



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های الکترونیک دیجیتال

اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر

نگارنده : پویا مرادی

استاد راهنما :

علیرضا احمدی فرد

بهمن ۱۳۹۵







# تقدیم به.....

ای پدر از تو هر چه می گویم باز هم کم می آورم

خوشیدی شدی و از روشنی ات جان گرفتم و در ناامیدی ماندم را

کشیدی و لبریزم کردی از شوق

اکنون حاصل دستان خست ات ریزم و فیتیم شد

به خودم تریک می گویم که تو را دارم و دنیا بیه بزرگش مثل تو را ندارد.....

و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن

ای روح مهربان، بستی ام

تو رنگ شادی هایم شدی و لحظه بار با تمام وجود از من دور کردی و

عری هستی بار بار جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را به من بچشانی

# سپاس گزارى... ♣

پس از حمد و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطف و رخصت تمام این پیمان نامه را بر بنده عطا فرموده است، بر خود واجب می دانم از استاد راهنمای گرانقدر

دکتر طهرنا احمدی فرد نهایت قدردانی را داشته باشم.

## تعهد نامه

اینجانب **پویا مرادی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - الکترونیک دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر تحت راهنمایی **دکتر علیرضا احمدی فرد** متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد 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 می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

## تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

# چکیده:

یکی از کاربردهای مهم پردازش تصویر کنترل کیفیت در خط تولید صنایع می‌باشد. در این پایان‌نامه از تکنیک‌های مبتنی بر پردازش تصویر جهت اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل استفاده شده است. برای کنترل کیفیت کابل پارامترهای مختلفی لحاظ می‌گردد که ضخامت عایق کابل یکی از این پارامترهای مهم می‌باشد. اندازه‌گیری ضخامت عایق برای هر نوع کابل براساس مدل تعیین شده در استانداردهای بین‌المللی انجام می‌گیرد. در اینجا کابل‌های سه رشته‌ای، پنج رشته‌ای و تخت به عنوان نمونه انتخاب شده است.

طبق استانداردها ضخامت عایق هر نوع کابل از یک حد تعیین شده با دقت یک صدم میلی‌متر نباید کمتر باشد. در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای این اندازه‌گیری‌ها استفاده می‌شود که می‌توان دو نوع آنالیز دستی مقطع کابل به کمک پروژکتور و استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر را نام برد. در این پایان‌نامه از تکنیک‌های پردازش تصاویر برای اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل استفاده شده است. تصویر برداری از عایق کابل با استفاده از یک اسکنر با قدرت ۲۰۰ dpi انجام می‌شود. تصاویر اخذ شده ابتدا توسط تکنیک‌های پردازش تصویر پیش‌پردازش می‌شوند. پس از تصویربرداری اولین مرحله دودویی ساختن تصاویر می‌باشد. دو روش برای دودویی ساختن تصاویر بکار رفته است. روش اول استفاده از الگوریتم آستانه‌گذاری اتسو می‌باشد و روش دوم استفاده از الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در عایق کابل، که این پارامترها استاندارد شده اند، ابتدا به کمک عملگرهای ریخت‌شناسی لبه‌های تصویر باینری شده استخراج و با توجه به توپولوژی مقطع هر کابل پارامترهای مورد نظر به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر و هندسه مسئله استخراج می‌گردد. در آخر پارامترهای بدست آمده که در مقیاس واحد المان تصویر (پیکسل) می‌باشند با در نظر گرفتن کالیبراسیون



سیستم تصویر برداری به اندازه ها در واحد متریک تبدیل می شوند. برای ارزیابی روش پیشنهادی نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی برای تعیین حد آستانه و الگوریتم آستانه گذاری اتسو و روش دستی باهم مقایسه شده اند. مقایسه نتایج نشان می دهد الگوریتم پیشنهادی از دقت بالاتری نسبت به اندازه گیری به روش الگوریتم آستانه گذاری اتسو برخوردار است. مضاف بر اینکه روش پیشنهادی به لحاظ زمان و نیروی انسانی صرفه جویی قابل توجهی ایجاد می کند.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، ضخامت عایق، کابل، اندازه گیری

## فهرست مطالب

فصل اول:مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ کنترل کیفیت کابل.....	۲
۳-۱ استانداردها.....	۳
۴-۱ روش‌های اندازه گیری.....	۶
فصل دوم:تئوری و مروری بر کارهای گذشته.....	۹
۱-۲ مروری بر کارهای گذشتگان.....	۱۰
۲-۲ مبانی نظری.....	۱۳
۱-۲-۲ آستانه گذاری اتسو.....	۱۳
۲-۲-۲ تبدیل هاف.....	۱۶
۳-۲-۲ عملگرهای ریخت شناسی.....	۲۱
فصل سوم:روش پیشنهادی.....	۲۵
۱-۳ تصویربرداری.....	۲۷
۲-۳ الگوریتم روش اول.....	۲۹
۱-۲-۳ الگوریتم آستانه گذاری اتسو.....	۲۹
۲-۲-۳ لبه‌یابی.....	۳۱
۳-۲-۳ اندازه گیری ضخامت.....	۳۳
۴-۲-۳ کالیبراسیون.....	۳۸
۳-۳ الگوریتم روش دوم.....	۴۲
۴-۳ دیگر مقاطع.....	۴۵
فصل چهارم:نتایج.....	۵۱

۶۱	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد راهکارهای آینده
۶۲	..... ۱-۵ نتیجه‌گیری کلی
۶۵	..... ۲-۵ پیشنهاد راه کارهای آینده
۶۶	..... مراجع

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع گرد) ..... ۴
- شکل ۲-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع پنج رشته‌ای گرد) ..... ۴
- شکل ۳-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع سه رشته‌ای گرد) ..... ۵
- شکل ۴-۱ نمونه دستگاه مورد استفاده برای آنالیز دستی ..... ۷
- شکل ۱-۲ نتایج لبه‌یابی بر روی مقطع یک کابل به کمک عملگرهای مختلف ..... ۱۱
- شکل ۲-۲ مراحل اعمال برازش منحنی پس از لبه‌یابی ..... ۱۲
- شکل ۳-۲ تصویر ورودی و نتیجه لبه‌یابی زرنیک را نشان می‌دهد [۴] ..... ۱۲
- شکل ۴-۲ یک خط در صفحه تصویر (شکل سمت چپ) که در فضای پارامتر یک نقطه می‌باشد ..... ۱۶
- شکل ۵-۲ تبدیل چند نقطه در فضای  $X\gamma$  (شکل سمت چپ) به چند خط در فضای پارامتری ..... ۱۷
- شکل ۶-۲ معادله خط براساس پارامترهای  $p$  و  $\theta$  در فضای قطبی ..... ۱۸
- شکل ۷-۲ فضای هاف برای یافتن پارامترهای  $\theta$  و  $p$  خطوط تصاویر ..... ۱۹
- شکل ۸-۲ مثالی از نتیجه رأی در فضای هاف. نقاط روشن پارامترهای خطوط صفحه را مشخص می‌کند ..... ۲۰
- شکل ۹-۲ تصویر ورودی (شکل سمت چپ) و نتیجه گسترش آن با عنصر ساختاری ..... ۲۳
- شکل ۱۰-۲ تصویر ورودی (شکل سمت چپ) و نتیجه سایش آن با عنصر ساختاری ..... ۲۳
- شکل ۱-۳ بلوک دیاگرام مراحل الگوریتم پیشنهادی ..... ۲۶
- شکل ۲-۳ دو مقطع نمونه استفاده شده ..... ۲۸

- شکل ۳-۳ تصویر خاکستری اسکن شده ورودی ..... ۳۰
- شکل ۴-۳ تصویر مقطع پس از دودویی ساختن با استفاده از الگوریتم اتسو ..... ۳۰
- شکل ۵-۳ تصویر مقطع کابل پس از معکوس کردن روشنایی ها ..... ۳۱
- شکل ۶-۳ تصویر مقطع کابل قبل (شکل سمت چپ) و بعد از عملیات سایش ..... ۳۲
- شکل ۷-۳ تصویر مقطع کابل پس از لبه‌یابی با استفاده از عملگرهای ریختشناسی ..... ۳۲
- شکل ۸-۳ منحنی فواصل یک پیکسل از لبه داخلی نسبت به تمام پیکسل‌های لبه خارجی ..... ۳۳
- شکل ۹-۳ منحنی فواصل تمام پیکسل‌های لبه داخلی ..... ۳۴
- شکل ۱۰-۳ یک نمونه روش اندازه‌گیری در استانداردهای بین‌المللی ..... ۳۵
- شکل ۱۱-۳ منحنی ضخامت پس از اضافه کردن قسمت بین صفر تا بیشینه اول به آخر منحنی ضخامت ..... ۳۶
- شکل ۱۲-۳ منحنی ضخامت پس از اعمال فیلتر میاگین متحرک بر روی منحنی ..... ۳۷
- شکل ۱۳-۳ محل دقیق قرارگیری پنج کمینه بر روی تصویر مقطع کابل و مقدار این کمینه‌ها در مقیاس پیکسل ..... ۳۷
- شکل ۱۴-۳ تصاویر مقاطع استاندارد و کابل در یک تصویر ..... ۳۸
- شکل ۱۵-۳ یک نمونه مقطع استاندارد پس از اعمال تبدیل هاف ..... ۳۹
- شکل ۱۶-۳ خط برازش شده بر سه نقطه مشخص کننده سه قطعه استاندارد ..... ۴۱
- شکل ۱۷-۳ مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۷۰ ..... ۴۳
- شکل ۱۸-۳ مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۶۰ ..... ۴۳
- شکل ۱۹-۳ تصویر مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۷۷ ..... ۴۴

- شکل ۳-۲۰ تصویر مقطع کابل پس از لبه‌یابی با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی ..... ۴۵
- شکل ۳-۲۱ روش استاندارد تعیین شده برای محاسبه کمینه‌ها در کابل گرد ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۲ روش استاندارد تعیین شده برای محاسبه کمینه‌ها در مقطع سه رشته‌ای گرد ..... ۴۷
- شکل ۳-۲۳ یک نمونه مقطع کابل سه رشته‌ای تخت ..... ۴۸
- شکل ۳-۲۴ پروفایل ضخامت مقطع سه رشته‌ای تخت ..... ۴۸
- شکل ۴-۱ مقطع شماره ۱ با حد آستانه ۱۷۷ ..... ۵۲
- شکل ۴-۲ مقطع شماره ۲ با حد آستانه ۱۷۷ ..... ۵۳
- شکل ۴-۳ مقطع شماره ۱ با حد آستانه ۱۵۵ ..... ۵۳
- شکل ۴-۴ مقطع شماره ۲ با حد آستانه ۱۵۵ ..... ۵۴
- شکل ۴-۵ مکان کمینه‌ها بر روی مقطع شماره ۱ ..... ۵۵
- شکل ۴-۶ مکان کمینه‌ها بر روی مقطع شماره ۲ ..... ۵۶
- شکل ۴-۷ مقاطع استاندارد مورد استفاده برای کالیبراسیون ..... ۵۷
- شکل ۵-۱ الگوریتم محاسبه ضخامت به صورت تصویری ..... ۶۳
- شکل ۵-۲ الگوریتم کالیبراسیون به صورت تصویری ..... ۶۴

## فهرست جداول

- جدول ۴-۱ نتایج گزارش شده در مقیاس پیکسل برای مقطع نمونه شماره یک ..... ۵۴
- جدول ۴-۲ نتایج گزارش شده در مقیاس پیکسل برای مقطع نمونه شماره دو ..... ۵۵
- جدول ۴-۳ مقادیر محاسبه شده برای ضرایب و خط کالیبراسیون هردو روش آستانه گذاری ..... ۵۷
- جدول ۴-۴ نتایج برای سومین مقطع استاندارد بر اساس هردو روش کالیبراسیون و برای هر دو روش آستانه گذاری ..... ۵۸
- جدول ۴-۵ نتایج برای چهارمین مقطع استاندارد بر اساس هردو روش کالیبراسیون و برای هر دو روش آستانه گذاری ..... ۵۹
- جدول ۴-۶ ضرایب و معادله خط کالیبراسیون محاسبه شده برای دو روش آستانه گذاری با استفاده از سه قطعه استاندارد ..... ۵۹
- جدول ۴-۷ مقایسه نتایج بدست آمده از هردو الگوریتم آستانه گذاری و هردو روش کالیبراسیون برای دو مقطع نمونه ..... ۶۰





# فصل اول: مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

کابل‌های برق در دنیای امروز به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صنعت برق، از کابل‌ها برای انتقال توان الکتریکی استفاده می‌شود. یکی از قسمت‌های مهم در خط تولید کابل کنترل کیفیت کابل و مقایسه پارامترهای آن با استانداردهای لازم می‌باشد. محدوده فعالیت‌های واحد کنترل کیفیت هم راستا با واحد تولید و شاید بتوان گفت بیشتر و فراتر از آن تعریف می‌شود. زیرا کنترل از ابتدایی‌ترین مرحله یعنی خرید مواد اولیه تا نهایی‌ترین مرحله که ارائه محصول به مشتری می‌باشد لازم و ضروری است. مراحل کنترل در سه سر فصل کلی تقسیم بندی می‌شود:

- کنترل مواد اولیه و تطابق مشخصات آنها با نیازهای شرکت

- کنترل حین فرآیند تولید و مطابقت با استانداردها

- آزمایش نهایی محصول و ارائه جدول پارامترها

## ۱-۲ کنترل کیفیت کابل

یکی از قسمت‌های مهم کنترل کیفیت کابل تطابق پارامترهای آن با استانداردها می‌باشد. کابل‌های الکتریکی در انتقال توان در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی (بین نیروگاه‌ها تا پست‌های برق و مصرف‌کننده‌ها)، توزیع انرژی الکتریکی در داخل کارخانه‌ها و کارگاه‌ها، سیم‌کشی داخل ساختمان‌ها و شبکه‌های مخابراتی کاربرد فراوانی دارند. با توجه به نقش مهم و حیاتی که سیم و کابل در سیستم‌های قدرت و شبکه‌های مخابراتی به عهده دارند، رعایت استانداردها در صنعت سیم و کابل حائز اهمیت می‌باشد. یک کابل از نظر استانداردها در جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. به طور کلی می‌توان سه نوع ارزیابی آزمون‌های ابعادی، آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی، آزمون‌های الکتریکی را در نظر گرفت.

برای آزمون‌های ابعادی می‌توان به قطر هادی، ضخامت متوسط عایق و قطر خارجی کابل اشاره کرد. آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی شامل انتشار شعله، خمش در دمای پایین، شوک حرارتی و ... می‌باشد. آزمون‌های الکتریکی نیز شامل آزمون جذب آب، مقاومت ویژه حجمی، آزمون ولتاژ ۴ ساعته و ... می‌باشد.

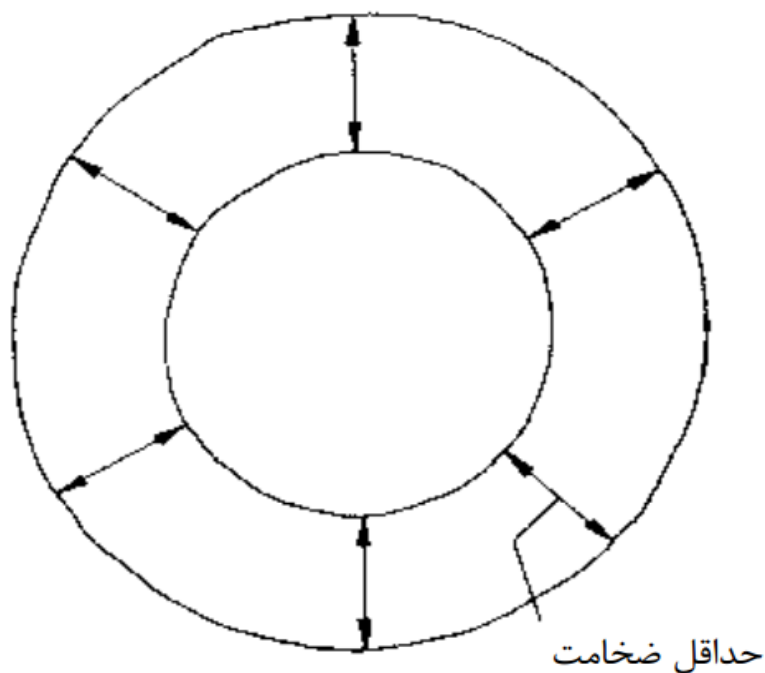
جنس عایق کابل‌ها معمولاً پروتودور یا پلی‌اتیلن می‌باشد که اولی غیرقابل اشتعال ولی دومی قابل اشتعال می‌باشد. یکی از قسمت‌های مهم هر کابل عایق کابل می‌باشد نقش این عایق جلوگیری از اتصال بین هادی‌های کابل و اتصال با محیط اطراف کابل می‌باشد. بسته به جریان، ولتاژ، شکل مقطع کابل و محیطی که کابل در آن استفاده می‌شود پارامترهای عایق کابل توسط استانداردهای مختلف تعریف شده است. در این استانداردها برای هر نوع کابل روش اندازه‌گیری مشخص شده است و برای هر کابل این ضخامت نباید از یک حد تعیین شده با دقت صدم میلی‌متر کمتر باشد. البته بیشتر بودن ضخامت عایق کابل از استانداردهای تعریف شده نیز موجب صرف مواد مصرفی بیشتر و به ضرر صنعت کابل می‌باشد. در حقیقت یکی از مهم‌ترین نکات برای استاندارد بودن یک کابل رعایت دقت مورد نظر برای کمینه ضخامت عایق می‌باشد.

در این پایان‌نامه هدف اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل می‌باشد، پس ابتدا به استانداردهای موجود برای عایق کابل و در ادامه به مرور روش‌های موجود برای اندازه‌گیری عایق کابل و مزایا و معایب آن می‌پردازیم.

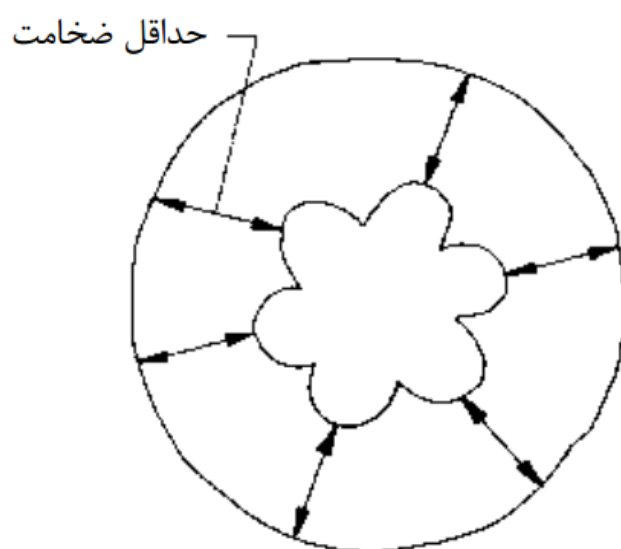
## ۱-۳ استانداردها

در ابتدا باید مقطعی از کابل مورد بررسی، برش شود. این نمونه نیز باید مطابق استانداردها [۸] تهیه شود. باید هر پوششی که روی عایق قرار دارد خارج شود و سپس هادی‌ها نیز از عایق جدا شوند. چنانچه لایه‌های درونی و بیرونی به عایق چسبیده باشند این لایه‌ها نباید از هم جدا شوند. هر برش

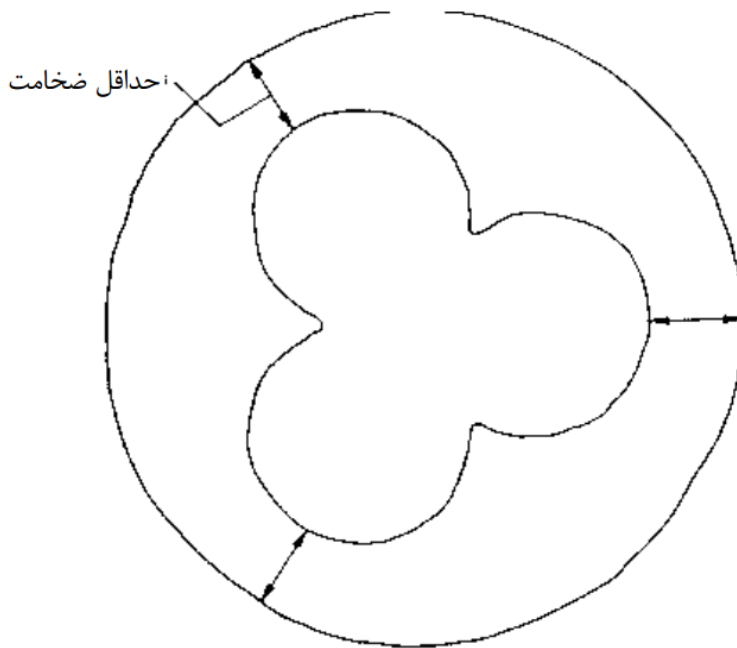
عرضی از عایق نیز باید بقدر کافی نازک باشد تا ضخامت آن در تصویر گرفته شده ایجاد سایه نکند. سپس بسته به نوع کابل طبق استاندارد باید پارامترهای عایق اندازه‌گیری شود. در شکل‌های (۱-۱) و (۲-۱) برای مقاطع چند نوع کابل پارامترهای مورد اندازه‌گیری نشان داده شده است :



شکل ۱-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع گرد)



شکل ۲-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع شش رشته‌ای گرد)



شکل ۳-۱ استاندارد اندازه‌گیری ضخامت عایق (برای مقطع سه رشته‌ای گرد)

همان‌طور که در شکل‌های (۱-۱ و ۲-۱ و ۳-۱) مشاهده می‌شود پارامترهای مورد اندازه‌گیری از عایق هر نوع کابل متفاوت از نوع دیگر می‌باشد. در هر مورد بعد از اندازه‌گیری مقطع عایق به روش ذکر شده در استاندارد باید میانگین ضخامت‌های اندازه‌گیری شده و نیز کمترین ضخامت عایق اندازه‌گیری شده در کل مقطع مشخص شوند. علاوه بر این پارامترها نیاز است که مساحت کل عایق نیز محاسبه شود. مقدار عایق مصرف شده به این دلیل مهم است که با افزایش میزان عایق استفاده شده هزینه اضافی به شرکت سازنده تحمیل می‌شود. بنابراین این پارامتر نیز برای خود شرکت‌های تولیدکننده سیم و کابل مهم است. طبق استانداردها باید دقت این اندازه‌گیری‌ها برای ضخامت‌های کمتر از ۰,۵ میلی‌متر تا سه رقم اعشار و برای ضخامت‌های بیشتر از ۰,۵ میلی‌متر تا دو رقم اعشار باشد. لازم به

ذکر است که استانداردهای مختلفی برای کابل وجود دارد که می‌توان به استانداردهای<sup>1</sup> JIS, IEC, ASTM اشاره کرد.

