

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات

گروه هوش مصنوعی

آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک

جمال جمال اوغلی

استاد راهنما

دکتر مرتضی زاهدی

اساتید مشاور

دکتر حمید حسن پور

دکتر علیرضا احمدی فر

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات

گروه : هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جمال جمال اوغلی

تحت عنوان:

کشف و آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک

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

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

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

تقدیم به

پدر مهربان

و

مادر عزیزم

چگونه شاتر توانم کرد تا سپاس گویم، الطاف بی نهایت خداوندی را که به نواره سایه ی رحمت و برکت نعمت بایش، بدون هیچ وقفه و منتی، شامل حال این حقیر گشته است. سپاس خدای بزرگوار را که برایم علم اندروزی را مقدر داشت. علمنی که باز حیات بسیاری از زندگان دلسوزش در این مرحله از تحصیل برایم حاصل گشت. بدین سان شکر میکنم از اساتید بزرگوار ی همچون آقایان دکتر زاهدی، دکتر حسن پور و دکتر پویان، که در این راه از پیچ زحمتی دریغ نکردند. بعلاوه از آقای دکتر احمدی فرد نیز نهایت شکر را دارم. اما دستم کوتاه است تا از زحماتی که دوست مرحوم، شادروان حسین رمضانی در آماده سازی پایگاه داده ی این پایان نامه کشید، قدر دانی کنم. از آقایان حجت تاجیک و علیرضا قاجی و تمام عزیزان و بزرگوارانی که به هر نحوی در تدارک این پایان نامه به بنده یاری رسانند نیز نهایت شکر و قدر دانی را دارم. در نهایت از لطف و مهربانی و گذشت پدر و مادر و برادران و خواهرانم که طی سال-های تحصیل به وجوه مختلف زحمت حقیر را کشیده اند، نهایت شکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب جمال جمال اوغلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر دانشکده کامپیوتر و فن آوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک تحت راهنمایی دکتر مرتضی زاهدی 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 .

چکیده

امروزه یکی از ملزومات ارتقاء کیفیت و کمیت محصولات صنعتی، استفاده از ماشین آلاتی است که کارکردشان به طور خودکار بوده و اتکای آن به عوامل انسانی کمتر باشد. علی رغم پیشرفت-های صورت گرفته در اتوماسیون صنعت کاشی و سرامیک، عیب‌یابی این محصولات به منظور درجه بندی یا خارج کردن محصولات فاقد کیفیت در روند تولید، هنوز بصورت دستی بوده و توسط عوامل انسانی انجام می‌گیرد. اغلب کارهای انجام شده در این زمینه روی عیوبی متمرکز شده‌اند که وجودشان نمی‌تواند بطور یقین سرنوشت محصول را در مرحله‌ای از تولید تعیین کند. اهمیت عیوب شکستگی از آنجاست که اگر محصولی دارای این عیوب باشد، به احتمال بسیاری بازیافت شده و در صورت تشخیص بموقع این عیوب، از ارسال محصول به مراحل بعدی می‌تواند جلوگیری شود. که این امر باعث کاهش هزینه‌های تولید و اثرات نامطلوب زیست محیطی می‌شود. موارد ذکر شده امکان بررسی جداگانه این عیوب را فراهم می‌کند. از این‌رو در این پایان نامه ضمن مطالعه و بررسی روش‌ها و چالش‌های موجود در زمینه‌ی مربوط و با استفاده از دانش پردازش تصویر و بینایی ماشین، سعی در ارائه‌ی روشی ساده برای آشکارسازی خودکار عیوب شکستگی و پدیدگی در مرزها و بدنه‌ی کاشی و سرامیک شده است. روش پیشنهادی با استفاده از دیدگاه بازیابی مرزهای سالم و آشکارسازی حفره‌ها، اقدام به شناسایی عیوب می‌کند. با استفاده از دیدگاه روش پیشنهادی این پایان نامه، کشف، شمارش، نمایش و درجه بندی عیوب شکستگی بصورت بلادرنگ و با دقتی بالا انجام خواهد شد. علاوه بر این، تدابیری در ارائه‌ی روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است، که امکان استفاده از روش را در دو فاز مختلف تولید فراهم می‌کند. بطوریکه اولین مرحله استفاده از روش پیشنهادی، قبل از ورود محصولات به کوره می‌باشد. جایی که بدنه کاشی هنوز موادی ضعیف می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد که شایع‌ترین محل وقوع این عیوب نزدیکی این مرحله می‌باشد. که در اینصورت روش پیشنهادی قادر خواهد بود با شناسایی کاشی بازیافتی، عدم کیفیت آنرا اعلام کرده و از ارسال محصول به مراحل بعد و در نهایت از

تحمیل هزینه‌های زائد جلوگیری کند. کاربرد دوم استفاده از روش در مرحله‌ی درجه بندی محصولات می‌باشد. از این رو قابلیت درجه بندی محصولات با توجه به اندازه‌ی عیوب و تعدادشان، به سایر قابلیت های روش پیشنهادی افزوده شده است. بنابراین بدیهی است که روش مذکور نسبت به لعاب محصولات سرامیک مستقل باشد. از برجسته ترین ویژگی‌های روش مذکور، بلادرنگ بودن زمان اجرای روش می‌باشد. که این امر در صنعت بسیار حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، بینایی ماشین، عیوب کاشی و سرامیک، بازیابی

مرزها، بلادرنگ

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

(۱) آشکار سازی و درجه بندی عیوب کاشی و سرامیک بر پایه‌ی بازیابی
مرزها و عملگرهای ریخت شناسی، جمال جمال اوغلی، مرتضی زاهدی،
هشتمین کنفرانس پردازش تصویر و بینایی ماشین، زنجان، دانشگاه زنجان

فهرست مطالب

۴

فصل ۱:

- ۱-۱- پیشگفتار ۵
- ۲-۱- بازرسی چشمی خودکار ۶
- ۳-۱- فن آوری صنعتی و اتوماسیون صنعتی ۳
- ۱-۳-۱- هوش مصنوعی و ارتباط آن با صنعت ۴
- ۲-۳-۱- سیستم آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک ۵
- ۳-۳-۱- معرفی اجمالی فرآیند تولید کاشی و سرامیک ۶
- ۴-۳-۱- معرفی عیوب کاشی و سرامیک ۷
- ۵-۳-۱- سخت افزار سیستم خودکار بازرسی چشمی محصولات کاشی و سرامیک ۸
- ۴-۱- تعریف مسئله ۹
- ۵-۱- اهداف پایان نامه ۱۰
- ۶-۱- کاربردها ۱۰
- ۷-۱- فرض ها و محدودیت ها ۱۱
- ۱-۷-۱- هندسه ی محصولات ۱۱
- ۲-۷-۱- چرخش و زاویه دار بودن محصولات ۱۲
- ۳-۷-۱- پس زمینه و طرح و رنگ محصولات ۱۳
- ۴-۷-۱- زمان اجرا ۱۴

۱۴ ۱-۷-۵- نیاز به نمونه اولیه

فصل ۲: ۱۶

۱۷ ۱-۲- مقدمه

۱۷ ۲-۲- کارهای انجام شده برای آشکارسازی عیوب سطی

۲۰ ۳-۲- کارهای انجام شده برای آشکارسازی عیوب شکستگی کاشی‌ها

۲۸ ۴-۲- نتیجه گیری

فصل ۳: ۲۹

۳۰ ۱-۳- پیشگفتار

۳۰ ۲-۳- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۳۲ ۳-۳- پایگاه داده

۳۲ ۱-۳-۳- ویژگی و معیارهای تشکیل دهنده‌ی تصاویر

۳۳ ۲-۳-۳- تعداد و انواع محصولات انتخاب شده برای تشکیل پایگاه داده

۳۵ ۴-۳- پیش پردازش

۳۶ ۱-۴-۳- بهبود تصویر

۴۱ ۲-۴-۳- آستانه گذاری سراسری بهینه و دودویی سازی تصویر

۴۵ ۳-۴-۳- حذف نویز

۵۱ ۵-۳- استخراج ویژگی

۵۱ ۱-۵-۳- آشکارسازی لبه و استخراج مرزهای کاشی

۶۲ ۲-۵-۳- استخراج و نمایش لیست نقاط مرزی

- ۳-۵-۳- محاسبه‌ی شیب پیکسل‌های کانتور ۶۴
- ۳-۶- بازایی مرزهای شیء کاشی و سرامیک ۶۵
- ۳-۷- آشکار سازی عیوب ۶۹
- ۳-۷-۱- آشکار سازی حفره‌ها ۶۹
- ۳-۸- محاسبه‌ی اندازه و درجه بندی عیوب ۷۶
- ۳-۸-۱- تبدیل واحد پیکسل به واحد میلیمتر ۷۶
- ۳-۸-۲- الگوریتم تعیین درجه‌ی عیوب ۷۸
- ۳-۹- نتیجه گیری ۸۲

فصل ۴: ۸۳

- ۴-۱- مقدمه ۸۳
- ۴-۲- محاسبه و ارزیابی نتایج ۸۴
- ۴-۲-۲- ارزیابی نتایج بر اساس تشخیص صحیح کاشی‌های معیوب و سالم ۸۶
- ۴-۲-۳- ارزیابی نتایج بر حسب تشخیص و آشکار سازی صحیح عیوب ۸۶
- ۴-۲-۴- ارزیابی نتایج درجه بندی صحیح ۸۹
- ۴-۲-۵- ارزیابی زمان اجرای روش پیشنهادی ۹۰
- ۴-۳- نتیجه گیری ۹۳

فصل ۵: ۹۴

- ۵-۱- پیشگفتار ۹۵

۵-۲- بررسی قابلیت‌های گسترش روش پیشنهادی جهت کشف و شناسایی سایر عیوب

کاشی و سرامیک ۹۶

۵-۲-۱- آشکارسازی پدیدگی شکستگی‌های روی سطح محصولات کاشی و سرامیک ۹۶

۵-۲-۲- آشکارسازی ترک روی سطح محصولات کاشی و سرامیک ۹۸

۵-۲-۳- آشکارسازی خال و سوراخ روی سطح محصولات کاشی و سرامیک ۱۰۲

۵-۳- مقایسه با روش‌های پیشین ۱۰۶

۵-۳-۱- مقایسه‌ی کلی روش پیشنهادی با روش‌های پیشین ۱۰۶

۵-۳-۲- مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش مقاله [۲۲] ۱۰۸

فصل ۶: ۱۱۱

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۲

۶-۲- پیشنهادات برای کارهای آینده ۱۱۳

مراجع: ۱۱۵

پیوست‌ها: ۱۲۵

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از سیستم‌های بازرسی چشمی خود کار ۱۳
- شکل (۲-۱) طرح یک سیستم بینایی ماشین جهت بازرسی کیفی کاشی و سرامیک ۹
- شکل (۱-۲) نتایج حاصل شده برای کاشی‌های معیوب ۲۲
- شکل (۲-۲) مثالی از روش ردیابی جهت دار کانتور ۲۳
- شکل (۳-۲) نتیجه‌ی روش ردیابی جهت دار کانتور برای بازرسی چشمی کاشی و سرامیک ۲۴
- شکل (۴-۲) الگوی منحنی شیب یک کاشی سالم ۲۶
- شکل (۵-۲) منحنی شیب کاشی معیوب ۲۶
- شکل (۶-۲) نتیجه نهایی آشکارسازی قسمت‌های معیوب ۲۷
- شکل (۱-۳) فلوچارت روش پیشنهادی پایان‌نامه ۳۱
- شکل (۲-۳) نمونه‌هایی از تصاویر پایگاه داده مورد استفاده ۳۴
- شکل (۳-۳) نمونه‌ای از تصاویر خاکستری ۳۵
- شکل (۴-۳) نمودار تبدیل قانون قدرت ۳۷
- شکل (۵-۳) نتایج ارتقاء تصویر با تبدیل گاما ۳۹
- شکل (۶-۳) مثالی از عملکرد تبدیل گاما ۴۰
- شکل (۷-۳) تصویر کاشی سرامیک باینری شده ۴۵
- شکل (۸-۳) نمایش نقاط ناهموار روی مرزها بعد از دودویی کردن تصویر ۴۷
- شکل (۹-۳) نویزهای استخراج شده با عملگر tophat ۴۹
- شکل (۱۰-۳) مجموع نویزهای استخراج شده از تصویر سیاه سفید ۵۰
- شکل (۱۱-۳) تصویر باینری کاشی سرامیک بعد از حذف نویزهای مرزی و صاف کردن لبه‌ها ۵۱
- شکل (۱۲-۳) دو نمونه ماسک مورد استفاده برای اپراتور لاپلاسین ۵۳
- شکل (۱۳-۳) نمونه‌ای از ماسک‌ها جهت تقریب گرادیان‌های افقی و عمودی ۵۴
- شکل (۱۴-۳) شمای گرافیکی عملکرد عملگرهای مورفولوژی برای استخراج مرزها ۶۰
- شکل (۱۵-۳) مرز استخراج شده با عملگرهای مورفولوژی و سوبل ۶۲
- شکل (۱۶-۳) نقطه شروع و نحوه‌ی جستجوی جهت دار لبه‌ها برای استخراج کانتور ۶۳
- شکل (۱۷-۳) نمایش شیب پیکسل‌های کانتور ۶۵
- شکل (۱۸-۳) نمایش تغییرات مختصات عرض و طول دارای شیب‌های یکسان ۶۷

- شکل (۳-۱۹) خطوط رسم شده روی مرزها و اضلاع سالم کاشی و سرامیک ۶۸
- شکل (۳-۲۰) تصویر مرز بازیابی شده کاشی معیوب ۶۸
- شکل (۳-۲۱) حفره‌های ایجاد شده بعد از رسم مرزهای بازیابی شده ۷۰
- شکل (۳-۲۲) نمونه‌هایی از نقش همسایگی در برجسب گذاری مولفه‌های متصل ۷۲
- شکل (۳-۲۳) متمم تصویر و حفره‌ها و پس زمینه ۷۳
- شکل (۳-۲۴) آشکارسازی حفره‌ها و نتیجه‌ی حذف اشیاء محیطی ۷۵
- شکل (۳-۲۵) نتایج آشکارسازی عیوب برای کاشی معیوب و سالم ۷۶
- شکل (۳-۲۶) نمونه‌ای از سرامیک بعد از محاسبه‌ی اندازه‌ی عیوب ۷۸
- شکل (۳-۲۷) نمونه‌هایی از کاشی‌های سرامیکی درجه بندی شده ۸۱
- شکل (۴-۱) نمونه‌هایی از انواع نتایج بدست آمده ۸۵
- شکل (۴-۲) نمونه‌ای از اعلان اشتباه ۸۹
- شکل (۴-۳) نمودار میانگین زمان اجرای مراحل مختلف روش پیشنهادی ۹۲
- شکل (۵-۱) شکل کاشی سرامیکی دارای شکستگی روی بدنه ۹۷
- شکل (۵-۲) نتیجه‌ی اعمال روش برای آشکارسازی و درجه بندی شکستگی روی بدنه‌ی کاشی ۹۸
- شکل (۵-۳) نمونه‌ای از کاشی دارای عیب ترک ۹۹
- شکل (۵-۴) برجسته سازی ترک با روش (C-O) مورفولوژی ۱۰۰
- شکل (۵-۵) نتایج نهایی اعمال روش پیشنهادی برای شناسایی و آشکارسازی ترک ۱۰۲
- شکل (۵-۶) نمونه‌ای از سرامیک طرح‌دار دارای عیب خال ۱۰۳
- شکل (۵-۷) تصویر باینری سرامیک با عیب خال بعد از حذف نویز و صاف کردن مرزها ۱۰۴
- شکل (۵-۸) تصویر حاصل از محاسبه‌ی اندازه‌ی عیب خال ۱۰۵
- شکل (۵-۹) تصویر نهایی بعد از کشف عیب خال ۱۰۶

فهرست جداول

جدول (۱-۱) تعاریف برخی از عیوب سطحی.....	۱۶
جدول (۱-۲) درصد خطای الگوریتم برای کشف عیوب گوشه.....	۲۲
جدول (۲-۲) ارزیابی و میزان دقت حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی مقاله [۲۲].....	۲۷
جدول (۳-۲) ارزیابی و میزان دقت حاصل از اعمال الگوریتم مقاله [۹].....	۲۷
جدول (۱-۳) ویژگی های تصاویر تشکیل دهنده پایگاه داده.....	۳۲
جدول (۲-۳) مقایسه ی روش سوبل و مورفولوژی بر اساس زمان مورد نیاز برای استخراج مرزهای تصویر.....	۶۱
جدول (۳-۳) نسبت های تبدیل واحد پیکسل به سانتی متر.....	۷۷
جدول (۴-۳) تعیین نسبت اندازه ی تصویر شیء به اندازه ی واقعی.....	۷۸
جدول (۵-۳) قواعد مورد استفاده برای درجه بندی عیوب شکستگی.....	۷۹
جدول (۱-۴) ارزیابی نتایج بر اساس تشخیص صحیح کاشی های معیوب و سالم.....	۸۶
جدول (۲-۴) ارزیابی تشخیص و آشکارسازی صحیح عیوب.....	۸۷
جدول (۳-۴) ارزیابی نتایج درجه بندی عیوب.....	۹۰
جدول (۴-۴) میانگین زمان اجرای هر یک از مراحل بر حسب میلی ثانیه.....	۹۲
جدول (۱-۵) مقایسه روش پیشنهادی با روش های پیشین.....	۱۰۸
جدول (۲-۵) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش [۲۲].....	۱۰۹

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

در حال حاضر ارتقاء سطح کیفی محصولات تولیدی در صنایع مختلف و همراه آن افزایش تولیدات از لحاظ کمیتی، هدف اصلی هر واحد صنعتی می‌باشد. گسترش استفاده از فن‌آوری^۱ در صنعت دلایل متعددی دارد که از آن قبیل می‌توان به تسهیل تولید محصولات صنعتی، افزایش سرعت و دقت در تهیه محصولات، رضایت‌مندی مشتریان، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش سود دهی، صرفه جویی در استفاده از منابع، عدم بکارگیری انسان‌ها در شرایط نامناسب کارخانه‌ها و موارد دیگری از این قبیل اشاره کرد. از اینرو با اندکی توجه به دنیای پیرامون در می‌یابیم که ورود فن‌آوری در صنعت نقش و اهمیت بسزایی داشته است. در کشورهای پیشرفته صنعتی این مهم از سال‌های دورتری تحقق یافته است. درحالی‌که در کشورهای درحال توسعه اهمیت این امر در سال‌های نزدیک‌تر شناخته شده و صنعتگران و سیاست‌مداران این کشورها، برجسته ساختن این امر را در راستای اهدافشان قرار داده‌اند. بطوریکه می‌توان اظهار داشت امروزه وارد آوردن فن‌آوری در صنعت امری لازم می‌باشد. ازاین رو بدیهی است که کشورهای درحال توسعه در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی بنا به لزوم و جبران عقب ماندگی‌ها پروژه‌های خود را بیشتر در راستای این مهم سوق دهند. با توجه به موضوع انتخاب شده در این پایان نامه و ارتباط مستقیم آن با هدف مذکور، در این فصل بعنوان مقدمه، ابتدا درمورد اهمیت و نقش تکنولوژی در صنعت صحبت خواهیم کرد. سپس درمورد نقش تکنولوژی استفاده شده در این کار (هوش مصنوعی وزیرشاخه هایش: پردازش تصویر و بینایی ماشین) با صنعت صحبت می‌کنیم. در قسمت نهایی فصل نیز مطالب ذکر شده را در ارتباط با صنعت کاشی و سرامیک بسط خواهیم داد.

^۱ Technology

۱-۲- بازرسی چشمی خودکار^۱

در بسیاری از برنامه‌ها جهت کنترل کیفیت محصولات، از آزمون چشمی به عنوان اولین آزمایش و یا در بعضی موارد بعنوان تنها روش ارزیابی، استفاده می‌شود. علاوه بر یافتن محل عیوب سطحی، بازرسی چشمی می‌تواند روشی برای شناسایی نواقص و معایب سطحی باشد [۱]. کشف و تعمیر این عیوب در زمان فوق، کاهش هزینه قابل توجهی را در بر خواهد داشت. از این رو تولیدکنندگان محصولات نیز مزایای یک سیستم تولیدی که بازرسی چشمی منظمی داشته است را بخوبی درک کرده‌اند. بازرسی چشمی خودکار فرمی مکانیزه شده جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی است، بطوریکه معمولاً با استفاده از یک یا چند دوربین متصل شده به یک کامپیوتر ایجاد شده است. بطور کلی می‌توان اینگونه اظهار داشت که "بازرسی برای جلوگیری از رسیدن محصول معیوب به مشتری انجام می‌گیرد".

