, K., Lee, D., & Lee, K. H. (2005). A kernel-based subtractive clustering method. *Pattern Recognition Letters*, 26(7), 879-891.

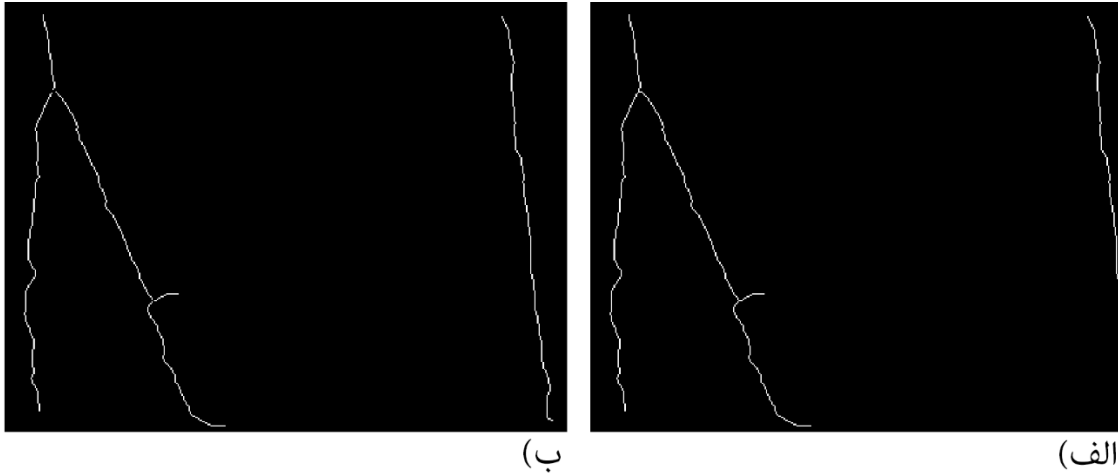
پیوست (الف)

در این قسمت چندین تصویر از توده سنگ‌های معادن سنگ ساختمانی در نظر گرفته شده است. خط اثرهای این تصاویر با استفاده از دو الگوریتم گفته شده به دست آورده می‌شود تا کارایی هر یک از الگوریتم‌ها مشخص شود.

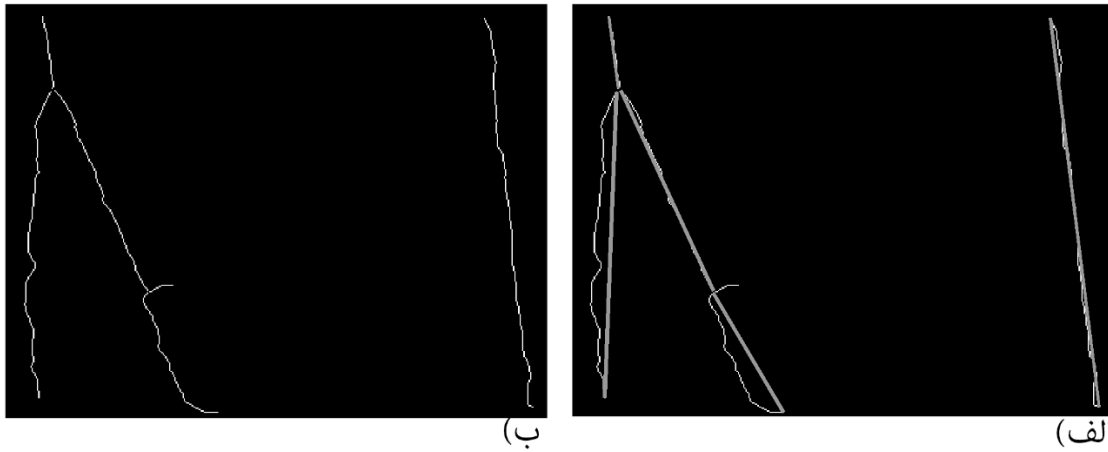
عکس شماره ۱:



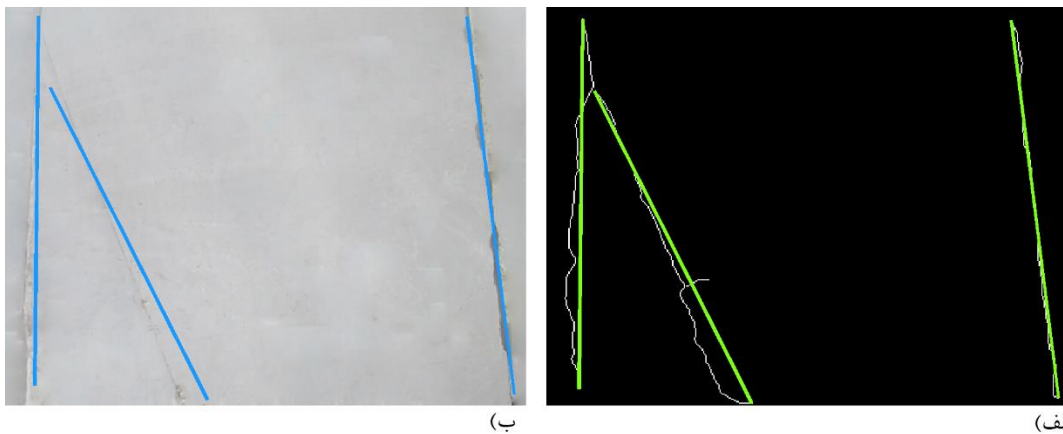
شکل (۱) - مراحل مشترک دو الگوریتم (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر حاصل از عملیات پیش‌پردازش، (ج) تصویر حاصل از لبه‌یابی با آشکارساز کنی، (د) تصویر حاصل از عملیات برجسب زدن اجزای متصل و عملیات گسترش



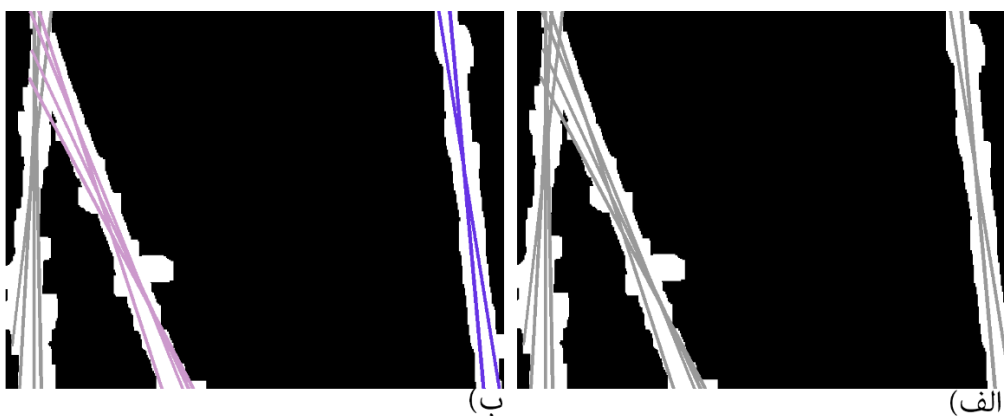
شکل (۲) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی، ب) تصویر حاصل از عملیات درجه همسایگی خطواره‌ها و حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر



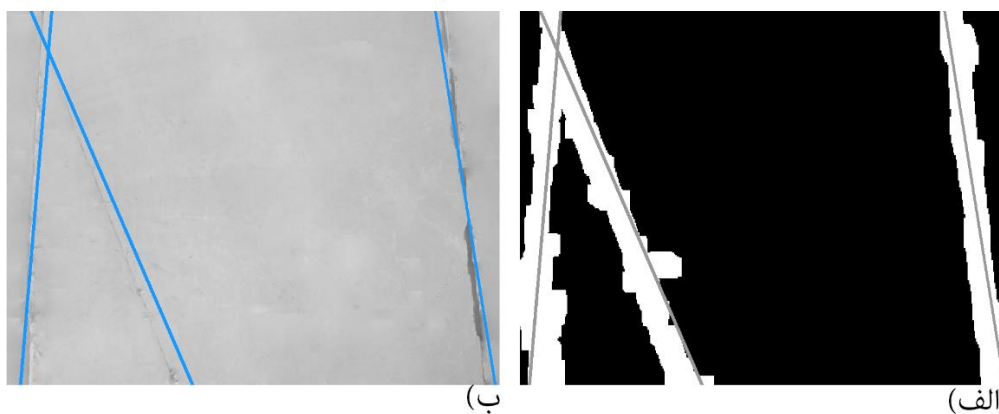
شکل (۳) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط، ب) وصل شدن خطواره‌ها



شکل (۴) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی الف) نمایش خط اثر ناپیوستگی‌ها با خط، ب) نمایش خطوط تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی



شکل (۵) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از تبدیل هاف، ب) نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی

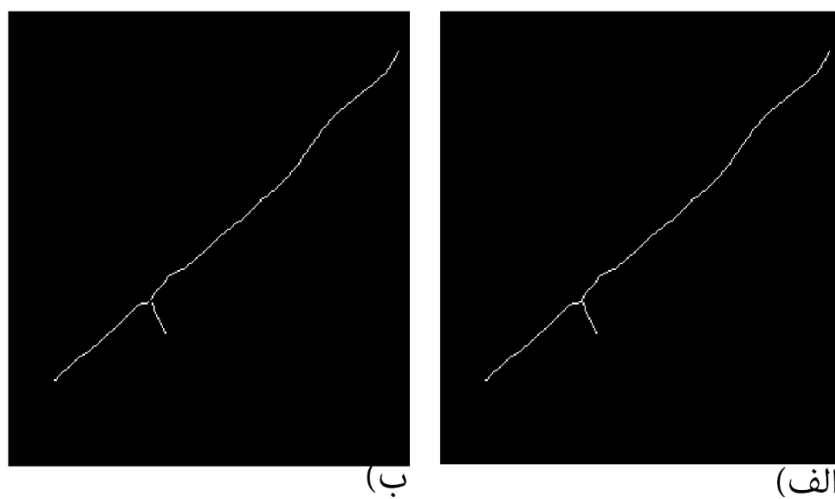


شکل (۶) - تصاویر نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط، ب) نمایش خطوط تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی

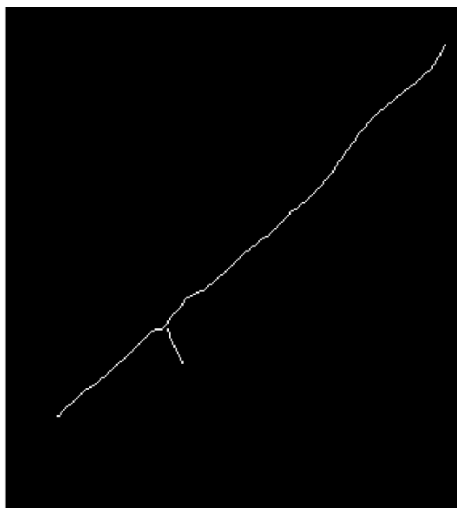
عکس شماره ۲:



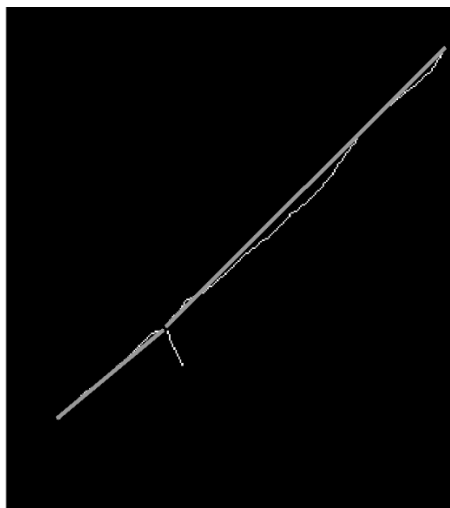
شکل (۷) - مراحل اولیه الگوریتم درجه همسایگی الف) تصویر اصلی، ب) تصویر حاصل از عملیات پیش پردازش، ج) تصویر حاصل از لبه‌یابی با آشکارساز کنی، د) تصویر حاصل از عملیات برجسب زدن اجزای متصل و عملیات گسترش



شکل (۸) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی، ب) تصویر حاصل از عملیات درجه همسایگی خطواره‌ها و حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر



(ب)

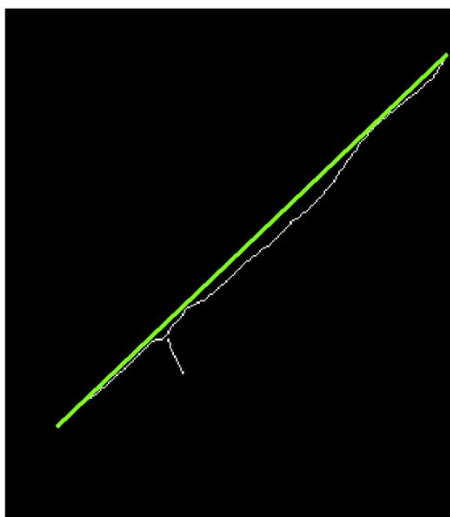


(الف)