## ۴-۱ روش‌های اندازه‌گیری

در بخش قبل تا حدودی با استانداردهای عایق کابل آشنا شدیم، حال باید به روش‌های موجود برای اندازه‌گیری این پارامترها بپردازیم. روش مرسوم برای اندازه‌گیری مقطع کابل در کشور ما آنالیز دستی به وسیله پروژکتور می‌باشد. این روش نسبتاً یک روش سنتی محسوب می‌شود که دارای معایبی می‌باشد. در این روش ابتدا مقطع برش خورده کابل بر روی یک صفحه قرار داده می‌شود که از بالا و به صورت عمود به آن نور تابانده می‌شود. سپس یک میکروسکوپ بر روی آن قرار داده می‌شود که بزرگنمایی آن ده می باشد بدین معنی که ضخامت کابل را ده برابر می‌کند. بعد از بزرگ کردن مقطع حال نوبت به نمایش آن می‌رسد که برای این کار از یک پروژکتور استفاده می‌کنند و تصاویر را بر روی یک صفحه مخصوص می‌تابانند. نمونه‌ای از این دستگاه را که در شرکت سیم و کابل مغان استفاده شده است در شکل (۴-۱) مشاهده می‌کنید. پس از تاباندن تصاویر بر روی صفحه، باید پارامترهای مورد نظر از مقطع عایق کابل اندازه‌گیری شود. در این روش، اندازه‌گیری توسط انسان و با چشم انجام می‌گیرد بدین صورت که یک نفر به وسیله چشم غیر مسلح و با ابزار اندازه‌گیری مانند خط کش اقدام به اندازه‌گیری ضخامت مقطع بزرگ شده می‌نماید. در پایان پارامترهای بدست‌آمده گزارش می‌شوند. این روش دارای معایبی می باشد که می‌توان به پایین بودن سرعت اندازه‌گیری به دلیل زمان بر بودن مراحل ذکر شده و نیز دقت پایین اندازه‌گیری بخاطر استفاده از چشم غیر مسلح برای اندازه‌گیری‌ها اشاره کرد. استفاده از انسان برای اندازه‌گیری با این دقت بالا مطمئناً دارای خطای زیادی می‌باشد. پس باید به دنبال روشی بود که در آن طی عملیات اندازه‌گیری انسان کمترین دخالت را داشته باشد.

<sup>1</sup> Japanese Industrial Standards

<sup>2</sup> International Electrotechnical Commission

<sup>3</sup> American Society for Testing Materials



شکل ۱-۴ نمونه دستگاه مورد استفاده برای آنالیز دستی

در سال‌های اخیر تکنولوژی دستگاه‌های اندازه‌گیری پیشرفت فراوانی داشته‌است. امروزه به صورت ناخودآگاه وقتی صحبت از اندازه‌گیری با دقت بالا می‌شود ذهن‌ها به سمت دستگاه‌های اندازه‌گیری خودکار به کمک تجهیزات الکترونیکی معطوف می‌شود. شاخه پردازش تصویر امروزه بصورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از کاربردهای پردازش تصویر در مبحث کنترل کیفیت و اندازه‌گیری می‌باشد. در صنعت سیم و کابل نیز در روش‌های نوین اندازه‌گیری از پردازش تصویر کمک گرفته شده است. روش جدید اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل به این صورت می‌باشد که ابتدا بوسیله دوربین مناسب از مقطع عایق کابل تصویربرداری شده و سپس با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر اقدام به اندازه‌گیری ضخامت می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به سرعت بالای آن و نیز دقت بالا و عدم دخالت انسان در فرایند اندازه‌گیری و نیز ساده بودن استفاده از این روش اشاره کرد.

این روش اندازه‌گیری در کارخانه‌های پیشرفته صنعت کابل یک روش مرسوم و رایج می‌باشد ولی به دلایل مختلف از آن در کشورمان استفاده نمی‌شود. از جمله این دلایل می‌توان به بالا بودن قیمت تمام‌شده این دستگاه‌ها و نیز مشکل واردات این دستگاه‌ها اشاره کرد. دلایل بالا انگیزه‌ای برای ورود به این مبحث و تلاش برای طراحی الگوریتمی اتوماتیک و دقیق برای اندازه‌گیری مقطع کابل با توجه به استانداردهای بین‌المللی ایجاد نموده است.

## ۱-۵ ساختار پایان‌نامه

ادامه پایان‌نامه بصورت زیر تدوین شده است. در فصل بعد پیشینه تحقیق و تئوری روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای کابل آورده شده است. در فصل سوم الگوریتم پیشنهاد شده در این پایان‌نامه معرفی می‌گردد. در فصل چهارم نتایج اعمال روش پیشنهادی بر روی نمونه‌هایی که از کابل‌های مختلف با استفاده از یک اسکنر با قدرت  $1200 \text{ dpi}$  تصویر برداری شده است، ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که این نمونه‌ها از خط تولید شرکت سیم و کابل مغان تهیه شده‌است که در بازارهای داخلی و خارجی به فروش می‌رسد.



# فصل دوم: تئوری و مروری بر کاربردهای

گذشته

## ۲-۱ مروری بر کارهای گذشتگان

در این زمینه مقالات و تحقیق‌های زیادی در دسترس نیست. در این فصل به مرور کارهای گذشته و تئوری روش‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه می‌پردازیم. به این دلیل که این موضوع تا حد زیادی صنعتی و عملی می‌باشد و شرکت‌های زیادی در حال تولید این تجهیزات می‌باشند که اطلاعات خود را منتشر نمی‌کنند، مقالات علمی زیادی وجود ندارد. یکی از محدودیت‌ها و نیازهای اندازه‌گیری ضخامت کابل بوسیله پردازش تصویر داشتن یک دوربین با کیفیت مناسب برای دقت مورد نظر می‌باشد. موضوع دیگر داشتن لنز مناسب برای این کار است زیرا باید بتوان از حداکثر پیکسل‌ها برای تصویربرداری از قطعه استفاده کرد یعنی باید با یک لنز مناسب تصویربرداری انجام شود که تمام سطح سنسور به قطعه مورد نظر تعلق گیرد. در بیشتر مقالات موجود از دوربین‌های میکروسکوپی برای این کار استفاده شده است.

معمولاً تصویر ورودی برای انجام پردازش روی آن یک تصویر رنگی یا خاکستری است که در صورت رنگی بودن باید آن را به تصاویر خاکستری تبدیل کرد. پس از آن یک مرحله حذف نویز قرار دارد که انجام این مرحله در تمام مقالات موجود انجام نمی‌شود زیرا معمولاً تصاویر ورودی کیفیت خوبی دارد و دارای کمترین نویز می‌باشد. در مقاله [۱] برای حذف نویز از روش حذف نویز مجموع تغییرات استفاده شده است که نسبت به روش دیگر انجام شده در این مقاله یعنی روش گوسی نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در مقاله [۲] از یک فیلتر میانه با پنجره  $3 \times 3$  برای حذف نویز استفاده شده است. برای حذف نویز و صاف‌سازی از یک فیلتر گوسی با پنجره  $3 \times 3$  در مقاله [۳] استفاده شده است.

مهم‌ترین مشخصه برای داشتن بالاترین دقت در این موضوع به مبحث لبه‌یابی مربوط می‌شود.

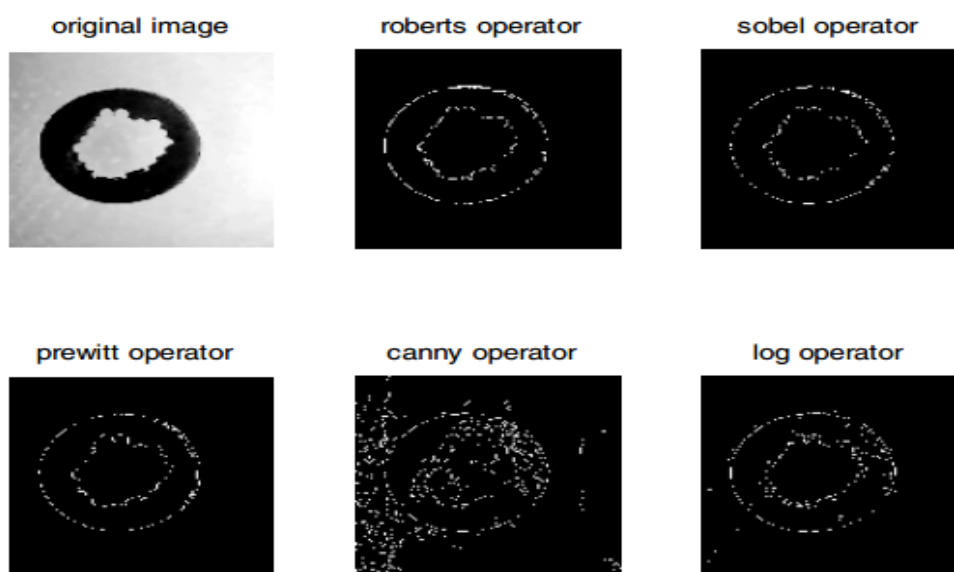
در مقالات مختلف از روش‌های متفاوتی برای این کار استفاده شده است که هر کدام ویژگی‌های خود را

---

<sup>1</sup> Median filter

<sup>2</sup> Gaussian filter

دارا می‌باشد. لبه‌یاب‌های رایج مانند کنی<sup>۱</sup>، سوبل<sup>۲</sup>، روبرتز<sup>۳</sup>، لگاریتمی<sup>۴</sup> و مورفولوژی در مرجع [۱] با هم مقایسه شده‌اند که در شکل (۱-۲) نتایج اعمال این لبه‌یاب‌ها را مشاهده می‌کنید. طبق نتایج بدست آمده در این مقاله استفاده از عملگرهای ریخت شناسی<sup>۴</sup> بهترین نتایج را بین لبه‌یاب‌های ذکر شده دارا می‌باشد. البته در بین این لبه‌یاب‌ها بعد از عملگرهای مورفولوژی، عملگر لگاریتمی<sup>۵</sup> قرار دارد و در مقایسه با تمام لبه‌یاب‌های ذکر شده در این مقاله در رتبه دوم قرار می‌گیرد. عملگر مورفولوژی به دو دلیل بهتر از دیگر عملگرها می‌باشد اول اینکه الگوریتم آن ساده‌تر از بقیه عملگرها می‌باشد و دوم اینکه جزئیات دقیق‌تر نشان داده شده‌اند. در مقاله [۲] از لبه‌یاب سوبل با پنجره  $3 \times 3$  استفاده شده‌است. در مقاله [۳] از لبه‌یاب کنی استفاده شده‌است اما برای رسیدن به جواب مناسب و مورد انتظار پس از مرحله لبه‌یابی به وسیله لبه‌یاب کنی یک مرحله برازش منحنی<sup>۶</sup> در نظر گرفته شده‌است. البته قابل ذکر است که در این مقاله تنها کابل‌های دایره شکل در نظر گرفته شده‌است.



شکل ۱-۲ نتایج لبه‌یابی بر روی مقطع یک کابل به کمک عملگرهای مختلف [۱]

<sup>1</sup> Canny

<sup>2</sup> Sobel

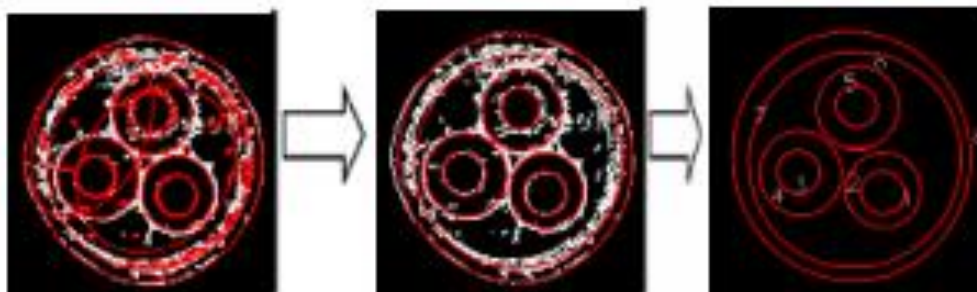
<sup>3</sup> Roberts

<sup>4</sup> Morphology operator

<sup>5</sup> Log operator

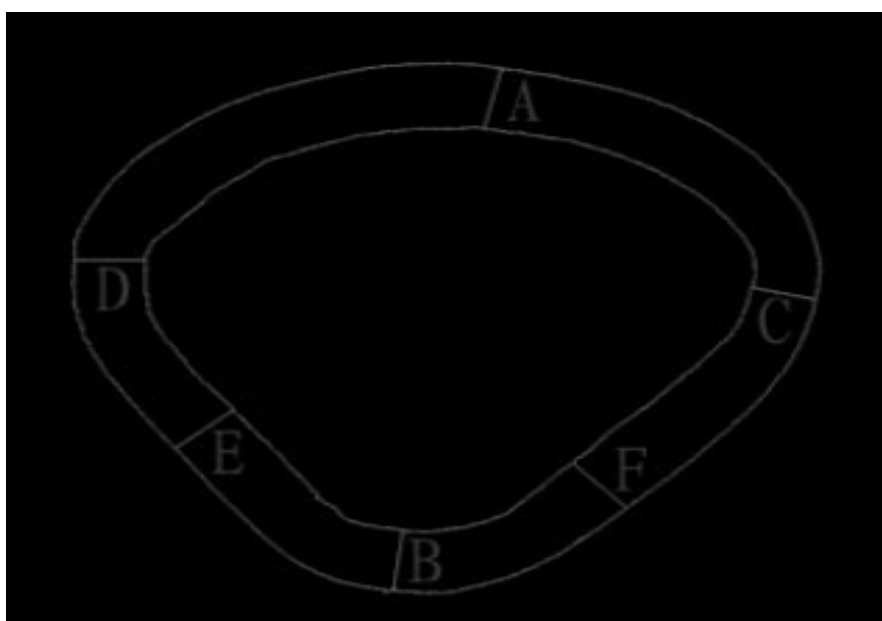
<sup>6</sup> Curve Fitting

همانطور که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌کنید عملگر کنی لبه‌یابی مناسبی را انجام نمی‌دهد به همین دلیل در مقاله [۳] از برازش منحنی بعد از لبه‌یابی استفاده شده‌است.



شکل ۲-۲ مراحل اعمال برازش منحنی پس از لبه‌یابی [۳]

در مقاله [۴] از روش لبه‌یابی ممان زرنیک<sup>۱</sup> بهبود یافته استفاده شده‌است که دارای جواب مناسب و خوبی می‌باشد ولی پیچیدگی زیادی دارد. در شکل (۳-۲) نتایج بدست آمده از این روش را برای یک نوع خاص کابل مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۲ تصویر ورودی و نتیجه لبه‌یابی زرنیک را نشان می‌دهد [۴]

<sup>1</sup> Zernike moments edge detection

## ۲-۲ مبانی نظری

در این پایان‌نامه از تکنیک‌های پردازش تصویر استفاده شده‌است که مبانی نظری هر کدام به صورت جداگانه در اینجا توضیح داده خواهد شد. یکی از مراحل مقدماتی باینری کردن تصاویر می‌باشد که در این پایان‌نامه از دو روش برای انتخاب حد آستانه مناسب برای باینری کردن استفاده شده‌است. روش اول یک روش تطبیقی ابتکاری می‌باشد ولی روش دوم استفاده از آستانه‌گذاری به روش اتسو<sup>۲</sup> می‌باشد که تئوری آن به این صورت می‌باشد.

### ۲-۲-۱ آستانه گذاری اتسو

در الگوریتم آستانه گذاری اتسو [۵]، هدف، بیشینه نمودن واریانس<sup>۳</sup> آیین کلاسی اجزای ناحیه بندی شده است. این روش یک معیار رایج برای آنالیز جداسازی آماری است. ایده پایه این است که کلاس‌هایی که به خوبی آستانه گذاری شده اند باید از بقیه‌ی کلاس‌ها جدا شوند و بالعکس یک آستانه بهترین جداسازی بین کلاس‌ها را براساس شدت روشنایی آنها انجام دهد. علاوه بر بهینه بودن، یک خاصیت مهم این روش این است که برای یافتن آستانه فقط به هیستوگرام تصویر نیاز است.

فرض کنید  $\{0,1,2,\dots,L-1\}$  تعداد  $L$  سطح روشنایی متمایز در یک تصویر دیجیتال با ابعاد  $M \times N$  را مشخص کند و  $n_i$  تعداد پیکسل‌هایی باشد که شدت روشنایی  $i$  دارند. برای کل پیکسل‌های تصویر داریم؛

$M \times N = n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_{L-1}$ . هیستوگرام نرمالیزه شده در رابطه (۲-۱) نشان داده شده

است

---

<sup>1</sup> Threshold

<sup>2</sup> Otsu

<sup>3</sup> Variance

(۲-۱)

$$\begin{cases} P_i = \frac{n_i}{MN} & i = 0.1.2. \dots L - 1 \\ \sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1 & P_i \geq 0. \end{cases}$$

با انتخاب آستانه  $0 < K < L-1$  می‌توان تصویر ورودی را به دو کلاس  $C_1$  و  $C_2$  تقسیم کرد.  $C_1$  شامل تمام پیکسل‌های تصویر با شدت روشنایی در بازه  $[0, K]$  و  $C_2$  شامل تمام پیکسل‌های تصویر در بازه  $[K+1, L-1]$  می‌باشد. با استفاد از این آستانه، احتمال  $P_1(K)$  (احتمال تعلق یک پیکسل به کلاس  $C_1$  به صورت رابطه (۲-۲) بیان می‌شود.

$$P_1(K) = \sum_{i=0}^k P_i \quad (۲-۲)$$

رابطه (۲-۲) در واقع احتمال رخ دادن کلاس  $C_1$  است. به همین دلیل برای کلاس  $C_2$  نیز رابطه احتمال به صورت رابطه (۳-۲) می‌باشد.

$$P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} P_i = 1 - P_1(k) \quad (۳-۲)$$

متوسط شدت روشنایی پیکسل‌های متعلق به هر کلاس نیز از روابط (۲-۴) و (۲-۵) محاسبه می‌شوند.

$$m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k iP_i \quad (۴-۲)$$

$$m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k-1}^{L-1} iP_i \quad (۵-۲)$$

شدت روشنایی متوسط تصویر ورودی نیز از رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شود.

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad (۶-۲)$$

به منظور ارزیابی مقدار آستانه در سطح  $k$  از مقدار نرمال شده‌ی آن، از کمیت بدون بعد در رابطه (۷-۲) استفاده می‌کنیم.

---

<sup>1</sup> Probability

$$\mu = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_G^2} \quad (7-2)$$

در رابطه (7-2)  $\sigma_G^2$  واریانس سراسری است که از رابطه (8-2) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_G^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_G)^2 P_i \quad (8-2)$$

در رابطه (7-2)  $\sigma_B^2$  واریانس بین کلاسی است که از رابطه (9-2) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_B^2 = P_1(m_1 - m_G)^2 + P_2(m_2 - m_G)^2 \quad (9-2)$$

رابطه (9-2) می‌تواند به صورت رابطه (10-2) بازنویسی شود.

$$\sigma_B^2 = P_1 P_2 (m_1 - m_2)^2 = \frac{(m_G P_1 - m)^2}{P_1(1-P_1)} \quad (10-2)$$

با وارد کردن  $k$  در روابط و بازنویسی روابط می‌توان (11-2) و (12-2) را بدست آورد.

$$\mu(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_G^2} \quad (11-2)$$

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[m_G P_1(k) - m(k)]^2}{P_1(k)[1-P_1(k)]} \quad (12-2)$$

آستانه بهینه مقدار  $k^*$  ای است که به ازای آن عبارت  $\sigma_B^2(k)$  را بیشینه کند.

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_B^2(k) \quad (13-2)$$

به عبارت دیگر برای یافتن  $k^*$  رابطه (13-2) را به ازای تمام مقادیر  $k$  ارزیابی کرده و مقداری که

بیشینه  $\sigma_B^2(k)$  را نتیجه دهد، انتخاب می‌کنیم.

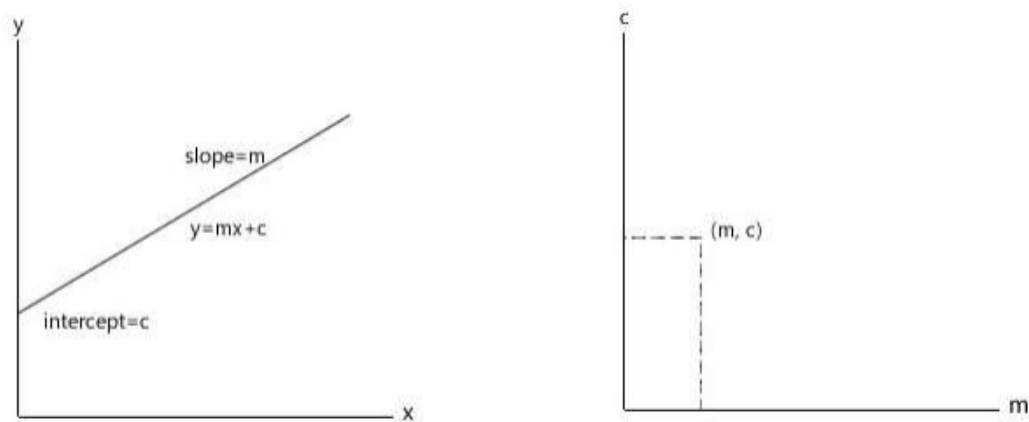
در نهایت آستانه‌گذاری را براساس معیار معرفی شده در رابطه (14-2) انجام می‌دهیم:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1. & f(x, y) > k^* \\ 0. & f(x, y) \leq k^* \end{cases} \quad (14-2)$$

در روش دوم از نمونه های استاندارد مستطیل شکل استفاده شده است که برای پیدا کردن زاویه آنها از خط عمود از تبدیل هاف استفاده شده است.