۱-۳- فن آوری صنعتی^۲ و اتوماسیون صنعتی^۳

فن آوری عبارت است از دانش و مهارت‌های لازم برای تولید کالا و خدمات که حاصل قدرت فکری و شناخت انسان و ترکیب قوانین موجود در طبیعت می‌باشد [۳]. فن آوری صنعتی به معنای قرار دادن تکنولوژی در اختیار صنعت می‌باشد. اتوماسیون صنعتی نیز به مجموعه‌ای از عملیات و فرآیندها اطلاق می‌شود که منجر به خودکار شدن خط تولید خواهد شد. از وظایف یک سیستم اتوماسیون می‌توان به جاری ساختن راهبردهای

^۱ Automatic visual inspection

^۲ Industrial Technology

^۳ Industrial automation

کنترلی در کارخانه، تبادل اطلاعات میان کارخانه و سایر بخش‌های بنگاه تولیدی، ایجاد یک واسطه کاربر به مجموعه تحت کنترل اشاره کرد.[۴]

برخی از مزایای اتوماسیون صنعتی عبارتند از:

- ✓ تکرارپذیری فعالیت‌ها و فرایندها
- ✓ افزایش کیفیت محصولات تولیدی
- ✓ افزایش سرعت تولید (کمیت تولید)
- ✓ کنترل کیفیت دقیق‌تر و سریع‌تر
- ✓ کاهش پسماندهای تولید (ضایعات)
- ✓ افزایش بهره‌وری واحدهای صنعتی
- ✓ بالا بردن ضریب ایمنی برای نیروی انسانی و کاستن از فشارهای روحی و جسمی

۱-۳-۱- هوش مصنوعی و ارتباط آن با صنعت

شاید بتوان هوش مصنوعی را این گونه توصیف کرد: "هوش مصنوعی عبارت است از مطالعه این که چگونه کامپیوتر را می‌توان وادار به کارهایی کرد که در حال حاضر انسان‌ها آن‌ها را بهتر انجام می‌دهند" [۵]. بینایی ماشین یکی از ابزارهای مورد استفاده در حوزه‌ی هوش مصنوعی است که به روش‌هایی می‌پردازد که به کمک آن‌ها می‌توان معنی و محتوای تصاویر را درک کرد. در حال حاضر در صنعت استفاده بسیاری از سیستم ماشین بینایی جهت بازبینی تصویری اشیاء که در آنها نیاز به سرعت و دقت بالا و کار شبانه روزی می‌باشد، وجود دارد. هرچند انسان در این زمینه عملکردی بهتر با قابلیت تطبیق دهی بیشتری جهت کشف خطاهای نو ظهور در زمان کوتاه را دارد، ولی با توجه به ویژگی‌های مذکور، این دستگاه‌ها به مرور جای نیروی انسانی را که به دلیل شرایط نامساعد دارای خطا می‌باشند، در صنعت پر خواهند کرد.

یکی از مهمترین کاربردهای بینایی ماشین در کنترل کیفیت خروجی کارخانه‌ها است [۶]. سناریوی انجام کار این سیستم‌ها بدین صورت است که اجناس تولیدشده در کارخانه بر روی یک نوار نقاله قرار گرفته و توسط یک دوربین جهت آزمایش نظارت می‌شوند. محصولاتی اجازه‌ی عبور خواهند داشت که کیفیت مناسب داشته باشند. لذا اگر محصولی فاقد استانداردهای مناسب و از پیش تعیین شده باشد، از ادامه مسیر حذف می‌شود. معیار این استانداردها می‌تواند شکستگی، خراشیدگی و بسیاری معایب دیگر باشد. شکل (۱-۱) دو نمونه‌ی طراحی شده از سیستم‌های بینایی ماشین را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از سیستم‌های بازرسی چشمی خودکار. سمت راست: طرحی از یک سیستم بینایی ماشین برای جداسازی محصولات معیوب در خط تولید. تصویر از [۶]. سمت چپ: یک سیستم بینایی ماشین برای بازرسی بسته بندی ظروف مواد غذایی. عکس از [۸]

۱-۳-۲- سیستم آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک

در بخش گذشته ضرورت بازرسی چشمی را بیان کردیم. در این قسمت بطور اجمالی تمامی قسمت‌های مربوط به یک سیستم آشکارسازی خودکار عیوب کاشی و سرامیک را معرفی و بررسی می‌کنیم.

۱-۳-۳- معرفی اجمالی فرآیند تولید کاشی و سرامیک [۹]

□ آماده سازی مواد اولیه

این قسمت شامل تهیه‌ی مواد اولیه جهت تولید بدنه کاشی می‌باشد. لازم بذکر است که مراحل مختلف این بخش با توجه به نوع محصولات تولیدی و همچنین فن آوری مورد استفاده در تهیه‌ی بدنه متفاوت خواهد بود.

□ مرحله‌ی تهیه‌ی بیسکویت و شکل‌دهی

پس از آماده‌سازی مواد اولیه به صورت پودر به وسیله فشار پرس آن را تبدیل به بدنه کاشی می‌نمایند که در اصطلاح به این عمل تهیه بیسکویت^۱ می‌گویند.

□ مرحله‌ی پخت

این بخش شامل مراحل خشک کردن و پخت، از جمله پخت بدنه و پخت لعاب می‌باشد. لعاب، لایه شیشه‌ای نازکی است که سطوح بدنه‌های سرامیک را می‌پوشاند. در ابتدا بدنه پخته شده و پس از لعاب زنی پخت دوم انجام می‌گیرد.

□ مرحله‌ی درجه بندی و بسته‌بندی

در این قسمت درجه‌بندی فرآورده‌های نهایی و بسته‌بندی جهت عرضه محصول به بازار صورت می‌گیرد. در درجه بندی دستی وقتی محصولات به قسمت نهایی می‌رسند، افرادی جهت نظارت و بررسی حاضر هستند که محصول تولید شده را با یک نمونه اولیه مقایسه کرده و پس از کشف و تشخیص انواع عیوب، با قرار دادن علائمی (مانند شماره‌ی درجه) روی سطح کاشی، درجه کیفی کاشی یا سرامیک مورد نظر را مشخص کرده و آن را برای بسته‌بندی ارسال می‌کنند.

^۱ Biscuit

۱-۳-۴- معرفی عیوب کاشی و سرامیک

همانطور که عنوان شد، رسالت نهایی این پایان نامه، تشخیص و آشکارسازی عیوب کاشی و سرامیک می باشد. که این امر می تواند هم در مراحل قبل از پخت (روی بیسکویت محصول) و هم در مرحله نهایی (درجه بندی و دسته بندی) انجام پذیرد. در این قسمت تمرکز بر فاز درجه بندی محصولات می باشد. درجه بندی کاشی ها بر اساس عیوب موجود در کاشی و سرامیک صورت می گیرد. در این قسمت برخی عیوب کاشی و سرامیک را برای آشنایی و درک بهتر مسئله بیان می کنیم. با توجه به مصوبه ی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران^۱ بخش کاشی های سرامیکی، تعاریف، طبقه بندی، ویژگی ها و نشانه گذاری^۲، در بند هشتم از استاندارد مذکور و در قسمت اصطلاحات و تعاریف عیوب سطحی و اثرات عمدی، عیوب سطحی بصورت جدول (۱-۱) تعریف شده اند.

^۱ استاندارد شماره ۲، تجدید نظر چهارم

^۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۹۳ روش تعیین ابعاد و کیفیت سطح کاشی

جدول (۱-۱) تعاریف برخی از عیوب سطحی

نوع عیب	خصوصیات عیب
ترک‌ها ^۱	هر نوع ترکی بر روی بدنه کاشی که بر روی سطح رویی یا پشتی یا هر دو سطح کاشی ایجاد می‌شود.
ترک موئی	ترک های لعاب که به صورت باریک، ریز و نامنظم بوجود می‌آید.
نداشتن لعاب	نگرفتن لعاب در بعضی از قسمت‌های سطح کاشی لعاب‌دار
حفره سر سوزنی ^۲	حفره کوچک بر روی سطح لعاب‌دار کاشی
اشکالات دکور	هرگونه اشکال ظاهری در چاپ و دکوراسیون کاشی را گویند.
پریدگی ^۳	هرگونه قطعه خرد و جدا شده از لبه ها، گوشه ها یا سطوح کاشی را گویند.

طبق تعاریف مندرج در جدول (۱-۱) حوزه‌ی فعالیت این پایان نامه عیوب پریدگی و تمام زیربخش‌های آن می‌باشد. البته لازم به ذکر است که بستری جهت شناسایی سایر عیوب نیز انجام شده است که در فصل‌های آتی معرفی می‌شود.

۱-۳-۵- سخت افزار سیستم خودکار بازرسی چشمی محصولات کاشی و سرامیک

بطور کلی سخت افزار مورد نظر، یک سیستم بازرسی چشمی است که در مراحل قبل توضیح داده شد. این سیستم دارای یک یا چند دوربین می‌باشد که به همراه نورپردازهایی برای تنظیم نور در فاصله‌ی مشخصی از تسمه نقاله^۴ قرار گرفته‌اند. شکل (۱-۳) نمونه‌ای از سخت افزار مورد نظر را که

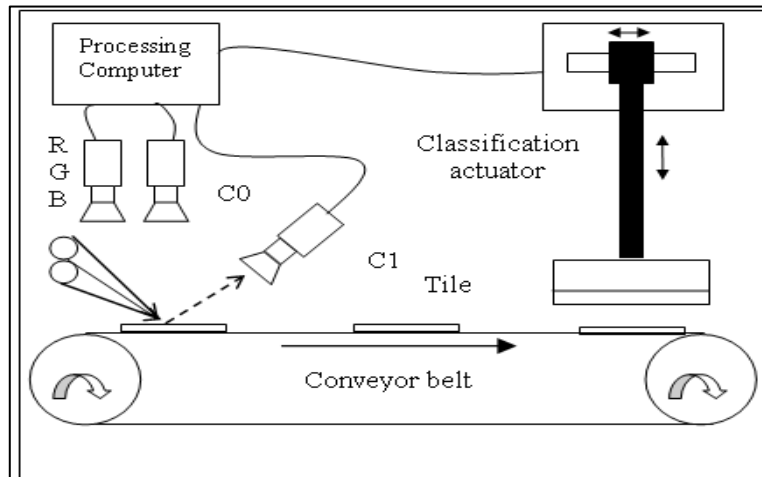
^۱ Cracks

^۲ Pin hole

^۳ Chip

^۴ Conveyor belt

توسط نویسندگان [۱۰] پیشنهاد شده است نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) طرح یک سیستم بینایی ماشین جهت بازرسی کیفی کاشی و سرامیک. شکل از [۱۰]

۴-۱- تعریف مسئله

در این قسمت با تشریح کامل مسئله، هدف اصلی پایان‌نامه را عنوان خواهیم کرد. هدفی که در مراحل بعدی به طور شفاف و جامع مورد بحث قرار خواهد گرفت.

با توجه به مراحل تولید محصولات که در بخش ۱-۵-۱ ذکر شد، فرض کنیم محصولات بعد از مرحله‌ی شکل دهی و تهیه‌ی بیسکویت و قبل از ورود به کوره جهت پخت و لعاب، روی تسمه‌ی نقاله‌ای مناسب قرار گرفته و به طرف کوره به حرکت در آیند. در حد فاصل این دو مرحله می‌توان از سیستم پیشنهادی این مقاله استفاده کرد. و با بررسی بیسکویت‌های تولید شده، در صورت وجود نقص شکستگی روی بیسکویت تولید شده با هشدارهایی مانع از عبور محصول معیوب به مرحله پخت شده و برای بازیافت محصول معیوب اقدام شود. این مرحله مستقل از درجه بندی عیوب بوده و فقط کشف عیوب به منظور کشف و جداسازی معصولات معیوب برای اجرا کفایت است.

در ادامه، محصولات سالم در مرحله‌ی قبل، جهت پخت به سمت کوره هدایت می‌شوند. بعد از خروج محصولات از کوره و اعمال رنگ و طرح، محصولات نهایی جهت درجه بندی روی تسمه‌ی نقاله

قرار می‌گیرند. از آنجا که ممکن است شکستگی‌هایی در هنگام پخت محصولات یا جابجایی محصولات بعد از مرحله‌ی تولید بیسکویت نیز حادث شود، روش پیشنهادی با قابلیت درجه بندی عیوب در این مرحله بکار گرفته می‌شود. تا این‌بار، با دیدگاه درجه بندی عیوب شکستگی برچسبی به محصولات اعمال شود. البته این مرحله می‌تواند بصورت ترکیبی با روش‌های ارائه شده برای شناسایی سایر عیوب نیز استفاده شود.

۱-۵- اهداف پایان‌نامه

هدف این پایان‌نامه ارائه‌ی روشی بسیار ساده و البته قابل اجرا و پیاده‌سازی بر روی سیستم‌های آشکارساز عیوب و درجه بند خودکار کاشی و سرامیک می‌باشد. بطور واضح تر هدف این پایان‌نامه ارائه‌ی روشی ساده برای کشف و شناسایی عیوب شکستگی و پریدگی کاشی و سرامیک در مراحل مختلف تولید محصول می‌باشد. که بدلیل ویژگی‌های این عیوب، بتوان در حین مراحل تولید، وجود این عیوب را تشخیص داده و از ارسال محصول معیوب به مراحل بعد که منجر به تحمیل هزینه‌های زائد خواهد شد، جلوگیری کرد. از طرفی سعی شده علاوه بر کشف عیوب مذکور، تعداد عیوب اعلام شده و همچنین موقعیت مکانی عیوب نیز نمایش داده شود. تا امکانات استفاده از روش پیشنهادی در فاز نهایی یعنی مرحله درجه بندی نیز وجود داشته باشد.

۱-۶- کاربردها

همانطور که در قسمت‌های قبل این فصل ذکر شد، کاربرد اصلی این پایان‌نامه در خط تولید کارخانجات کاشی و سرامیک جهت کنترل کیفی محصولات می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی بعد از تعبیه شدن روی سیستم شناسایی عیوب کاشی و سرامیک، در کشف و اعلان تعداد و محل عیوب شکستگی و همچنین درجه بندی محصولات از لحاظ عیب مذکور بکار گرفته می‌شود. دیدگاه مورد استفاده در

این پایان نامه طوری اتخاذ شده است که قابلیت استفاده از سیستم پیشنهادی را در دو قسمت مختلف از فازهای تولیدی فراهم می‌آورد. اولین کاربرد در قسمت قبل از ورود محصولات به کوره می‌باشد که محصولات هنوز خام هستند. در این مرحله روش قادر خواهد بود تا بیسکویت‌های تولید شده را که معیوب می‌باشند شناسایی کرده و از چرخه تولید خارج کنند. تا بدین ترتیب از هزینه‌های زائد ممکن جلوگیری شود.

علاوه بر این تمهیداتی در نظر گرفته شده است که طی آنها می‌توان از روش پیشنهادی در فاز نهایی تولید، یعنی هنگام درجه بندی و بسته بندی محصولات نیز استفاده کرد.

۷-۱-۷- فرض‌ها و محدودیت‌ها

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، عیبی که ما در این پایان نامه بدنبال کشف آن هستیم، عیوب شکستگی و پریدگی کاشی و سرامیک می‌باشد. وجود محدودیت‌ها و بدنبال آن فرض برخی شرایط در پیاده سازی‌های نرم افزاری بدیهی می‌باشد. بخصوص زمانیکه این پیاده‌سازی جهت استفاده در محیطی واقعی و ماشین‌های صنعتی انجام شود. لذا در این قسمت فرض‌ها و محدودیت‌های در نظر گرفته شده را بیان می‌کنیم.

۱-۷-۱- هندسه‌ی محصولات

اکثر تولیدات کاشی و سرامیک دارای هندسه‌ی مربع و مستطیل می‌باشند. سایر هندسه‌ها در صورت وجود و تولید بسیار اندک بوده و مصارف خاص دارند. از طرفی آزمون‌های مندرج در استاندارد شماره ۲۵ ملی، برای کاشی‌های سرامیکی با هندسه‌های مربع و مستطیل در نظر گرفته شده و بیان شده‌اند. از این رو کاشی‌ها و سرامیک‌های در نظر گرفته شده برای این پایان نامه، مربع و مستطیل

شکل می‌باشند. زیرا الگوریتم پیشنهادی برای کار بر روی کاشی‌های با هندسه‌ی غیر از مربع و مستطیل، نیاز به اعمال تغییرات محسوسی دارد.

۱-۷-۲- چرخش و زاویه‌دار بودن محصولات

امروزه تقریباً در تمامی کارخانه‌های تولید کاشی و سرامیک، جابجایی و انتقال محصولات در تمامی مراحل تولید، بصورت خودکار و توسط دستگاه‌های مکانیکی انجام می‌شود. یکی از دلایل استفاده از ابزارهای مکانیکی برای جابجایی کاشی‌ها صاف و ثابت نگه داشتن محصولات در مراحل تولید است. چرا که در طراحی و رنگ آمیزی محصولات، بدون چرخش بودن محصولات استلزام دارد. کار روی لبه‌ها و مرزهای کاشی از جمله کارهایی است که در آن زاویه‌دار بودن محصول یا شیء درون تصویر، تاثیر نامطلوبی در اجرای کار خواهد داشت. در دیدگاه استفاده شده در الگوریتم این پایان‌نامه، عدم چرخش و زاویه دار بودن محصولات ضروری است. بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که برای رفع این مشکل دو راه وجود دارد. راه اول راه حل نرم افزاری است که توسط الگوریتم‌هایی بعد از مرحله‌ی تصویر برداری بر روی تصویر اخذ شده اعمال می‌شود. هدف این الگوریتم‌ها رفع چرخش شیء درون تصویر و قرار دادن آن در حالتی استاندارد و مطلوب است. بررسی‌ها حاکی از آن است که الگوریتم‌های مذکور پیچیدگی بالایی دارند. بطوریکه هم از لحاظ زمانی هزینه‌بر هستند و هم علاوه بر آن به دلیل پیچیدگی دارای خطا در عملکرد نیز می‌باشند. از طرفی عملکرد صحیح این روش‌ها به پارامترهای زیادی بستگی دارد.

راه دوم نیز همان استفاده از ابزارهای مکانیکی روی خط تولید می‌باشد. از آنجا که در این پایان‌نامه تمام روش‌های استفاده شده در بر اساس دیدگاه سادگی و سرعت بالا در عملکرد انتخاب شده‌اند، ما نیز فرض کرده‌ایم محصولات بدون زاویه خواهند بود. این امر در تصاویر تهیه شده در پایگاه داده نیز لحاظ شده و تصاویر بگونه‌ای اخذ شده‌اند که محصولات درون تصویر صاف و بدون چرخش باشند.

نکته‌ی حائز اهمیت اینست که الگوریتم پیشنهادی این پایان‌نامه قابلیت تطبیق دهی و استفاده از هر یک از روش‌های نرم افزاری یا سخت افزاری موجود برای رفع چرخش محصولات را دارد. و استفاده از هر کدام از روش‌ها خللی در کار الگوریتم پیشنهادی پایان‌نامه ایجاد نخواهد کرد. از اینرو ما این فرض را لحاظ کرده‌ایم که محصولات درون تصویر ثابت بوده و تصاویر مورد استفاده در این پایان‌نامه بر همین اساس تهیه شده‌اند. از این رو به این موضوع پرداخته نخواهد شد.

۱-۷-۳- پس زمینه و طرح و رنگ محصولات

موضوع جداکردن^۱ شیء از پس زمینه در بسیاری از پروژه‌های پردازش تصویر و بینایی ماشین، بخصوص پروژه‌های در زمینه‌ی کشف و شناسایی عیوب مسئله مهمی است. زیرا در چنین کاربردها اغلب عدم جداسازی صحیح شیء از پس زمینه، موجب شکست پروژه و عدم وصول به نتایج دلخواه خواهد شد. لذا بدیهی است که در هر کار تمهیداتی برای این منظور اندیشیده شود. موضوع کشف عیوب کاشی و سرامیک نیز از این حیث مستثنی نیست. ما برای حل این موضوع فرض‌هایی را در نظر گرفته‌ایم تا با استفاده بر این فرضیات به حل مساله بپردازیم. فرض ما در این رابطه و این پروژه اینست که تسمه‌ی نقاله‌ای که کاشی‌ها روی آن قرار خواهند گرفت دارای زمینه‌ی تیره باشد. این فرض تقریباً در تمام مقالات موجود در این زمینه اتخاذ شده و زمینه‌ی تسمه‌ی نقاله‌ی حامل کاشی، مشکلی در نظر گرفته شده است. ما نیز بر این اساس و شبیه‌سازی‌هایی که صورت گرفته، این زمینه را برای محصولات شبیه‌سازی کرده‌ایم. لذا بدیهی است که رنگ محصولات و اشیاء نیز باید قابل تمیز از پس زمینه باشد.

^۱ Isolate

۱-۷-۴- زمان اجرا

در کارهای صنعتی زمان اجرای مراحل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. موضوع زمان در پیاده سازی یک سیستم بینایی ماشین بقدری حائز اهمیت است که در کاربرد نهایی سیستم تاثیر مستقیم دارد [۱۱]. از طرفی همانطور که در قسمت‌های پیش عنوان شد، هدف غایی پروژه‌های انجام شده در زمینه‌ی مربوط، پیاده‌سازی روی خط تولید کاشی و سرامیک در کارخانه‌ها می‌باشد. مشخص است که خطوط تولیدات صنعتی که از مراحل مختلف تشکیل شده‌اند، در هر مرحله دارای محدودیت‌های زمانی جهت اجرا می‌باشند. از این رو در این مورد نیز باید تمهیداتی اندیشیده شود. در غیر اینصورت هر قدر هم که توان تکنیکی نرم افزار تولید شده برای کشف عیوب زیاد باشد، اما از نظر زمان اجرا با خطوط تولید تناسب نداشته باشد، آن نرم افزار در واقعیت بدون کاربرد و قابلیت پیاده سازی تلقی می‌شود. از این رو در این پایان نامه و در تمامی مراحل جداگانه‌ی پیش پردازش‌ها و پردازش‌ها سعی شده است تا این موضوع در نظر گرفته شود. در نهایت مفصلاً این موضوع بحث خواهد شد و با استناد به بررسی‌های انجام شده در این زمینه، تناسب زمان اجرای روش با خطوط واقعی تولید اثبات می‌شود.