شکل (۹) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط، ب) وصل شدن خطواره‌ها



(ب)



(الف)

شکل (۱۰) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی الف) نمایش خط اثر ناپیوستگی‌ها با خط، ب) نمایش خطوط تشخیص داده‌شده بر روی تصویر اصلی

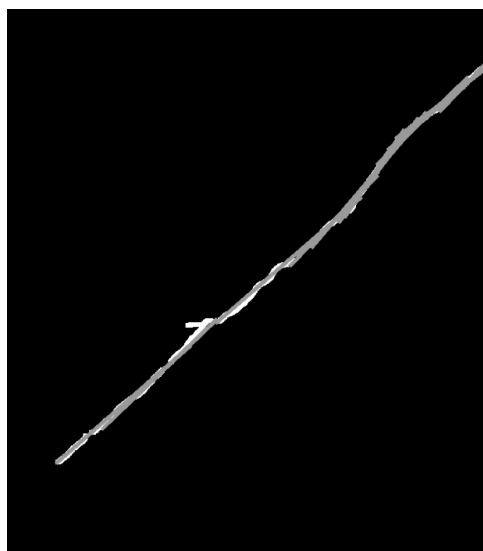


(ب)

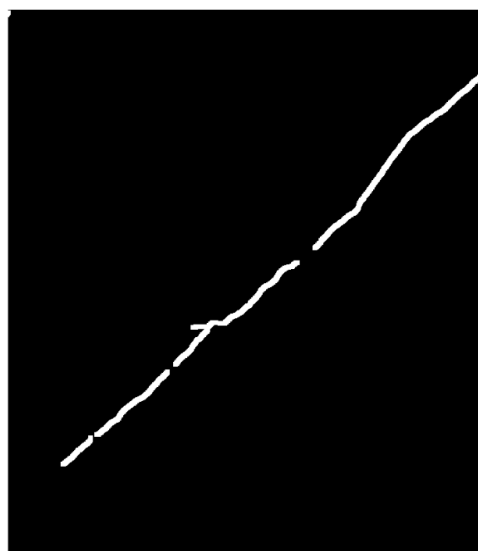


(الف)

شکل (۱۱) - مراحل اولیه الگوریتم تبدیل هاف (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر حاصل از لبه‌یابی با آشکارساز کنی

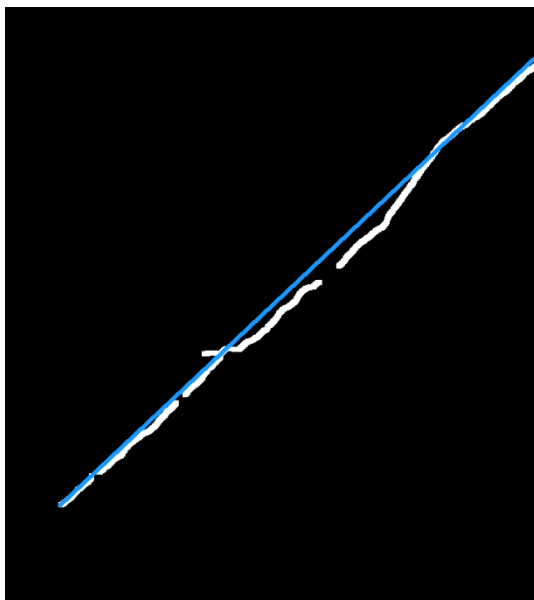


(ب)

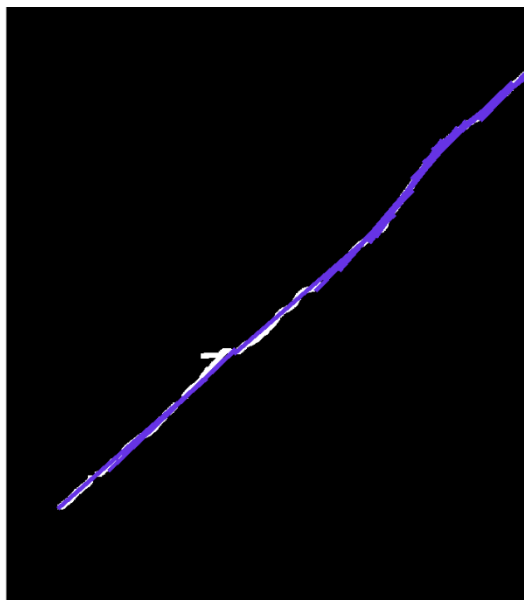


(الف)

شکل (۱۲) - ادامه الگوریتم تبدیل هاف (الف) تصویر حاصل از عملیات برچسب زدن اجزای متصل و عملیات گسترش، (ب) نتایج حاصل از تبدیل هاف



(ب)



(الف)

شکل (۱۳) - ادامه الگوریتم تبدیل هاف (الف) نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی، (ب) نتایج حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط



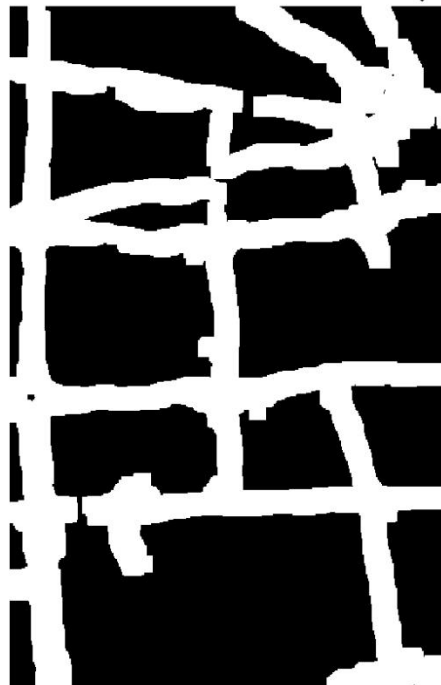
شکل (۱۴) - نمایش خطوط تشخیص داده‌شده با الگوریتم تبدیل هاف بر روی تصویر اصلی



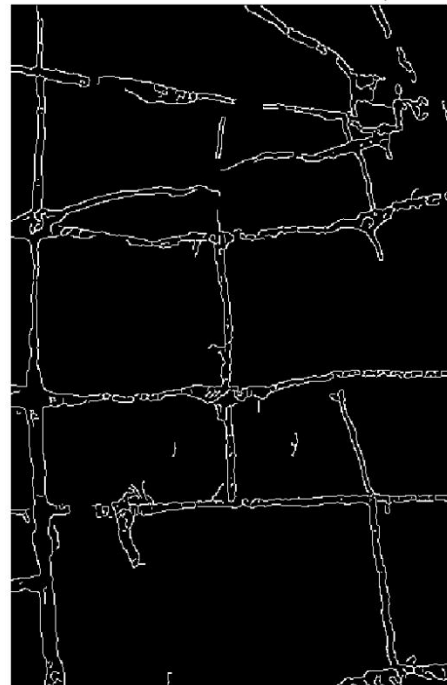
(ب)