## ۲-۲-۲ تبدیل هاف

تبدیل هاف [۶]، الگوریتمی است که با استفاده از آن می توان اشکال مشخصی را در تصویر شناسایی کرد. برای پیدا کردن یک شکل خاص با تبدیل هاف لازم است که آن شکل دارای فرم پارامتری مشخصی باشد به همین دلیل از تبدیل هاف معمولاً برای پیدا کردن اشکالی مثل خط، دایره و سهمی استفاده می شود. به کمک تبدیل هاف می توان شیب و محل تقاطع خطوط تصویر را تعیین کرد. تبدیل هاف به هر پیکسل لبه در تصویر اجازه می دهد که به پارامترهای معادله شکلی که بر روی آن قرار دارد رای دهد و بخاطر ویژگی های ریاضی تبدیل، این رأی گیری به ما اجازه می دهد که اشکال از پیش تعیین شده در تصویر را شناسایی کنیم.



شکل ۲-۴ یک خط در صفحه تصویر (شکل سمت چپ) که در فضای پارامتر یک نقطه می باشد (شکل سمت راست) همان طور که در شکل (۲-۴) نشان داده شده است، هر خط دو کمیت مختص به خود را دارد، شیب و عرض از مبدا؛ با این دو عدد ما می توانیم یک خط را بطور کامل بیان کنیم. بنابراین هر خط

<sup>1</sup> Hough Transform

<sup>2</sup> Voting

<sup>3</sup> Slope

<sup>4</sup> Intercept



در فضای  $xy$  برابر است با یک نقطه منفرد در فضای  $mc$ . همانطور که می‌دانید از یک نقطه، تعداد نامحدودی خط می‌تواند عبور کند، بنابراین برای هر خط گذرنده از  $(x_a, y_a)$ ، نقطه‌ای در فضای  $mc$  وجود خواهد داشت.

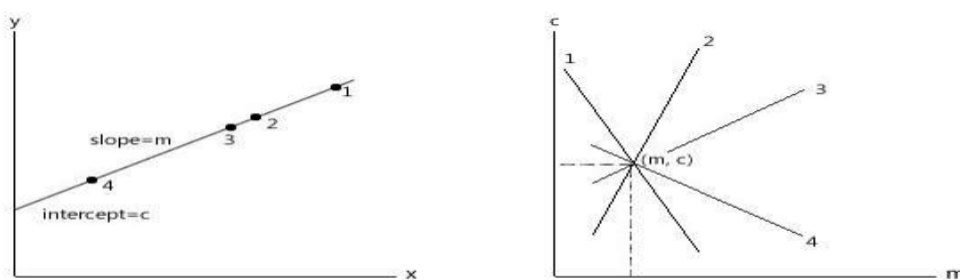
معادله خط گذرنده از  $(x_a, y_a)$ :

$$y_a = mx_a + c \quad (15-2)$$

با آرایش مجدد معادله فوق داریم:

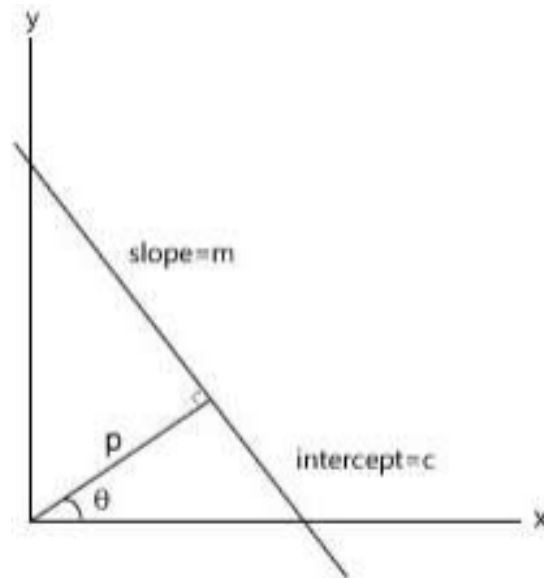
$$c = -mx_a + y_a \quad (16-2)$$

رابطه فوق، معادله یک خط در فضای  $mc$  می‌باشد. بنابراین یک نقطه در فضای  $xy$  برابر است با یک خط در فضای  $mc$ . یک خط آشکار شده از تصویر را در نظر بگیرید. برای هر نقطه غیر صفر روی این خط، خطوط در فضای  $mc$  را رسم می‌کنیم. مسلماً برخی از خطوط همدیگر را قطع خواهند کرد. مکان این تقاطع‌ها، پارامترهای خط آشکار شده در فضای  $xy$  را نشان می‌دهد. شکل (۲-۵) یک خط در فضای  $xy$  و همچنین تبدیل چند نقطه روی آن در فضای پارامتری تبدیل هاف را نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۵ تبدیل چند نقطه در فضای  $XY$  (شکل سمت چپ) به چند خط در فضای پارامتری (شکل سمت راست) ایده اصلی تبدیل هاف مطالب فوق می‌باشد، اما این ایده یک ایراد واضح دارد و آن این است که ممکن است شیب خط بی‌نهایت شود، در این صورت استفاده از این تبدیل عملی نخواهد بود. این مشکل با استفاده از روش دیگری برای تعیین پارامتر حل می‌شود. یعنی به جای ترکیب شیب\_عرض

از مبدا خطوط، از ترکیب بردار نرمال استفاده می‌کنیم. در این نمایش، یک خط از ۲ پارامتر تشکیل می‌شود. زاویه  $\theta$  و فاصله  $p$  که  $p$  طول بردار نرمال از مبدا تا خط می‌باشد و  $\theta$  زاویه این بردار نرمال با محور  $x$  است.



شکل ۶-۲ معادله خط براساس پارامترهای  $p$  و  $\theta$  در فضای قطبی

زاویه  $\theta$ ، بین  $-90^\circ$  تا  $90^\circ$  درجه می‌تواند باشد و مقدار طول  $p$  می‌تواند از صفر تا مقدار قطر تصویر باشد، محور افقی دارای  $\theta = 0$  می‌باشد که  $p$  آن مثبت است. محور عمودی دارای  $\theta = 90$  می‌باشد که  $p$  آن مثبت است و یا دارای  $\theta = -90$  می‌باشد که  $p$  آن منفی است. توجه کنید که مبدا مختصات هاف، همان مبدا تصویر است.

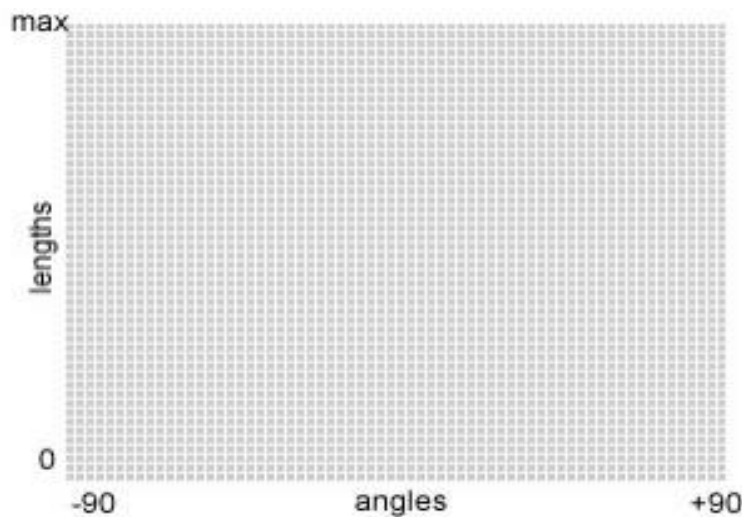
در این نمایش، معادله خط به صورت زیر است:

$$p = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta \quad (17-2)$$

<sup>1</sup> Slope Intercept

که  $(x_1, y_1)$  نقطه‌ای است که خط از آن عبور می‌کند. با این رابطه جدید، یک خط در فضای  $xy$  برابر است با یک نقطه در فضای  $(p, \theta)$ ، ولی یک نقطه در فضای  $xy$  برابر است با یک منحنی سینوسی در فضای  $(p, \theta)$ .

حال نوبت به پیاده‌سازی تبدیل هاف می‌باشد. ایده اصلی این است که هر پیکسل رأی دهد. بنابراین آرایه‌ای از سلول‌های انباشتگر ایجاد می‌شود. در اینجا آرایه دو بعدی در نظر گرفته شده است. محور افقی مقادیر مختلف  $\theta$  می‌باشد و محور عمودی مقادیر  $p$ . در شکل (۷-۲) این انباشتگر را مشاهده می‌کنید که محور افقی  $\theta$  و محور عمودی مقادیر  $p$  را مشخص می‌کند.

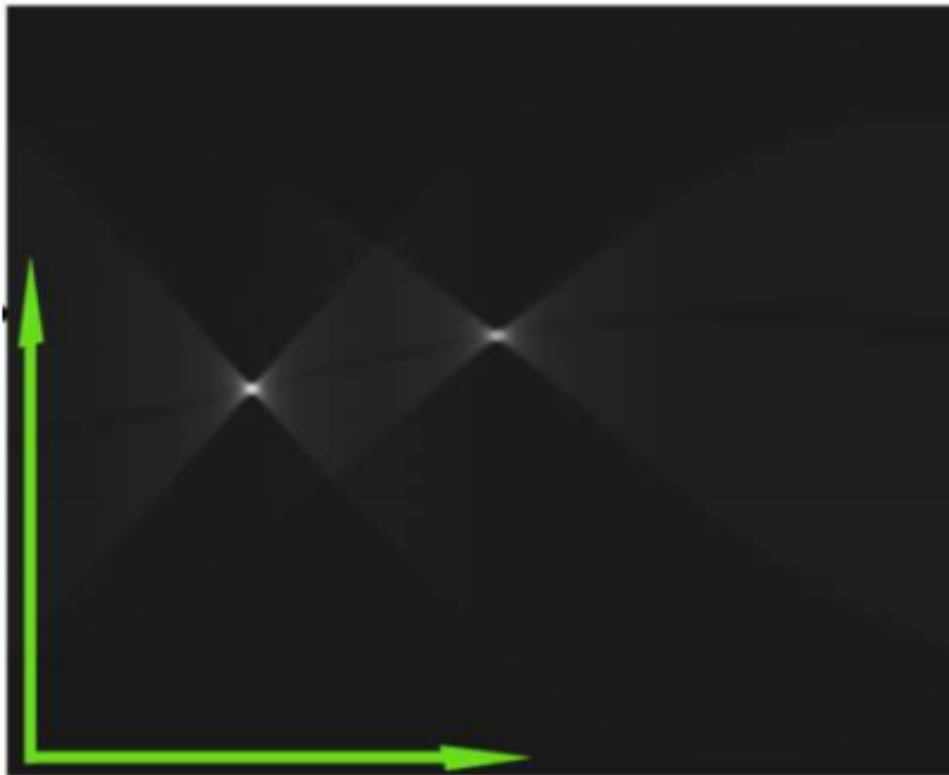


شکل ۷-۲ فضای هاف برای یافتن پارامترهای  $\theta$  و  $p$  خطوط تصاویر

هاف فقط روی تصاویر با لبه آشکار شده کار می‌کند. از پیکسل‌های دارای مقدار صفر صرف‌نظر می‌کنیم چون آن‌ها نمی‌توانند یک خط باشند. هر پیکسل غیر صفر روی لبه، یک منحنی سینوسی در فضای  $(p, \theta)$  تولید می‌کند. به این ترتیب که ابتدا  $\theta$  را  $-90$  درجه گرفته و مقدار  $p$  متناظر با آن را محاسبه می‌شود. این مقادیر محاسبه شده به سلول انباشتگر  $(\theta, p)$  رأی می‌دهد. سپس مقدار  $\theta$  را یک واحد افزایش داده و  $p$  بعدی را محاسبه کرده و باز رأی‌گیری انجام می‌شود. این فرآیند را ادامه می‌دهیم

<sup>1</sup> Accumulator

تا  $\theta = 90$  شود و برای هر محاسبه، رأی‌گیری انجام داده می‌شود. دلیل استفاده از انباشتگر این است که از یک نقطه بی‌نهایت خط عبور می‌کند بی‌نهایت اندازه‌گیری قابل انجام نیست. اکنون یک منحنی سینوسی مانند در فضای  $(p_\theta)$  برای هر پیکسل بدست آمده است. برخی از سلول‌ها تعداد زیادی رأی آورده‌اند. نقاطی که به این سلول رأی داده‌اند روی خطی با پارامترهای آن سلول قرار دارند. نمونه‌ای از نتیجه رأی‌گیری تبدیل هاف در فضای پارامتری را در شکل (۸-۲) مشاهده می‌کنید.



شکل ۸-۲ مثالی از نتیجه رأی در فضای هاف. نقاط روشن پارامترهای خطوط صفحه را مشخص می‌کند.

در این پایان‌نامه برای لبه‌یابی از عملگرهای ریخت‌شناسی استفاده شده است که در اینجا به

شرح تئوری آن می‌پردازیم.

## ۲-۲-۳ عملگرهای ریخت شناسی

یکی از مهم‌ترین مراحل در پیش پردازش تصویر، پردازش ریخت شناسی<sup>۱</sup> می‌باشد. در اینجا فقط ریخت شناسی [۷] تصویر دودویی<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پردازش ریخت شناسی عموماً از عملگرهای مجموعه‌ای استفاده می‌کند. ابتدا به تعریف عملگرهای مجموعه‌ای پایه پرداخته می‌شود. این عملگرها شامل عملگر اجتماع، اشتراک و تفاضل دو مجموعه می‌باشد. اگر هر تصویر باینری یک مجموعه در نظر گرفته شود:

اجتماع دو تصویر باینری هم اندازه، تصویری خواهد بود که در این تصویر هر پیکسلی که در تصویر اول یا دوم یا هر دو مقدار ۱ داشته باشد، مقدار ۱ خواهد داشت. برای پیاده سازی عملگر اجتماع برای دو تصویر باینری، می‌توان پیکسل‌های متناظر را در دو تصویر باهم OR بیتی کرد.

اشتراک دو تصویر باینری هم اندازه، تصویری خواهد بود که در این تصویر هر پیکسلی که در تصویر اول و دوم مقدار ۱ داشته باشد، مقدار ۱ خواهد داشت. برای پیاده‌سازی عملگر اشتراک برای دو تصویر باینری، می‌توان پیکسل‌های متناظر را در دو تصویر باهم AND بیتی کرد.

تفاضل دو تصویر باینری هم اندازه، تصویری خواهد بود که در این تصویر پیکسل‌هایی از تصویر اول با مقدار ۱ که در تصویر دوم مقدارشان ۱ نباشد یا برعکس، مقدار ۱ خواهند داشت.

همچنین عملگر مکمل نیز عملگری است که پس از اعمال آن بر روی تصویر باینری، در تصویر حاصل شده، مقادیر ۱ به ۰ و مقادیر ۰ به ۱ تغییر می‌یابند. برای پیاده‌سازی عملگر مکمل می‌توان هر پیکسل از تصویر باینری را NOT بیتی کرد.

عملگر قرینه<sup>۳</sup> برای تصویر A بدین معنی است که تمام پیکسل‌ها نسبت به مرکز تصویر قرینه شوند.

---

<sup>1</sup> Morphology

<sup>2</sup> Binary

<sup>3</sup> Reflection

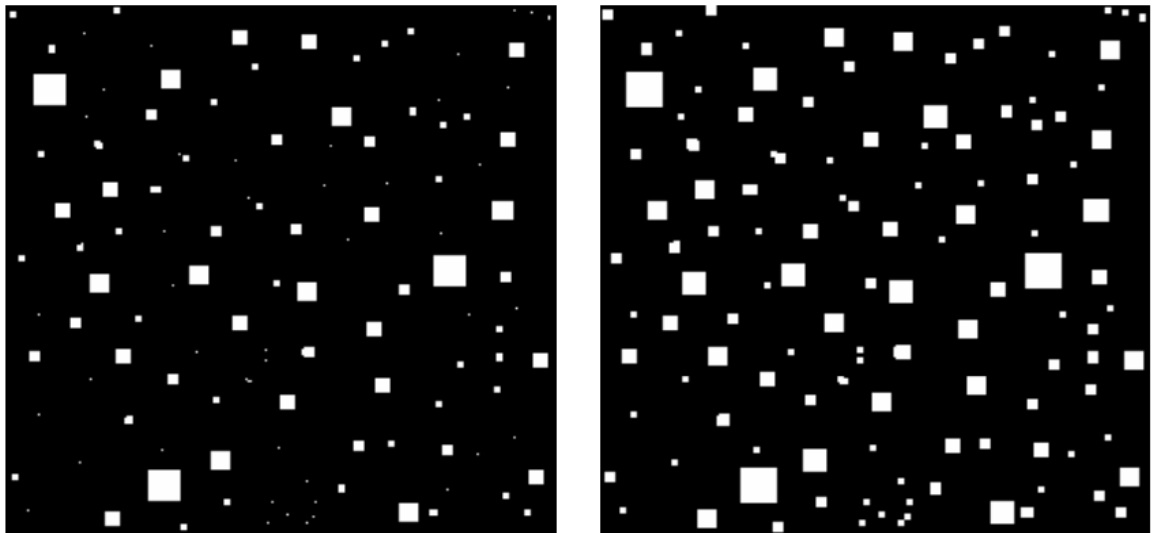
$$\text{reflection}(A) = \{w | w = -b, b \in B\} \quad (18-2)$$

عملگر گسترش<sup>۱</sup> همانطور که از نام آن پیداست، باعث گسترش نقاط ۱ در تصویر می‌شود. در عملگر گسترش از یک ماسک (پنجره) استفاده می‌شود که این ماسک عنصر ساختاری<sup>۲</sup> نامیده می‌شود که مقادیر آن می‌توانند ۱ یا ۰ باشند. گسترش تصویر A با عنصر ساختاری B به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A \oplus B = \{w | \text{reflection}(B) \cap A \neq \text{NULL}, w \in A\} \quad (19-2)$$

به عبارت دیگر گسترش A با عنصر ساختاری B بدین معنی است که اگر عنصر ساختاری B را بر روی پیکسل‌های A حرکت دهیم، و در هر بار حرکت اشتراک عنصر ساختاری با محدوده زیر عنصر ساختاری در تصویر A تهی نباشد، مقدار پیکسل مرکزی که عنصر ساختاری بر روی آن قرار گرفته است، برابر ۱ خواهد شد.

شکل (۹-۲) خروجی تصویر را پس از گسترش تصویر با یک عنصر ساختاری ۳\*۳ که همه عناصر آن ۱ است را نشان می‌دهد.



<sup>1</sup> Dilation

<sup>2</sup> Structure Element

شکل ۹-۲ تصویر ورودی (شکل سمت چپ) و نتیجه گسترش آن با عنصر ساختاری (شکل سمت راست)

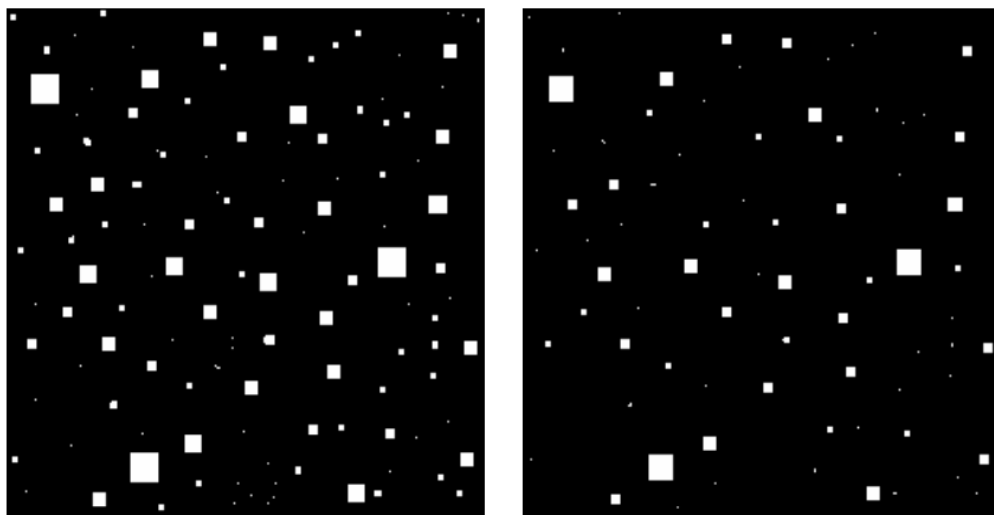
عملگر سایش همانطور که از نام آن پیدا است، باعث سایش نقاط ۱ در تصویر می‌شود. همانند عملگر گسترش، در عملگر سایش نیز از یک عنصر ساختاری استفاده می‌شود که مقادیر عنصر ساختاری ۱ یا ۰ می‌تواند باشد. به ازای هر پیکسل مرکز عنصر ساختاری روی پیکسل قرار داده شده و عملگر سایش با توجه به مقادیر عنصر ساختاری در مورد آن پیکسل اعمال می‌شود. سایش تصویر A با عنصر ساختاری B به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A \ominus B = \{w | (B) \subseteq A, w \in A\} \quad (۲۰-۲)$$

به عبارت دیگر گسترش A با عنصر ساختاری B بدین معنی است که اگر عنصر ساختاری B بر روی پیکسل‌های A حرکت کند، و در هر بار حرکت همه نقاطی که در زیر مقادیر ۱ از عنصر ساختاری قرار گرفته نیز، مقدار یک داشته باشند، مقدار پیکسل حاصل نیز ۱ خواهد بود.