۱-۷-۵- نیاز به نمونه اولیه

یکی از محدودیت‌هایی که در اغلب کارهای مربوط به کشف و آشکارسازی عیوب و بخصوص در زمینه‌ی آشکارسازی عیوب کاشی و سرامیک وجود دارد، نیاز به داشتن یک یا چند نمونه اولیه از محصولات سالم و بعضاً معیوب می‌باشد. اغلب روش‌های موجود بدلیل دستیابی به هندسه و ابعاد محصولات یا تسهیل بخشیدن به روال کار انجام گرفته، روششان را بر پایه‌ی اخذ پارامترهایی از کاربر طراحی و پیاده سازی کرده‌اند. که این موضوع محدودیت‌های بسیاری را ایجاد خواهد کرد. اما در کار انجام شده در این پایان‌نامه، هیچگونه نیازی به داشتن نمونه‌ی اولیه‌ای از محصولات نیست. و بر اساس

روال اتخاذ شده برای پیاده سازی و همچنین بر اساس آزمایشات انجام شده، اثبات می شود که با تغییر ابعاد محصولات خللی در کار الگوریتم پیش نمی آید.

فصل ۲:

مروری بر کارهای گذشته

اغلب کارهای انجام شده در زمینه‌ی آشکارسازی عیوب کاشی و سرامیک، کارهایی هستند که به عیوب سطحی چون عیوب رنگ و طرح، حفره‌ها، شیارها و لکه‌ها پرداخته‌اند. در این بین، کارهای انجام شده در زمینه‌ی آشکارسازی عیوب پدیدگی و شکستگی بسیار اندک می‌باشند. اما در این فصل برای آشنایی با روال کارهای انجام شده در زمینه‌ی کاشی و سرامیک، ابتدا بطور خلاصه برخی از کارها در زمینه‌ی آشکارسازی سایر عیوب سطحی را مرور می‌کنیم. و در قسمت نهایی، برجسته‌ترین کارهای انجام شده در زمینه‌ی شکستگی این محصولات را با نگاهی دقیق‌تر معرفی و بررسی خواهیم کرد.

۲-۲- کارهای انجام شده برای آشکارسازی عیوب سطی

در مقاله‌ی اول مورد بررسی روشی جدید برای کشف عیوب رنگی کاشی‌ها معرفی شده است [۱۲]. در این مقاله نویسندگان با استفاده از الگوریتم C-means و الگوریتم ژنتیک^۱ سعی در شناسایی عیوب رنگی کاشی و سرامیک کرده‌اند. الگوریتم C-means، یک الگوریتم خوشه‌بندی^۲ است که بر پایه‌ی اندازه‌ی بین نقاط داده و مرکز خوشه‌ها در فضای داده و بهینه‌سازی تابع هدف کار می‌کند^۳. اساس کار به اینصورت است که ابتدا تصویر کاشی سالم توسط الگوریتم GCMA^۴ خوشه‌بندی شده است. بعداز یافتن بهترین مرکز، هرپیکسل از تصویر به خوشه‌ی با نزدیکترین مرکز خوشه نسبت داده می‌شود. سپس بیشترین خطای خوشه‌ها محاسبه می‌شوند. برای هر خوشه، بیشترین خطا، بیشترین فاصله بین مرکز آن و تمام پیکسل‌هایی است که به آن تعلق دارد. بعداز محاسبه خطاها، تمام پیکسل -

^۱ Genetic Algorithm

^۲ Clustering

^۳ Mean square error distribution

^۴ Genetic C-means Algorithm

های تصویر کاشی معیوب برپایه‌ی مرکز بهینه شده‌ی تصویر کاشی سالم در مرحله‌ی قبل خوشه بندی می‌شوند. پیکسل‌هایی که فاصله‌اشان از مرکز خوشه‌اشان از بیشترین خطا از آن خوشه بیشتر می‌باشد، جزء پیکسل‌های معیوب هستند.

در [۱۳] جهت کشف عیوب بافت محصولات از هیستوگرام تصاویر محصولات استفاده شده است. نویسندگان در این مقاله جهت کشف عیوب موجود در بافت محصولات، هیستوگرام استخراجی تصویر را با یک هیستوگرام مبنا مقایسه نموده‌اند. همچنین در [۱۴] نویسندگان از پردازش هیستوگرام تصاویر رنگی جهت آشکارسازی عیوب رنگی و بافتی کاشی و سرامیک‌ها استفاده کرده‌اند.

در [۱۵] سعی در درجه‌بندی کاشی‌ها براساس آشکارسازی عیوب رنگی آن‌ها به روش رنگی- ساختاری شده است. ایده این روش بر این اساس است که اگرچه ممکن است تعداد پیکسل‌های تصویر کاشی و سرامیک زیاد باشد، اما تنوع رنگ در آن زیاد نخواهد بود. از این‌رو عنوان شده است که می‌توان بجای مقایسه‌ی پیکسل‌ها با یکدیگر، خوشه‌های رنگی را مقایسه کرد. الگوریتم مذکور ابتدا با استفاده از تصاویری از کاشی سالم جهت خوشه‌بندی آموزش داده می‌شود. در مرحله‌ی آزمایش تصویر کاشی مورد بررسی جهت کشف عیب مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در [۱۶] برای کشف عیوب کاشی‌های دارای بافت‌های تصادفی روشی برپایه‌ی عملگرهای مورفولوژی بازگشتی^۱ ارائه شده است. ایده‌ی مطرح شده در این مقاله برپایه‌ی شناسایی ساختارهای غیرطبیعی بافت با استفاده از عملگر سایش مورفولوژی می‌باشد.

در [۱۷] سیستمی برای درجه بندی کاشی‌های سرامیکی با استفاده از تکنولوژی بینایی ماشین پیشنهاد شده است. بطوریکه در کار مورد نظر برای کلاس بندی عیوب از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده است.

در [۱۸] که مقاله‌ای تحت عنوان "روش‌های آشکارسازی لبه در کشف عیوب کاشی و سرامیک" است، خانم واسیلیس و همکارانشان سعی در کشف عیوب سطحی کاشی و سرامیک با استفاده از

^۱ Recursive morphological operations

روش‌هایی بر پایه الگوریتم‌های آشکارسازی لبه داشته‌اند. نویسندگان عنوان کرده‌اند که هدف اصلی این مقاله نشان دادن کاربرد الگوریتم‌های آشکارساز لبه برای کشف معایب رنگ و سطح در کاشی و سرامیک است. از این رو نویسندگان روش آشکارساز لبه کنی را پیشنهاد کرده‌اند. بطوریکه از این روش برای کشف عیوب حباب و شیار^۱ موجود در سطح کاشی استفاده شده است. استدلال نویسندگان برای بکاربردن لبه‌یاب کنی برای کشف عیوب مذکور، تیز بودن این عیوب می‌باشد که به گفته‌ی ایشان این عیوب در سطح کاشی با عملگرهای لبه‌یابی و استفاده از گرادیان تصویر نمایان می‌شوند.

در [۱۹] روشی برای تشخیص عیوب سطحی کاشی و سرامیک بر پایه لبه‌یاب کنی و ادغام آن با تبدیل کنترولت^۲ ارائه شده است. کنترولت نوعی از موجک^۳ است که قابلیت خوبی در هموارسازی و حذف نویز تصاویر دارد [همان]. نویسندگان با همین ایده از تبدیل کنترولت برای حذف نویز تصاویر قبل از اعمال الگوریتم کنی برای تشخیص عیوب سطح استفاده و ادعا کرده‌اند که ادغام این دو روش نتایج را بهبود می‌دهد.

در [۲۰] آقای پترو و همکارانش در یک پروژه‌ی شرکتی، روش‌هایی برای آشکارسازی ترک‌های بزرگ و کوچک پیشنهاد داده‌اند. روش شامل یک پیچش یک بعدی^۴ به ترتیب در جهات افقی و عمودی است. مواضع امکان وجود خطوط، و فرض وجود آن ارزیابی شده و شکل سیگنال‌های خروجی اطراف مواضع، با شکلی که انتظار داریم مقایسه می‌شود تا ببینیم خط مورد نظر فرض ما را تایید و یا رد می‌نماید. فیلترهای پیچشی می‌توانند برای تشخیص خصوصیات حتی به اندازه پهنای تاجند پیکسل بهینه شده و استفاده شوند [همان]. در همین مقاله برای آشکارسازی ترک‌های بزرگ استفاده

^۱ Blob and crack

^۲ Contrullet transform

^۳ Wavelet

^۴ Deconvolution

از توزیع وینگر^۱ و فاصله‌ی ماهانولوبیس^۲ پیشنهاد شده است.

در [۲۱] روشی بر اساس آنالیز شدت روشنایی پیکسل‌ها با یک همسایگی تعیین شده، در پی یافتن اختلافات برای آشکارسازی عیوب خال ارائه شده است.

۲-۳- کارهای انجام شده برای آشکارسازی عیوب شکستگی کاشی‌ها

آمارهای کارخانه‌ی تولید کاشی و سرامیک نشان می‌دهد که نود درصد عیوب کاشی سرامیک‌ها در گوشه‌ها و زوایای کاشی‌ها اتفاق می‌افتد. این بدلیل دست کاری کردن در مراحل اولیه ساخت می‌باشد [۲۳]. از آنجا که بحث و هدف اصلی این پایان‌نامه، آشکارسازی عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک می‌باشد، لذا در این قسمت منحصرأ به فعالیت‌های مهمی که در این زمینه انجام شده است می‌پردازیم. سعی شده است که روش انجام این روش‌ها با وضوح و شفافیت بیشتری بیان شود. اما نکته‌ای که در مورد کارهای انجام گرفته در این زمینه حائز اهمیت است این است که می‌توان عنوان کرد که بطور کلی فعالیت‌های انجام گرفته در زمینه‌ی تشخیص عیوب لبه کاشی و سرامیک، در دو دسته انجام گرفته است. یکی شناسایی عیوب گوشه‌ها و زوایای کاشی و دیگری شناسایی عیوب در تمام نقاط مرزی و لبه‌های کاشی می‌باشد. که نوع دوم شامل هم گوشه‌ها و هم مرزها و لبه‌ها می‌شود. از این‌رو در این پایان‌نامه معرفی روش‌ها بر اساس ویژگی مطرح شده، در دو قسمت مجزا انجام می‌شود. اولین کاری که در این قسمت مورد بررسی قرار می‌گیرد، فعالیت عنوان شده در مقاله‌ی [۲۳] می‌باشد. در این مقاله نویسندگان روشی را برای بررسی بصری گوشه‌های کاشی و سرامیک ارائه داده‌اند. روش ارائه شده در این مقاله بر پایه‌ی تکنیک‌های پردازش تصویر و ضرب نقطه‌ای^۳ بردارها می‌

^۱ Wiener distribution

^۲ Mahanobis distance

^۳ Dot product

باشد. ایده این است که اگر زاویه‌ی گوشه‌های کاشی بیشتر از ۹۲ درجه و کمتر از ۸۹ درجه بود، آن کاشی بعنوان کاشی معیوب معرفی خواهد شد.

اساس کار در این مقاله به این صورت است که ابتدا در مرحله‌ی سرشاخه زنی^۱، تصویر به ۴ قسمت تقسیم شده است. دلیل اصلی این موضوع را جلوگیری از پردازش اضافی و جداسازی و درنهایت سهولت در کشف عیوب هریک از ۴ گوشه‌ی کاشی بطور مجزا عنوان کرده‌اند. سپس با استفاده از آستانه‌ی معمولی، تاثیرات پس‌زمینه (تسمه‌ی نقاله) بر روی شکل اصلی را از بین برده‌اند. بعداز مرحله‌ی آستانه گذاری از فیلتر میانه^۲ برای حذف نویزهای تصویر استفاده شده است. سپس برای استخراج ویژگی از ردیابی عمودی و افقی تصویر استفاده شده است. سپس در مرحله‌ی استخراج ویژگی نقاط مورد نظر (گوشه‌های کاشی) بصورت بردارهایی استخراج می‌شوند و با استفاده از ضرب داخلی، ضرب داخلی دو بردار متعامد بدست می‌آید. همانطور که می‌دانیم حاصلضرب درونی دو بردار یک عدد می‌باشد. عدد استخراج شده بعنوان ویژگی مناسب برای محاسبه‌ی زاویه‌ی بین دو بردار استفاده می‌شود که در رابطه (۱-۲) مشخص شده است.

$$A \cdot B = |A| \cdot |B| \cos \theta \quad (1-2)$$

که در این معادله $|A|$ و $|B|$ اندازه دو بردار بوده و θ زاویه‌ی بین آن‌ها می‌باشد. بعداز محاسبه ضرب داخلی دو بردار زاویه‌ی بین آن‌ها از فرمول (۲-۲) محاسبه می‌شود.

$$\theta = \text{Arc cos} \left(\frac{A \cdot B}{|A| \cdot |B|} \right) \quad (2-2)$$

در این مرحله با استفاده از رابطه (۲-۳)، تبدیل رادیان به درجه انجام می‌شود.

^۱ Cropping

^۲ Median filter

$$Deg = Rad \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (3-2)$$

حال با این مقدار می‌توان میزان درجه‌ی گوشه‌های شکل را بدست آورد. که اگر مقدار بیشتر از

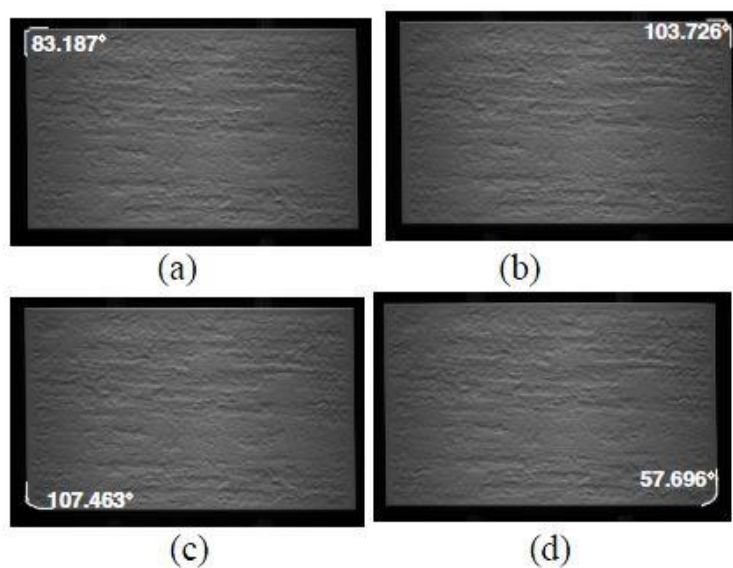
۹۲ درجه و یا کمتر از ۸۹ درجه بود، کاشی مورد نظر معیوب معرفی می‌شود.

نتایج بدست آمده از اعمال روش مذکور در جدول (۱-۲) نشان داده شده است.

جدول (۱-۲) درصد خطای الگوریتم برای کشف عیوب گوشه. جدول از [۲۳]

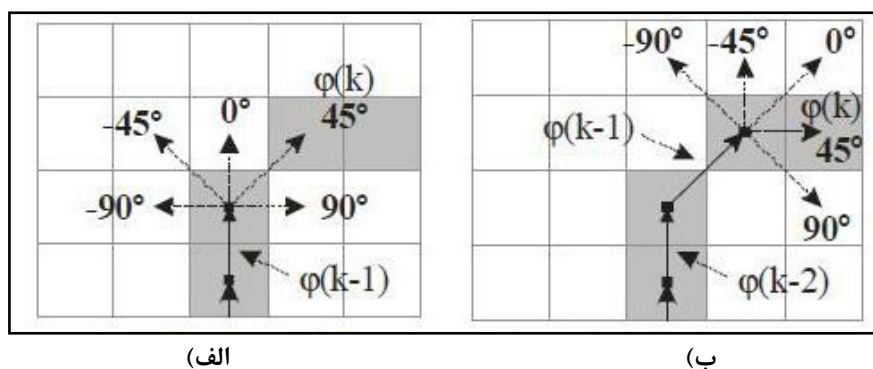
درصد خطا در تشخیص کاشی معیوب	درصد خطا در تشخیص کاشی سالم	کاشی معیوب	کاشی سالم	
۶.۲۵٪	۰٪	۳۲	۸	گوشه بالا-راست
۶.۲۵٪	۰٪	۳۲	۸	گوشه بالا-چپ
۰٪	۰٪	۳۲	۸	گوشه پایین-راست
۰٪	۱۲.۵٪	۳۲	۸	گوشه پایین-چپ

نمونه‌هایی از نتایج حاصل شده در این کار در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است.



شکل (۱-۲) نتایج حاصل شده برای کاشی‌های معیوب. شکل از [۲۳]

کار بعدی در شناسایی عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک یک روش بدیع و پیشنهاد شده‌ی مقاله‌ی [۱۰] می‌باشد که توسط آقای هاسنسکی و همکارانش ارائه شده است. همانطور که در عنوان این مقاله آمده است، هدف یافتن عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک بر پایه‌ی تحلیل توصیف‌گر کانتور^۱ می‌باشد. ابتدا نویسندگان تصویر ورودی را به تصویر دودویی تبدیل کرده‌اند. روش آستانه‌گذاری استفاده شده شامل یک تحلیل هیستوگرام می‌باشد که در [۱۰] آمده است. نویسندگان عنوان کرده‌اند که اغلب روش‌های آشکارسازی لبه‌های تصویر، برپایه‌ی روش‌های گرادیان انجام می‌گیرد. آن‌ها برای استخراج لبه‌های شکل از کرنل کنی استفاده کرده‌اند. بعد از استخراج کانتور، توسط روشی کانتور موردنظر ردیابی می‌شود. روش استفاده شده در این مقاله برای ردیابی کانتور، روش ردیابی جهت دار کانتور^۲ می‌باشد. روش مذکور روشی برپایه جستجوی پیکسل‌های لبه‌ی شکل کاشی با اطلاعاتی درباره جهت آن‌ها در امتداد مسیر جستجو می‌باشد. به اینصورت که بجای موقعیت هر پیکسل کانتور، جهت آن پیکسل ذخیره شده و ردیابی کانتور برپایه‌ی جهت‌ها انجام می‌شود. شکل (۲-۲) در قسمت ا و ب، روش ردیابی جهت‌دار کانتور را برای دو مرحله‌ی متوالی از جستجو نشان می‌دهد.



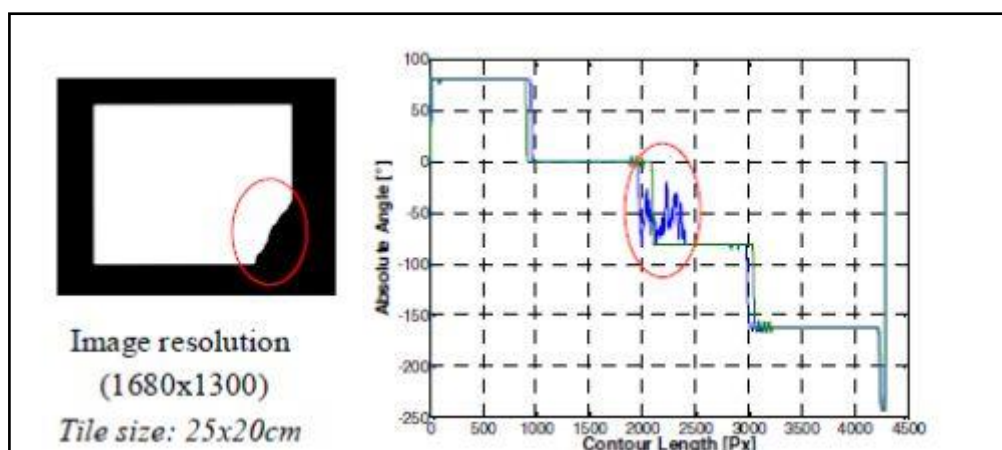
شکل (۲-۲) الف. جستجو در مرحله k ام. ب. جستجو برای $K+1$ امین مرحله. مثالی از روش ردیابی جهت دار کانتور برای دو مرحله از جستجو شکل از [۱۰]

^۱ Contour descriptor

^۲ A directional searching contour tracing method

در مرحله بعد که آخرین مرحله از الگوریتم می‌باشد، سعی در کشف عیوب لبه با استفاده از ویژگی‌های استخراجی در مراحل قبل شده است. ابتدا، لازم است که یک توصیف‌گر کانتور^۱ از شکل کاشی مرجع (Qref) محاسبه شده و بدست آید. بطوریکه هیچ خرابی نداشته باشد. ساده‌ترین راه برای کشف خرابی در شکل مورد تحلیل مقایسه‌ی توصیف‌گرهای مرجع و مورد تحلیل (Q و Qref) می‌باشد.

بعد از مقایسه‌ی توصیف‌گرهای کانتور تصویر کاشی مرجع با تصویر کاشی مورد تحلیل، هرگونه اختلاف در توصیف‌گرها بیانگر یک عیب می‌باشد. بنا به اظهار نویسندگان، ضعف واضح این الگوریتم زمانبر بودن آن می‌باشد. در بررسی‌ها زمان‌های اجرا برای هر قسمت از کار محاسبه شده است. مثلاً برای کاشی شکل (۲-۳) که دارای کانتوری به طول ۴۰۹۲ پیکسل است. زمان مورد نیاز برای تعیین عیب کاشی مذکور با الگوریتم پیشنهادی ۴.۵۶ ثانیه بوده است.