(الف)

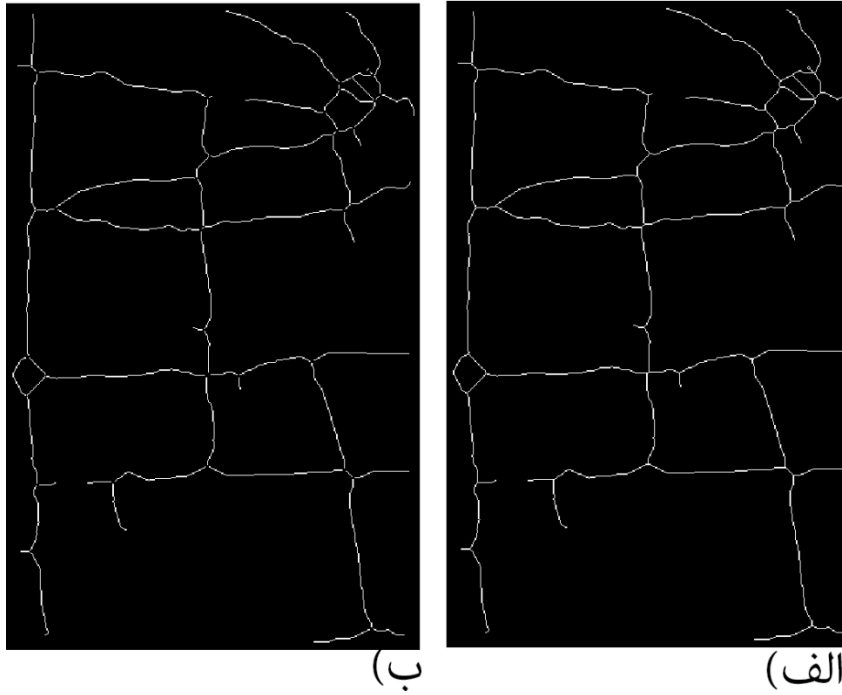


(د)

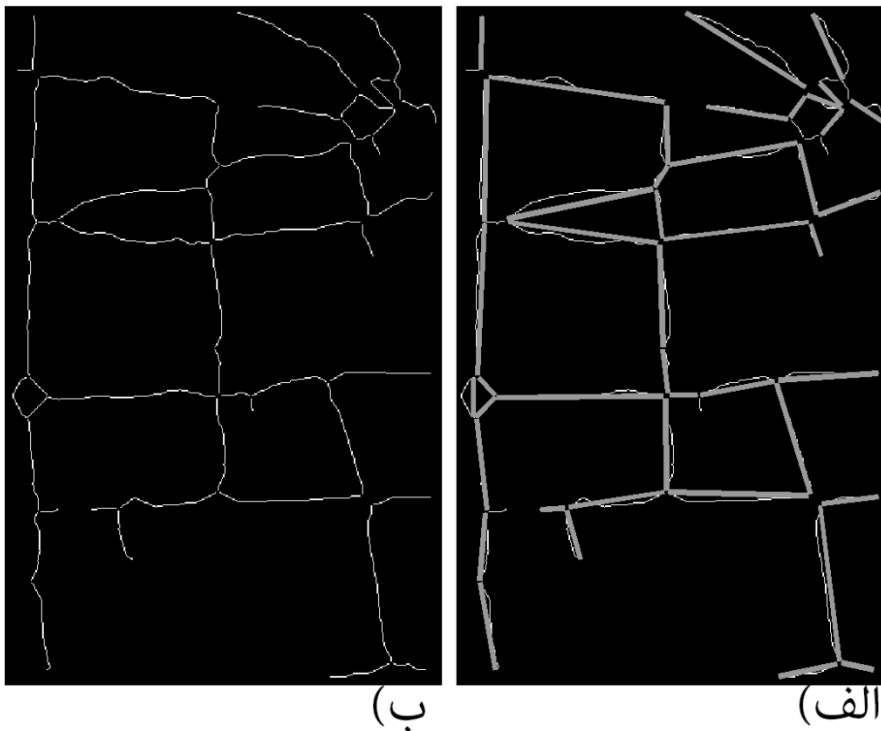


(ج)

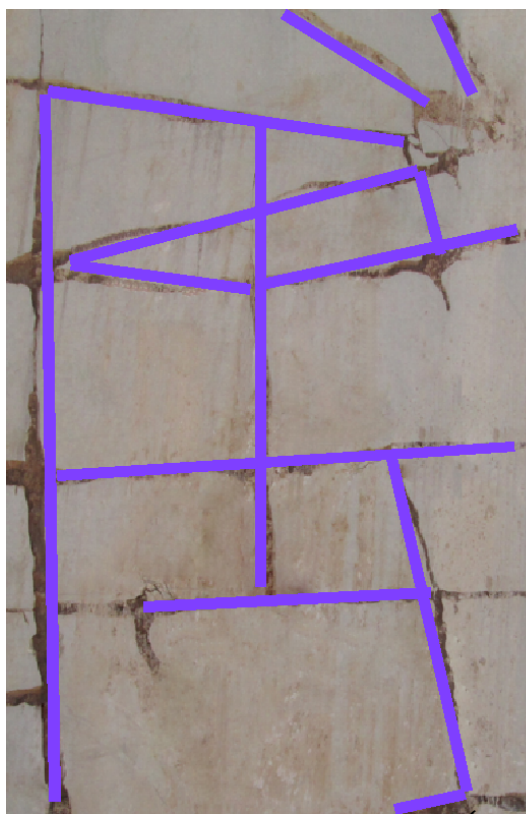
شکل (۱۵) - مراحل مشترک دو الگوریتم الف) تصویر اصلی، ب) تصویر حاصل از عملیات پیش پردازش، ج) تصویر حاصل از لبه‌یابی با آشکارساز کنی، د) تصویر حاصل از عملیات برچسب زدن اجزای متصل و عملیات گسترش