شکل (۱۰-۲) خروجی تصویر را پس از سایش تصویر با یک عنصر ساختاری ۳\*۳ که همه

عناصر آن ۱ است را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۲ تصویر ورودی (شکل سمت چپ) و نتیجه سایش آن با عنصر ساختاری (شکل سمت راست)

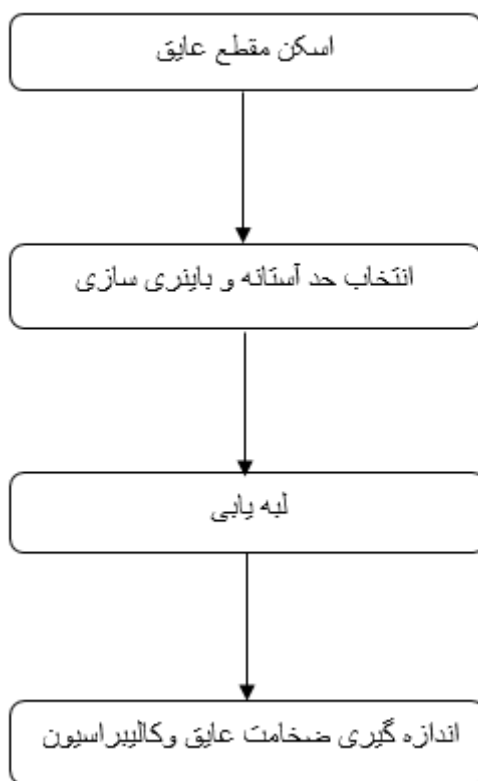
<sup>1</sup> Erosion





# فصل سوم: روش پیشنهادی

در این فصل به توضیح الگوریتم پیشنهاد شده برای اندازه‌گیری ضخامت عایق کابل می‌پردازیم. تمام مراحل به ترتیب و به تفصیل شرح داده خواهد شد. براساس فلوجارت طراحی شده برای این الگوریتم اولین مرحله تصویربرداری از قطعه مورد نظر می‌باشد. بعد از آن نوبت به مرحله انتخاب حد آستانه و دودویی<sup>۱</sup> ساختن تصاویر خاکستری می‌رسد. پس از دودویی کردن تصاویر حال باید لبه‌یابی<sup>۲</sup> روی تصاویر انجام شود. در پایان اندازه‌گیری‌ها و کالیبراسیون<sup>۳</sup> روی مقطع مورد نظر انجام شده و مقدار دقیق ضخامت بدست آورده می‌شود. بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی را در شکل (۱-۳) مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۳ بلوک دیاگرام مراحل الگوریتم پیشنهادی

<sup>1</sup> Binary

<sup>2</sup> Edge detection

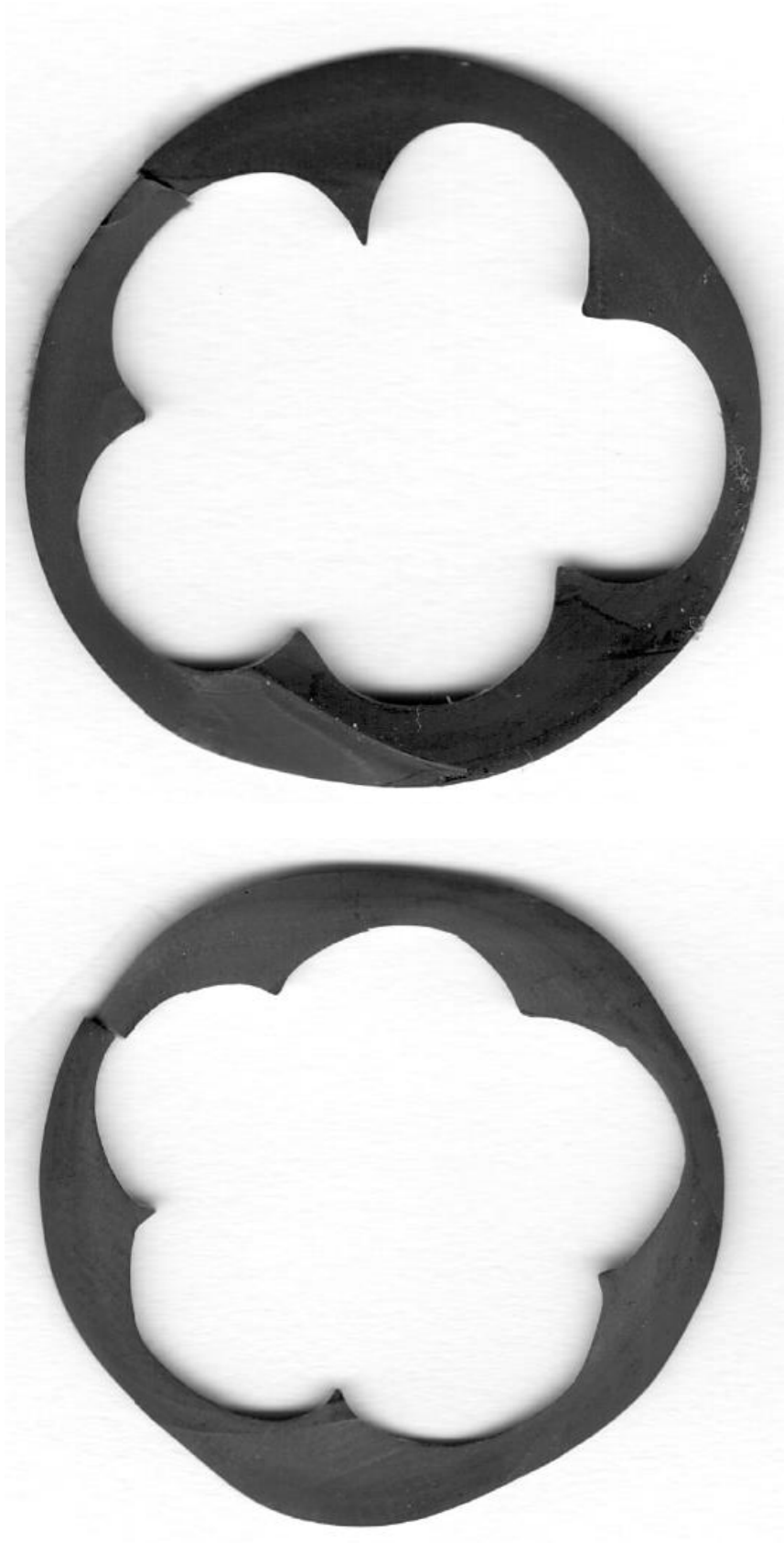
<sup>3</sup> Calibration

## ۳-۱ تصویربرداری

همانطور که در قسمت‌های قبلی ذکر شده است برای تصویر برداری از نمونه‌ها، از یک اسکنر با تفکیک‌پذیری ۱۲۰۰ dpi استفاده شده است. ابتدا نمونه‌ها روی سطح اسکنر قرار داده شده و یک کاغذ سفید بر روی آن‌ها قرار داده می‌شود. برای به حداقل رساندن خطاهای تصویر برداری سعی شده است تا حد امکان قطعه به سطح اسکنر چسبانده شود. نورپردازی اسکنر به صورت عمودی و از پایین می‌باشد که ویژگی مناسبی برای بالابردن دقت می‌باشد. استفاده از این اسکنر معایب خاص خود را دارا می‌باشد. از معایب آن می‌توان به تفکیک‌پذیری نسبتاً کم و نیز تسلط کم بر روی قطعات هنگام اسکن اشاره کرد.

برای اسکن کردن نمونه‌ها علاوه بر چسباندن بر روی سطح اسکنر عوامل دیگری نیز در کیفیت دخیل هستند. برای مثال می‌توان به ظریف بودن برش مقاطع برای به حداقل رساندن اثر سایه اشاره کرد. دو نمونه مقطع استفاده شده در این پایان نامه در شکل‌های (۱-۳) نمایش داده شده است

این تصاویر خاکستری بوده و تصاویر ورودی الگوریتم می‌باشند. مقاطع باید به صورت صاف و ظریف برش داده شوند اما همانطور که در تصاویر مشخص می‌باشد این مقاطع به طور کامل دارای این ویژگی نمی‌باشند و دارای ناهمواری‌ها و همچنین قطر نسبتاً زیادی می‌باشند که همین موضوع سبب بوجود آمدن مقداری سایه در لبه‌ها شده است. اما حداقل کیفیت لازم برای استفاده در الگوریتم را دارا می‌باشند. پس از تهیه تصاویر مناسب، مرحله دوم الگوریتم یعنی انتخاب حد آستانه مناسب برای دودویی ساختن تصاویر شروع می‌شود.



شکل ۱-۳ دو مقطع نمونه استفاده شده

## ۲-۳ الگوریتم روش اول

تصاویر ورودی خاکستری می‌باشد و این تصاویر برای استفاده در مراحل بعد باید به تصاویر دودویی تبدیل شود. انتخاب حد آستانه برای داشتن دقت مورد نظر بسیار حیاتی و مهم می‌باشد، زیرا این مرحله مقدمه‌ای برای لبه‌یابی تصاویر می‌باشد و در حقیقت پایه اصلی الگوریتم این مرحله می‌باشد. همانطور که در قسمت‌های قبل ذکر شد دو روش برای بدست آوردن حد آستانه استفاده شده است. روش اول استفاده از الگوریتم مرسوم اتسو و روش دوم استفاده از قطعات استاندارد در یک الگوریتم ابتکاری می‌باشد.

### ۱-۲-۳ الگوریتم آستانه گذاری اتسو

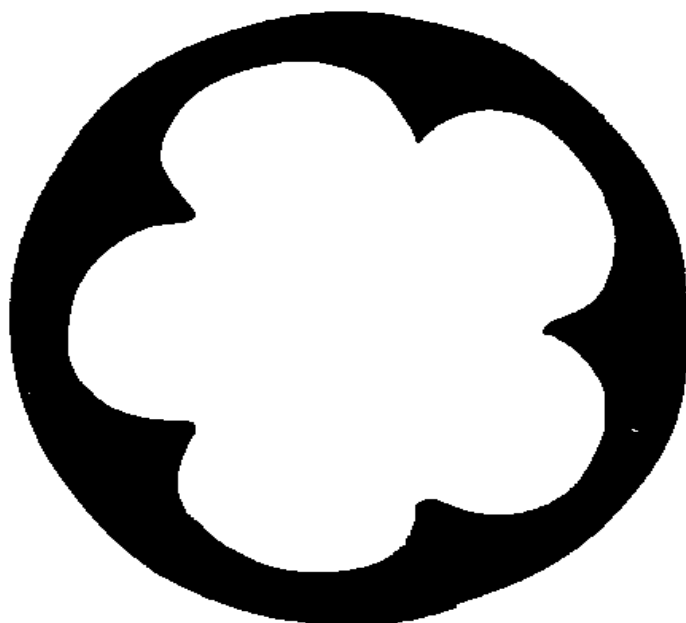
در روش اول از الگوریتم اتسو که تئوری آن در فصل ۲ آورده شده، استفاده شده است. ابتدا الگوریتم اتسو بر روی تصویر قطعه مورد نظر اجرا می‌شود. خروجی این الگوریتم یک حد آستانه می‌باشد که این حد آستانه برای چند مقطع مورد بررسی بدست آورده شده است. پس از بدست آوردن حد آستانه از آن برای دودویی ساختن تصاویر استفاده می‌شود. روند کار بدین صورت می‌باشد که روشنایی تمام پیکسل‌های تصاویر با حد آستانه تعیین شده با الگوریتم اتسو مقایسه می‌شود. روشنایی‌های بالای حد آستانه سفید یا همان یک و روشنایی‌های پایین حد آستانه سیاه یا صفر در نظر گرفته می‌شوند. در شکل (۲-۳) تصاویر خاکستری و در شکل (۳-۳) تصویر را پس از دودویی ساختن به وسیله الگوریتم اتسو نمایش داده شده است.

---

<sup>1</sup> Pixel



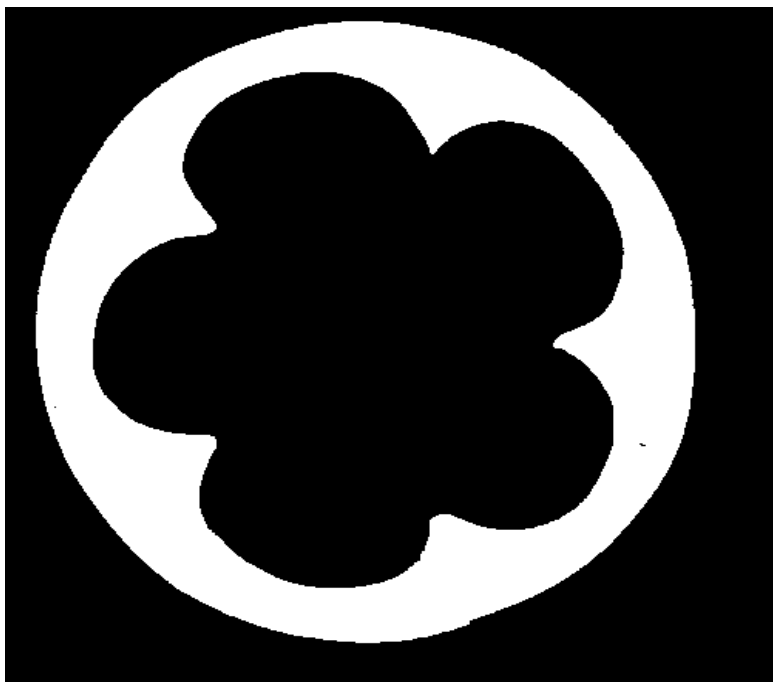
شکل ۲-۳ تصویر خاکستری اسکن شده ورودی



شکل ۳-۳ تصویر مقطع پس از دودویی ساختن با استفاده از الگوریتم اتسو

لازم به ذکر است که پس از دودویی ساختن تصاویر روشنایی آن معکوس می‌شود، در واقع

پیکسل‌های یک صفر می‌شوند و بالعکس. شکل (۴-۳) خروجی این عمل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ تصویر مقطع کابل پس از معکوس کردن روشنایی‌ها

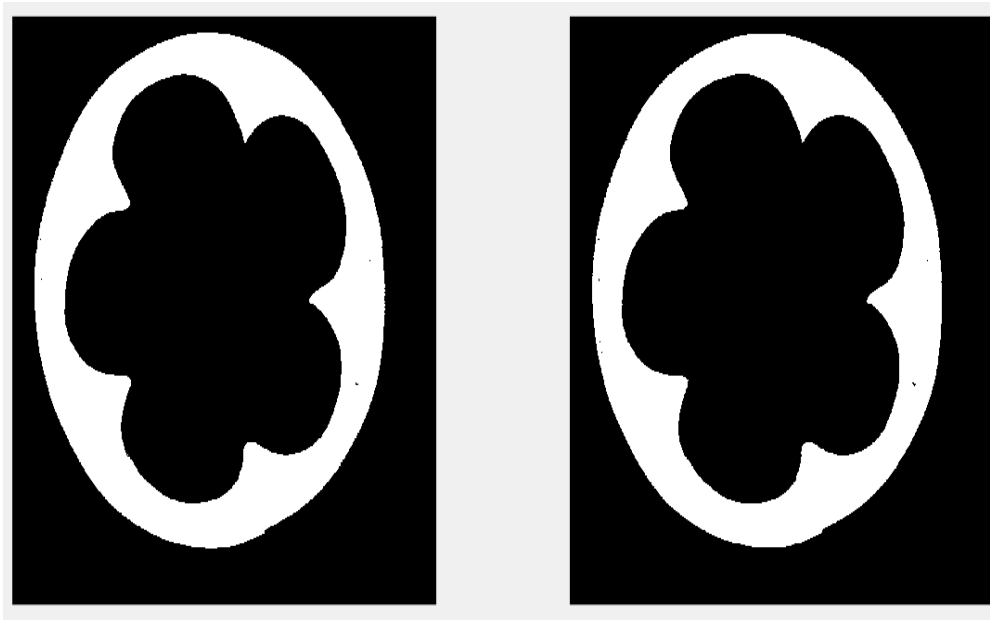
حال تصاویر دودویی مورد نظر در دسترس می‌باشد. در ادامه به روند اجرای مرحله بعد یعنی لبه‌یابی اشاره خواهد شد.

### ۳-۲-۲ لبه‌یابی

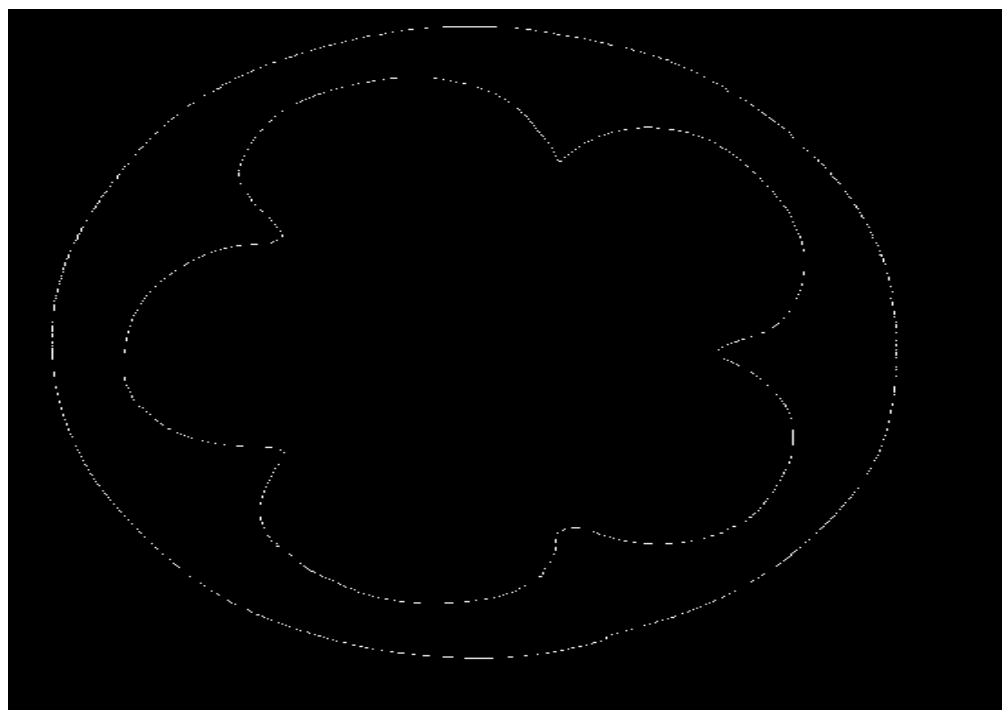
پس از تعیین حد آستانه و دودویی ساختن تصاویر، مرحله لبه‌یابی شروع می‌شود. روش مورد استفاده در این پایان‌نامه برای لبه‌یابی استفاده از عملگرهای ریخت شناسی می‌باشد. روش کار بدین‌صورت است که ابتدا با استفاده از یک عنصر ساختمانی که در اینجا یک دیسک با شعاع یک پیکسل می‌باشد، مقطع سایش داده می‌شود. شکل (۳-۵) مقطع را قبل و بعد از سایش نمایش می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود تغییرات بسیار اندک می‌باشند و با چشم قابل تشخیص نیستند. علت این موضوع استفاده از یک دیسک کوچک  $3 \times 3$  برای سایش می‌باشد. سپس برای بدست آوردن لبه‌ها، مقطع سایش داده شده از مقطع اصلی کم می‌شود. پس از این عملیات لبه‌های داخلی و خارجی مقطع کابل باقی می‌مانند. ضخامت این لبه‌ها یک پیکسل می‌باشد که این ضخامت وابسته به عنصر

ساختمانی می‌باشد که با آن مقطع سایش داده شده است. لبه‌های بدست آمده از این روش در شکل (۶-)

(۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵ تصویر مقطع کابل قبل (شکل سمت چپ) و بعد از عملیات سایش (شکل سمت راست)

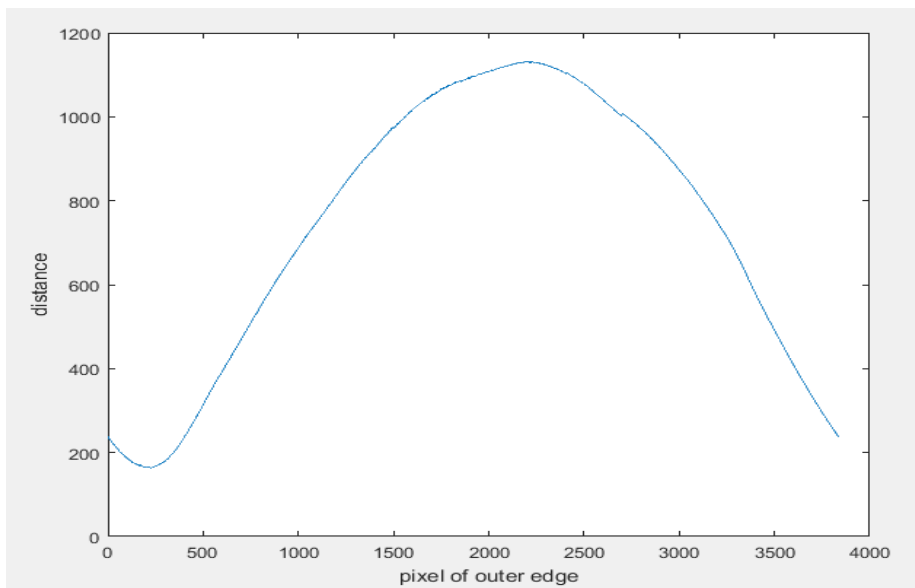


شکل ۳-۶ تصویر مقطع کابل پس از لبه‌یابی با استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی

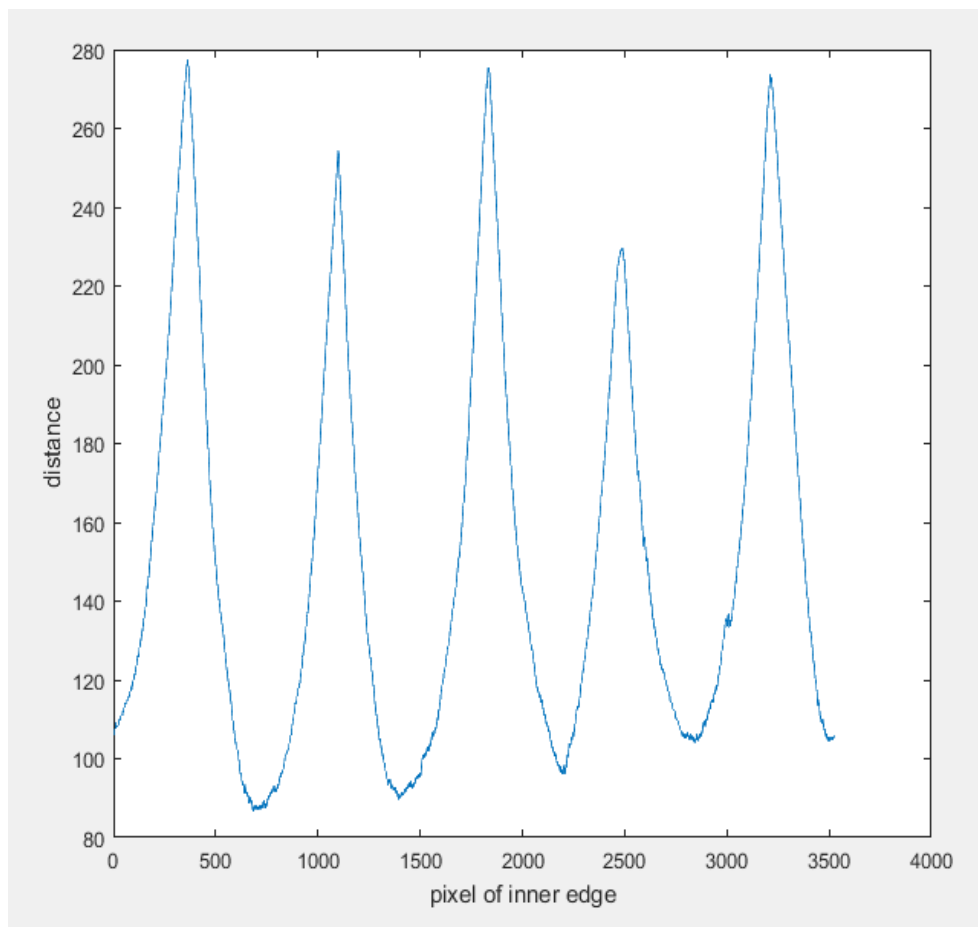


### ۳-۲-۳ اندازه‌گیری ضخامت

برای تعیین حد آستانه از الگوریتم اتسو استفاده شده بود. حال پس از لبه‌یابی، عملیات اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری ضخامت مقطع کابل باید فاصله بین دو لبه داخلی و خارجی را بدست آورد. برای اندازه‌گیری این فاصله روش‌های مختلفی می‌تواند وجود داشته باشد. روشی که در اینجا استفاده شده است به این صورت است که فاصله اقلیدسی هر پیکسل از لبه داخلی را از تمام نقاط لبه خارجی بدست آورده و کمترین مقدار این فواصل به عنوان فاصله معیار در نظر گرفته می‌شود. شکل (۷-۳) منحنی این فواصل را برای یک پیکسل از لبه داخلی نمایش می‌دهد. برای تمامی پیکسل‌های لبه داخلی این عملیات انجام داده شده و یک منحنی برای فواصل دو لبه از هم بدست می‌آید. در حقیقت این منحنی ضخامت مقطع کابل را نمایش می‌دهد. شکل (۸-۳) منحنی ضخامت یک مقطع کابل را نمایش می‌دهد.