شکل (۲-۳) نتیجه‌ی روش ردیابی جهت دار کانتور برای بازرسی چشمی کاشی و سرامیک. سمت چپ، تصویر کاشی معیوب، سمت راست نمودار توصیف‌گر کانتور. تصویر از [۱۰]

روش پیشنهادی مقاله‌ی مذکور بسیار بدیع بوده و تمام شکستگی‌های مرزی را پوشش می‌دهد، اما همانطور که عنوان شد، واضح است که زمان اجرای بدست آمده در آزمایشات هنوز برای اعمال در محیط زمان واقعی^۲ قابل قبول نیست [همان]. و اجرای قسمت‌های الگوریتم برای آشکارسازی عیوب

^۱ Contour descriptor

^۲ Real time environment

مذکور، هزینه بسیاری دارد.

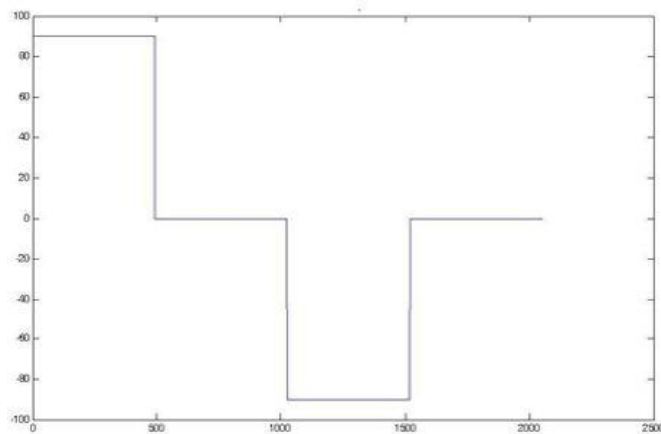
کار بعدی که در این قسمت به آن می‌پردازیم مربوط به مقاله [۲۴] می‌باشد. در واقع یکی از بهترین کارهایی است که در مورد تشخیص و آشکارسازی عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک انجام شده است. در مقاله‌ی مورد نظر که آقای منصوری و همکارانشان ارائه داده‌اند، الگوریتمی کارآمد و جدید برای بررسی چشمی کاشی و سرامیک پیشنهاد شده است. الگوریتم مورد نظر با استفاده از آستانه‌ی فازی، تبدیل رادون و درنهایت تجزیه و تحلیل مرزها سعی در کشف عیوب لبه‌ی کاشی و سرامیک می‌کند. الگوریتم این مقاله علاوه بر تشخیص عیوب، توانایی خوبی در نمایش موقعیت عیوب نیز دارد. نویسندگان ادعا داشته‌اند که الگوریتم پیشنهادی‌اشان بر روی پایگاه داده واقعی و در شرایط طبیعی عملکرد خوبی داشته است. روش پیشنهادی این مقاله با استفاده از ردیابی مرزها^۱ اقدام به کشف عیوب شکستگی می‌کند. بطوریکه بعد از مراحل پیش پردازش که شامل دودویی سازی تصویر با استفاده از الگوریتم c-means فازی^۲ [۲۵]، تبدیل رادون [۲۷][۲۶] و حذف نویز می‌باشد، ردیابی مرز استخراج شده صورت می‌گیرد. اساس کار صورت گرفته تقریباً بر پایه‌ی دیدگاهی است که در [۱۰] انجام شده بود. برای یافتن نقاط مورد نظر از خرابی‌های مرزی بعنوان ویژگی استفاده شده است. در نهایت با رسم منحنی شیب نقاط تصویر، خرابی‌های مرزی بدست آمده‌اند. روال کار به این صورت است که ابتدا مقادیر دودویی تصویر محاسبه می‌شوند، و سپس نقطه‌ای بعنوان نقطه‌ی مبداء انتخاب می‌شود. نقطه‌ی بعدی با نقطه‌ی مبداء مقایسه شده و یک مقدار مناسب با جهت آن به سمت نقطه‌ی قبلی توصیف می‌شود. این الگوریتم بصورتی مشابه تکرار می‌شود. در واقع با این تکرارها، بینظمی‌های شکل را پیدا می‌کند. در واقع محاسبه‌ی زاویه دو نقطه مجاور مرزی، اساس بدست آوردن ناهماهنگی- های مرزی می‌باشد. پس از این مرحله مقادیر بدست آمده را برای بدست آوردن منحنی نقطه گذاری می‌کنند. مقیاس الگوی منحنی یک کاشی سالم مانند شکل (۷-۲) می‌باشد. (در این شکل، جهت x

^۱ Boundary Tracing

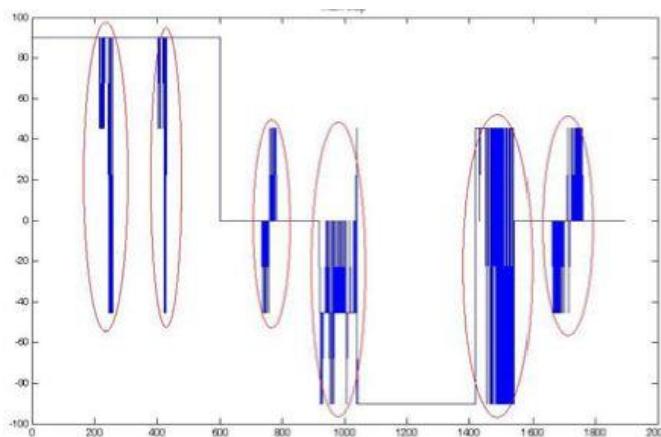
^۲ Fuzzy C-Means

نشان دهنده تعداد پیکسل ها در مرزها و جهت γ نشانگر زاویه بین پیکسل جاری و پیکسل مجاور است).

همان طور که در شکل (۷-۲) نشان داده شده، هیچ گونه بی نظمی در الگوی منحنی مقیاس یافت نمی شود. برای یک کاشی معیوب، این منحنی دارای برخی تغییرات است که در شکل (۸-۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۴) الگوی منحنی شیب یک کاشی سالم. شکل از [۲۴]



شکل (۲-۵) منحنی شیب کاشی معیوب. حاوی شش عیب شکستگی. شکل از [۲۴]

با استفاده از شرایط منطقی بالا، می توان نقاط آغازگر و پایانی عیوب را بدست آورد. شکل (۲-۶)

نتیجه‌ی اعمال الگوریتم پیشنهادی مقاله را بر روی یک کاشی معیوب نشان می دهد.

الگوریتم پیشنهادی مقاله بر روی ۳۰۰ کاشی کامل و ۱۵۰ کاشی معیوب آزمایش شده است.

نتایج بدست آمده در جدول (۲-۲) نشان داده شده است. طبق مقایسه‌ای که نویسندگان این مقاله با روش [۱۰] انجام داده‌اند، روش [۲۴] از دقت بالاتری برخوردار است. مزیت دیگر این روش به روش [۱۰] می‌تواند عدم نیاز به نمونه‌ی اولیه باشد.



شکل (۲-۶) نتیجه نهایی آشکارسازی قسمت‌های معیوب. شکل از [۲۴]

جدول (۲-۲) ارزیابی و میزان دقت حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی مقاله [۲۴]. جدول از [۲۴]

معیوب	سالم	
تعداد کاشی‌ها	۱۵۰	۳۰۰
جداسازی صحیح	۱۴۰	۲۹۵
جداسازی اشتباه	۱۰	۵
دقت	%۹۶	%۹۸
اعلام صحیح تعداد عیب	%۹۲	

در همین مقاله الگوریتم مقاله‌ی [۱۰] برای مقایسه پیاده سازی شده است. نتایج الگوریتم [۱۰] با همین پایگاه داده بدست آمده در جدول (۲-۳) زیر می‌باشد.

جدول (۳-۲) ارزیابی و میزان دقت حاصل از اعمال الگوریتم مقاله [۹]. جدول از [۲۲]

معیوب	سالم	
تعداد کاشی‌ها	۱۵۰	۳۰۰
جداسازی صحیح	۱۲۳	۲۵۰
جداسازی اشتباه	۲۷	۵۰
دقت	%۸۲	%۸۳

۲-۴- نتیجه گیری

همانطور که در مرور کارهای انجام شده در زمینه‌ی شناسایی عیوب شکستگی کاشی و سرامیک بیان شد، کارهای انجام شده در این زمینه در دو گروه شناسایی عیوب گوشه‌های محصول و شناسایی شکستگی‌های تمام مرزها بودند. در کارهای انجام شده بر پایه‌ی شناسایی گوشه‌ها و زوایای کاشی‌ها این کاستی وجود دارد که روش مورد نظر توان شناسایی شکستگی‌های سایر نواحی را ندارد. اما در مورد کارهای انجام شده در [۱۰] و [۲۴] ، علی رغم توان این روش‌ها در آشکارسازی تمام شکستگی‌های مرزی، این نقص وجود دارد که روش‌های مذکور در آشکارسازی شکستگی‌هایی که در سطح و بدنه‌ی کاشی ایجاد شوند ناتوان خواهند بود. از طرفی در روش‌های موجود هیچگونه تمهیدی برای درجه بندی عیوب شکستگی اندیشیده نشده است. باز هم علاوه بر این‌ها ماهیت روش‌های موجود بگونه‌ایست که نمی‌توانند در سایه‌ی دیدگاه اصلی، بستری را جهت شناسایی سایر عیوب فراهم آورند. بطور مثال اگر در راستای پیاده سازی یک سیستم یکپارچه جهت کشف و شناسایی عیوب، در کنار این روش‌ها بخواهیم روش‌های دیگری را اضافه کنیم، ناچار به افزودن بستری کاملاً متفاوت از بستر موجود خواهیم بود. و به اندازه‌ی تعداد عیوب باید روش‌ها و دیدگاه‌های متفاوت از یکدیگر در یک سیستم قرار گیرند. که گاهی اختلاف روش‌ها به حدی است که این کار از لحاظ فنی و مهندسی قابل توجیه و تائید نخواهد بود. که اساس این پایان‌نامه تمهیداتی برای این موضوع اندیشیده است. و درنهایت همانگونه که عنوان شد و در فصل ارزیابی نتایج خواهیم دید، زمان اجرای این روش‌ها هنوز برای پیاده سازی روی خط مناسب نیستند. و اکنون روشی در این زمینه وجود ندارد که قادر به شناسایی تمام شکستگی‌های گوشه‌ها، مرزها و حتی سطح کاشی و سرامیک باشد.

فصل ۳:

آشکار سازی و درجه بندی عیوب شکستگی

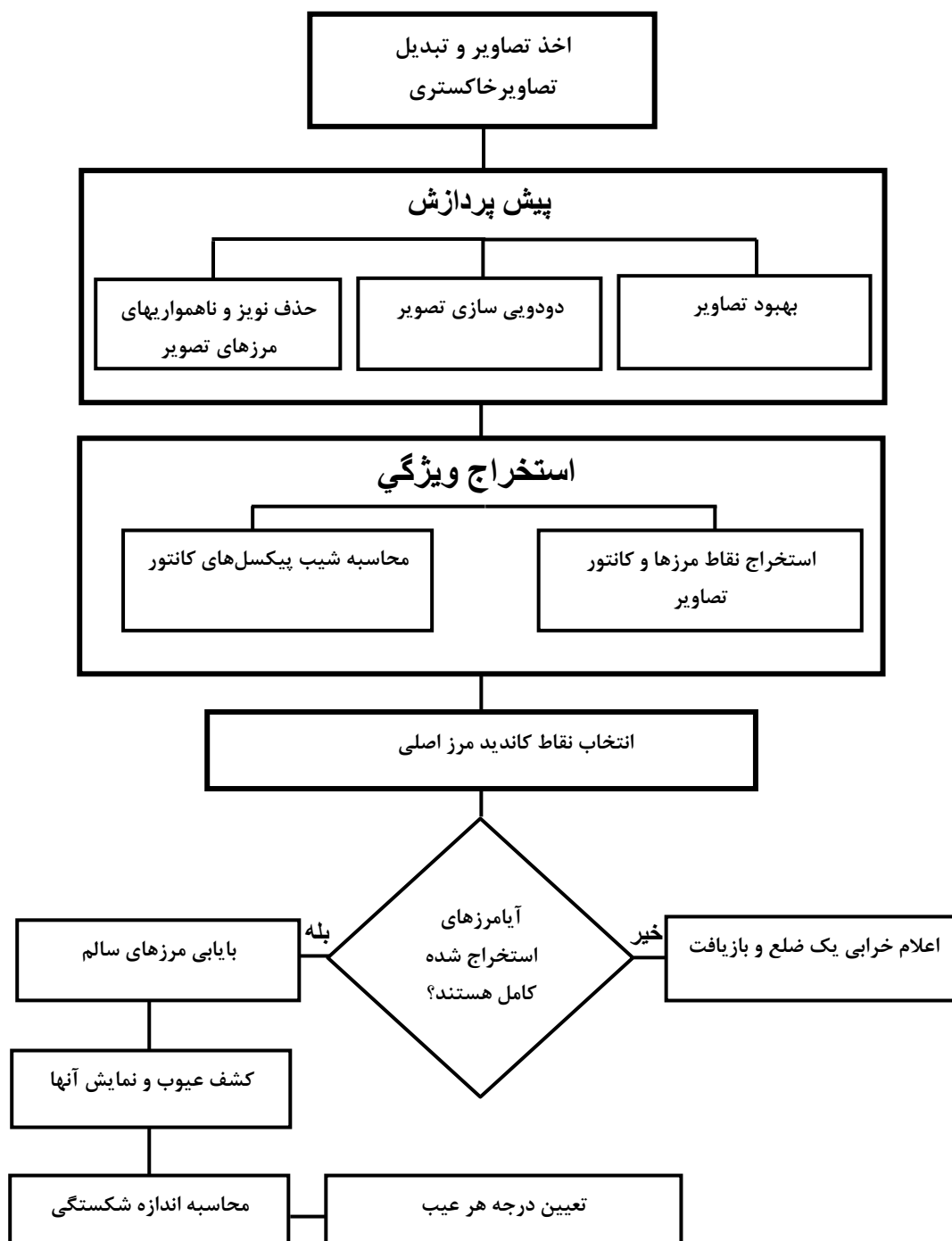
کاشی و سرامیک

۱-۳- پیشگفتار

در این فصل روش پیشنهادی پایان نامه را در راستای کشف خودکار عیوب کاشی و سرامیک تشریح خواهیم کرد. در فصل دوم کارهای انجام گرفته در این زمینه را مورد بررسی قرار دادیم. الگوریتم پیشنهادی این پایان نامه در جهت تکامل، سعی در کشف و آشکارسازی شکستگی‌های تمام مرزهای کاشی سرامیک‌ها را دارد. علاوه بر این، در روش پیشنهادی دیدگاهی استفاده شده است که با این دیدگاه توانایی آشکار سازی شکستگی‌های سطح کاشی نیز ایجاد می‌شود. عملی که روش‌های موجود قادر به انجام آن نیستند. مزیت دیگر که در انتهای الگوریتم خواهیم دید، توانایی جداسازی و درجه بندی کاشی و سرامیک‌های معیوب می‌باشد که این امر نیز با استفاده از روش پیشنهادی میسر شده است. نکته‌ی منحصر بفرد روش پیشنهادی بازیابی محیط و یا مرزهای سالم کاشی یا سرامیک مورد بررسی می‌باشد. که این امر با پردازش‌های متعددی ممکن شده است که در ادامه‌ی این فصل به تفصیل هر یک از مراحل پرداخته و روال کلی کار را توضیح خواهیم داد.

۲-۳- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۱-۳) نمایش داده شده است.



شکل (۱-۳) فلوچارت روش پیشنهادی پایان‌نامه

۳-۳- پایگاه داده

برخلاف اغلب پروژه‌های انجام شده در حوزه‌ی پردازش تصویر، در زمینه‌ی شناسایی عیوب کاشی و سرامیک، پایگاه داده‌ی یکتایی وجود ندارد. از این نظر که تمام کارها بر اساس آن پایگاه سنجیده شوند. در هر کاری حتی در مورد یک عیب خاص نیز، تصاویر جداگانه و توسط ارائه دهندگان همان کار تهیه شده‌اند. از این رو اختلافات در پایگاه‌ها از نظر تعدد محصولات، اندازه، سایز تصاویر و دیگر موارد بسیار چشمگیر می‌باشد. از این رو در این پایان نامه سعی شده است که پایگاهی تشکیل شود که حتی الامکان تمام ملاحظات در نظر گرفته شده در کارهای قبلی را پوشش دهد.

۳-۳-۱- ویژگی و معیارهای تشکیل دهنده‌ی تصاویر

ویژگی‌ها و معیارهای تشکیل دهنده‌ی تصاویر پایگاه داده مورد استفاده در این پایان نامه در جدول (۳-۱) درج شده است.

جدول (۳-۱) ویژگی‌های تصاویر تشکیل دهنده پایگاه داده

توضیحات	Canon EOS ٧D	دوربین تصویر برداری
لنز Kit-EF-١٨-١٣٥ mm-IS	JPEG Image/RGB	فضا و فرمت تصاویر
-	٦٠٠*٤٠٠ پیکسل	ابعاد تصاویر
ابعاد مورد استفاده برای پردازش در نرم افزار مناسب می‌باشد. هر چند از ابعاد ٨٠٠*٦٠٠- نیز جهت تخمین نتایج استفاده شده اما تمرکز بر روی ٦٠٠*٤٠٠ است.	٩٦ پیکسل در اینچ	قدرت تفکیک پذیری (رزولیشن)
از این معیار برای تعیین اندازه عیوب در این پایان نامه استفاده شده است. از این رو بسیار حائز اهمیت می‌باشد.		

۳-۲- تعداد و انواع محصولات انتخاب شده برای تشکیل پایگاه داده

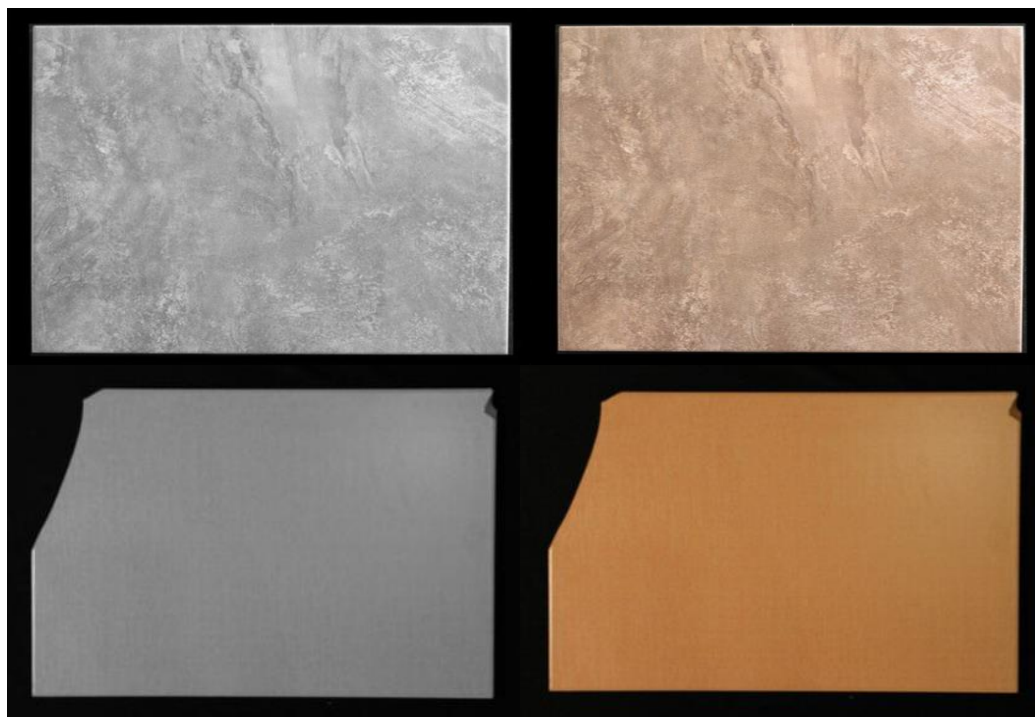
برای تهیه تصاویر پایگاه داده از ۳۵۰ عدد کاشی و سرامیک استفاده شده است. در هر نمونه از محصولات سالم و بدون نقص نیز استفاده شده است تا ارزیابی نسبت به تشخیص سالم بودن محصولات نیز صورت گیرد. محصولات مورد استفاده شامل انواع عیوب شکستگی می‌باشند که در طول چرخه تولید و حیات محصول ایجاد شده‌اند. انواع شکستگی‌ها از قبیل : شکستگی در گوشه‌ها، شکستگی در مرزها و حتی محصولاتی که دارای ترک^۱ می‌باشند نیز در تصاویر پایگاه وجود دارند. در محصولات از سرامیک‌های خام (بیسکویت) نیز استفاده شده است. تا ارزیابی کارایی روش برای استفاده در فاز قبل از پخت نیز سنجیده شود. محصولات مورد استفاده در ابعاد ۴۰*۴۰ ، ۴۰*۲۵ ، ۲۵*۲۵ و ۵۰*۵۰ برای ارزیابی مراحل مختلف روش استفاده شده‌اند. اما تمرکز بر روی محصولات ۴۰*۲۵ است که در تصاویری به ابعاد ۴۰۰*۶۰۰ ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برخی از نمونه‌های انتخاب شده و مورد استفاد در پایگاه داده، در شکل (۳-۲) نمایش داده شده‌اند.