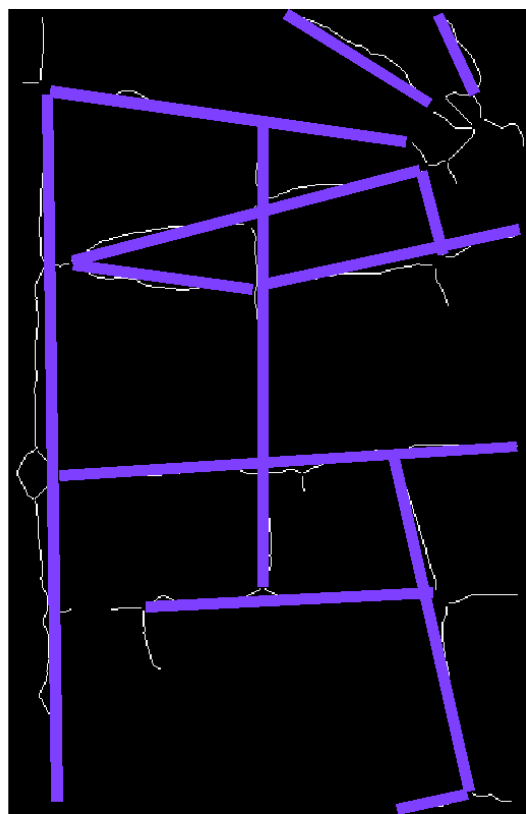
شکل (۱۶) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی، ب) تصویر حاصل از عملیات درجه همسایگی خطوط و حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر



شکل (۱۷) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط، ب) وصل شدن خطوط

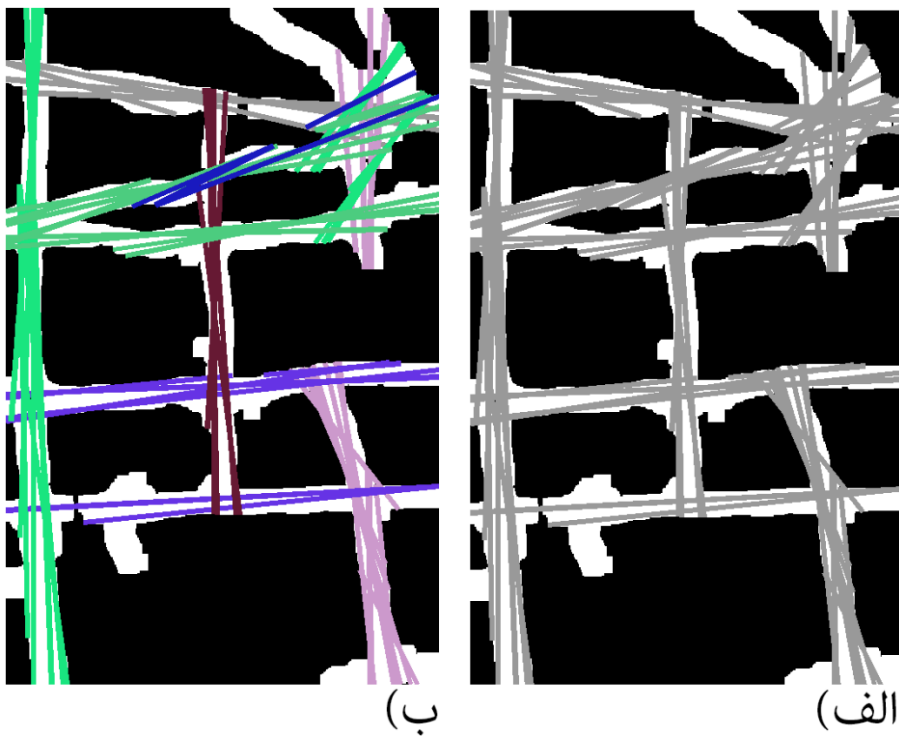


(ب)

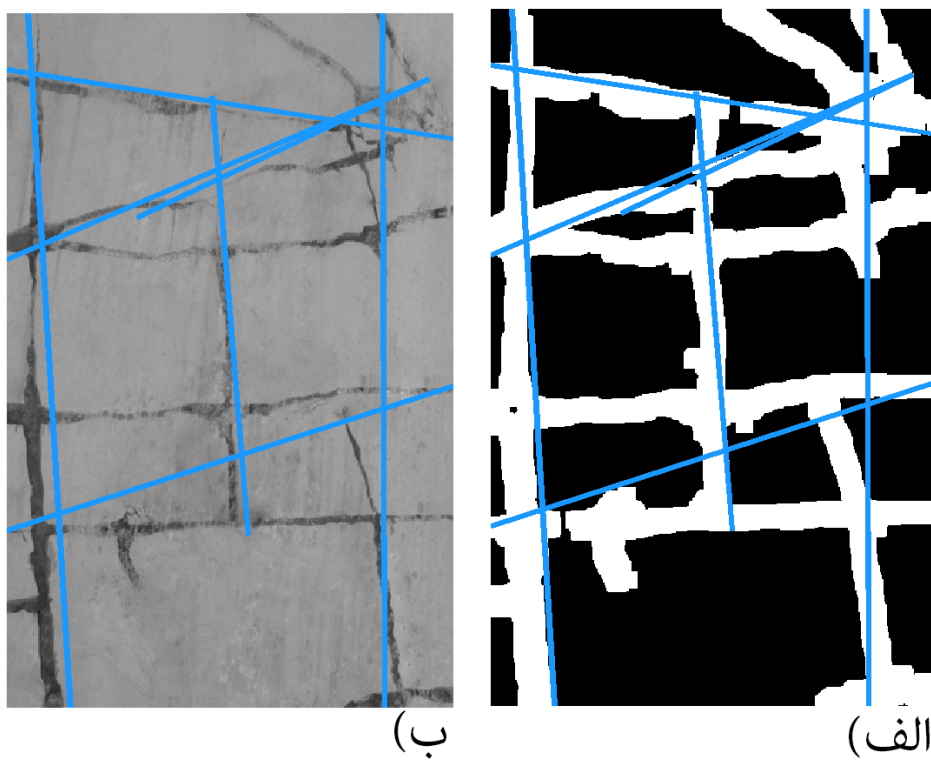


(الف)

شکل (۱۸) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی خطوطاره‌ها (الف) نمایش خط اثر ناپیوستگی‌ها با خط، (ب) نمایش خطوط تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی