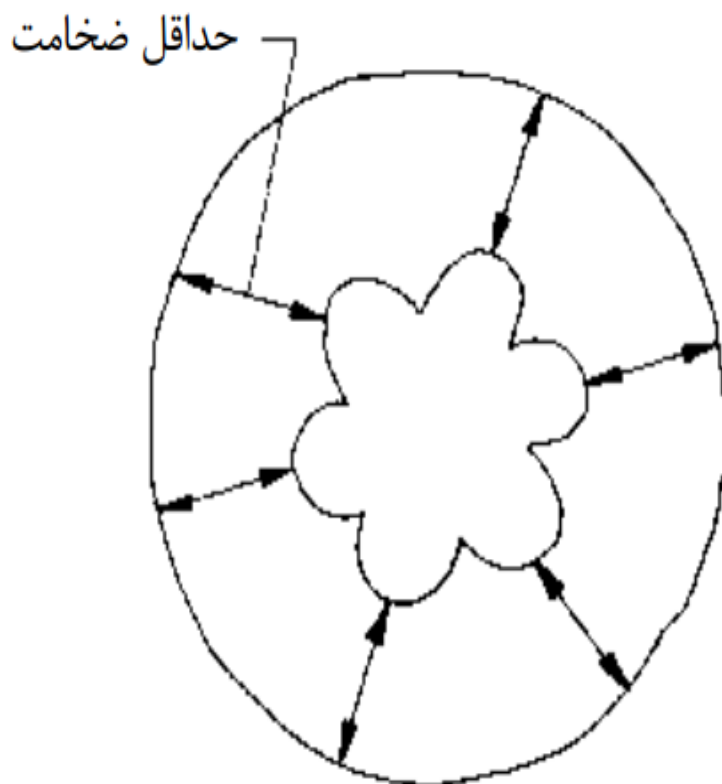
شکل ۷-۳ منحنی فواصل یک پیکسل از لبه داخلی نسبت به تمام پیکسل‌های لبه خارجی، که محور افقی شماره پیکسل از لبه خارجی و محور عمودی میزان فاصله از آن پیکسل را نشان می‌دهد



شکل ۳-۸ منحنی فواصل تمام پیکسل‌های لبه داخلی. محور افقی شماره پیکسل لبه داخلی و محور عمودی میزان ضخامت در آن پیکسل را نشان می‌دهد

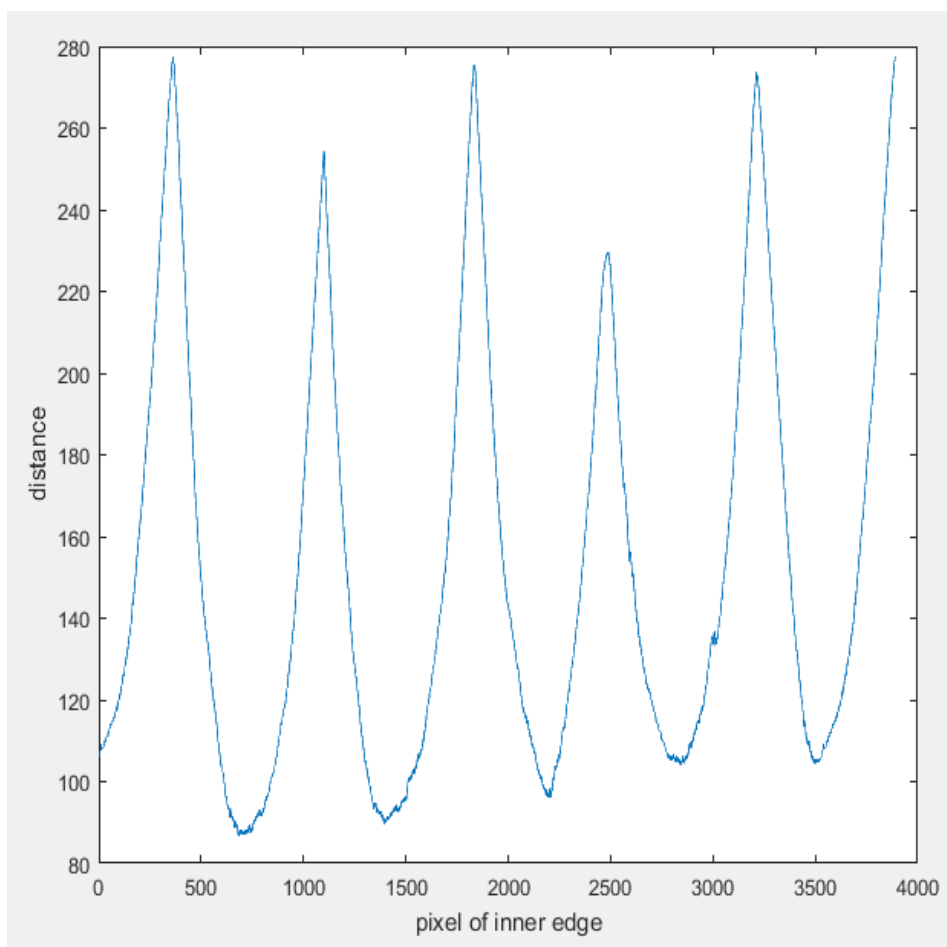
همان طور که مشاهده می‌شود این منحنی دارای پنج بیشینه می‌باشد که به علت استفاده از یک مقطع کابل گرد پنج رشته‌ای می‌باشد. پس از آن باید کمینه‌ی این ضخامت‌ها براساس استانداردهای بین‌المللی محاسبه شود. برای مثال روش بدست آوردن کمینه‌ها برای یک کابل شش رشته‌ای مانند شکل (۳-۹) می‌باشد. روش برای کابل پنج رشته‌ای نیز همانند کابل شش رشته‌ای می‌باشد با این تفاوت که پنج کمینه مورد نیاز است.

برای یافتن محدوده محاسبه کمینه‌ها برای کابل پنج رشته‌ای روش کار بدینصورت می‌باشد که در منحنی فواصل ابتدا پنج بیشینه مشخص خواهد شد. حال در بین هر دو بیشینه یک کمینه مشخص خواهد شد که این کمینه، در حقیقت مشخص کننده یکی از پنج کمینه مورد نظر در یک کابل پنج رشته‌ای است.

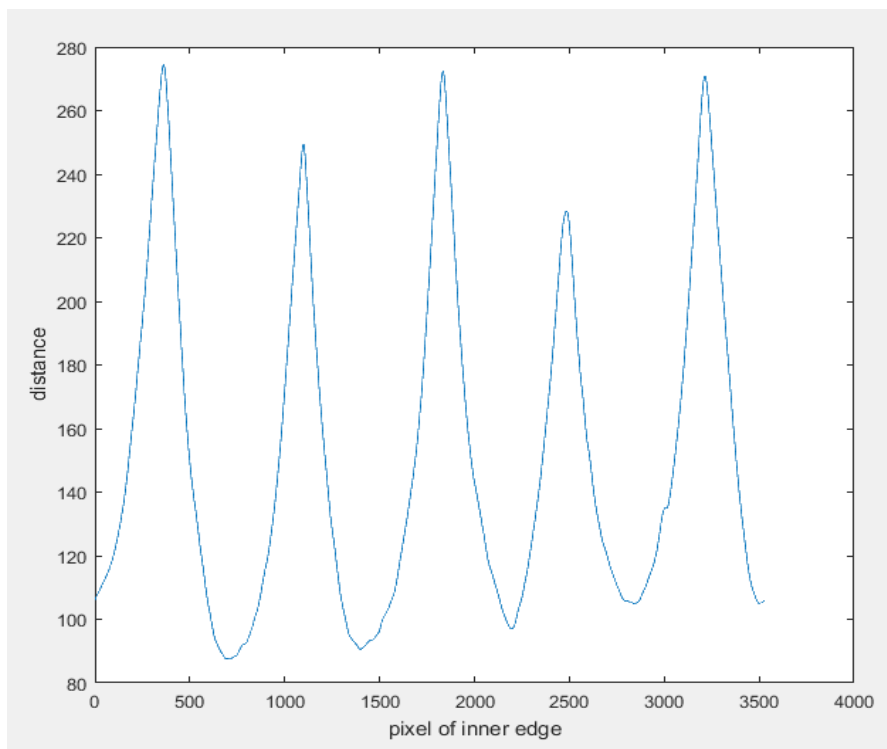


شکل ۳-۹ یک نمونه روش اندازه‌گیری در استانداردهای بین‌المللی

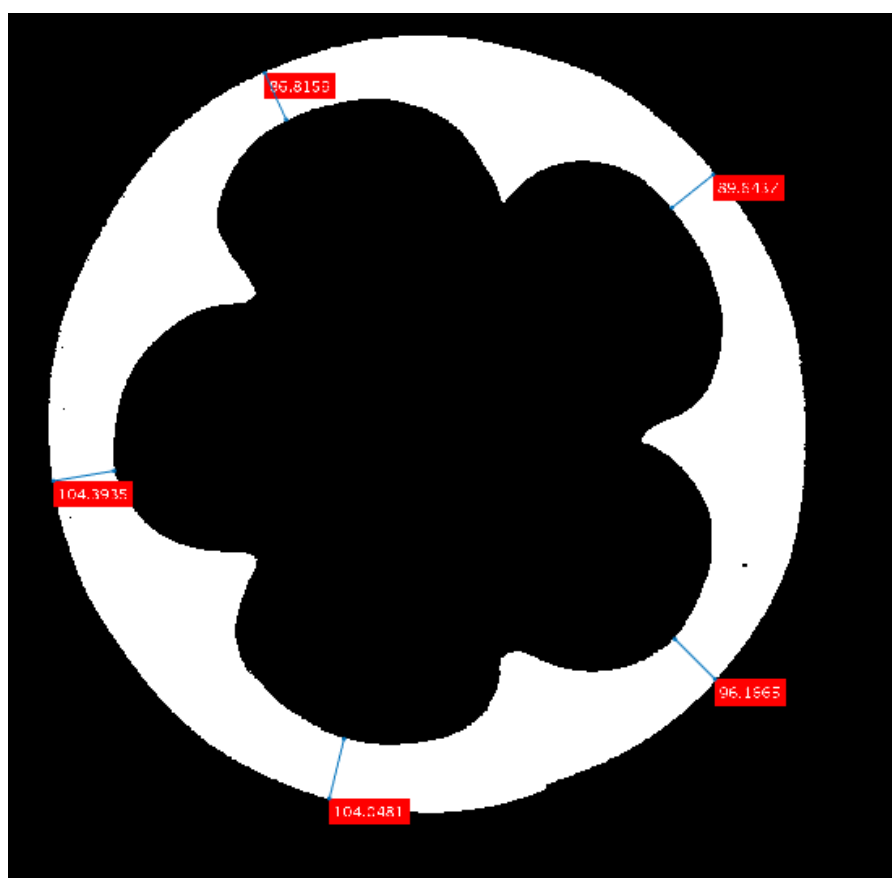
کمینه شماره یک بین بیشینه یک و دو قرار دارد و بقیه نیز به همین منوال، البته برای محاسبه کمینه شماره پنج، ابتدا فواصل بین صفر تا بیشینه اول را به انتهای فواصل اضافه کرده تا برای محاسبه این کمینه مشکلی بوجود نیاید. در شکل (۳-۱۰) منحنی بدست آمده پس از این تغییرات مشاهده می‌شود. در واقع کمینه شماره پنج بین بیشینه شماره پنج و بیشینه شماره یک قرار خواهد داشت. پس از انجام این مراحل، پنج کمینه بدست آورده خواهد شد که در واقع همان پنج کمینه مورد نظر در استاندارد خواهند بود. همانطور که در شکل (۳-۱۰) مشاهده می‌کنید منحنی فواصل بسیار غیر یکنوا می‌باشد، بنابراین یافتن بیشینه‌ها تا حدی دشوار می‌باشد. برای رفع این مشکل و از آنجا که مکان دقیق بیشینه‌ها مهم نیست، منحنی شکل با استفاده از فیلتر میانگین متحرک صاف شده است.



شکل ۳-۱۰ منحنی ضخامت پس از اضافه کردن قمست بین صفر تا بیشینه اول به آخر منحنی ضخامت شکل (۳-۸) شکل (۳-۱۱) این منحنی را پس از اعمال این فیلتر نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، پیدا کردن بیشینه‌ها در شکل (۳-۱۱) بسیار ساده‌تر است. زیرا بدون استفاده از فیلتر بیشینه‌های زیاد در طول منحنی وجود دارند که با صاف کردن منحنی این بیشینه‌ها از بین می‌روند و تعداد بیشینه‌های محلی کمتر می‌شود. پس از انجام مراحل بالا پنج کمینه برای یک مقطع کابل پنج رشته‌ای گرد بدست آورده می‌شود که این پنج کمینه و موقعیت قرارگیری آنها در شکل (۳-۱۲) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید محل قرارگیری این پنج کمینه کاملاً مطابق استانداردها (IEC) است. تا اینجا مقدار ضخامت‌ها بر حسب پیکسل محاسبه شده است. اکنون باید یک مرحله کالیبراسیون اجرا و مقدار ضخامت‌ها در مقیاس متریک و بر حسب میلی‌متر محاسبه شود.



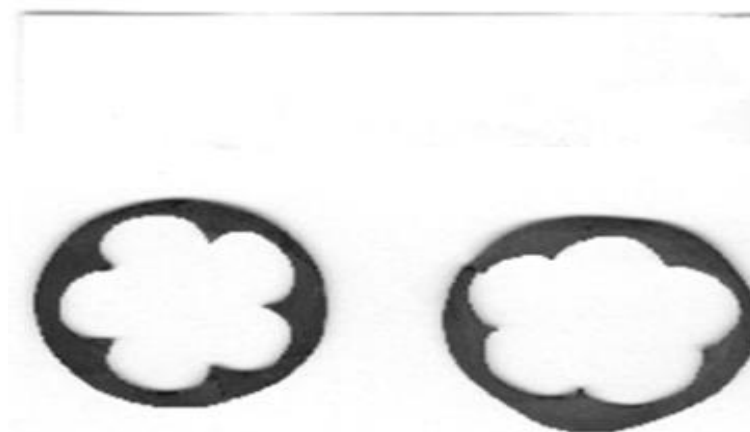
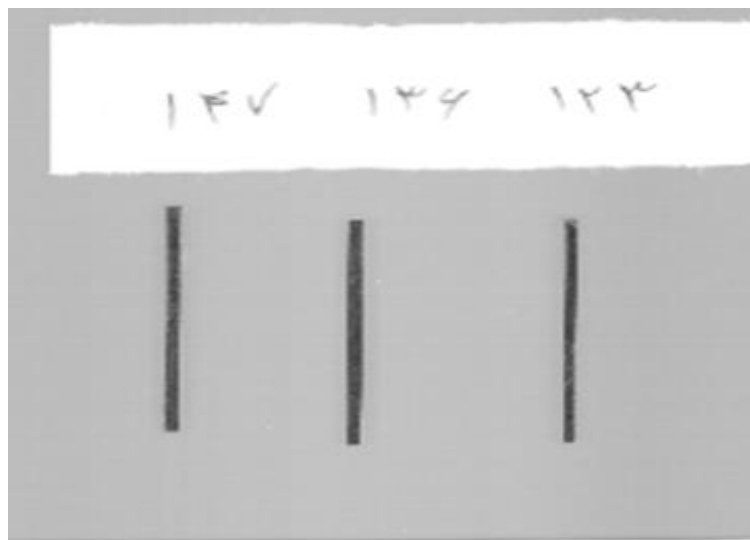
شکل ۳-۱۱ منحنی ضخامت پس از اعمال فیلتر میاگین متحرک بر روی منحنی شکل (۳-۱۰)



شکل ۳-۱۲ محل دقیق قرارگیری پنج کمینه بر روی تصویر مقطع کابل و مقدار این کمینه‌ها در مقیاس پیکسل

### ۳-۲-۴ کالیبراسیون

روش کالیبراسیون به این صورت است که از مقاطع مورد نظر و مقاطع استاندارد همزمان اسکن انجام می‌شود. در شکل (۳-۱۳) یک نمونه اسکن انجام شده به این صورت مشاهده می‌شود. از این مقاطع استاندارد به منظور کالیبراسیون استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱۳ تصاویر مقاطع استاندارد و کابل در یک تصویر. اعداد بالای مقاطع استاندارد مقدار دقیق اندازه آن‌ها را در واحد مقیاس متریک (میلی‌متر\*۱۰۰) نمایش می‌دهد

از آنجا که نمی‌توان بصورت دقیق قطعات استاندارد را عمود بر محور افق قرار داد، پس از اسکن و دودویی ساختن تصاویر با استفاده از الگوریتم اتسو، برای یافتن راستای قطعات استاندارد از تبدیل هاف استفاده می‌شود. با استفاده از تبدیل هاف خطی راستای بلندترین خط تشخیص داده شده را به عنوان راستای قطعه در نظر گرفته و ضخامت قطعه بر روی راستای عمود بر این راستا محاسبه می‌شود. در شکل (۳-۱۴) نتیجه اعمال تبدیل هاف را بر روی یک قطعه استاندارد برای مشخص شدن راستای بلندترین خط که همان راستای قطعه می‌باشد، مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۱۴ یک نمونه مقطع استاندارد پس از اعمال تبدیل هاف. خط‌های سبز، خط‌های تشخیص داده شده توسط تبدیل هاف را نشان می‌دهد و خط قرمز بلندترین خط را مشخص می‌کند. در نتیجه خط قرمز راستای مقطع را مشخص می‌کند

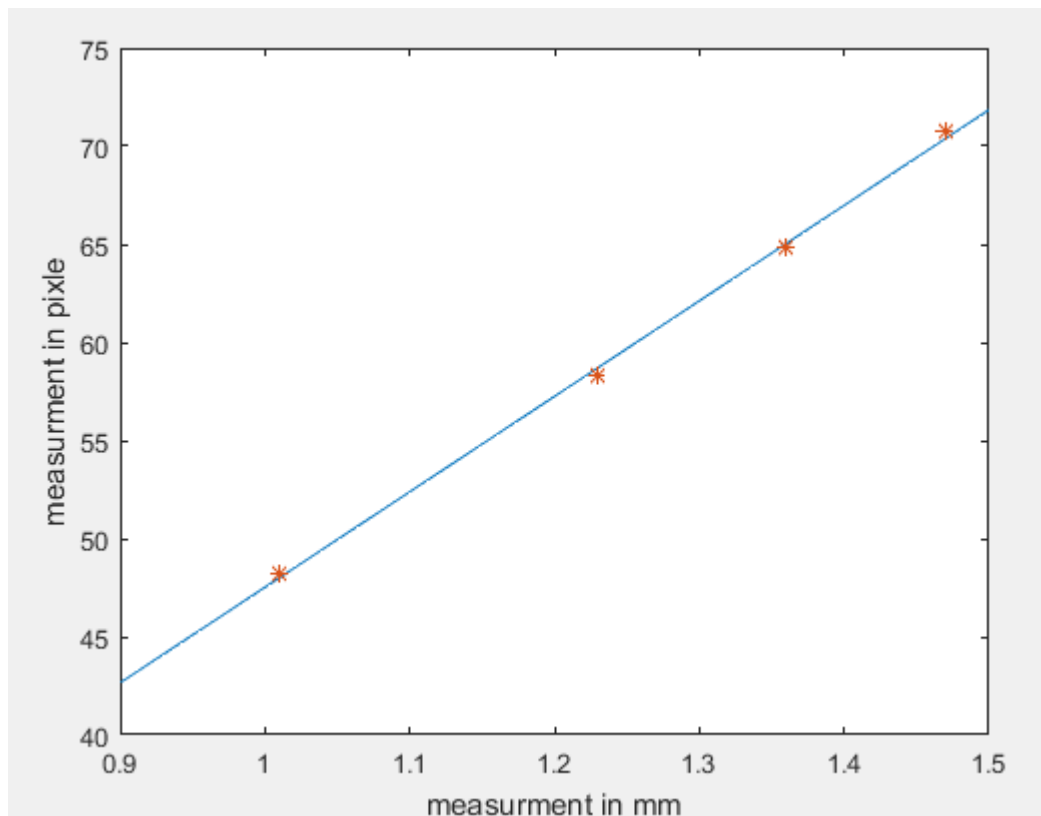
خط قرمز رنگ در این شکل مشخص کننده راستای این قطعه می‌باشد. در نتیجه در راستای عمود بر راستای خط قرمز رنگ ضخامت محاسبه می‌شود. برای بالا بردن دقت، ضخامت قطعه را در تمام سطرها محاسبه و میانگین این ضخامت‌ها به عنوان ضخامت کل قطعه در نظر گرفته می‌شود. برای دیگر قطعات استاندارد نیز ضخامت به همین روش محاسبه می‌شود. این قطعات استاندارد دارای ضخامت مشخص و دقیق می‌باشند.