بدلیل مستقل بودن کار نسبت به رنگ و در راستای کاهش حجم پردازش‌ها ابتدا تصاویر رنگی اخذ شده را به تصاویر خاکستری تبدیل می‌کنیم. از طرفی از آنجا که روش پیشنهادی بر روی تصاویر باینری اجرا خواهد شد، با تبدیل تصاویر خاکستری عمل قطعه بندی به منظور دودویی سازی تصویر بهتر انجام گیرد. شکل (۳-۳) تصویری از کاشی رنگی و خاکستری شده را نشان می‌دهد.

^۱ این مورد جهت توان الگوریتم برای گسترش در شناسایی عیوب ترک انتخاب شده است که در فصل آینده نتایج مشخص شده است.



شکل (۳-۲) نمونه‌هایی از تصاویر پایگاه داده مورد استفاده



شکل (۳-۳) نمونه ای از تصاویر خاکستری. سمت راست نمونه تصاویر رنگی. سمت چپ تبدیل تصویر به خاکستری

۳-۴- پیش پردازش^۱

هدف کلی این مرحله را می توان ارتقاء تصویر^۲ و حذف مولفه های غیر ضروری از تصویر دانست. استفاده از مرحله ی پیش پردازش می تواند تا حد بسیاری کارایی یک سیستم شناسایی را ارتقاء دهد [۳۱]. از اینرو در اکثر سیستم های شناسایی از ورود خام داده ها برای مرحله پردازش خودداری شده و حتی الامکان سعی می شود داده های اولیه قبل از ورود به مرحله پردازش با روش های مناسب پردازش شده و به سیستم اصلی وارد شوند. اغلب روش های پیش پردازش داده های تصویری شامل قسمت بندی تصویر، کاهش نویز، ارتقاء تصویر و سایر روش ها می باشند. عملیاتی که بعنوان پیش پردازش در این سیستم انجام می گیرد را در قسمت های بعد مفصلاً شرح می دهیم.

^۱ Preprocessing

^۲ Image Enhancement

۳-۴-۱- بهبود تصویر

هدف از بهبود تصویر ارتقاء سطح کیفی تصویر می‌باشد. در زمینه‌ی پردازش تصویر، عمل بهبود تصویر در دو حوزه‌ی مکان و فرکانس انجام می‌شود. در بهبود تصویر در حوزه مکان پردازش‌ها و تبدیلات مستقیماً روی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌شوند. در این پایان نامه نیز برای بهبود تصویر از پردازش‌های بهبود تصویر در حوزه‌ی مکان استفاده شده است. هدف از اعمال این مرحله اینست که شیء اصلی که همان تصویر کاشی و سرامیک می‌باشد، برجسته‌تر شده و با وضوح بیشتری نمایان شود. از این رو اعمال تبدیل تصویر خاکستری به تصویر سیاه و سفید راحت تر و با دقت بیشتری انجام خواهد شد. که این امر خود منوط بر افزایش کنتراست تصویر اولیه خواهد بود.

□ بهبود تصویر و افزایش کنتراست با استفاده از تبدیل گاما

بهبود تصویر در حوزه‌ی مکان رویکردی بسیار ساده برای افزایش کنتراست تصاویر است. بطوریکه تصاویر ارتقاء یافته، کنتراست بهتری از جزئیات تشکیل دهنده‌ی تصویر اصلی ارائه می‌دهند. در یک تعریف ساده، بهبود تصویر تبدیل یک تصویر اولیه به تصویری دیگر با استفاده از یک تابع تبدیل می‌باشد.

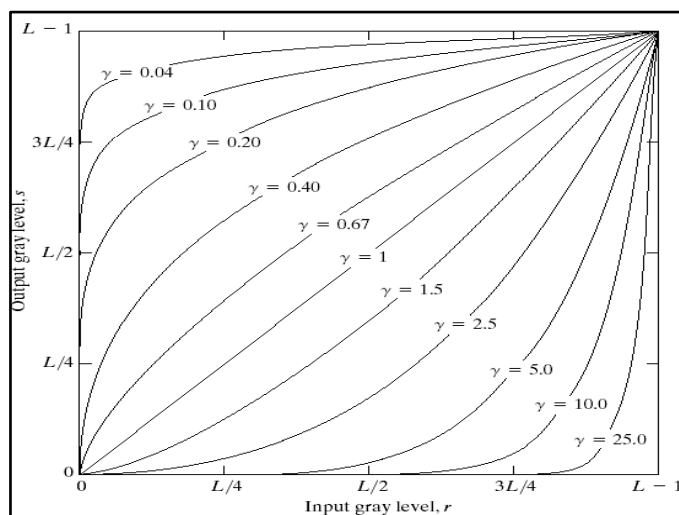
ما برای این منظور از تابع تبدیل قانون توان^۱ استفاده می‌کنیم. این تبدیل باعث کاهش پراکندگی پیکسل‌های سطوح خاکستری و کم شدن اندازه‌ی هیستوگرام خواهد شد [۳۲]. این عمل بر پایه‌ی تیره‌تر کردن نواحی بسیار روشن و روشن‌تر کردن نواحی بسیار تیره انجام می‌گیرد. بدیهی است که این تصحیح می‌تواند وضوح تصویری دارای یک شیء و یک پس زمینه را افزایش دهد. تابع تبدیل قانون توان که تصحیح گاما^۲ نیز نام دارد برای افزایش کنتراست از رابطه‌ی (۳-۱) استفاده می‌کند.

^۱ Power Low Transformation

^۲ Gamma correction

$$s = c.r^\gamma \quad (1-3)$$

در حالیکه S و r به ترتیب سطوح خاکستری پیکسل‌های تصاویر خروجی و ورودی و C مقدار ثابت هستند. به ازای مقادیر مختلف γ در معادله، سطوح مختلفی از کنتراست بدست می‌آید. شکل (۳-۴) منحنی‌های قانون توان را برای مقادیر مختلف γ نشان می‌دهد.



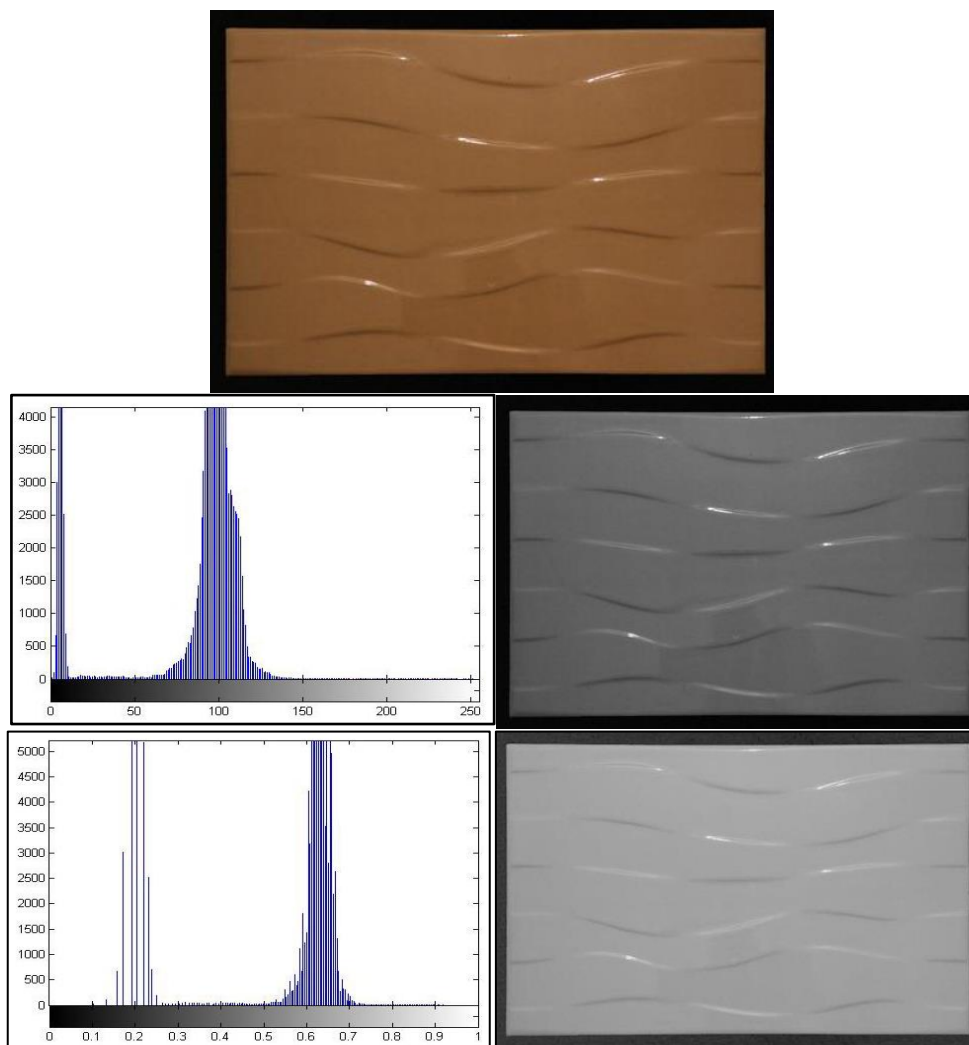
شکل (۳-۴) نمودار تبدیل قانون قدرت

همانطور که مشخص است هرچه مقدار γ کوچکتر شود تصویر روشن‌تری خواهیم داشت. از طرفی هرچه مقدار مورد نظر زیاد شود نیز تصویر تیره‌تری خواهیم داشت. از آنجا که تصاویر ما فقط حاوی یک شیء و پس زمینه‌ی مشکی می‌باشند، مقادیر انتخابی برای پارامترهای C و γ از روی نتایج آزمایشات به ترتیب ۰.۱ و ۰.۴ انتخاب شده‌اند. آزمایشات انجام شده در این بخش نشان می‌دهند که اعمال این مرحله با استفاده از پارامترهای انتخاب شده‌ی فوق، نتایج باینری سازی تصویر و مراحل حذف نویز را تسهیل می‌بخشند. این تحلیل را می‌توان به لوازم دیگر اعمال نمود. تنها تفاوت در مقدار گاما است که به ابزار مورد استفاده بستگی دارد [۳۳].

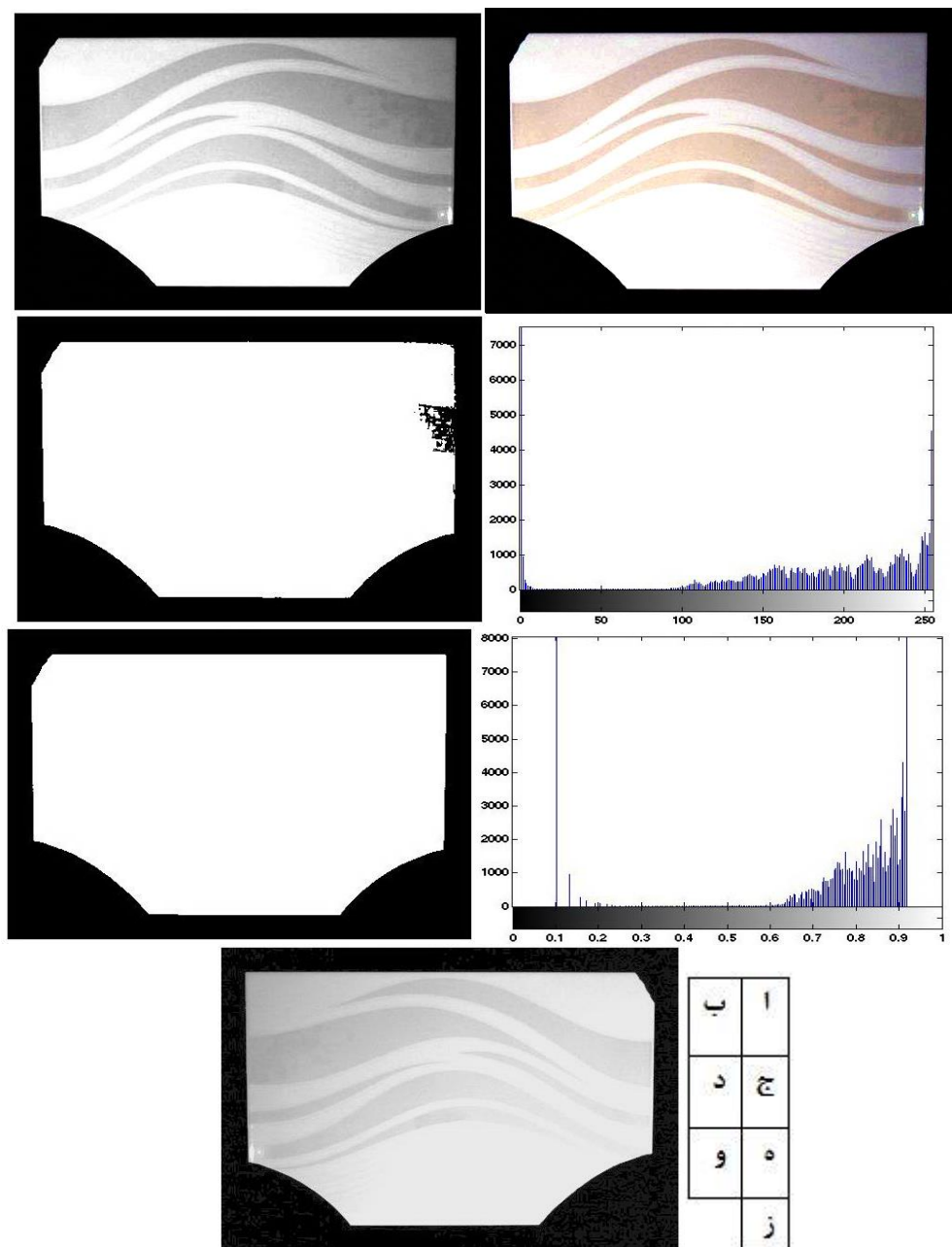
شکل (۳-۵) تصویر نمونه‌ای از کاشی سرامیکی به همراه تصویر خاکستری شده و هیستوگرام

^۱ لوازم مختلفی که در تهیه، چاپ و نمایش تصویر به کار می‌روند، بر همین اساس کار می‌کنند. بطور مثال، لامپ اشعه‌ی کاتدی (CRT) یک پاسخ شدت روشنایی نسبت به ولتاژ دارد که یک تابع توانی است و جزء نمایی آن بین ۱.۸ تا ۲.۵ تغییر می‌کند.

تصویر و مراحل ارتقاء این تصویر را نمایش می‌دهد. نمونه‌ی دیگر از این موضوع در شکل (۳-۶) نشان داده شده است که تصویری از سرامیکی است که دارای رنگ‌های مختلف می‌باشد. بدنه‌ی این سرامیک براق بوده و گوشه‌ی سمت راست آن در تصویر، به علت عدم نورپردازی صحیح تیره‌تر است. همانطور که از هیستوگرام تصویر خاکستری شده بدون اعمال عملیات بهبود پیداست، جداسازی شیء کاشی از پس زمینه در این تصویر بسیار مشکل است. در مقابل همانطور که از هیستوگرام تصویر ارتقاء یافته می‌بینیم، واضح است که این عملیات چقدر در تسهیل بخشیدن به تبدیل تصویر باینری موثر است. تصاویر حاصل از نتایج باینری هر یک از حالات با یک الگوریتم دودویی سازی، بیان روشنی از این موضوع دارد.



شکل (۳-۵) نتایج ارتقاء تصویر با تبدیل گاما، بالا: تصویر اولیه کاشی سرامیک، ردیف وسط: تصویر خاکستری و هیستوگرام آن - ردیف پایین: تصویر ارتقاء یافته و هیستوگرام آن



شکل (۳-۶) مثالی از عملکرد تبدیل گاما. (ا) تصویر اصلی. (ب) تصویر خاکستری شده (ج) هیستوگرام تصویر خاکستری. (د) تصویر دودویی. (ه) تصویر خاکستری بعد از اعمال تابع گاما. (و) هیستوگرام تصویر بهبود یافته. (ز) تصویر باینری شده ی تصویر ارتقاء یافته

۳-۴-۲- آستانه گذاری سراسری بهینه و دودویی سازی تصویر

یکی از مهمترین مشکلات در سیستم بینایی، شناسایی و جداسازی قسمت‌هایی از تصویر است که نمایانگر شیء درون تصویر هستند. این عمل، که برای مردم طبیعی و آسان هست، برای کامپیوتر بطور عجیبی سخت است [۳۴]. قسمت بندی یک تصویر به نواحی تشکیل دهنده‌ی آن را قطعه بندی تصویر گویند. قطعه بندی مرحله‌ی بسیار مهمی در فهم تصاویر می‌باشد. یک تصویر دودویی با استفاده از اعمال قطعه بندی روی تصویر خاکستری ایجاد می‌شود. کاهش حجم پردازش‌ها، افزایش سرعت اجرا، بدست آوردن اطلاعات مفید و مورد نیاز از تصویر (مانند: تعداد اشیاء، مساحت و موقعیت هریک) از مزایای دودویی سازی تصویر می‌باشند. از این‌رو سیستم پیشنهادی این پایان نامه نیز بر روی تصاویر سیاه و سفید کار می‌کند. لذا نیاز است تا با استفاده از روشی مناسب، تصاویر خاکستری مرحله قبل را به تصاویر دودویی تبدیل کنیم. سپس پردازش‌های آتی را روی تصاویر دودویی انجام می‌دهیم [۳۵]. آستانه روشی است که برای تبدیل تصویر خاکستری به یک تصویر دودویی استفاده می‌شود. بطوریکه در آن، اشیاء مورد نظر از پس زمینه جدا شده‌اند. در عمل، آستانه سراسری در بسیاری از محیط‌های کنترلی مانند کاربردهای بازرسی صنعتی، که در آن کنترل نور امکان پذیر است، موفق عمل کرده‌اند. آقای اتسو^۱ در سال ۱۹۷۹، با استفاده از آنالیز هیستوگرام اشکال، الگوریتمی برای آستانه‌گیری ارائه کرد [۳۶]. الگوریتم مذکور یک الگوریتم دودویی سازی است که بسیار عمومیت داشته و الگوریتم بسیار ساده‌ای نیز می‌باشد [۳۷]. این الگوریتم برای دودویی سازی تصاویری که فقط حاوی یک شیء و پس زمینه می‌باشد بسیار مفید عمل می‌کند. روش مذکور روشی بهینه برای بیشینه نمودن واریانس بین کلاسی است. ایده‌ی اصلی این است که کلاس‌هایی که خوب آستانه-گذاری شده‌اند از باقی پیکسل‌ها جدا شوند. و درنهایت یک آستانه‌ی بهینه، جداسازی بین کلاس‌ها را بر اساس شدت روشنایی آنها انجام دهد. افزون بر بهینه بودن روش مذکور، ویژگی مهم دیگر این روش

^۱ Otsu

این است که از لحاظ محاسباتی تماماً روی هیستوگرام تصویر انجام می‌شود. از این رو ما نیز برای تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر باینری از این الگوریتم استفاده کرده‌ایم. در این قسمت به دلیل اهمیت این مرحله، بطور اجمالی نحوه‌ی کارکرد الگوریتم مورد استفاده برای دودویی سازی تصاویر کاشی و سرامیک‌ها را شرح می‌دهیم.

می‌دانیم که سطوح تصاویر خاکستری در L سطح بصورت $[0, 1, \dots, L-1]$ می‌باشد. تعداد پیکسل‌های هر سطح i با n_i نشان داده می‌شود. از این رو تعداد تمام پیکسل‌ها N می‌باشد.

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_L \quad (2-3)$$

در تمام الگوریتم‌های آستانه ابتدا سطوح هیستوگرام، با استفاده از رابطه (۳-۳) نرمال می‌شوند.

$$P_i = \frac{n_i}{N}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L P_i = 1 \quad (3-3)$$

فرض می‌شود که پیکسل‌ها با سطح k ، به دو کلاس C_0, C_1 تقسیم شده‌اند. بطوریکه C_0 پیکسل‌های با سطوح $[0, 1, \dots, k]$ و C_1 پیکسل‌های با سطوح $[k+1, \dots, L-1]$ را نشان می‌دهند. حال احتمال وقوع کلاس‌ها با استفاده از روابط (۳-۴) و (۳-۵) برای هر کلاس بدست می‌آیند. که این احتمال محاسبه شده بعنوان وزن هر سطح نیز معرفی می‌شود.

$$\omega_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=0}^k p_i = \omega(k) \quad (4-3)$$

$$\omega_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega(k) \quad (5-3)$$

سپس میانگین هر کلاس (متوسط شدت روشنایی پیکسل‌هایی که متعلق به کلاس‌های C_0 و C_1 هستند) از فرمول‌های (۳-۶) و (۳-۷) بصورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^k i \Pr(i|C_0) = \sum_{i=0}^k \frac{i p_i}{\omega_0} = \mu(k)/\omega(k) \quad (6-3)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^{L-1} iPr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{ip_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (7-3)$$

$$\text{where } \omega_k = \sum_{i=0}^k p_i \text{ and } \mu_k = \sum_{i=0}^k ip_i \text{ and } \mu_T = \mu(L) = \sum_{i=1}^{L-1} ip_i \quad (8-3)$$

در روابط بالا μ_k میانگین تجمعی (متوسط شدت روشنایی) تا سطح K و μ_T متوسط شدت روشنایی تمام تصویر (میانگین سراسری) هستند.
با محاسبات بالا روابط زیر بدیهی است:

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T, \quad \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (9-3)$$

سپس واریانس کلاس‌ها با روابط (3-10) و (3-11) محاسبه می‌شوند.