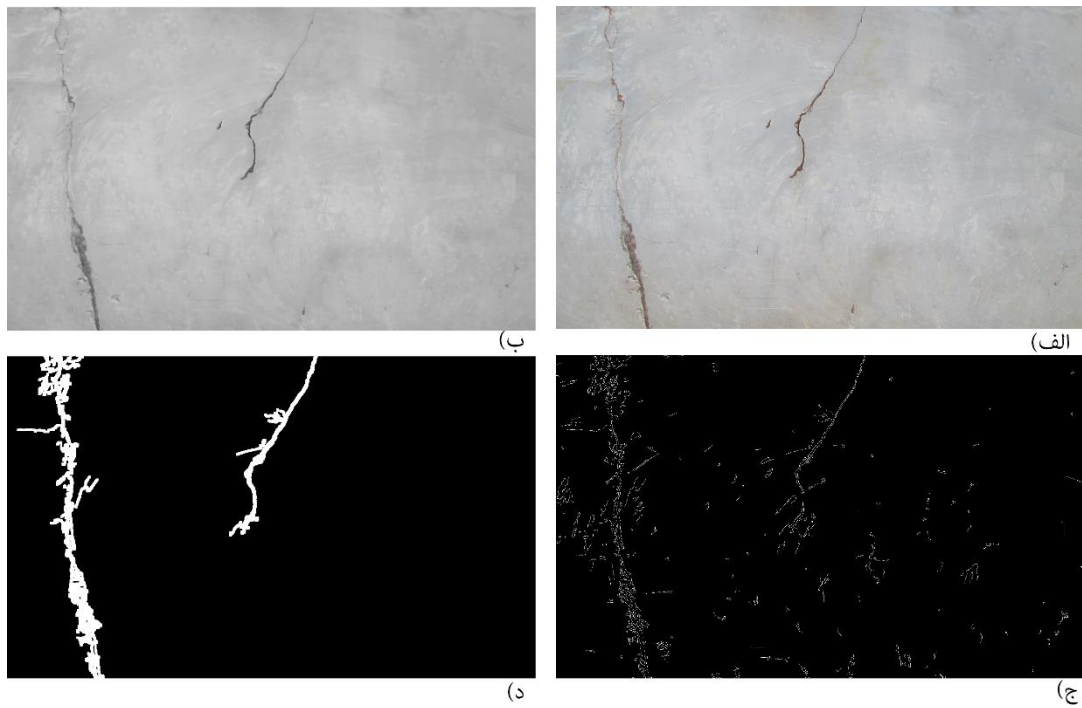


شکل (۱۹) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از تبدیل هاف، ب) نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی

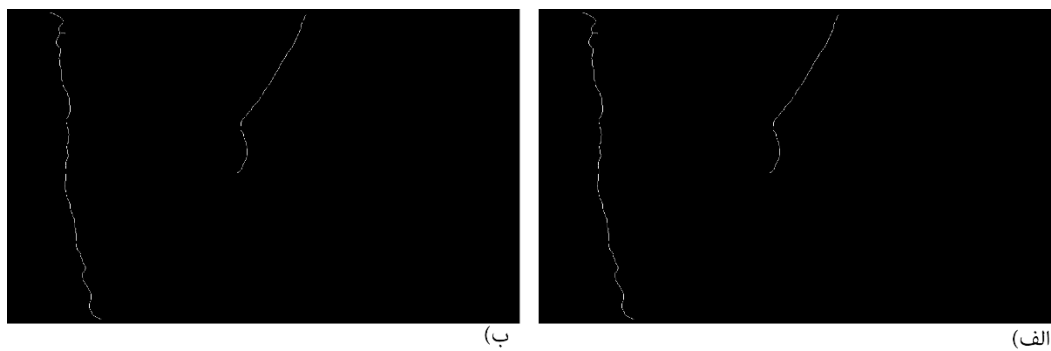


شکل (۲۰) - تصاویر نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط، ب) نمایش خطوط تشخیص داده شده بر روی تصویر اصلی

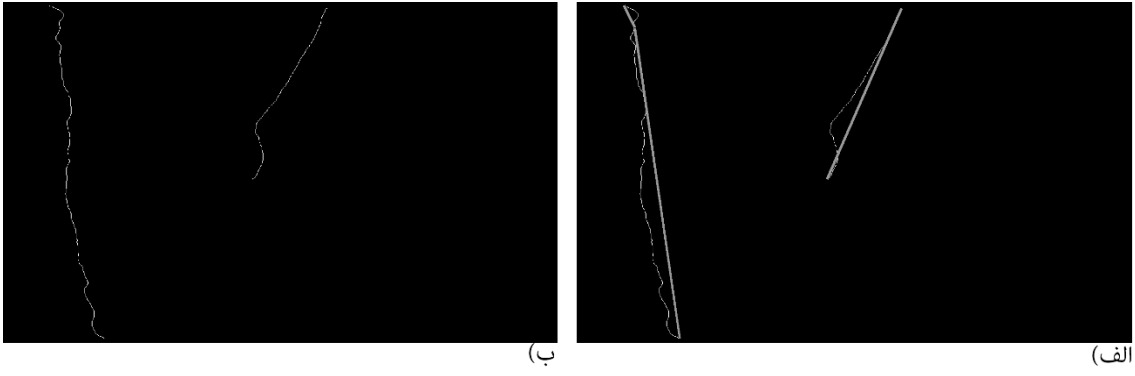
عکس شماره ۴:



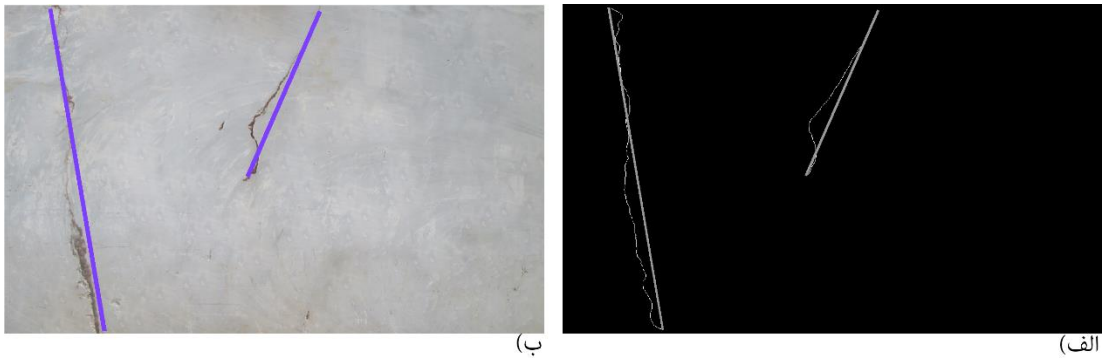
شکل (۲۱) - مراحل مشترک دو الگوریتم الف) تصویر اصلی، ب) تصویر حاصل از عملیات پیش پردازش، ج) تصویر حاصل از لبه‌یابی با آشکارساز کنی، د) تصویر حاصل از عملیات برچسب زدن اجزای متصل و عملیات گسترش