برای کالیبراسیون دو روش در نظر در گرفته شده است. با توجه به وجود چهار قطعه استاندارد و استفاده از آن‌ها برای کالیبراسیون، روش اول استفاده از دو قطعه برای برازش یک خط به عنوان خط کالیبراسیون می‌باشد. روش کار بدین صورت می‌باشد که یک دستگاه مختصات در نظر گرفته می‌شود که بر روی محور افقی آن ضخامت قطعات استاندارد در مقیاس پیکسلی و بر محور عمودی آن ضخامت قطعات استاندارد در مقیاس متریک با واحد میلی‌متر نشان داده می‌شود. برای هر قطعه استاندارد بر روی دستگاه مختصات یک نقطه در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه چهار نقطه روی دستگاه مختصات قرار خواهد داشت، برای محاسبه معادله خط از دو نقطه ابتدایی و انتهایی استفاده شده و معادله یک خط محاسبه می‌شود. از نقطه سوم و چهارم برای سنجش میزان دقت این خط استفاده می‌شود. در روش دوم با توجه به ضخامت در مقیاس پیکسل و ضخامت در مقیاس متریک هر قطعه یک ضریب مشخص می‌شود. برای این کار نیز از دو قطعه استاندارد استفاده می‌شود در نتیجه دو ضریب تولید می‌شود که از میانگین این ضریب‌ها به عنوان ضریب کالیبراسیون استفاده می‌شود. در واقع مقدار پیکسلی محاسبه شده برای ضخامت‌ها در ضریب مشخص شده ضرب شده و مقدار واقعی بدست می‌آید. برای محاسبه خطای این روش از قطعه سوم و چهارم استفاده می‌شود. نتایج این روش‌ها در فصل چهارم نشان داده شده است.

پس از استفاده از دو مقطع استاندارد برای کالیبراسیون و مقایسه با قطعه سوم و چهارم، به منظور بالا بردن دقت قطعه سوم و چهارم نیز وارد فرآیند کالیبراسیون می‌شود. برای روش اول کالیبراسیون، چهار نقطه در صفحه مختصات وجود داشته و یک خط بر این سه نقطه برازش می‌شود که این خط به عنوان خط کالیبراسیون در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۳-۱۵) برازش یک خط را بر چهار نقطه مشاهده می‌کنید. در روش دوم کالیبراسیون یعنی استفاده از ضرایب، قطعه سوم و چهارم نیز توسط یک ضریب در کالیبراسیون شرکت کرده و ضریب کالیبراسیون با میانگین گیری از چهار ضریب بدست آمده مشخص خواهد شد.



برای بدست آوردن ضخامت مقاطع نمونه در مقیاس متریک از این دو روش کالیبراسیون استفاده خواهد شد و نتایج آن با هم مقایسه می‌شود. این مقایسه نیز در فصل چهارم گنجانده شده است.



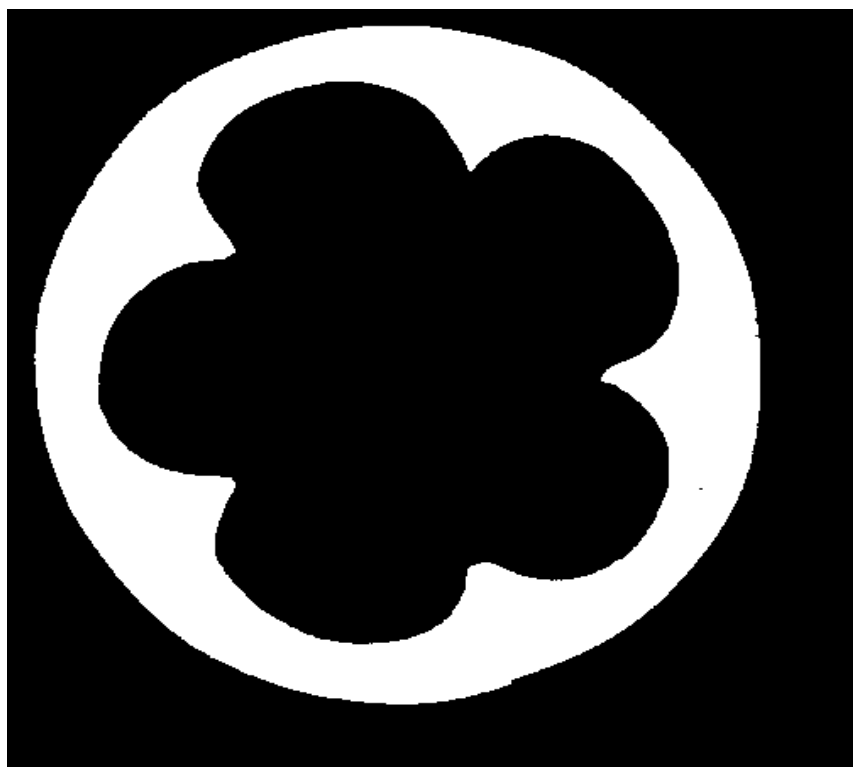
شکل ۳-۱۵ خط برازش شده بر چهار نقطه مشخص کننده چهار قطعه استاندارد

با اجرای مراحل بالا برای یک کابل پنج رشته‌ای گرد، پنج کمینه اندازه‌گیری شده و مقدار دقیق این کمینه‌ها در مقیاس متریک مشخص خواهد شد. روش بکار برده شده برای این قسمت استفاده از الگوریتم اتسو برای محاسبه حد آستانه بود. در ادامه به توضیح روش دوم تعیین این حد آستانه پرداخته خواهد شد. روش دوم که یک روش پیشنهادی می‌باشد، برای مقایسه با روش اتسو طراحی شده است و در پایان نتایج این دو روش باهم مقایسه شده است.

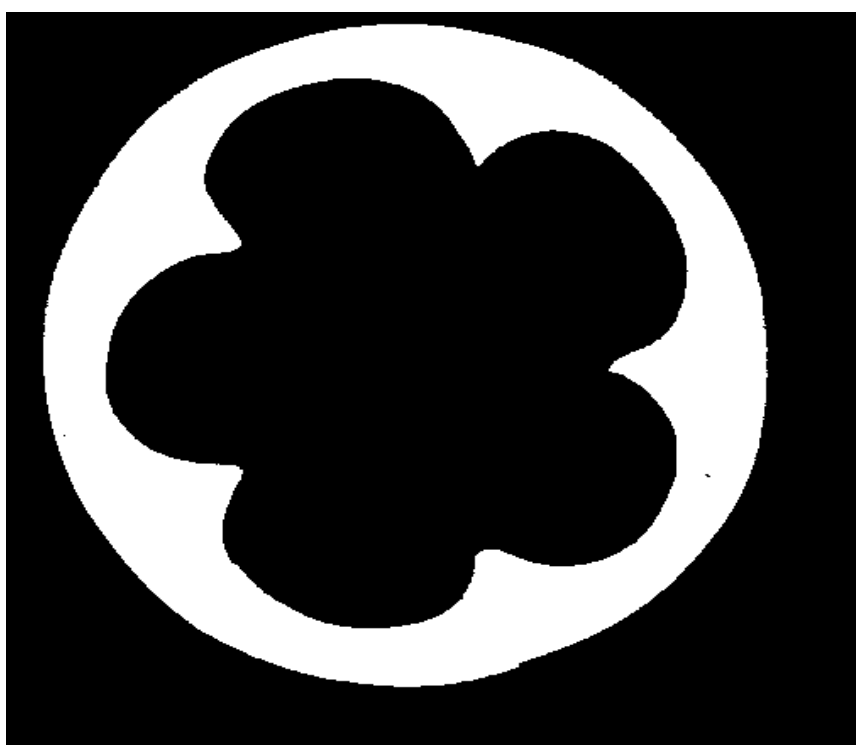
### ۳-۳ الگوریتم روش دوم

در این روش برای انتخاب حد آستانه در ابتدا یک محدوده برای آن در نظر گرفته می‌شود، که این محدوده ثابت و با توجه به میانگین روشنایی مقطع کابل مشخص می‌شود. روش انتخاب بدین صورت می‌باشد که میانگین روشنایی قسمت‌های خاکستری که قطعه در آن قرار دارد مشخص می‌شود، سپس برای مشخص کردن محدوده یک مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شود. در واقع حد پایین این محدوده بوسیله کم کردن مقدار ثابت از میانگین روشنایی‌ها مشخص می‌شود و حد بالا با اضافه کردن این ثابت مشخص خواهد شد.

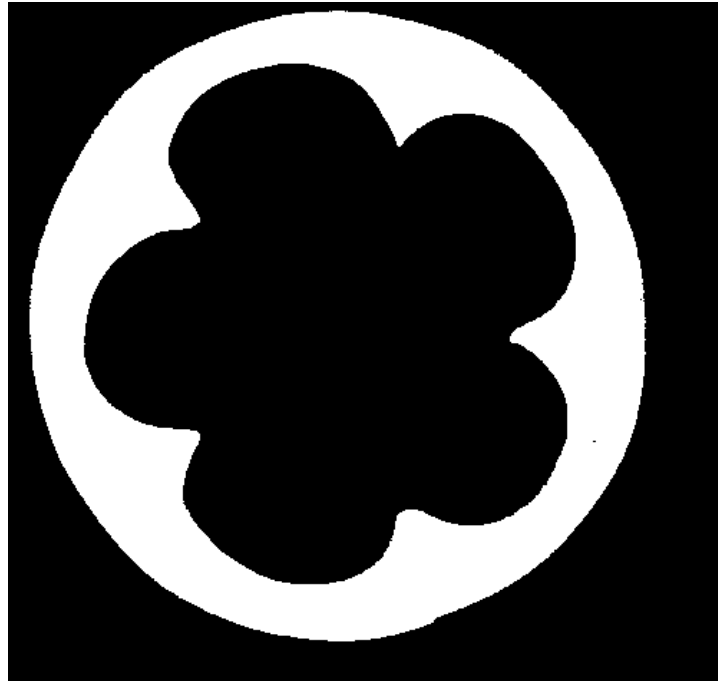
پس از مشخص کردن محدوده، برای هر مقدار از این محدوده آستانه گذاری انجام می‌شود. در واقع هر یک از اعداد این محدوده به عنوان حد آستانه بصورت جداگانه بر تصویر اعمال می‌شوند. پس از آستانه گذاری، یک تصویر دودویی مربوط به آن حد آستانه تولید می‌شود. لازم به ذکر است تصاویر مورد استفاده شامل مقطع مورد نظر و نیز قطعات استاندارد می‌باشد. پس از اعمال تبدیل هاف بر روی مقاطع استاندارد و تعیین راستا، ضخامت مقاطع طبق روش گفته شده در قسمت (۴-۲-۳) محاسبه می‌شود. تا این مرحله، برای هر حد آستانه ضخامت قطعات استاندارد اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی آن‌ها نیز مشخص می‌باشد. حال به منظور کالیبراسیون از روش ضرایب کالیبراسیون گفته شده در قسمت (۴-۲-۳) استفاده می‌شود. در اینجا از هر چهار قطعه استاندارد برای کالیبراسیون استفاده می‌شود. ابتدا یک ضریب کالیبراسیون برای هر قطعه استاندارد تعیین می‌شود. سپس واریانس چهار ضریب بدست آمده محاسبه می‌شود. برای تمام حد آستانه‌ها در محدوده تعیین شده، این ضرایب و واریانس آن‌ها محاسبه می‌شود. در پایان حد آستانه‌ای که واریانس ضرایب مربوط به آن کمینه باشد به عنوان حد آستانه مطلوب تعیین می‌شود و نیز ضریب کالیبراسیون با میانگین‌گیری از چهار ضریب آن حد آستانه بدست خواهد آمد. شکل‌های (۳-۱۶ و ۳-۱۷) تصاویر را بعد از اعمال چند حد آستانه مختلف نمایش می‌دهد و شکل (۳-۱۸) تصاویر را با اعمال حد آستانه برگزیده (۱۷۷) نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۶ مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۷۰



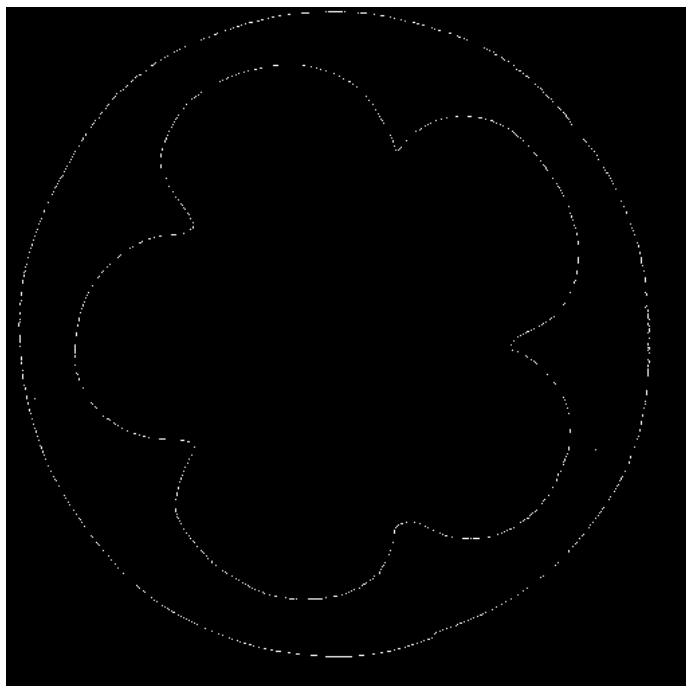
شکل ۳-۱۷ مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۶۰



شکل ۳-۱۸ تصویر مقطع کابل پس از اعمال حد آستانه ۱۷۷

با توجه به روند ذکر شده، ملاحظه می‌شود این روش دارای محاسنی می‌باشد که از آن می‌توان به دقت بالا و تطبیقی بودن آن اشاره کرد. پس از انتخاب حد آستانه و اعمال آن به تصاویر، یک تصاویر دودویی برای ادامه مراحل مهیا می‌باشد. مرحله بعدی مانند روش قبل، لبه‌یابی تصاویر می‌باشد که روند کار مشابه روش قبل می‌باشد و از عملگرهای ریخت شناسی برای لبه‌یابی استفاده شده است. یک مرحله سایش روی تصاویر اعمال شده و از تصاویر اصلی کم می‌شود. مانند روش قبل لبه‌های داخلی و خارجی مقطع کابل با ضخامت یک پیکسل نتیجه اعمال این الگوریتم می‌باشد. شکل (۳-۱۹) تصاویر لبه‌یابی شده را نمایش می‌دهد.

حال باید ضخامت مقطع در تمام سطح آن محاسبه شود، که این قسمت نیز همانند روش قبل می‌باشد و فاصله هر پیکسل از لبه داخلی با تمام پیکسل‌های لبه خارجی محاسبه شده و کمینه این فاصله‌ها به عنوان ضخامت در آن نقطه در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه ضخامت در تمام نقاط برای یک کابل پنج رشته‌ای گرد، کمینه این ضخامت‌ها همانند روش قبل محاسبه می‌شود. روند محاسبه پنج کمینه همانند قسمت (۳-۲-۳) می‌باشد.



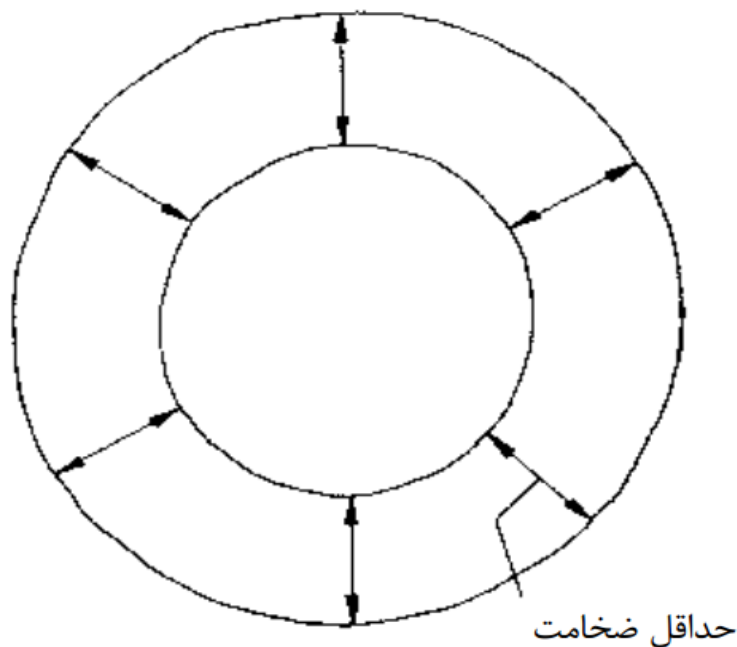
شکل ۳-۱۹ تصویر مقطع کابل پس از لبه‌یابی با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی

در اینجا پنج کمینه مورد نظر شناسایی شده‌اند و حال باید مقدار واقعی این کمینه‌ها محاسبه شود. برای کالیبراسیون و محاسبه این مقادیر از دو روش معرفی شده در قسمت (۴-۲-۳) یعنی ضرایب کالیبراسیون و خط کالیبراسیون استفاده می‌شود. در واقع مقادیر محاسبه شده در مقیاس پیکسل برای مقاطع در ضریب کالیبراسیون مشخص شده ضرب شده و نیز در معادله خط کالیبراسیون قرار داده می‌شود و مقدار واقعی محاسبه می‌شود. همان‌طور که ملاحظه نمودید تقریباً تنها تفاوت این دو روش در تعیین حد آستانه می‌باشد که در روش اول از الگوریتم اتسو و در روش دوم از الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.

### ۴-۳ دیگر مقاطع

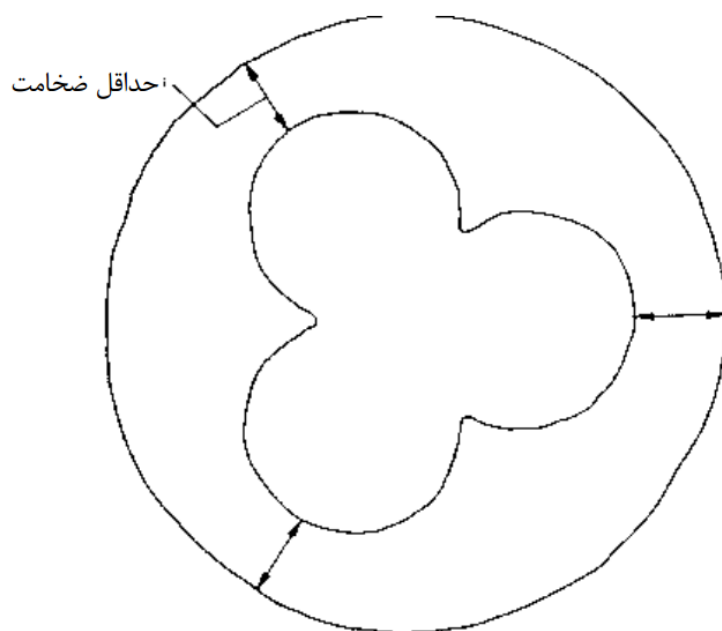
در این پایان‌نامه اساس کار بر روی مقطع کابل پنج رشته‌ای گرد بوده است. می‌توان این الگوریتم را برای مقاطع دیگر نیز تعمیم داد و با تغییرات مورد نیاز از آن برای اندازه‌گیری دیگر مقاطع موجود کابل استفاده کرد. در اینجا این الگوریتم برای مقطع کابل سه رشته‌ای گرد و نیز مقطع کابل گرد تعمیم داده شده است.

برای محاسبه کمینه‌ها در مقطع گرد طبق استاندارد، روند کار به مانند روند استفاده شده در کابل پنج رشته‌ای می‌باشد با این تفاوت که برای کابل پنج رشته‌ای، پنج کمینه محاسبه شد ولی برای کابل گرد شش کمینه مورد نیاز است. در شکل (۳-۲۰) استاندارد موجود برای این نوع کابل را مشاهده می‌کنید. تفاوت دیگر در تعیین محدوده هر کمینه می‌باشد که برای این نوع کابل لبه داخلی را به شش قسمت مساوی تقسیم کرده و در هر قسمت کمینه مشخص می‌شود. ادامه روند تعیین کمینه‌ها نیز کالیبراسیون همانند کابل پنج رشته‌ای می‌باشد.