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu_0)^2 Pr(i|C_0) = \sum_{i=0}^k \frac{(i - \mu_0)^2 p_i}{\omega_0} \quad (10-3)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{(i - \mu_1)^2 p_i}{\omega_1} \quad (11-3)$$

مرحله بعد، محاسبه واریانس درون کلاسی^۱ است که این مقدار با مجموع واریانس‌ها ضرب در وزن‌های وابسته‌شان طبق فرمول (3-12) بدست می‌آید.

$$\sigma_W^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (12-3)$$

مقدار نهایی مجموع وزن‌دار واریانس‌ها برای مقدار آستانه انتخاب شده می‌باشد. این محاسبات عیناً برای تمام آستانه‌های ممکن در شدت رنگ که همان سطوح شدت می‌باشد، انجام می‌شود. سپس آستانه‌ای که دارای کمترین واریانس درون کلاسی باشد بعنوان آستانه نهایی انتخاب می‌شود. همانطور

^۱ Within Class

که گفته شد هدف الگوریتم مورد نظر حداقل کردن واریانس درون کلاسی سطوح پس‌زمینه و پیش‌زمینه می‌باشد. اما یک راه حل سریع با استفاده از واریانس بین کلاسی پیشنهاد شده است. که این مقدار باید حداکثر شود. که همین مقدار بعنوان آستانه‌ی دقیق‌تر انتخاب می‌شود. طبق رابطه‌ی (۳-۱۳) بجای حداقل کردن واریانس درون کلاسی، حداکثرسازی واریانس بین کلاس‌ها در نظر گرفته می‌شود.

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (13-3)$$

این فرم معادله از نظر محاسباتی بسیار موثر است. چراکه میانگین سراسری تنها یکبار محاسبه می‌شود. فقط عوامل میانگین‌ها و وزن‌ها هستند که برای هر k محاسبه می‌شوند. لذا برای مقادیر مختلف سطوح k خواهیم داشت:

$$\sigma_B^2(K) = \frac{[\mu_T W(K) - \mu_K]^2}{W(K)[1 - W(K)]} \quad (14-3)$$

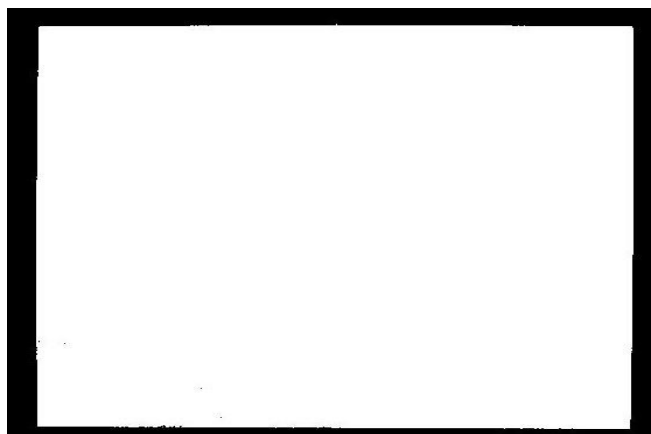
آنگاه آستانه‌ی بهینه مقدار K^* ایست که عبارت $\sigma_B^2(K)$ را بیشینه نماید. سپس معادله را با استفاده از فرمول (۳-۱۵) بهینه می‌کنیم.

$$\sigma_B^2(K^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \sigma_B^2(k) \quad (15-3)$$

که مقدار بدست آمده بعنوان واریانس بین کلاسی ۲ سطح پس‌زمینه و شیء می‌باشد و بهترین سطح برای مقدار آستانه در بین سطوح خاکستری می‌باشد. وقتی که K^* بدست آمد، تصویر ورودی $f(x,y)$ بر اساس معیار (۳-۱۶) تقطیع می‌شود.

$$Bw(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) > K^* \\ 0 & \text{if } f(x,y) \leq K^* \end{cases} \quad (16-3)$$

شکل (۳-۷) تصویر دودویی شده‌ی تصویر شکل (۳-۵) با استفاده از روش مذکور می‌باشد.



شکل (۷-۳) تصویر کاشی سرامیک باینری شده

۳-۴-۳- حذف نویز

می‌دانیم که نویزها تغییرات ناگهانی در شدت رنگ می‌باشند. از طرفی این خصوصیت مبین لبه‌های تصاویر نیز می‌باشد. از طرفی در کار مورد نظر این پایان نامه، ما نیاز به لبه‌های صاف داریم. نویزهایی که در کار ما ایجاد اشکال می‌کنند پیکسل‌های پراکنده‌ای هستند که اغلب بعد از باینری سازی تصویر در لبه‌های تصویر نمایان می‌شوند. این پیکسل‌ها نسبت به تصویر شیء اصلی متصل یا از آن منفصل می‌باشند. این موضوع ایجاب کرده است که در دو مرحله و با استفاده از دو دیدگاه سعی در حذف تاثیرات نامطلوب این نقاط داشته باشیم.

□ حذف پیکسل‌های پراکنده و منفصل از شیء اصلی

در بخش اول از حذف نویز و یکسان کردن لبه‌ها ابتدا اقدام به حذف جزئیات غیر متصل به شیء درون تصویر کرده‌ایم. این جزئیات هم پیکسل‌های ناهموار و بی‌نظم و پراکنده‌ای هستند که اغلب بعد از اعمال الگوریتم دودویی سازی تصویر، در لبه‌های تصویر بوجود می‌آیند و هم می‌توانند اشیاء ناخواسته و یا گرد و غبار و لکه‌های جدای از شکل باشند. بدیهی است که استفاده از این مرحله، هرگونه شیء خارجی اضافی و جدا از کاشی را که ممکن است در خط تولید و روی تسمه نقاله وجود داشته باشد را نیز، از تصویر حذف می‌کند. از طرفی می‌دانیم که در تصویر ورودی فقط یک شیء

اصلی داریم. این دانش به ما کمک می‌کند تا سایر اشیای کوچکی که ممکن است در کنار کاشی قرار گیرند، حذف کرده تا خللی در مراحل بعدی کار ایجاد نشود.

برای حذف پیکسل‌های پراکنده و منفصل از شیء اصلی، از الگوریتم زیر استفاده شده است. [۳۸]

ا. تعیین اجزاء متصل به یکدیگر با برچسب گذاری هر قسمت متصل در تصویر

ب. محاسبه‌ی مساحت هر یک از اشیا

ت. حذف کردن تمام اجزایی که مساحتشان از آستانه‌ی^۱ کمتر می‌باشد.

برای تعیین اجزاء متصل به هم از همسایگی پیکسل‌ها استفاده می‌شود. الگوریتم برچسب گذاری مولفه‌های متصل تصویر، بنا به لزوم در بخش مربوط به آشکارسازی حفره‌ها در ادامه‌ی همین فصل شرح داده شده است. در این بخش لازم است عنوان کنیم که نتیجه‌ی این الگوریتم یک ساختار می‌باشد که مختصات و تعداد اشیاء بهم متصل شده را مشخص می‌کند. سپس با استفاده از مختصات اشیاء بدست آمده در مرحله‌ی قبل، مساحت و نواحی هر یک از اجزا بطور جداگانه محاسبه شده و نگهداری می‌شود. سپس در ساختار نواحی بدست آمده از مرحله قبل، مقادیر تمام پیکسل‌های مربوط به مختصات هر جزئی که دارای مساحت کوچکتر از مقدار تعیین شده بود، صفر می‌شود. در واقع آن ناحیه، به پس زمینه تبدیل می‌شود.

□ حذف مولفه‌های متصل به شیء اصلی

در این مرحله، ما پیکسل‌هایی را مد نظر قرار می‌دهیم که بصورت پراکنده در اطراف مرزها و لبه‌های شیء وجود دارند. با این تفاوت که این پیکسل‌های پراکنده و نامنظم، به شیء اصلی متصل هستند. این نقاط در شکل (۳-۸) مشخص شده‌اند. دیدگاه ما برای حذف این پیکسل‌ها این است که ابتدا با استخراج مختصاتشان، آن‌ها را مشخص کنیم. و سپس اتصال این پیکسل‌های ناهماهنگ را از

^۱ آستانه تعیین شده ۳۰۰۰ پیکسل می‌باشد.

شیء اصلی از بین ببریم. بعد از از قطع اتصال پیکسل‌های ناهماهنگ با مرزهای شیء کاشی، از آنجا که ساختار بوجود آمده، باز هم جمعیت‌های کوچکی از پیکسل‌ها را خواهد داشت، می‌توان با الگوریتمی مشابه با بخش ۲-۴-۴ آنها را حذف کرد. برای این منظور از عملگرهای Top-Hot و Bot-Hot استفاده کرده‌ایم [۳۹].



شکل (۳-۸) نمایش نقاط ناهموار روی مرزها بعد از دودویی کردن تصویر

تبدیلات Top_hat از عملگرهای بسیار کارآمد شکل‌شناسی ریاضی هستند که برای اعمال متفاوت پردازش تصویر از جمله: استخراج ویژگی، تعدیل پس زمینه و ارتقاء تصویر استفاده می‌شوند [همان]. در مورفولوژی ریاضی و پردازش تصویر دیجیتال، تبدیل Top_hat عملگریست که المان‌های کوچک و جزئیات را از تصویر داده شده استخراج می‌کند [۴۰]. تبدیلی‌های Top_hat سفید و Top_hat سیاه، دو نوع از تبدیل Top_hat می‌باشند. روابط (۳-۱۷) و (۳-۱۸) نحوه‌ی عملکرد این تبدیلات را نشان می‌دهند.

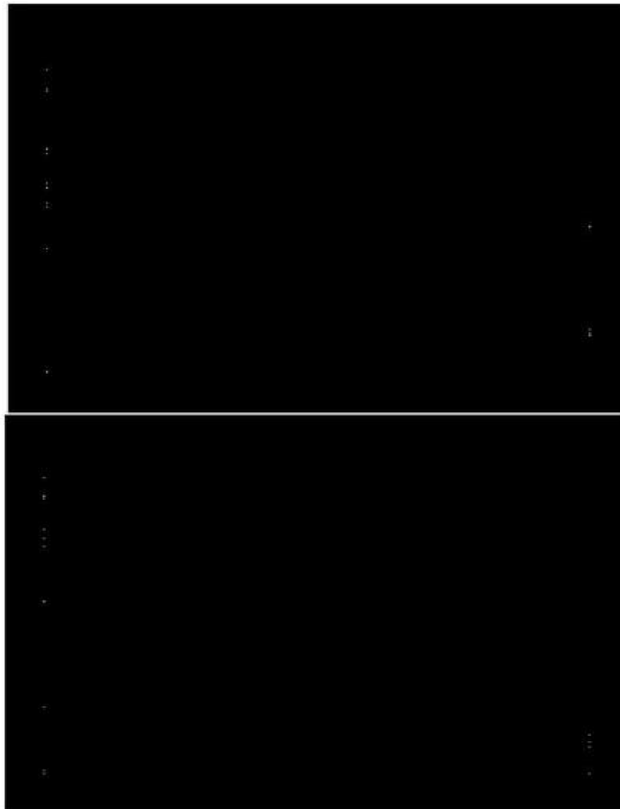
$$WTH(f) = f - (f \circ B) \quad (۳-۱۷)$$

$$BTH(f) = f - (f \bullet B) \quad (۳-۱۸)$$

همانگونه که از روابط بالا مشاهده می‌شود، تبدیل Top_hat سفید، بعنوان تفاوت بین تصویر

ورودی و باز شده‌ی آن توسط المان‌های ساختاری، تعریف می‌شود. این تبدیل درواقع جزئیات و ساختارهای کوچک و ریز روشن را استخراج می‌کند. همانگونه که قبلاً گفته شد، عملگر باز جزئیات روشن و ریز را حذف می‌کند. در واقع نتیجه عملگر باز، تصویر و جزئیات تیره و ریز تصویر خواهند بود. پس وقتی تصویر اصلی را از تصویری که جزئیات ریز و روشن آن حذف شده کم کنیم، نتیجه، جزئیات ریز و روشن تصویر خواهد بود.

تبدیل Top_hat سیاه، بعنوان تفاوت بین عملگر بسته و تصویر ورودی تعریف می‌شود. این تبدیل در واقع جزئیات و ساختارهای کوچک و ریز سیاه را استخراج می‌کند. طبق نکته عنوان شده در بخش ۳-۴-۳، عنوان شد که عملگر بستن جزئیات سیاه و ریز را حذف می‌کند. در واقع نتیجه عملگر بستن، تصویر و جزئیات روشن و ریز تصویر خواهد بود [۴۱]. از این رو اگر تصویر اصلی را از تصویری که جزئیات ریز و تیره در آن حذف شده اند کم کنیم، نتیجه پیکسل‌هایی دارای مقدار صفر یا سیاه از تصویر خواهند بود. شکل (۳-۹) نویزهای استخراج شده تصویر باینری شده در شکل (۳-۸) را با استفاده از تبدیلات فوق را نشان می‌دهد.



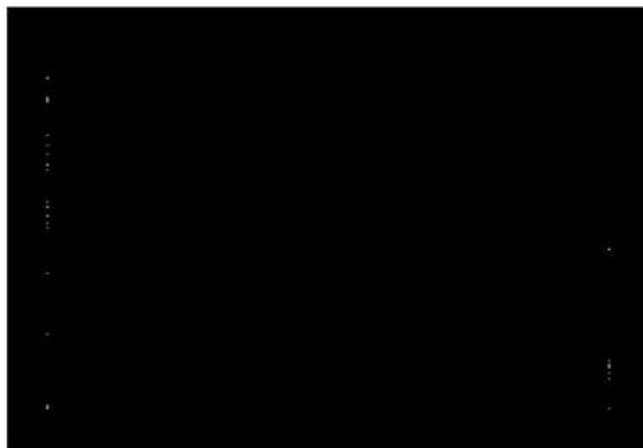
شکل (۳-۹) نویزهای استخراج شده با عملگر tophat. سمت راست: نویزهای استخراج شده با عملگر tophat سفید. سمت چپ: نویزهای استخراج شده با عملگر tophat سیاه

سپس با حاصل جمع نتایج این دو عملگر، طبق رابطه (۳-۱۹) مختصات تمام پیکسل‌های بی‌نظم

در لبه‌ها را بدست می‌آوریم. که در واقع آخرین نویزهای باقیمانده در تصویر می‌باشند. شکل (۳-۱۰)

مجموع نویزهای تصویر قبل را نشان می‌دهد.

$$Noise = Wth (BW) + Bth (BW) \quad (3-19)$$



شکل (۳-۱۰) مجموع نویزهای استخراج شده از تصویر سیاه سفید

بعد از بدست آوردن مختصات پیکسل‌های بینظم لبه‌ها، با استفاده از مختصات این نقاط، تصویر نویزی را می‌چینیم. اساس کار در این مرحله به این صورت است که ما مختصات نقاط استخراج شده بعنوان نویز را با مختصات پیکسل‌های تصویر باینری مقایسه می‌کنیم. این مقایسه برای خارجی‌ترین پیکسل‌ها انجام می‌شود. یعنی مختصات کمترین و بیشترین سطر و ستون‌های نقاط نویز و تصویر. نتیجه حاصل دو حالت دارد:

الف . پیکسل‌های نویز در محیط مرزی بیرونی تصویر واقع شده‌اند.

ب . پیکسل‌های نویز در محیط مرزی درونی تصویر باینری واقع شده‌اند.

که حالت اول شامل نقاط سفید و ریز می‌باشد. یعنی پیکسل‌هایی که بصورت نقاط سفید، روی پس زمینه سیاه بوده و به مرزهای بیرونی تصویر متصل شده‌اند. حالت دوم شامل نقاط سیاه و ریز می‌باشد. این پیکسل‌ها نقاط سیاهی هستند که بصورت درونی به مرزهای تصویر متصل شده‌اند. ما از بین مختصات سطری و ستونی نویزهای استخراج شده و تصویر شیء باینری، بیرونی‌ترین مختصات را انتخاب می‌کنیم. با این تفاسیر، با قرار دادن یک مقدار آستانه، از مختصات بیرونی‌ترین پیکسل نویزی، تصویر را به اندازه‌ی آستانه تعیین شده می‌چینیم. چیدن به این معناست که تمام مختصات سطری و ستونی تعیین شده را به صفر تبدیل می‌کنیم. با این عمل در واقع اتصال پیکسل‌های نویز را از شیء

اصلی یا همان تصویر سرامیک از بین برده‌ایم. بعد از جداسازی با الگوریتمی مشابه با قسمت (۳-۴-۳) قسمت‌های ریز را حذف کرده و عملاً چیدن را انجام داده‌ایم. در اینجا لازم بذکر است که مقدار آستانه تعیین شده در حدی انتخاب شده است که اگر چیدن در داخل صورت گیرد، در مقابل اندازه عیب شکستگی ناچیز می‌باشد. یعنی این اطمینان حاصل می‌شود که پیکسل‌های انتخاب شده، قطعاً نویز می‌باشند و جزیی از فضای شکستگی کاشی یا سرامیک نیستند. شکل (۳-۱۱) نتیجه بدست آمده از این مرحله و تصویر حذف نویز شده را برای شکل قبل نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۱) تصویر باینری کاشی سرامیک بعد از حذف نویزهای مرزی و صاف کردن لبه‌ها

۳-۵- استخراج ویژگی

استخراج ویژگی فرآیندی است که در آن با انجام عملیاتی بر روی داده‌ها، ویژگی‌های بارز و تعیین‌کننده‌ی آن داده‌ها مشخص می‌شود. هدف استخراج ویژگی این است که داده‌های خام به شکل قابل استفاده‌تری برای پردازش‌های آماری بعدی تبدیل شوند. معمول‌ترین ویژگی مورد استفاده در کار آشکارسازی شکستگی‌های مرزی، استخراج لبه‌های تصویر می‌باشد.

۳-۵-۱- آشکارسازی لبه و استخراج مرزهای کاشی

قطعه بندی تصاویر از مشکل‌ترین و مهمترین اعمال پردازش تصویر می‌باشد. لذا باید توجه ویژه-

ای در افزایش دقت قطعه بندی لحاظ شود. الگوریتم‌های قطعه بندی برای تصاویر تک رنگ مبتنی بر یکی از دو ویژگی اصلی مقادیر شدت تصویر، یعنی گسستگی و تشابه است. در دسته اول، روش تقسیم بندی تصویر بر اساس تغییرات شدیدتر در مقادیر شدت مانند لبه‌های تصویر انجام می‌گیرد. در روش دوم تقسیم بندی مبتنی بر تقسیم بندی تصاویر به نواحی مشابه با مجموعه ملاک‌های از قبل تعریف شده صورت می‌پذیرد [۴۲].

آشکارسازی لبه رایج ترین روش برای آشکارسازی گسستگی‌های معنی دار مقادیر شدت است. از این جهت است که آشکارسازی لبه یکی از مفاهیم مهم در پردازش تصاویر محسوب می‌شود. هدف از عملیات آشکارسازی لبه، علامت‌گذاری نقاطی از یک تصویر است که در آن‌ها شدت روشنایی به سرعت تغییر می‌کند. الگوریتم‌های بسیاری به منظور آشکارسازی لبه‌ها در حوزه‌ی پردازش تصویر ارائه شده‌اند. بطوریکه پایه و اساس بسیاری از این الگوریتم‌ها و روش‌ها مشتق‌گیری از تصویر می‌باشد. روش‌های جدید و بسیار خوبی همچون روش مورفولوژیکال نیز وجود دارند که از عملگرهای صریح ریاضی و غیر مشتق‌گیری استفاده می‌کنند.

■ آشکارسازی لبه تصاویر بر پایه لاپلاسین

به طور کلی در پردازش تصاویر مرزهای یک شیء با انتقال سطح شدت خاکستری مشخص می‌شوند. از این رو آشکارسازی این گسستگی‌ها مد نظر می‌باشند. این گسستگی‌ها را می‌توان با مشتق مرتبه اول و مشتق مرتبه دوم آشکار ساخت. مشتق مرتبه اول در پردازش تصویر، گرادیان است. مشتق مرتبه اول و گرادیان را در قسمت بعدی مفصلاً توضیح خواهیم داد. در این قسمت بطور اجمالی مشتق دوم در پردازش تصویر که عموماً با لاپلاسین محاسبه می‌شود را توضیح می‌دهیم. لاپلاسین یک تابع دو بعدی مانند $f(x,y)$ از مشتقات آن بصورت روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$f''(x,y) = \delta f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 y} \quad (۲۰-۳)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial^2 x} = f(x_{i+1}, y_i) - 2f(x_i, y_i) + f(x_{i-1}, y_i) \quad (21-3)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial^2 y} = f(x_i, y_{i+1}) - 2f(x_i, y_i) + f(x_i, y_{i-1}) \quad (22-3)$$

شکل (۳-۱۲) دو نمونه از فیلترهای تعریف شده و مورد استفاده برای محاسبه‌ی لاپلاسیان تصویر با استفاده از عملگر کانولوشن می‌باشد.

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1

شکل (۳-۱۲) دو نمونه ماسک مورد استفاده برای اپراتور لاپلاسیان

اما لاپلاسیان را به ندرت برای آشکارسازی لبه بکار می‌برند. چراکه مشتقات مرتبه دوم به نوبت بسیار حساس بوده و اندازه‌ی لاپلاس لبه‌ی دوتایی ایجاد می‌کند که در آشکارسازی لبه نامطلوب است. از این رو از لاپلاسیان بیشتر می‌توان در یافتن محل لبه استفاده کرد.