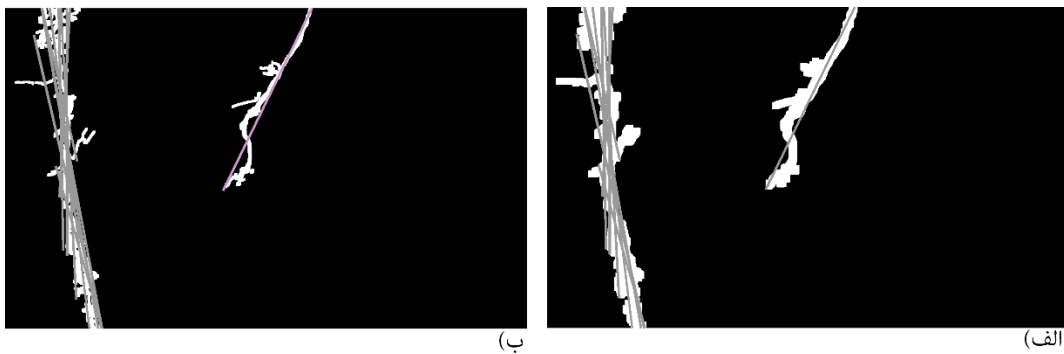
شکل (۲۲) - تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تصویر حاصل از عملیات نازک‌سازی، ب) تصویر حاصل از عملیات درجه همسایگی خطواره‌ها و حذف پیکسل‌هایی با درجه همسایگی ۳ و بالاتر



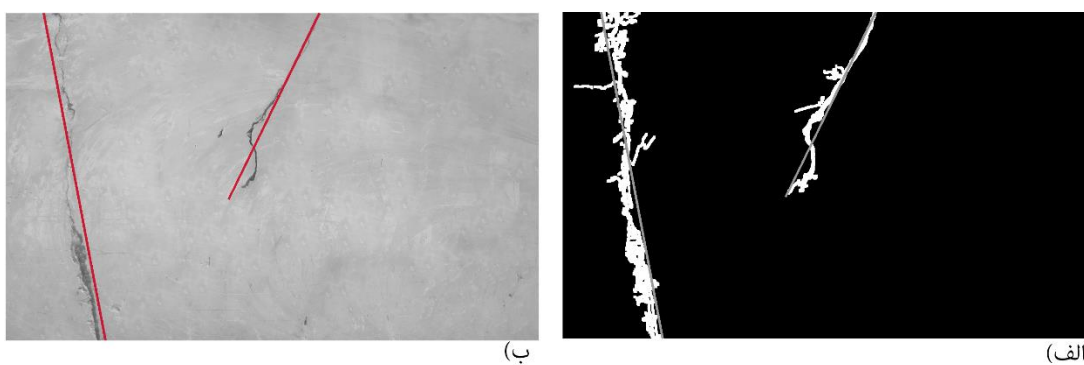
شکل (۲۳) - ادامه تصاویر حاصل از الگوریتم درجه همسایگی الف) تشخیص خط اثر ناپیوستگی‌ها و نمایش آن‌ها با خط ب) وصل شدن خطواره‌ها



شکل (۲۴) - تصاویر نهایی حاصل از اعمال الگوریتم همسایگی خطواره‌ها الف) نمایش خط اثر ناپیوستگی‌ها با خط ب) نمایش خطوط تشخیص داده‌شده بر روی تصویر اصلی



شکل (۲۵) - تصاویر حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از تبدیل هاف، ب) نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی فازی



شکل (۲۶) - تصاویر نهایی حاصل از الگوریتم تبدیل هاف الف) نتایج حاصل از اعمال الگوریتم دورترین نقاط، ب) نمایش خطوط تشخیص داده‌شده بر روی تصویر اصلی

پیوست (ب)

(۱) کد محاسبه شعاع همگرایی در الگوریتم خوشه‌بندی کاهش

```
for i=(0.06:0.01:0.5)
[q1, w1] = subclust(cl_theta2',i);
[q2, w2] = subclust(cl_theta2',(i+0.01));
[q3, w3] = subclust(cl_theta2',(i+0.02));
if numel(q1)==numel(q2)&& numel(q1)==numel(q3) && numel(q2)==numel(q3)
    q=q1;
    break;
end
end
```

(۲) کد الگوریتم دورترین نقاط

```
function [x , y] = doortarin_noghat(p1,p2)
dist = zeros(length(p1),length(p2));
for m = 1:length(p1)
    for n = 1:length(p2)
        dist(m,n) = sqrt((p1(m)-p1(n))^2 + (p2(m)-p2(n))^2);
    end
end
[x,y] = find(dist == max(dist(:)));
```

(۳) کد الگوریتم خط برداشت

```
function out = scanline(s,f,cl_ps,cl_pf)
out = zeros(1,length(cl_ps));
for x = 1:length(cl_ps)
    if isempty(polyxpoly([cl_ps(x,2) cl_pf(x,2)], [cl_ps(x,1) cl_pf(x,1)], [s(1)
f(1)], [s(2) f(2)])) == 1
        out(x) = 0;
    else
        out(x) = 1;
    end
end
end
```

```

for x = 1:length(cl)
    if isempty(polyxpoly([cl_ps(x,2) cl_pf(x,2)],[cl_ps(x,1)
cl_pf(x,1)],[s1(1) f1(1)],[s1(2) f1(2)]))==1
        intersect(x,1) = 0; intersect(x,2) = 0;
    else
        [intersect(x,1), intersect(x,2)] = polyxpoly([cl_ps(x,2)
cl_pf(x,2)],[cl_ps(x,1) cl_pf(x,1)],[s1(1) f1(1)],[s1(2) f1(2)]);
    end
end
ind = outt .* cl;
for x = 1:max(cl)
    temp = intersect;
    temp(ind ~= x,:) = [];
    temp = sort(temp);
    df_final = zeros(1,size(temp,1));
    if isempty(temp)==0
        if size(temp,1) > 1
            df(:,1) = diff(temp(:,1));
            df(:,2) = diff(temp(:,2));
            df = df.^2;
            df_final = sqrt(df(:,1) + df(:,2));
            feature_spacing_set(x) = mean(df_final);
        else
            df(:,1) = temp(:,1);
            df(:,2) = temp(:,2);
            feature_spacing_set(x) = 0;
        end
    else
        feature_spacing_set(x) = 0;
    end
end
end