شکل ۳-۲۰ روش استاندارد تعیین شده برای محاسبه کمینه‌ها در کابل گرد

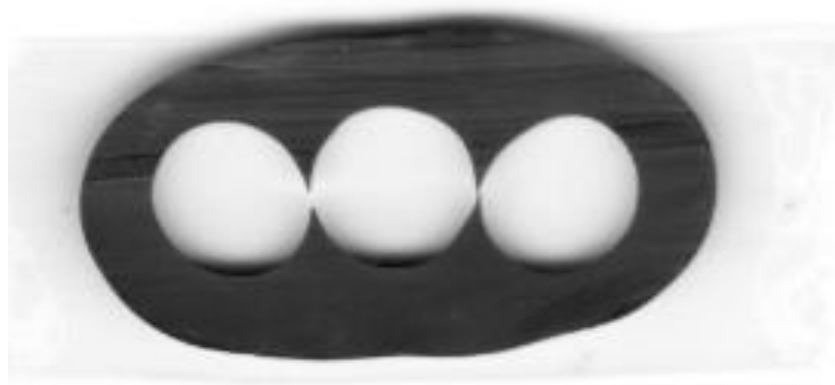
دیگر کابل مورد بررسی کابل سه رشته‌ای گرد می‌باشد که روند محاسبه کمینه‌ها در این نمونه کابل کاملاً مشابه روند بکاررفته در کابل پنج رشته‌ای می‌باشد و تنها تفاوت تعداد کمینه‌ها می‌باشد. در این نمونه کابل تعداد کمینه‌های مورد نظر سه عدد می‌باشد. شکل (۳-۲۱) استاندارد موجود برای این نمونه کابل را نمایش می‌دهد. ادامه روند الگوریتم در این نمونه نیز همانند کابل پنج رشته‌ای است.



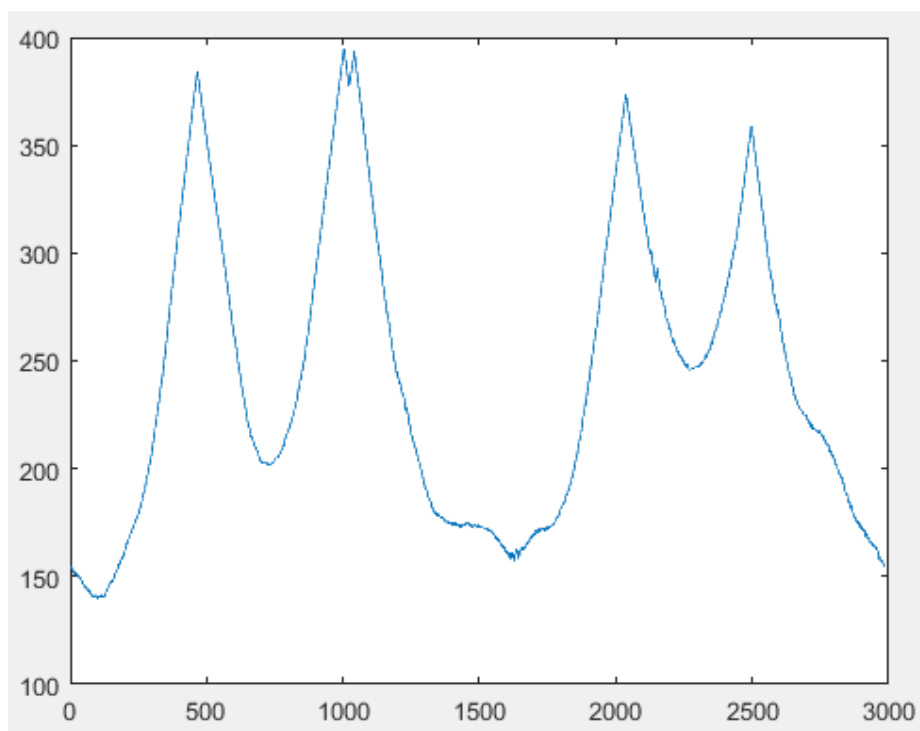
شکل ۳-۲۱ روش استاندارد تعیین شده برای محاسبه کمینه‌ها در مقطع سه رشته‌ای گرد

چهارمین مقطع مورد بررسی در این پایان‌نامه مقطع سه رشته‌ای تخت می‌باشد. این مقطع دارای تفاوت‌هایی نسبت به مقاطع قبلی می‌باشد. مهم‌ترین تفاوت تعداد کمینه‌ها می‌باشد که در این مقطع هشت کمینه مورد نظر است. الگوریتم در این نوع مقطع مانند مقاطع دیگر می‌باشد و تنها تفاوت تعیین محدوده این هشت کمینه می‌باشد. در شکل (۳-۲۲) یک نمونه از این نوع مقطع مشاهده می‌شود. روند تعیین محدوده متفاوت می‌باشد. پروفایل ضخامت برای این نوع کابل را در شکل (۳-۲۳) مشاهده می‌شود. پس از هموار ساختن این پروفایل با استفاده از فیلتر میانگین متحرک و مشخص کردن چهار بیشینه، باید محدوده کمینه‌ها مشخص شود. مکان حدودی کمینه‌ها بدین صورت می‌باشد که بین بیشینه اول و دوم، یک کمینه، بین بیشینه دوم و سوم، سه کمینه، بین بیشینه سوم و چهارم، یک کمینه و در نهایت بین بیشینه چهارم و بیشینه اول، سه کمینه وجود خواهد داشت. حال چالش این نوع مقطع تعیین محدوده برای سه کمینه موجود بین دو بیشینه می‌باشد. طبق استاندارد سه کمینه مربوط به هر کدام از رشته‌های کناری باید بطور مساوی این رشته را پوشش دهند. برای این کار

پیکسل‌های قرار گرفته در بین دو بیشینه به سه قسمت مساوی تقسیم شده و در هر قسمت کمینه محاسبه می‌شود. در نتیجه هشت کمینه مورد نظر مشخص خواهند شد.



شکل ۳-۲۲ یک نمونه مقطع کابل سه رشته‌ای تخت



شکل ۳-۲۳ پروفایل ضخامت مقطع سه رشته‌ای تخت



در فصل ۴ نتایج بدست آمده با استفاده از دو روش آستانه گذاری و نیز با استفاده از دو روش کالیبراسیون مقایسه شده است. این نتایج برای مقطع استاندارد سوم و نیز برای دو نمونه مقطع کابل پنج رشته‌ای بدست آورده شده است.

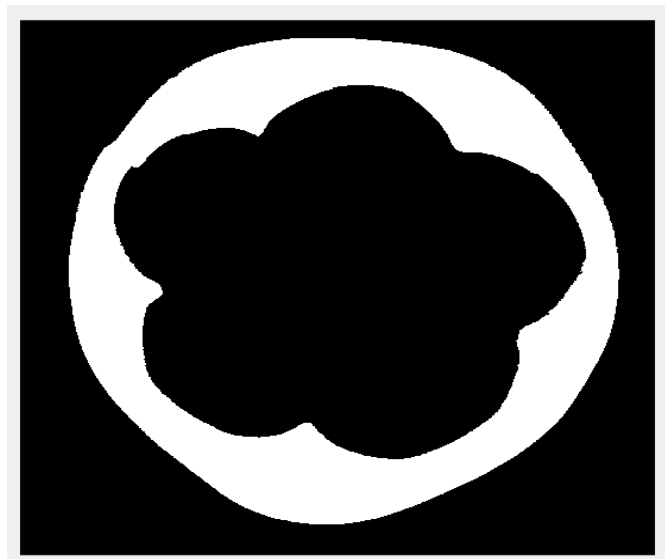


# فصل چهارم: نتایج و پیشنهاد راه‌کارهای

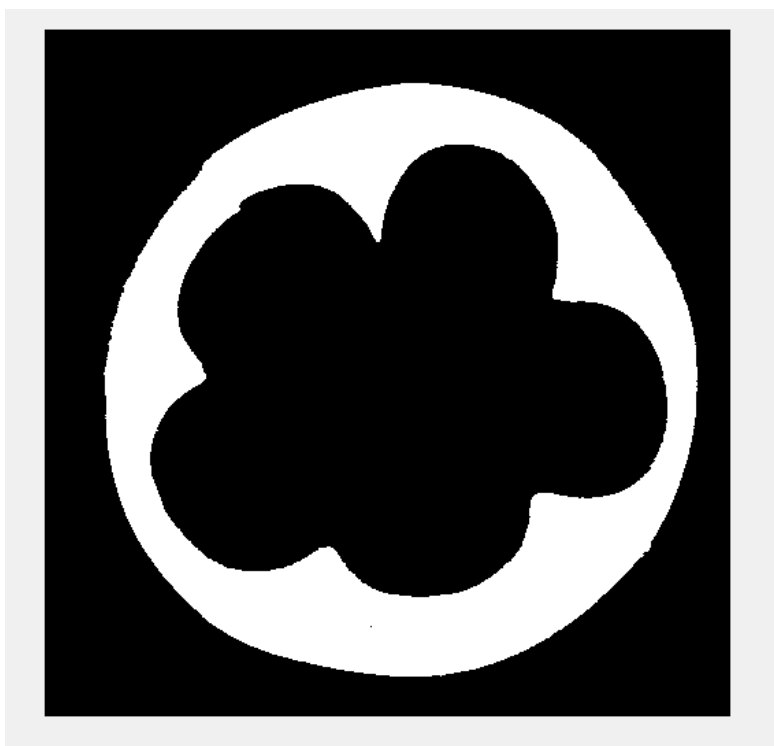
آینده

در این فصل نتایج بدست آمده از پیاده سازی روش‌های معرفی شده ارائه می‌شود. در ابتدا نتایج پیاده سازی دو روش بکاررفته برای تعیین حد آستانه مقایسه شده و سپس به بررسی نتایج پیاده سازی دو روش کالیبراسیون معرفی شده پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که، برای پیاده سازی در این پایان نامه از نرم‌افزار MATLAB R2015b استفاده شده است.

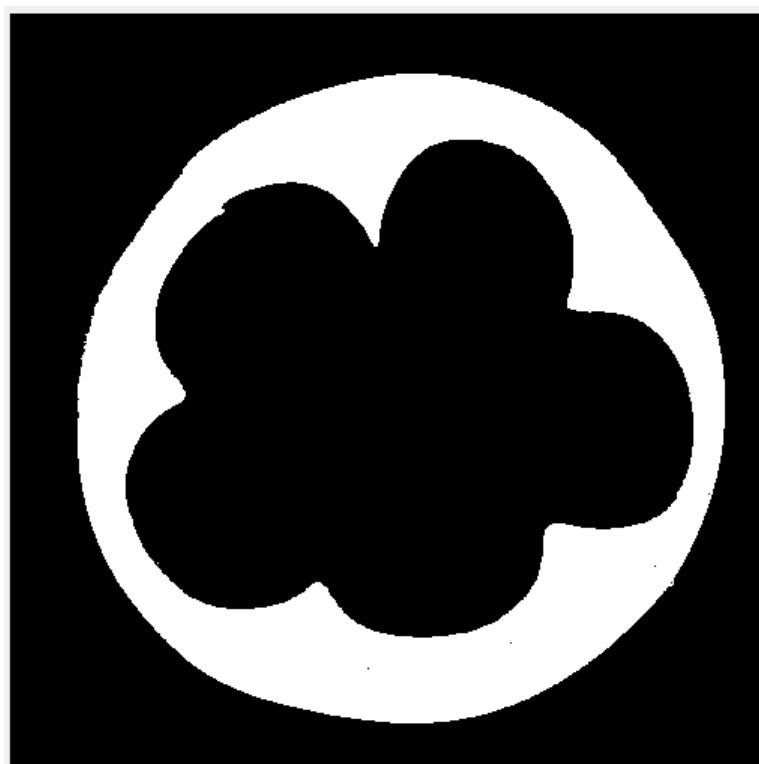
دو روش برای تعیین حد آستانه در فصل ۳ معرفی شده و نتایج حاصل از پیاده سازی این دو روش را در ادامه ملاحظه خواهید نمود. در این جا حد آستانه انتخاب شده توسط دو روش و نیز مقدار پیکسل محاسبه شده برای ضخامت‌ها، ملاک‌های مقایسه دو روش می‌باشند. برای مقایسه از دو مقطع کابل گرد پنج رشته‌ای استفاده شده است. حد آستانه انتخاب شده توسط روش اول یعنی الگوریتم اتسو برابر با ۱۵۵ و حد آستانه تعیین شده به وسیله روش دوم یعنی الگوریتم پیشنهادی برابر با ۱۷۷ می‌باشد. شکل‌های (۴-۴۳ و ۴-۴) دو مقطع را پس از اعمال حد آستانه اتسو و دودویی ساختن نمایش می‌دهد و در شکل‌های (۴-۴۱ و ۴-۲) این دو مقطع پس از اعمال حد آستانه مربوط به الگوریتم پیشنهادی و دودویی ساختن مشاهده می‌شود.



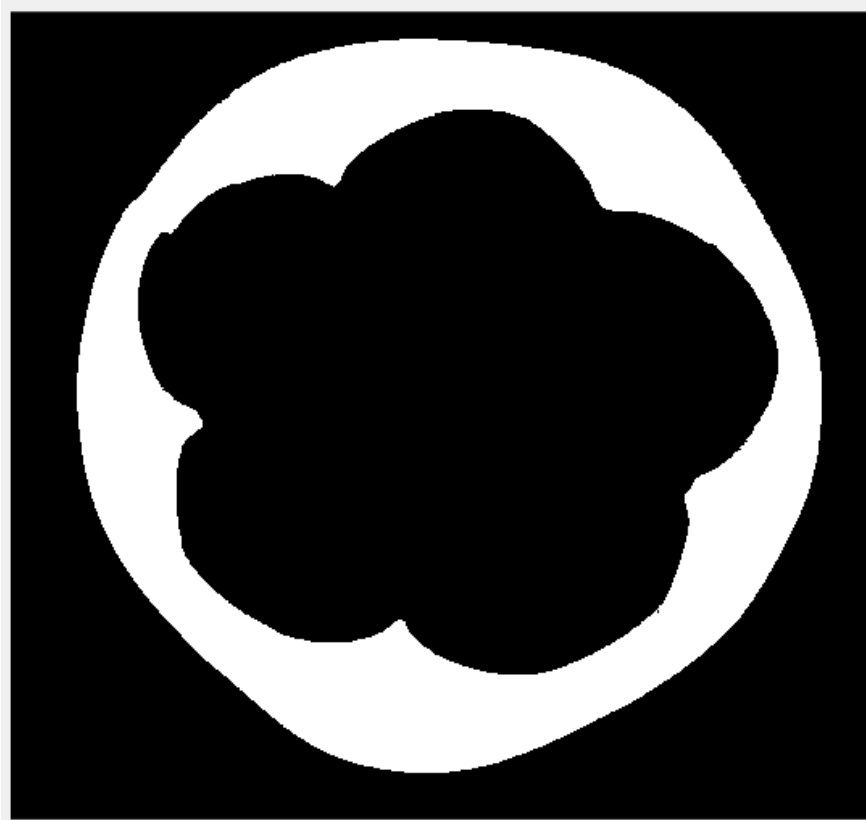
شکل ۴-۱ مقطع شماره ۱ با حد آستانه ۱۷۷



شکل ۲-۴ مقطع شماره ۲ با حد آستانه ۱۷۷



شکل ۳-۴ مقطع شماره ۱ با حد آستانه ۱۵۵



شکل ۴-۴ مقطع شماره ۲ با حد آستانه ۱۵۵

حال نتایج بدست آمده پس از اندازه‌گیری این دو مقطع به وسیله دو روش ذکر شده در جدول (۱-۴) و جدول (۲-۴) نمایش داده شده است. این اعداد در مقیاس پیکسلی بوده و نشان دهنده پنج کمیته اندازه‌گیری شده برای این مقاطع می‌باشند.

جدول ۱-۴ نتایج گزارش شده در مقیاس پیکسل برای مقطع نمونه شماره یک

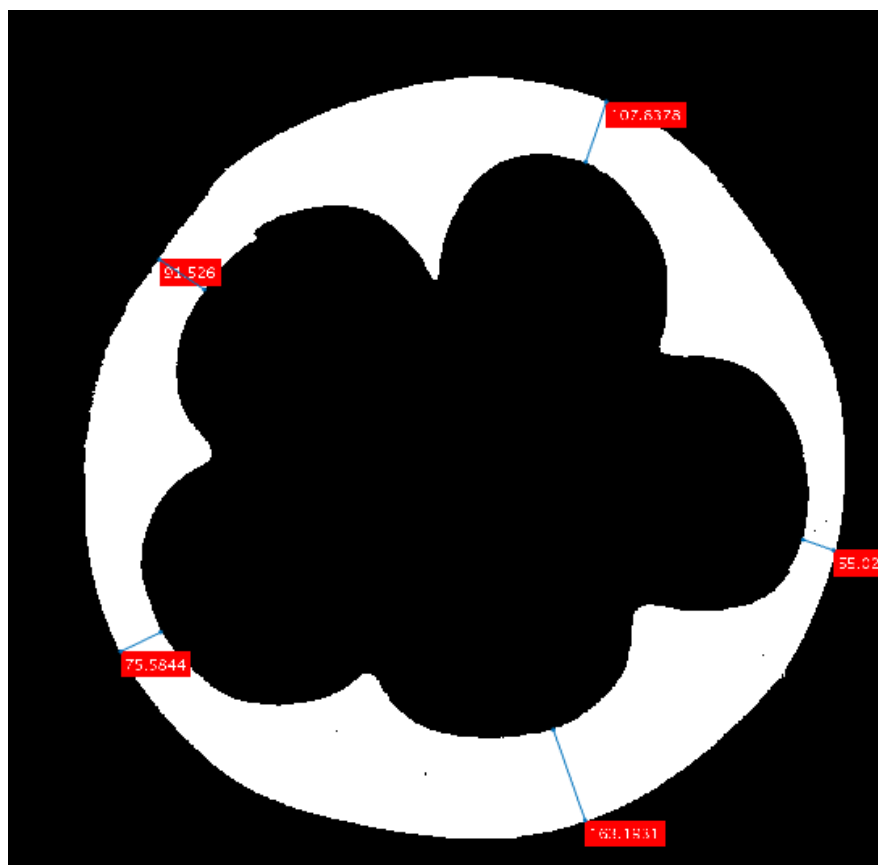
مقطع شماره ۱	کمیته اول	کمیته دوم	کمیته سوم	کمیته چهارم	کمیته پنجم
روش اتسو	۷۳,۳۴۸۵	۱۲۲,۵۸۸۷	۶۹,۶۳۴۸	۱۰۹,۸۷۷۲	۹۸,۵۹۵۱
روش پیشنهادی	۷۸,۷۱۴۷	۱۲۵,۰۲۸۰	۷۴,۸۱۳۱	۱۱۵,۳۹۵۰	۱۰۵,۲۶۱۶

جدول ۲-۴ نتایج گزارش شده در مقیاس پیکسل برای مقطع نمونه شماره دو

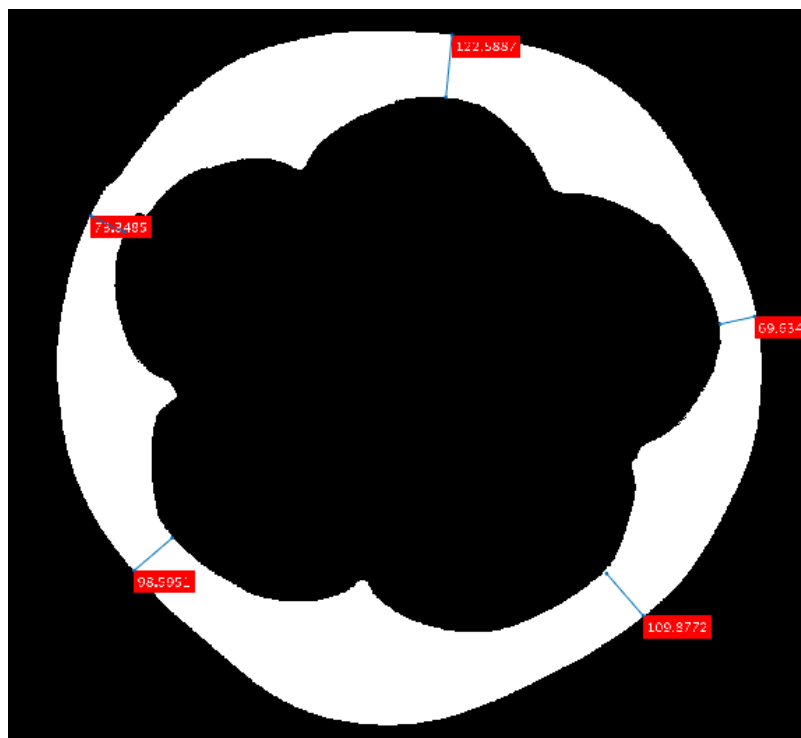
مقطع شماره ۲	کمینه اول	کمینه دوم	کمینه سوم	کمینه چهارم	کمینه پنجم
روش اتسو	۷۵/۵۸۴۴	۹۱/۵۲۶۰	۱۰۷/۸۳۷۸	۵۵/۰۲۷۳	۱۶۳/۱۹۳۱
روش پیشنهادی	۸۰/۳۲۴۳	۱۰۱/۷۸۹۰	۱۱۱/۷۹۰۰	۵۸/۴۹۰۲	۱۶۸/۴۰۴۳

در شکل (۴-۵ و ۴-۶) مکان این کمینه‌ها بر روی مقاطع به صورت دقیق نمایش داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل کلی قرارگیری کمینه‌ها مطابق استانداردها می‌باشد.



شکل ۴-۵ مکان کمینه‌ها بر روی مقطع شماره ۱



شکل ۴-۶ مکان کمینه‌ها بر روی مقطع شماره ۲

حال باید مقدار واقعی این کمینه‌ها محاسبه شود و با مقدار بدست آمده از آنالیز دستی با استفاده از پروژکتور مقایسه شود. در اینجا این مقادیر برای کمینه ضخامت عایق مقایسه شده است، که همان پارامتر مورد نیاز برای استاندارد می‌باشد. این مقایسه‌ها برای هر دو روش کالیبراسیون گفته شده انجام می‌شود.