□ آشکارسازی لبه بر اساس گرادیان و مشتق اول تصاویر

می‌دانیم که یک تصویر باینری یک تابع دوبعدی عددی است. با توجه به این مطلب بدیهی است که تصویر ورودی، شرایط لازم برای محاسبه‌ی مشتق عددی را دارد. تنها موضوع مهمی که باید به آن توجه شود، دوبعدی بودن تابع است. همچنین می‌دانیم که مشتق توابع دوبعدی و چند بعدی حول یک نقطه به جای یک عدد، یک بردار خواهند بود که طول این بردار برابر با تعداد ورودی‌های تابع می‌باشد. به این بردار در اصطلاح بردار گرادیان می‌گویند. ماسک‌های گرادیان به منظور تشخیص تغییرات شدت

در تصاویر، به وفور استفاده می‌شوند. اپراتورهای گرادیان از این جهت برای قطعه بندی استفاده می‌شوند که باعث افزایش تغییرات شدت در تصاویر شده و آن تغییرات را برجسته می‌کنند. این تغییرات بعنوان لبه‌های اشیاء در نظر گرفته می‌شوند. به این دلیل است که گرادیان بعنوان آشکارساز لبه نامیده می‌شود. برای ایجاد بردار گرادیان کفایست مشتق تابع چند بعدی را به ازای تک تک ورودی‌ها به طور مجزا محاسبه کنیم (مشتق نسبی). گرادیان تابع دو بعدی $f(x,y)$ بصورت رابطه (۳-۲۳) تعریف می‌شود.

$$G[f(x,y)] = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x} \\ \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{f(x, y+\Delta y) - f(x, y)}{\Delta y} \end{bmatrix} \quad (۳-۲۳)$$

عمل مشتق در پردازش تصویر با اعمال ماسک به کمک عملگر کانوالوشن انجام می‌شود. برای تخمین گرادیان تصویر از دو عملگر کانوالوشن با دو ماسک در جهات افقی و عمودی استفاده می‌شود. اپراتور سوبل که یکی از پرکاربردترین اپراتورهای لبه‌یاب بر اساس مشتق اول تصاویر می‌باشد، برای تقریب گرادیان‌های افقی و عمودی از ماسک‌های شکل (۳-۱۳) استفاده می‌کند.

-1	0	+1		+1	+2	+1
-2	0	+2		0	0	0
-1	0	+1		-1	-2	-1
G _x				G _y		

شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از ماسک‌ها جهت تقریب گرادیان‌های افقی و عمودی

حال می‌خواهیم با استفاده از مقادیر بردار گرادیان، لبه بودن یا نبودن یک پیکسل را تعیین کنیم. هر بردار را با استفاده از اندازه و جهت آن می‌توان توصیف کرد. با توجه به بردار بودن گرادیان تصویر،

می‌توان اندازه و جهت این بردار را تعیین نمود. رابطه‌ی زیر نحوه‌ی محاسبه‌ی اندازه گرادیان را نشان می‌دهد. اندازه این بردار با رابطه (۲۴-۳) قابل محاسبه است.

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (24-3)$$

که برای تسهیل بخشیدن در محاسبات، این کمیت را با حذف عملیات جذرگیری تقریب می‌زنند.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (25-3)$$

ویژگی اصلی این ترتیب هنوز هم رفتار مشتقی دارد. یعنی در مکان‌هایی که مقدار شدت ثابت است، مقدار آن صفر و در مکان‌هایی که پیکسل‌های آن مقدار متغیر دارد به نسبت مقدار تغییرات، دامنه‌اش تغییر می‌کند. رابطه‌ی (۲۶-۳) نحوه‌ی محاسبه‌ی جهت گرادیان را نشان می‌دهد.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{G_x}{G_y} \right] \quad (26-3)$$

روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوتی برای تقریب گرادیان‌های افقی و عمودی تصاویر وجود دارند اما معمول‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها روش‌های گرادیان با کنی [۴۴][۴۳]، پرویت [۴۵] یا سوبل می‌باشند. با بررسی‌ها و آزمایشات انجام شده در این زمینه، حساس‌ترین آن‌ها الگوریتم لبه‌یاب کنی می‌باشد. البته حساسیت در مورد آشکارساز کنی به معنای نگاه جزئی‌تر این الگوریتم به لبه‌های تصاویر می‌باشد. الگوریتم کنی در پنج مرحله اقدام به آشکارسازی لبه‌های تصاویر می‌کند. این الگوریتم در دو مرحله از آستانه‌گیری استفاده می‌کند که همین امر و سایر حساسیت‌های این الگوریتم آن‌را بعنوان یکی از دقیق‌ترین اما پرهزینه‌ترین الگوریتم‌های لبه‌یاب مبدل کرده است [۴۶]. طبق آزمایشات انجام شده در [۹]، اشاره شده است که این الگوریتم بسیار زمانبر بوده و استفاده آن در کارهای صنعتی و بلادرنگ مقرون بصرفه نیست [۴۷]. الگوریتم سوبل بیشتر در کاربرد مورد نظر استفاده شده است و نسبت به سایر روش‌های هم تراز خود، از سرعت و دقت مناسب‌تری برخوردار است [۴۸]. اما با

بررسی‌ها و آزمایشات انجام شده در سایر مقالات و کارهای دیگران و آزمایشات انجام شده در همین پایان نامه، اثبات می‌شود که این روش نیز علی‌رغم برخورداری از دقت قابل قبول در آشکارسازی لبه‌ها، بدلیل پیچیدگی‌های محاسباتی بالا، بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. بطوری که استفاده از آن را در کارهایی که نیاز به اجرای بلادرنگ دارند غیر ممکن می‌سازد. بنابراین واضح است لبه‌یاب‌های بر پایه گرادیان برای کاربردهایی نظیر کاربرد مورد نظر مناسب نمی‌باشند. علاوه بر این دلیل مهم دیگر اینست که در کاربرد مورد نظر این پایان نامه و بسیاری از کاربردهای دیگر، ویژگی مورد نظر برای کار، مرزهای اشیاء موجود در تصاویر می‌باشد. درحالی‌که با اندکی تامل در می‌یابیم که در واقع لبه‌های تصویر لزوماً مرزهای تصویر نیستند. در حالی‌که می‌توان گفت تمام مرزها لبه می‌باشند. لذا از نظر این پایان نامه، ضعف‌هایی که بر دیدگاه استفاده از اپراتورهای لبه یاب بر پایه مفهوم مشتق می‌توان وارد ساخت از سه حقیقت زیر ناشی می‌شوند:

اول اینکه مفهوم گرادیان و مشتق بر اساس پیوستگی تعریف شده‌اند. مشکل اینست که تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتال بصورت گسسته انجام می‌شود، از اینرو نتایج بدست آمده دارای تقریب‌های مختلف خواهند بود.

دوم اینکه گرادیان‌ها در تصویر، رخدادهای دارای فرکانس بالا را برجسته می‌کنند. هرچند این رخدادهای می‌توانند لبه‌ها باشند، اما اغلب بوسیله نویزها نیز تشکیل شده‌اند. از این‌رو همیشه نیاز است که قبل از اعمال یک آشکارسازنده بر پایه‌ی گرادیان، نرخ سیگنال به نویز را افزایش بدهیم. علاوه بر آن صحت انتخاب پیکسل‌های لبه مستلزم اینست که عملیات و مقادیر آستانه‌گیری بمنظور انتخاب یا رد پیکسلی بعنوان لبه را با دقت انتخاب و کنترل کنیم. که این موارد خود زمانبر بوده و بعضاً با خطا همراه هستند.

سوم اینکه می‌توان گفت هرگونه ایده در مورد واقعی بودن لبه‌ها تا حدودی مبهم می‌باشد. چراکه لبه‌های تصویر لزوماً مرزهای شیء نیستند. و این اختلاف باعث می‌شود که هنوز هم تعریف استاندارد از لبه مورد نیاز باشد [۵۰].

در نهایت می‌توان اینگونه نیز عنوان داشت که :

عیب روش‌هایی که بر مبنای فیلترینگ تصویر با یک ماسک گرادیان مانند سوبل به‌منظور تقریب مشتق اول تصویر کار می‌کنند، پایین بودن دقت مکانی پیکسل‌های لبه استخراج شده^۱ می‌باشد [۵۰]. عیب روش‌هایی هم که بر مبنای محاسبه‌ی مشتق دوم کار می‌کنند حساس بودن به نویز است. بنابر دلایل ذکر شده، دیدگاه ما بر اساس استخراج مرز یا محیط کاشی و سرامیک می‌باشد. بر اساس این دیدگاه و آزمایشات انجام شده، ما آشکارسازی مرزها با استفاده از عملگرهای مورفولوژی را به جای آشکارسازی لبه با استفاده از روش‌های بر پایه مشتق تصاویر به کار برده‌ایم که بدلیل استفاده از همسایگی پیکسل‌ها، برای استخراج مرزها مناسب بنظر می‌رسد. از طرفی چالش‌های موجود در لبه یابی‌ها بر پایه عملیات مشتق را نداشته و درگیر محاسبات پیچیده نخواهیم شد. لذا مواردی از قبیل تقریب‌های مختلف، حساسیت به نویز، انتخاب آستانه و حذف پیکسل‌های غیر لبه و سایر مشکلات موجود در روش‌های برپایه‌ی مشتق، در این روش وجود ندارد. برای اثبات بهینگی استخراج مرزها با عملگرهای مورفولوژی، نسبت به لبه‌یابی بر پایه‌ی مشتق، نتایج را در انتهای این بخش بعداز پیاده سازی هر دو روش در کاربرد مورد نظر مقایسه خواهیم کرد.

□ آشکار سازی لبه و استخراج مرزها بر پایه عملگرهای شکل شناسی

همانطور که در قسمت‌های قبل عنوان شده، دیدگاه آشکارسازی لبه بر پایه اختلاف شدت تصاویر می‌باشد. که از مفهوم گرادیان برای این دیدگاه استفاده می‌شود. از این‌رو آشکارسازی لبه بر پایه عملگرهای شکل‌شناسی نیز دارای مفهومی چون گرادیان شکل‌شناسی می‌باشد. گرادیان مورفولوژی بر پایه‌ی اختلاف بین تبدیلات گسترش و سایش می‌باشد.

مورفولوژی ریاضی یکی از روش‌های جدیدی برای آشکارسازی لبه است [۵۰][۵۱]. بطوریکه این روش عملکرد خوبی در کارکرد با سایر روش‌های مورد استفاده برای پیش پردازش داده‌ها مانند حذف

^۱ Localization

نویز دارد [۵۲].

گرایان‌های مورفولوژیکی اپراتورهایی هستند که تغییرات شدت پیکسل در یک همسایگی از داده‌ها را افزایش می‌دهند. به بیان شفاف‌تر عملگرهای مورفولوژی برای استخراج مرز از همسایگی پیکسل‌ها استفاده می‌کنند. که این کار با استفاده از عملگرهای سایش و گسترش صورت می‌گیرد. درواقع می‌توان اینگونه عنوان کرد که عملگر اتساع روی تصویر باینری حاوی شیء کاشی، باعث اضافه شدن یک لایه به حاشیه‌های این شیء می‌شود. و در مقابل با این موضوع، اعمال عملگر سایش روی تصویر باعث حذف یک لایه از مرز شیء می‌شود. مرزیابی مورفولوژی که در ادامه عنوان می‌شود، دقیقاً از همین ویژگی عملگرهای مورفولوژی برای استخراج مرزهای درونی و بیرونی اشیاء درون تصویر استفاده کرده است که روشی مناسب با کاربرد و بسیار منطقی و کم خطا می‌باشد.

اگر A یک تصویر و B یک عنصر ساختمانی باشد که تعیین کننده شعاع همسایگی مورد استفاده باشد، می‌توان مرزهای داخلی A را با ترکیبی از عملگرهای مورفولوژیکی طبق رابطه (۳-۲۷) بدست آورد. همچنین برای تهیه‌ی عنصر ساختمانی مورد استفاده جهت کنترل عملیات سایش، از ماتریسی 3×3 ساخته شده از رابطه‌ی (۳-۲۸) استفاده شده است که در راستای استخراج مرزهای افقی و عمودی مناسب می‌باشد.

$$Internal\ Boundary = A - (A \ominus B) \quad (3-27)$$

$$SE = \begin{bmatrix} \cdot & 1 & \cdot \\ 1 & 1 & 1 \\ \cdot & 1 & \cdot \end{bmatrix} \quad (3-28)$$

طبق رابطه مذکور، تفاضل تصویر ورودی با نتیجه اعمال عملگر سایش با خود تصویر، مرزهای داخلی را آشکار خواهد ساخت. شکل (۳-۱۴) قسمت "ه"، روند انجام گرفته را بصورت گرافیکی نشان می‌دهد.

اگر A یک تصویر و B یک عنصر ساختمانی باشد که تعیین کننده شعاع همسایگی مورد استفاده

باشد، می‌توان مرزهای خارجی A را با ترکیبی از عملگرهای مورفولوژیکی طبق رابطه (۳-۲۹) بدست آورد.

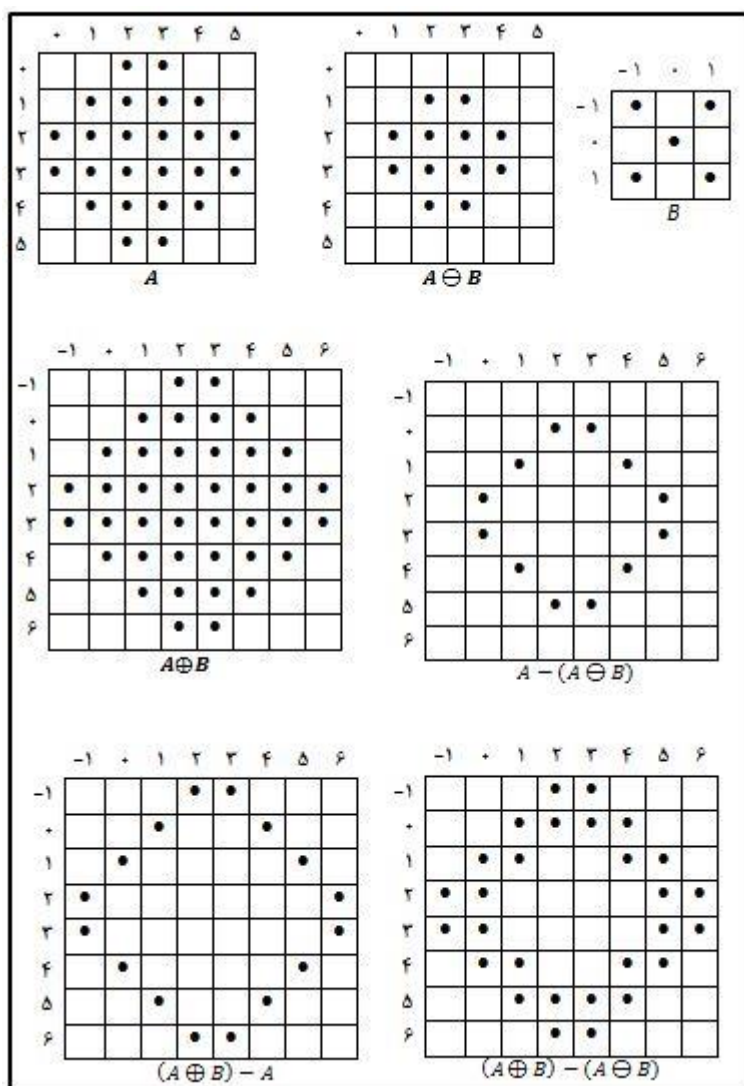
$$External\ Boundary = (A \oplus B) - A \quad (۳-۲۹)$$

طبق رابطه مذکور، تفاضل نتیجه اعمال عملگر گسترش مورفولوژی تصویر ورودی با عنصر ساختمانی از تصویر، مرزهای خارجی را آشکار خواهد ساخت. شکل (۳-۱۴) قسمت "و"، روند انجام شده را بصورت گرافیکی نشان می‌دهد.

گرادیان مورفولوژی از تفاضل ریاضی بین یک اپراتور گسترش و یک اپراتور سایش طبق رابطه (۳-۳۰) تعریف می‌شود.

$$Morphological\ Gradient = (A \oplus B) - (A \ominus B) \quad (۳-۳۰)$$

شکل (۳-۱۴) قسمت "ز"، نمایانگر گرافیکی محاسبه گرادیان مورفولوژی تصویری مانند A است.



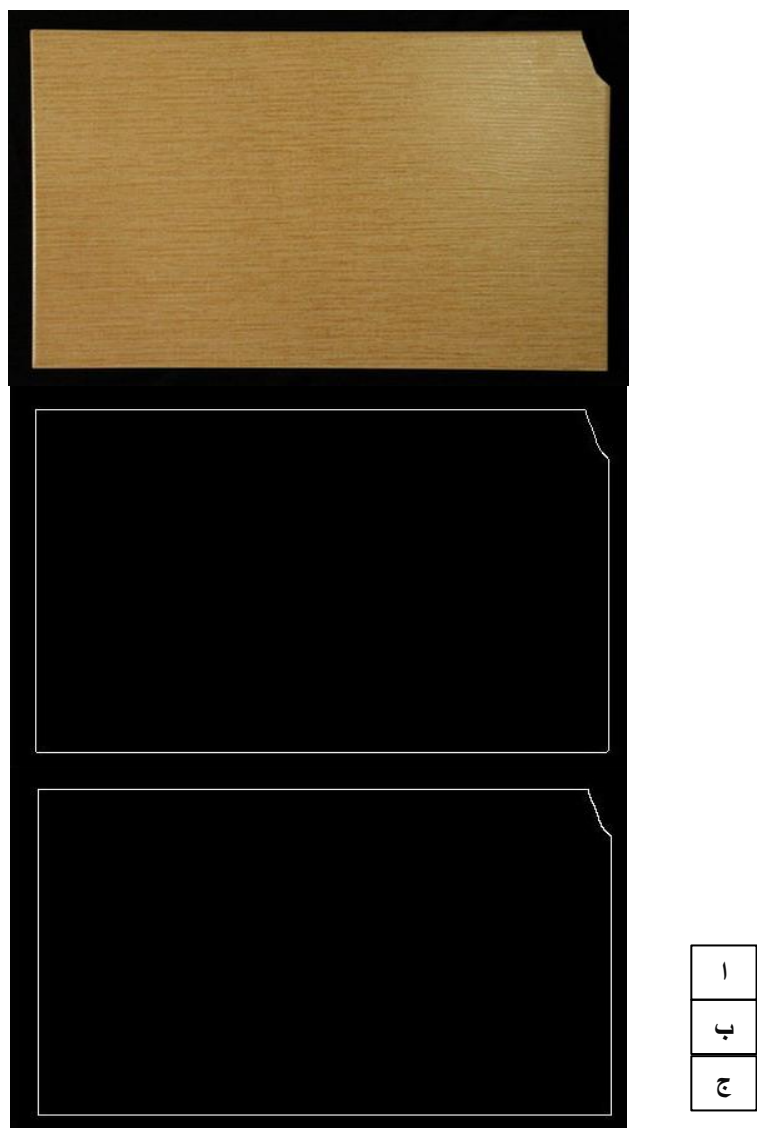
شکل (۳-۱۴) شمای گرافیکی عملکرد عملگرهای مورفولوژی برای استخراج مرزها

در تمام تعاریف به دیفرانسیل اشاره می‌شود. لازم بذکر است که در تصاویر دیجیتال، ضخامت یک کانتور حداقل به گستردگی یک پیکسل است. علاوه بر این، در هر ناحیه تفاوت بین مرز داخلی و خارجی وجود دارد. از این رو برای دقیق بودن محاسبات و مرزهای استخراج شده، ما از مرزهای خارجی استفاده کرده‌ایم. که در واقع مرزهای واقعی و محیط شکل می‌باشند. شکل (۳-۱۵) مرزهای استخراج شده‌ی سرامیک نمایش داده شده را با هر دو روش نشان می‌دهد. جدول (۳-۲) نیز روش‌های مطرح شده را بعد از اعمال آزمایشات بر اساس زمان مورد نیاز برای هر روش مقایسه می‌کنند. علاوه بر تمام مزیت‌های عنوان شده از مرزبایی مورفولوژی نسبت به روش بر پایه‌ی مشتق، دقت

در استخراج محل پیکسل‌های مرزی در این روش نسبت به روش بر پایه‌ی مشتق بسیار حائز اهمیت و محسوس است. از آنجا که با توجه به هندسه‌ی شیء درون تصویر، می‌توانیم با تعریف یک المان ساختاری مناسب و بطور آگاهانه، در حالت و موقعیت مرزهای استخراج شده الگو دهیم.

جدول (۳-۲) مقایسه‌ی روش سوبل و مورفولوژی بر اساس زمان مورد نیاز برای استخراج مرزهای تصویر

متوسط زمان اجرای الگوریتم مرزیابی داخلی مورفولوژی برای سرامیک های با ابعاد ۴۰*۲۵ (۶۰۰*۴۰۰)	متوسط زمان اجرای الگوریتم لبه یابی با سوبل برای سرامیک های با ابعاد ابعاد ۴۰*۲۵ (۶۰۰*۴۰۰)	متوسط زمان اجرای الگوریتم مرزیابی داخلی مورفولوژی برای سرامیک های با ابعاد ۵۰*۵۰ (۸۰۰*۶۰۰)	متوسط زمان اجرای الگوریتم لبه یابی با سوبل برای سرامیک های با ابعاد ۴۰*۴۰ (۸۰۰*۶۰۰)
۰.۰۲۴ ثانیه	۱.۲ ثانیه	۰.۰۵ ثانیه	۲.۵ ثانیه



شکل (۳-۱۵) مرز استخراج شده با عملگرهای مورفولوژی و سوبل. (ا): تصویر اولیه. (ب) استخراج لبه با سوبل. (ج): مرز استخراج شده با عملگر مورفولوژی.