```

```
count=0;
for i=1:max(cl)
    for j=1:length(cl_theta)
        if cl(j)==i
            count=count+1;
            cl_theta_mean(i)=cl_theta(j)+cl_theta_mean(i);
        end
    end
    cl_theta_mean(i)=cl_theta_mean(i)/count;
    count=0;
end
shib_scanline=atan((f1(2)-s1(2))/(f1(1)-s1(1)));
shib_scanline=(shib_scanline);
if shib_scanline<0
    shib_scanline=shib_scanline+pi;
end
cl_mean_theta_degree=cl_theta_mean;
cl_theta_mean=cl_theta_mean*pi/180;
shib_scanline_thetamean=zeros(1,length(cl_theta_mean));
for i=1:length(cl_theta_mean)
    shib_scanline_thetamean(i)=cl_theta_mean(i)-shib_scanline;
    if shib_scanline_thetamean(i)<0
        shib_scanline_thetamean(i)=shib_scanline_thetamean(i)+pi;
    end
end
feature_spacing_normal_set=zeros(1,length(feature_spacing_set));
for i=1:length(feature_spacing_set)
    if feature_spacing_set(i)==0
        feature_spacing_normal_set(i)=0;
    else
        feature_spacing_normal_set(i)=feature_spacing_set(i)*sin(
shib_scanline_thetamean(i));
    end
end
```

```
function out = scancircular(circle,cl_ps,cl_pf)

% lines and scanwindow ---> ghat nakonad(biroon) = 1 dar yek noghte ghat konad
% =2 dar 2 noghte ghat konad = 3 ghat nakonad(dakhel) = 4
for x = 1:size(cl_ps,1)
    [m, n] = polyxpoly([cl_ps(x,2) cl_pf(x,2)],[cl_ps(x,1)
cl_pf(x,1)],circle(1,:),circle(2,:));
    if length(m) == 1
        out(x) = 2;
    elseif length(m) ==2
        out(x) = 3;
    elseif isempty(m)
        if inpolygon(cl_ps(x,2),cl_ps(x,1),circle(1,:),circle(2,:)) == 1
            out(x) = 4;
        else
            out(x) = 1;
        end
    end
end
end
```

```
function out = scanwindow(p1,p2,p3,p4,cl_ps,cl_pf)

% lines and scanwindow ---> ghat nakonad(biroon) = 1 dar yek noghte ghat konad
% =2 dar 2 noghte ghat konad = 3 ghat nakonad(dakhel) = 4
for x = 1:size(cl_ps,1)
    [m n] = polyxpoly([cl_ps(x,2) cl_pf(x,2)],[cl_ps(x,1) cl_pf(x,1)],[p1(1) p2(1)
p3(1) p4(1) p1(1)], [p1(2) p2(2) p3(2) p4(2) p1(2)])
    if length(m) == 1
        out(x) = 2;
    elseif length(m) ==2
        out(x) = 3;
    elseif isempty(m)
        if inpolygon(cl_ps(x,2),cl_ps(x,1),[p1(1) p2(1) p3(1) p4(1) p1(1)], [p1(2) p2(2)
p3(2) p4(2) p1(2)]) == 1
            out(x) = 4;
        else
            out(x) = 1;
        end
    end
end
end
```

```
function neighbors_m=GetNeighborPixel(f,y,x,h)
minx=max(1,x-h);
miny=max(1,y-h);
maxx=min((size(f,1)),(x+h));
maxy=min((size(f,2)),(y+h));
neighbors_m=sum(sum(f(minx:maxx,miny:maxy)));
neighbors_m=neighbors_m-f(x,y);
end
```

```
for i=1:size(distance_end,1)
    for j=1:size(distance_end,2)
        if distance_end(i,j)~=0 && distance_end(i,j)<=30 && c_haade_end(i,j)<=10
            dis_shib_end(i,j)=distance_end(i,j);
        end
    end
end
clear moghayese vasl moghayese2 nm2 nm;
moghayese=zeros(1,2);
vasl=zeros(1,size(distance_end,1));
for i=1:size(dis_shib_end,1)
    [~,nm]=find(dis_shib_end(i,:)>0);
    if numel(nm)==0
        vasl(i)=i;
    end
    if numel(nm)==1
        vasl(i)=nm;
    end
    if numel(nm)>=2
        moghayese=c_haade_end(i,nm);
        moghayese2=min(moghayese);
        [~,nm2]=find(c_haade_end(i,:)==moghayese2);
        if nm2(1)==i
            vasl(i)=nm2(2);
        else vasl(i)=nm2(1);
        end
    end
end
end
```

Abstract:

The aim of geometrical explanation of Rock Mass Discontinuities is to create a 3D model enabling us to define the basis for discontinuities. Often there is no access to underground level, in this situation the outcrops are used to gain information of engineering and structural characteristics of rock mass. In this research, image processing which is a safe, quick, low-cost and automated method is used to obtain geometrical parameters of Mean spacing, Density, Mean Trace Length (MTL) and fracture intensity. In this research the two algorithms of Hough Transform and Determining neighboring degree are developed to recognize the trace of discontinuities in quarry mines. In Hough Transform algorithm, first through applying median filter to the image, noises and microfracture are decreased and then using Canny Edge Detector, edges are revealed and short edges are removed by labeling connected components. Then, the lines indicating the lines of discontinuities are recognized using Hough Transform and the results from Hough transform are improved and Set Joints are recognized using Fuzzy-C Mean (FCM) and Subtractive Clustering. Ultimately, the results from image processing are compared with field results from Scanline Sampling, including scanline and circular scanline (Mauldon et al. Method) and window sampling, including window sampling, Square window sampling (Mauldon Method) and circular window sampling (Mauldon Method & Zhang & Einstein Method). In neighboring degree algorithm such as Hough Transform Algorithm, existing Noises and microfracture are decreased by applying filter median to image and then using Canny edge detector, existing edges are revealed and short edges are removed by labeling connected components. Thinning Operation was performed on the targeted picture and then the neighboring degree of lineament pixels was specified, the short lines are removed by labeling connected components afterwards, and discontinuity lines are defined according to neighboring degree. Finally, the separated lines are connected together. By comparing the results from different defined images with images with little lines and soft texture, both algorithms were able to determine traces well, however, neighboring degree algorithm presents better results as an outcome in complex images with higher number of traces.

Keyword: Image Processing, Rock Mass Discontinuities, Mean Spacing, Density, Mean Trace Length, Intensity Fracture, Scanline Sampling, Window Sampling, Circular Scanline



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

MSc Thesis in mining Exploitation Engineering

**Determine geometrical properties of jointed rock masses using
image processing techniques and evaluating the result of it in quarry
mining method**

By: Mojtaba taghizadeh

Supervisors:

Dr Reza khalukakaie

Dr Hossein mirzaei nasirabad

September 2016