همان‌طور که در قسمت (۳-۲-۴) ذکر شد برای کالیبراسیون از دو روش استفاده شده است که شامل استفاده از خط کالیبراسیون و استفاده از ضریب کالیبراسیون می‌باشد. از چهار مقطع استاندارد که تصاویر آن‌ها را در شکل (۴-۷) مشاهده می‌کنید برای کالیبراسیون استفاده شده است. این چهار مقطع دارای اندازه استاندارد و دقیق می‌باشند که این اندازه‌ها ۱،۰۱ و ۱،۲۳ و ۱،۳۶ و ۴۷،۱ میلی‌متر می‌باشد.





شکل ۴-۷ مقاطع استاندارد مورد استفاده برای کالیبراسیون

ابتدا به بررسی دقت دو روش کالیبراسیون پرداخته خواهد شد. در اینجا برای مقایسه دو روش از دو قطعه استاندارد با ضخامت ۱,۰۱ و ۱,۳۶ میلی متر استفاده شده است. روش مقایسه بدین صورت می باشد که پس از محاسبه ضخامت این قطعه در مقیاس پیکسل به هر دو روش ذکر شده یعنی روش اتسو و روش پیشنهادی از خطها و ضرایب بدست آمده در قسمت (۳-۲-۴) استفاده کرده و مقدار ضخامت در مقیاس متریک محاسبه می شود. ابتدا خط کالیبراسیون و میانگین ضرایب کالیبراسیون محاسبه شده برای هر دو روش آستانه گذاری در جدول (۴-۳) نشان داده شده است، سپس در جدول (۴-۴) مقدار استاندارد و مقادیر محاسبه شده نمایش داده شده است.

جدول ۴-۳ مقادیر محاسبه شده برای ضرایب و خط کالیبراسیون هر دو روش آستانه گذاری

روش آستانه گذاری	میانگین ضرایب کالیبراسیون	معادله خط کالیبراسیون
الگوریتم اتسو	۰/۰۲۲۸	$۰/۰۱۷۳ * x + ۰/۳۲۵۳$
الگوریتم پیشنهادی	۰/۰۲۰۹	$۰/۰۱۹۴ * x + ۰/۰۹۹۸$

جدول ۴-۴ نتایج برای سومین مقطع استاندارد بر اساس هر دو روش کالیبراسیون و برای هر دو روش آستانه گذاری

خطای اندازه گیری	مقدار استاندارد در مقیاس متریک(میلی متر)	اندازه کمینه در مقیاس متریک(میلی متر)	اندازه کمینه ضخامت در مقیاس پیکسل	روش کالیبراسیون	روش آستانه گذاری
۰/۰۷۵۶	۱/۳۶	۱/۴۳۵۶	۶۲/۸۲۸۲	میانگین ضرایب	الگوریتم اتسو
۰/۰۵۲۲	۱/۳۶	۱/۴۱۲۲	۶۲/۸۲۸۲	خط	الگوریتم اتسو
۰/۰۰۲۵	۱/۳۶	۱/۳۵۷۵	۶۴/۸۰۱۰	میانگین ضرایب	الگوریتم پیشنهادی
۰/۰۰۳۱	۱/۳۶	۱/۳۵۶۹	۶۴/۸۰۱۰	خط	الگوریتم پیشنهادی

همان طور که در جدول (۴-۴) و (۵-۴) مشاهده می شود نتایج بدست آمده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به مقدار دقیق ضخامت قطعه استاندارد بسیار نزدیک تر هستند. در واقع الگوریتم پیشنهادی دارای دقت بالاتری نسبت به الگوریتم اتسو است. با گرد کردن مقدار بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی به جواب دقیق ۱/۳۶ و ۱/۰۱ خواهیم رسید و در واقع دقت روش تا صدم میلی متر است. پس یکی از نتایج بدست آمده از این مقایسه بالاتر بودن دقت الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم اتسو بود. دومین نتیجه با مقایسه دو روش کالیبراسیون بدست خواهد آمد. همان طور که در جدول نتایج مشاهده می کنید استفاده از روش ضرایب کالیبراسیون دقت به مراتب مناسب تری را فراهم می کند.

جدول ۴-۵ نتایج برای چهارمین مقطع استاندارد بر اساس هر دو روش کالیبراسیون و برای هر دو روش آستانه گذاری

روش آستانه گذاری	کالیبراسیون	اندازه کمینه در ضخامت در مقیاس پیکسل	اندازه کمینه در مقیاس متریک (متر)	مقدار استاندارد در مقیاس متریک (میلی متر)	خطای اندازه گیری
الگوریتم اتسو	میانگین ضرایب	۴۵/۴۷۴۵	۱/۰۳۶	۱/۰۱	۰/۰۲۶
الگوریتم اتسو	خط	۴۵/۴۷۴۵	۱/۱۱۲	۱/۰۱	۰/۱۰۲
الگوریتم پیشنهادی	میانگین ضرایب	۴۸/۲۵۹۰	۱/۰۰۸	۱/۰۱	۰/۰۰۲
الگوریتم پیشنهادی	خط	۴۸/۲۵۹۰	۱/۰۳	۱/۰۱	۰/۰۲

جدول ۴-۶ ضرایب و معادله خط کالیبراسیون محاسبه شده برای دو روش آستانه گذاری با استفاده از سه قطعه استاندارد

	خط کالیبراسیون					
	میانگین ضرایب	ضریب چهارم	ضریب سوم	ضریب دوم	ضریب اول	
روش اتسو	۰/۰۲۲۴	۰/۰۲۲۲	۰/۰۲۲۲	۰/۰۲۱۶	۰/۰۲۳۵	$Y=0/0161*X+0/3774$
روش پیشنهادی	۰/۰۲۰۹	۰/۰۲۰۹	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۱۰	۰/۰۲۱۱	$Y=0/0194*X+0.1008$

پس از مشاهده مقایسه دو روش کالیبراسیون حال برای بالا بردن دقت از قطعه سوم و چهارم نیز برای کالیبراسیون استفاده شده و نتایج بدست آمده برای خط و ضرایب کالیبراسیون با استفاده از روش اول یعنی الگوریتم آستانه گذاری اتسو و روش دوم یعنی الگوریتم پیشنهادی در جدول (۴-۶) نمایش داده شده است.

در انتها مقادیر کمینه دو مقطع کابل براساس دو روش کالیبراسیون برای هر دو الگوریتم آستانه گذاری اتسو و پیشنهادی با مقادیر بدست آمده از آنالیز دستی مقایسه شده است. این مقایسه‌ها در جداول شماره (۴-۷) نمایش داده شده است. در اینجا نتایج با مقادیر بدست آمده از آنالیز دستی مقایسه شده‌اند. قابل ذکر است که مقادیر بدست آمده با استفاده از آنالیز دستی داری دقت صددرصدی نمی‌باشند

جدول ۴-۷ مقایسه نتایج بدست آمده از هر دو الگوریتم آستانه گذاری و هر دو روش کالیبراسیون برای دو مقطع نمونه

روش آستانه گذاری	شماره قطعه نمونه	ضخامت در مقیاس پیکسل	ضخامت در مقیاس متریک با استفاده از خط کالیبراسیون	ضخامت در مقیاس متریک با استفاده از ضرایب کالیبراسیون	ضخامت بدست آمده توسط آنالیز دستی
الگوریتم اتسو	۱	۶۲/۸۲۸۲	۱/۲۶۳۳	۱/۲۳۵۰	۱/۲۷
الگوریتم پیشنهادی	۱	۶۴/۸۰۱۰	۱/۲۳۵۵	۱/۲۲۳۷	۱/۲۷
الگوریتم اتسو	۲	۶۲/۸۲۸۲	۱/۴۹۸۴	۱/۵۶۲۸	۱/۶۳
الگوریتم پیشنهادی	۲	۶۴/۸۰۱۰	۱/۵۵۲۱	۱/۵۶۷۱	۱/۶۳

# فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد

## راهکارهای آینده

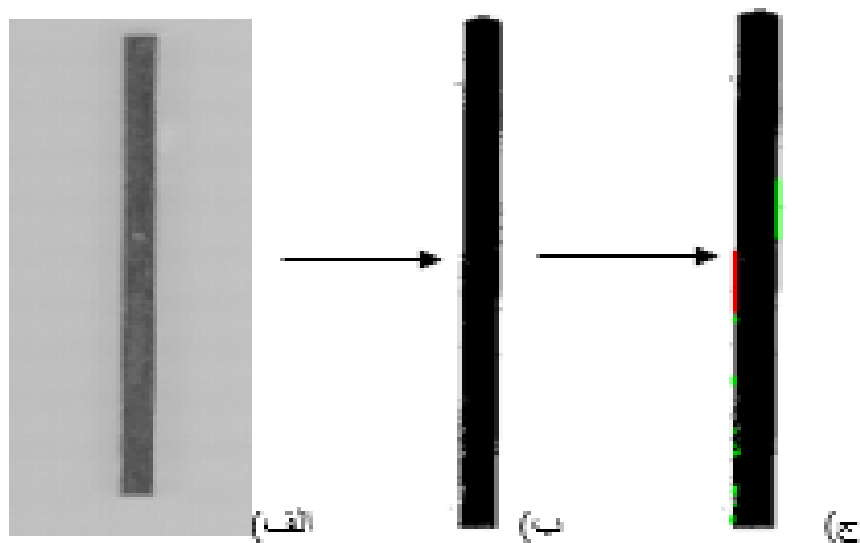
## ۵-۱ نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به نتایج بدست آمده در فصل ۴ و روش‌های استفاده شده می‌توان به نتایج کلی دست پیدا کرد. یکی از نتایج بدست آمده این می‌باشد که با اینکه حد آستانه دو روش آستانه گذاری دارای تفاوت بسیاری می‌باشند (۱۷۷ و ۱۵۵) ولی ضخامت بدست آمده از دو روش به هم نزدیک است. در حقیقت اندازه‌گیری‌ها تا حد زیادی مستقل از حد آستانه انتخاب شده می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده، بزرگترین معضل این الگوریتم کیفیت تصاویر ورودی به الگوریتم می‌باشد. در واقع سایه موجود در تصاویر اسکن شده از مقطع کابل بزرگترین مانع در رسیدن به دقت مد نظر می‌باشد. تصاویر استفاده شده برای قسمت نتایج نیز بعد از اسکن‌های متوالی بدست آمده است. در واقع پس از مشاهده نتایج، این موضوع مشخص می‌شود که برای رسیدن به جواب‌های دقیق‌تر مهم‌ترین راهکار استفاده از دوربین‌های با کیفیت بالا است.

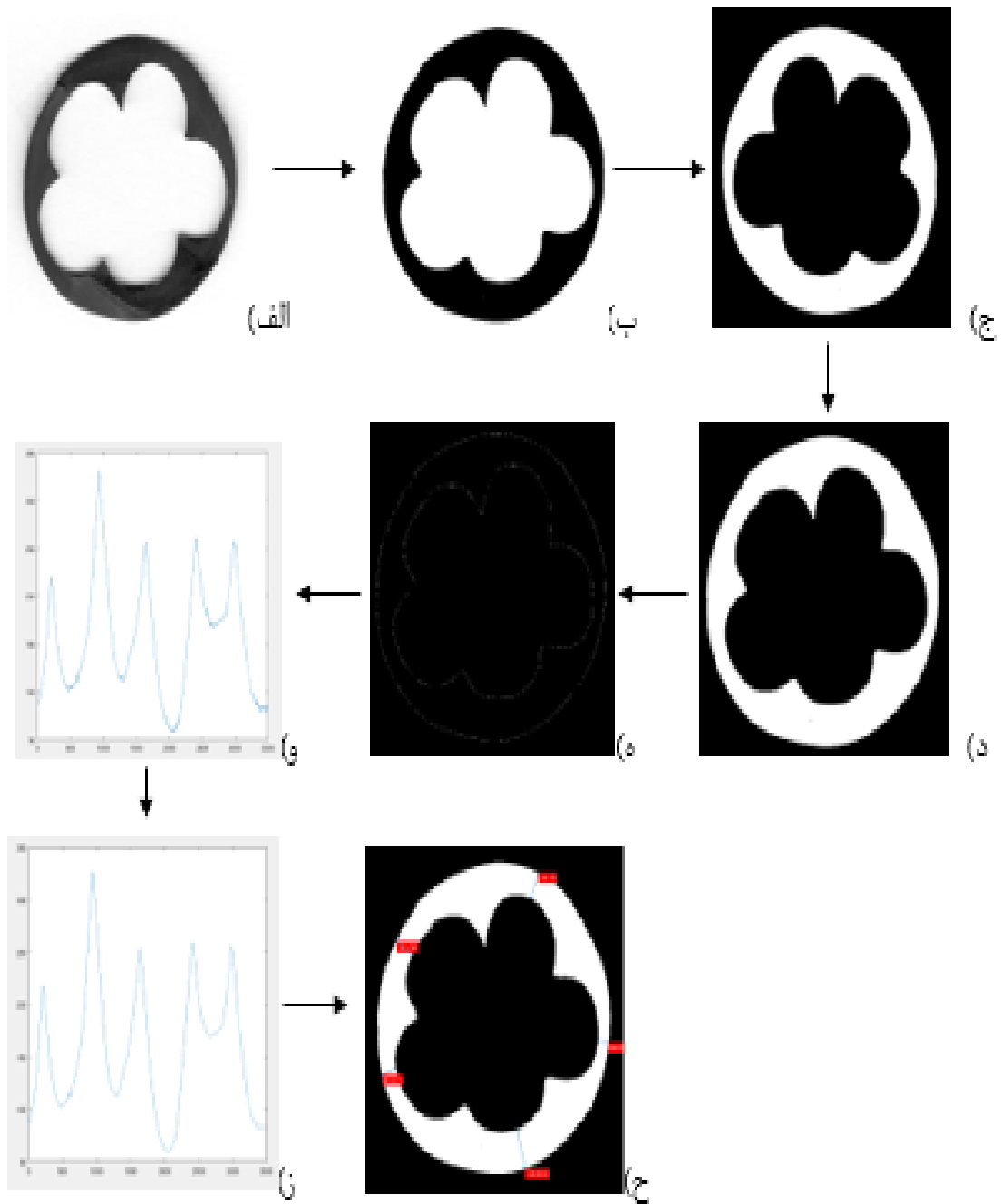
قابل ذکر است که روش کنونی مورد استفاده در کارخانجات تولید کابل ایرانی استفاده از آنالیز دستی است که این روش دارای ایراداتی است. از این ایرادات می‌توان به وجود خطای انسانی و نیز نیاز به کاربر برای اندازه‌گیری اشاره کرد. در حقیقت این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از چشم انسان انجام می‌شوند و به همین دلیل دارای خطا می‌باشند. و دیگر اینکه برای اندازه‌گیری نیاز به کاربر انسانی می‌باشد. از جمله مزیت‌های روش معرفی شده در این پایان‌نامه می‌توان به، بالا بودن سرعت پردازش در آن و اتوماتیک بودن فرآیند اندازه‌گیری در آن اشاره کرد. استفاده از اسکنر برای اسکن کردن مقاطع باعث می‌شود که اعوجاج موجود در لنزهای دوربین عکاسی در تصویر وجود نداشته باشد، ولی برای رسیدن به دقت مورد نظر با استفاده از اسکنر باید دو موضوع در نظر گرفته شود. ابتدا باید اسکنری را مورد استفاده قرار داد که توانایی مهیا کردن تعداد پیکسل‌های مناسب برای عملیات اندازه‌گیری را دارا باشد. سپس تصاویر ایجاد شده با استفاده از این اسکنر باید دارای حداقل سایه باشد. نکته مهم دیگر در مورد مقاطع کابل می‌باشد که باید بسیار صاف بوده و دارای ضخامت عمودی پایینی باشند تا کیفیت تصاویر اسکن شده

بالتر باشد. دو موضوع مهم برای اندازه‌گیری با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر تعداد پیکسل‌ها و کم بودن سایه می‌باشد. پس از مهیا کردن این مشخصه‌ها می‌توان انتظار داشت که خروجی الگوریتم دارای دقت مورد نظر و مناسب است.

در پایان روش آستانه‌گذاری پیشنهادی نسبت به روش آستانه‌گذاری اتسو دارای دقت بالاتری بوده و نیز روش کالیبراسیون با ضرایب نسبت به روش کالیبراسیون خطی مناسب‌تر است. در روش خطی محدوده ۱ تا حدود ۲ میلی‌متر پوشش داده شده و مشخص نیست که قطعات با اندازه بالاتر نیز همین رفتار نسبتاً خطی را داشته باشند. به همین دلیل انتظار می‌رود که استفاده از روش ضرایب کالیبراسیون مناسب‌تر و دقیق‌تر از روش خط کالیبراسیون باشد. در شکل‌های (۵-۱ و ۵-۲) الگوریتم بکاررفته به صورت تصویری مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۱ الگوریتم کالیبراسیون به صورت تصویری. الف) مقطع استاندارد مورد استفاده. ب) مقطع پس از دودویی ساختن. ج) استفاده از تبدیل هاف برای محاسبه ضخامت مقطع استاندارد پس از محاسبه ضخامت مقطع استاندارد در مقیاس پیکسل، با استفاده از مقدار ضخامت آن‌ها در مقیاس متریک ضرایب کالیبراسیون محاسبه می‌شود.



شکل ۵-۲ الگوریتم محاسبه ضخامت به صورت تصویری. الف) تصویر خاکستری ورودی. ب) مقطع کابل پس از دودویی ساختن. ج) معکوس کردن روشنایی‌ها. د) مقطع کابل پس از اعمال عملگر سایش با المان ساختاری دیسک. ه) لبه‌های مقطع کابل با استفاده از عملگر سایش. و) پروفایل ضخامت کابل. ز) پروفایل ضخامت پس از هموارسازی با استفاده از فیلتر میانگین متحرک. ح) مکان و مقدار کمینه‌های مشخص شده برای این نمونه کابل



## ۵-۲ پیشنهاد راه کارهای آینده

در مبحث اندازه گیری دقیق با استفاده از پردازش تصویر، همیشه یکی از قسمت های مهم کیفیت تصاویر ورودی می باشد. در این پایان نامه از اسکتر برای تهیه تصویر ورودی استفاده شده است که این نوع تصویربرداری دارای کیفیت پایینی می باشد. در نتیجه برای بهبود نتایج می توان از دوربین های با کیفیت بالا و دوربین های صنعتی استفاده کرد.

اضافه کردن قسمت های پیش پردازش به الگوریتم مانند حذف سایه می تواند در بهبود نتایج تاثیر فراوانی داشته باشد. همچنین برای تعیین حد آستانه می توان روش های دیگری را مورد آزمایش قرار داد. در قسمت کالیبراسیون نیز می توان از قطعات استاندارد بیشتری برای بالا بردن دقت استفاده کرد. و نیز می توان الگوریتم پیشنهادی را به سایر انواع کابل تعمیم داد.

## مراجع

- [١] Fan, C. L., Zou, L. J., & Wang, Y. H. (2008, September). Digital image processing techniques applied in cable insulation parameters measurement. In *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics* (pp. 2315-2319).
- [٢] Shan, B. M., Wang, Y. H., & Fan, C. L. (2009, March). Research of Measure System to Cable Insulation Parameters Based on Computer Vision. In *Education Technology and Computer Science, 2009. ETCS'09. First International Workshop on* (Vol. 2, pp. 776-779). IEEE.
- [٣] Ahmed, A. N. R., Salehin, D. H., Hossain, M. I., & Ahmad, M. parameters measurement of circular shaped cables using image processing techniques. Proceedings of the Conference on Engineering Research, Innovation and Education 2011. CERIE 2011, 11-13 January 2011, Sylhet, Bangladesh.
- [٤] Shulan, X., & Wang, J. (2011, August). Thickness precision measurement method of sheath and insulation materials based on image processing. In *Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), 2011 10th International Conference on* (Vol. 3, pp. 33-37). IEEE.
- [٥] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", IEEE Trans. on Sys. Man. Cyber. vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [٦] R.C.Gonzalez, R.E.Woods, Digital Image Processing, 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey, USA, 2008.
- [٧] Ballard, D. H. (1981). Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern recognition*, 13(2), 111-122.
- [٨] International Standard Electric and Optical Fibre Cables, IEC 60811-201. Edition 1.0 2012-03

## **Abstract:**

One of important application of image processing is quality control in the production line of industries. In this thesis, for measuring the thickness of the cable insulation we employed image processing technique. For quality control of cables various parameters are considered which thickness of cable insulation is one of the most important parameters. There are international standards for criterions of the thickness of insulation for any type of cable. We studied measuring the thickness of three types cable: three-string, five-string and flat cables. According to standards, thickness of insulation in any cables should not be less than a level specified with precision one hundredth of millimeter. Various methods are currently used for these measurements that can be explained two sets of manual analysis of cable section to help projectors and using image processing techniques. In this thesis, techniques of image processing have been used to measure the thickness of the cable insulation. Imaging of cable insulation is done using a scanner with resolution of 1200 dpi. First images taken by image processing techniques are pre-processed. After acquiescing photograph, the first step is images binarization. Two methods have been used for binarizing of images. First we used Otsu to find a proper threshold to binarize the image, second we used images taken from the number of standard tools for determining threshold. To measure the parameters required in cable insulation that has been standardized, the first edges of the binarized image are extracted with using morphology operators and according to the cross-section topology of each cable, desired parameters are extracted as input to image processing and geometry of problem. Finally, the obtained parameters using the determined scale is converted to metric space. For evaluating proposed method, the results obtained from the proposed method for determining the threshold and Otsu thresholding algorithm and manual method have been compared together. The results show that the accuracy of the proposed algorithm is higher than Otsu thresholding algorithm. Furthermore, the proposed method in terms of time and labor make significant savings.

**Key words:** Image processing, Insulation thickness, Measurement, Cable



**Faculty of Electrical Engineering and Robotics**  
**M.sc thesis in Digital Electronic System Engineering**

**Measuring cable insulation using image processing techniques**

**By:**

Pooya Moradi

**Supervisor:**

Dr. Alireza Ahmadifard

**January 2017**