۳-۵-۲- استخراج و نمایش لیست نقاط مرزی

در اغلب کاربردها، لبه‌های استخراج شده، برای نمایش و پردازش، به منحنی‌هایی تبدیل می‌شوند. این کار به این دلیل صورت می‌گیرد که مختصات و محل نقاط لبه‌های استخراج شده دارای اهمیت می‌باشد. از اینرو لبه‌ها باید در یک نمایشگر، بعنوان یک ناحیه مرزی متصل قرار گیرند. این نمایشگر رایک کانتور می‌گویند. استخراج کانتور در تصویر معمولاً مرحله‌ای است که بعد از لبه‌یابی از تصویر انجام می‌شود. یک کانتور ممکن است با یک لیست مرتب شده از لبه‌ها یا توسط یک منحنی نمایش

داده شود [۳۴].

مرتب بودن لیست یعنی اینکه، هر نقطه‌ای را در این لیست انتخاب کنیم، نقاط قبل و بعد آن به طور حتم در همسایگی هشت گانه یا چهارگانه‌ی این نقطه قرار دارند. با استاندارد بر تعاریف بالا و با توجه به هدف مورد نظر در این پایان نامه، ما به دنبال یک کانتور بسته یا یک مرز خواهیم بود. مرز مذکور در واقع مرز اضلاع کاشی را تشکیل می‌دهد که اطراف شیء کاشی می‌باشد. منحنی استفاده شده برای نمایش، منحنی دیجیتال می‌باشد.

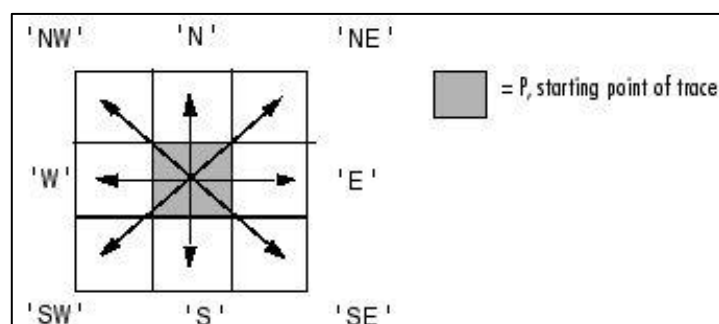
اگر فرض کنیم که n نقطه‌ی لبه بصورت $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ در لیست لبه داشته باشیم، طول منحنی دیجیتال می‌تواند از رابطه (۳۱-۳) تقریب زده شود.

$$S = \sum_{i=2}^n \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (31-3)$$

همچنین فاصله‌ی بین نقطه‌ی ابتدایی و انتهایی کانتور را می‌توان از رابطه‌ی (۳۲-۳) بدست آورد.

$$D = \sqrt{(y_n - y_1)^2 + (x_n - x_1)^2} \quad (32-3)$$

جهت استخراج و نمایش کانتور باید مرز نقاط لبه را پیمایش کنیم. برای پیمایش به یک نقطه‌ی شروع و یک جهت جستجو نیاز داریم. برای مشخص کردن جهت جستجو و برای یافتن نقاط لبه از ماتریس همسایگی نمایش داده شده در شکل (۱۶-۳) استفاده می‌کنیم.



شکل (۱۶-۳) نقطه شروع و نحوه‌ی جستجوی جهت دار لبه‌ها برای استخراج کانتور. شکل از نرم افزار متلب

با استفاده یکی از جهت‌های جستجو در راستای عقربه‌های ساعت یا عکس آن، پیکسل‌هایی که در همسایگی پیکسل‌های انتخاب شده هستند و مقدار ۱ دارند انتخاب می‌شوند. این عملیات به اندازه-ی طول کانتور که در فرمول (۳-۳۱) محاسبه شد تکرار می‌شود تا مختصات تمام پیکسل‌های لبه استخراج شوند. و با استفاده از مختصات‌های استخراج شده، کانتور مورد نظر رسم می‌شود.

۳-۵-۳- محاسبه‌ی شیب پیکسل‌های کانتور

همانطور که عنوان شد، ماتریس کانتور استخراج شده در مرحله‌ی قبل، لیستی مرتب از نقاط تشکیل دهنده‌ی مرزهای تصویر می‌باشند. در این قسمت به ازای تمام پیکسل‌ها، شیب هر پیکسل با پیکسل همسایه‌اش را حساب می‌کنیم. تا به این ترتیب ویژگی جدیدی بر پایه‌ی زاویه‌ی پیکسل‌های مرزی نسبت به یکدیگر بدست آوریم. که همین ویژگی اساس کار ما برای رسم مرزهای سالم تشکیل دهنده‌ی شیء کاشی خواهد بود. شیب دو نقطه مانند $p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2)$ بر حسب درجه، توسط رابطه‌ی (۳-۳۳) محاسبه می‌شود.

$$\text{slope}(i) = \arctan[(y_1 - y_2) / (x_1 - x_2)] \quad (3-33)$$

ماتریس Slope، شیب پیکسل‌های مرز شکل کاشی را به ترتیب محاسبه می‌کند. در این حالت، شیب‌های استخراج شده دارای مقادیر $0^\circ, -45^\circ, +45^\circ, -90^\circ$ و $+90^\circ$ خواهند بود^۱. و این امر بدلیل اینست که در کانتور هر پیکسل با پیکسل مجاورش فقط در یکی از جهات اصلی قرار می‌گیرد. شکل (۳-۱۷) نمایش دهنده‌ی گرافیکی این موضوع است.

^۱ از آنجا که تانژانت 90° درجه تعریف نشده است، از اینرو بعد از محاسبه مقادیر شیب‌ها، مقادیر مثبت و منفی بینهایت را به $\pm 90^\circ$ تبدیل می‌کنیم.

	-90	-45	
0	P	0	
	90	45	

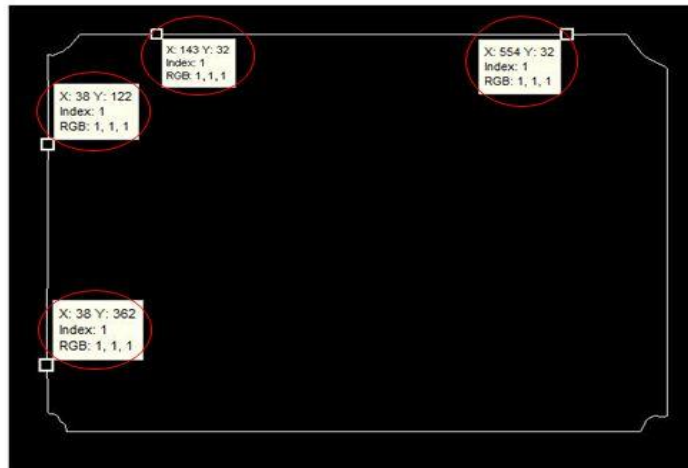
شکل (۳-۱۷) نمایش شیب پیکسل‌های کانتور

۳-۶- بازیابی مرزهای شیء کاشی و سرامیک

همانطور که در قسمت قبل نیز بیان شد، ایده‌ی ما در محاسبه و استفاده از زاویه‌ی پیکسل‌های مرز استخراج شده، بازیابی و ترمیم مرز سالم کاشی معیوب می‌باشد. به بیان دیگر می‌توان اینگونه اظهار داشت که تصویر یک کاشی که دارای شکستگی‌های مرزی می‌باشد، نوعی تصویر تحریف شده است. این موضوع شباهت کمی به مبحث بازیابی تصویر دارد. اما در بازیابی تصویر، تصویر تحریف شده اغلب تصویری است که در اثر نویز، بلور و مواردی از این قبیل خراب می‌شود. به این منظور که شکل یا شیء درون تصویر مشکلی نداشته، و یک عامل خارجی دیگر باعث تحریف تصویر شده است. اما در کار مورد نظر فرض اینست، شکلی که از آن تصویر برداری شده دچار نواقص مرزی است. و ما برای آشکارسازی نواقص مذکور، می‌خواهیم مرز سالم شکل کاشی را ایجاد (بازیابی) کنیم. برای انجام این کار، ما از رسم خطوط گذرنده از شیب‌های مورد نظر استفاده کرده‌ایم.

دانش ما درباره‌ی هندسه‌ی کاشی‌ها حکم می‌کند، که ما باید به دنبال شیب‌های صفر و $\pm 90^\circ$ ، در جهت‌های افقی و عمودی باشیم. می‌دانیم که اگر دو پیکسل بصورت افقی روی یک خط باشند، نسبت به یکدیگر دارای زاویه‌ی صفر و اگر بصورت عمودی روی خط باشند، دارای زاویه‌ی $\pm 90^\circ$ خواهند بود. ما این شیب‌ها را از این به بعد شیب‌های سالم نام‌گذاری می‌کنیم. سایر حالات بیانگر خرابی هستند. یعنی اگر دو پیکسل مرزی زاویه‌ای غیر از زوایای 0° و $\pm 90^\circ$ داشته باشند، بیانگر شکستگی و خرابی در آن نقطه هستند. با استناد بر این موضوع، مختصات پیکسل‌هایی که دارای

بیان می‌کند، نقاطی که روی اضلاع افقی هستند، دارای عرض یکسان بوده و مختصات طولشان تغییر می‌کند. نقاطی که روی اضلاع عمودی هستند نیز دارای طول یکسان بوده و مختصات عرضشان تغییر می‌کند. ما از این ویژگی می‌توانیم برای رسم خطوط مرزی استفاده کنیم.



شکل (۳-۱۸) نمایش تغییرات مختصات عرض و طول دارای شیب‌های یکسان

با موضوعات بیان شده مشخص است که براحتی می‌توان با داشتن مختصات یک نقطه در هر یک از زوایای سالم، خط گذرنده از آن نقطه را رسم کرد. باز ذکر می‌شود که نقطه‌ی انتخابی در هر زاویه، با ملاحظه‌ی حداکثر تکرار مختصات مربوط به آن زاویه انتخاب شده است. شکل (۳-۱۹) خطوط رسم شده با روش فوق را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است از آنجا که ما مختصات و نوع هر یک از شیب‌های انتخاب شده را می‌دانیم و هر یک را در برداری جداگانه محاسبه کرده‌ایم، لذا برای رسم خطوط گذرنده از نقاط منتخب، نیازی به استفاده از معادله‌ی خط و شیب و عرض از مبدا خطوط نداریم.

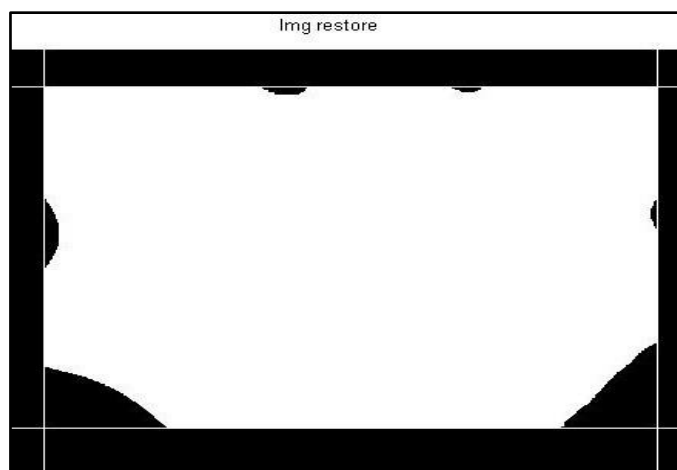


شکل (۱۹-۳) خطوط رسم شده روی مرزها و اضلاع سالم کاشی و سرامیک

برای بازیابی مرز سالم کاشی، کافیت که مرز رسم شده در شکل (۱۹-۳) را با تصویر باینری کاشی معیوب جمع کنیم.

$$Img_{restore} = BW + Boundary_{restore} \quad (۳۴-۳)$$

بطوریکه BW تصویر باینری کاشی معیوب می باشد و $Boundary_{restore}$ مرز بازیابی شده‌ی نمایان در شکل (۱۹-۳) است. شکل (۲۰-۳) تصویر حاصل از عملیات فوق و مرز بازیابی شده را نشان می دهد.



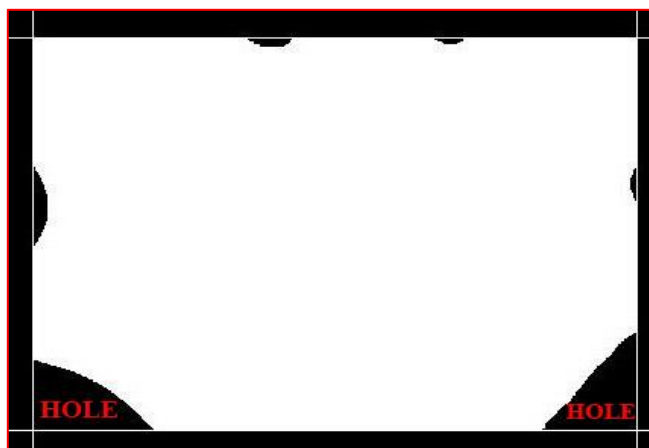
شکل (۲۰-۳) تصویر مرز بازیابی شده کاشی معیوب

۳-۷- آشکار سازی عیوب

هدف ما از رسم خطوط مرزی و بازیابی مرز سالم کاشی که در مرحله‌ی قبل صورت گرفت، تشخیص ساده‌تر نواحی معیوب بود. شکل (۳-۲۱) نشان می‌دهد که اکنون نقاط مورد نظر ما برای مشخص شدن نواحی معیوب، حفره‌های ایجاد شده می‌باشند. حفره‌هایی که بعد از ترمیم مرز و رسم محیط سالم کاشی ایجاد شده و قابل تعریف هستند. به این ترتیب، برای آشکار سازی عیوب مورد نظر در این مرحله، تنها نیاز است که حفره‌های بوجود آمده را مشخص کنیم. مزیت این موضوع، سادگی مفهوم و اعمال آن در آشکار سازی نواحی مورد نظر و بدست آوردن مختصات، اندازه و تعداد هر یک از نواحی حفره می‌باشد. این اطلاعات تا حد بسیار زیادی در تعیین درجه‌ی کیفی محصول ما را یاری می‌بخشد. علاوه بر این، در ادامه ثابت خواهیم کرد که رویکرد ما از بازیابی مرزهای سالم، برای آشکار سازی و شناسایی سایر عیوب نیز بستری مناسب و یکپارچه‌ای ایجاد خواهد کرد. از طرفی انجام این کار بسیار ساده می‌باشد.

۳-۷-۱- آشکار سازی حفره‌ها

وقتی شیء اصلی که همان کاشی می‌باشد مشخص شود، حفره‌ها بصورت سایر نواحی تشکیل شده در داخل مرزها تعریف می‌شوند. بطوریکه این نواحی دارای مقادیر شدت صفر بوده و از طرفی در شعاع همسایگی تعیین شده‌ای، تمام پیکسل‌های ناحیه‌ی مذکور به یکدیگر متصل می‌باشند. شکل (۳-۲۱) حفره‌های بوجود آمده بعد از بازیابی مرزها را نمایش می‌دهد.



شکل (۳-۲۱) حفره‌های ایجاد شده بعد از رسم مرزهای بازیابی شده

در این قسمت از کار، برای آشکارسازی حفره‌ها، از الگوریتمی متشکل از چند روش ساده استفاده شده است. الگوریتم مورد نظر در ادامه آمده است که هریک از قسمت‌ها را بطور مجزا توضیح می‌دهیم.

$$a. L_1 = bwconncomp(img_{restore}, conn)$$

$$b. BW_{complement} = imcomplement(img_{restore})$$

$$c. BW_{Holes} = imclearborder(BW_{complement}, conn)$$

$$d. L_2 = bwconncomp(BW_{Holes}, conn)$$

$$e. L = L_1 + L_2$$

(۳-۳۵)

روش ما برای آشکارسازی عیوب این است که ابتدا مولفه‌های تشکیل دهنده‌ی تصویر را مشخص کنیم. بر این اساس باید حفره‌ها و شیء اصلی کاشی از یکدیگر متمایز شوند. برای این منظور ما از مفهوم برچسب گذاری مولفه‌های متصل^۱ استفاده می‌کنیم. عبارت مولفه‌های متصل بر حسب مسیر تعریف شده است. مسیر نیز به تعریف همسایگی بستگی دارد. از اینرو مولفه‌های متصل به نوع

^۱ Connected component Labeling

همسایگی انتخاب شده بستگی دارد. بطوریکه مجاورت چهارتایی یا هشت تایی عمومیت بیشتری دارند. برای این منظور در اولین مرحله از الگوریتم، تصویر مرزهای بازیابی شده‌ی مرحله‌ی قبل را برچسب گذاری می‌کنیم. الگوریتم کلی برچسب گذاری مولفه‌های متصل در زیر آمده است.

۱. *Scan the image to find an unlabeled pixel and assign*

it a new label L

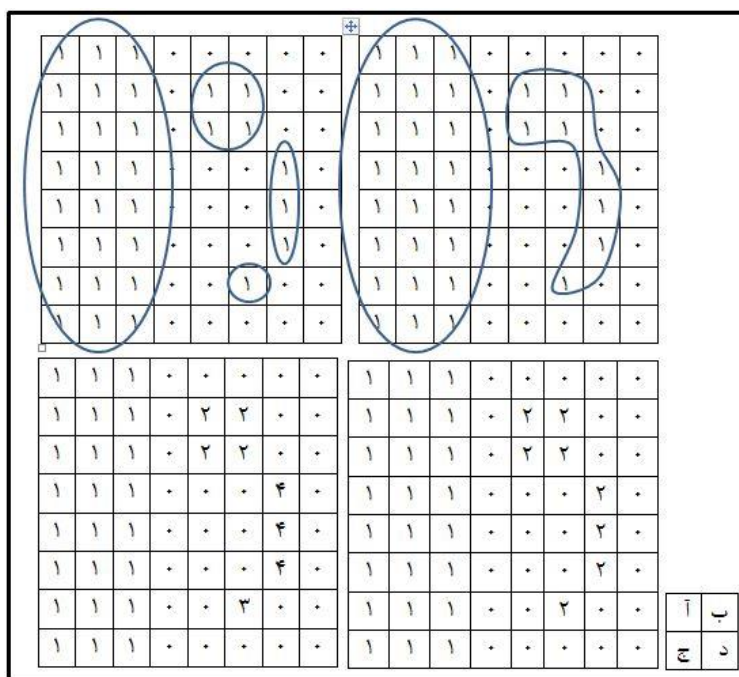
۲. *Recursively assigns a label L to all its neighbors.*

۳. *Stop if there are no more unlabeled pixels.*

(۳-۳۶)

۴. *Go to step ۱*

این تابع با تئوری بیان شده در مبحث مجاورت پیکسل‌ها، تمامی پیکسل‌هایی که در یک شعاع همسایگی معین به یکدیگر متصل می‌باشند را، با یک عدد صحیح یکتایی از یک، تا تعداد کل مولفه‌های متصل، نشان‌گذاری می‌کند. بعبارت دیگر، پیکسل‌های با برچسب یک، متعلق به اولین مولفه‌ی متصل، پیکسل‌های با برچسب دو، متعلق به دومین مولفه‌ی متصل و ... هستند. همچنین پیکسل‌هایی که در پس زمینه قرار دارند، همیشه دارای برچسب صفر می‌باشند. در مورد تصاویر کاشی سرامیک‌ها، مشخص است که برای هر کاشی، یک مولفه‌ی متصل خواهیم داشت که همان شیء کاشی و مرزهای آن خواهد بود که به یکدیگر متصل‌اند. شکل (۳-۲۲) قسمت‌های ج و د، نشان دهنده‌ی خروجی تابع فوق با همسایگی چهار و هشت تایی، برای ماتریس 8×8 مربوط به قسمت‌های الف و ب می‌باشند.

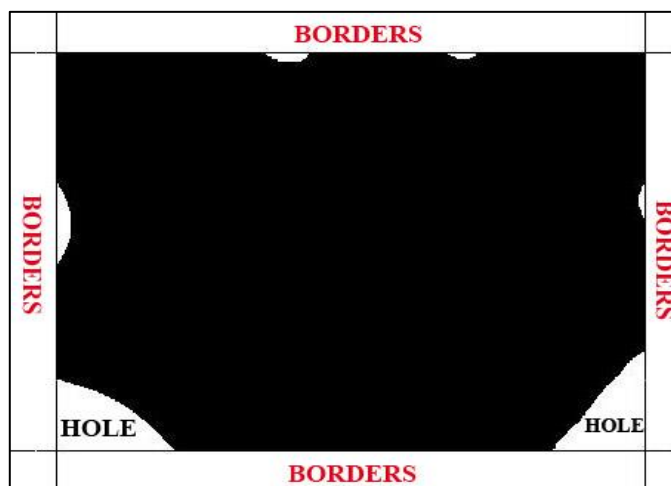


شکل (۳-۲۲) نمونه هایی از نقش همسایگی در برچسب گذاری مولفه های متصل. مولفه های متصل. (آ) مولفه های ۴- اتصال. (ب) مولفه های ۸- اتصال. (ج) ماتریس حاصل از برچسب ۴ اتصال. (د) ماتریس حاصل از برچسب ۸ اتصال.

در مرحله ی اول از الگوریتم، شیء اصلی که بعنوان پیش زمینه ی تصویر نمایان بود را شناسایی و برچسب گذاری کردیم. حال نوبت به سایر نواحی درون محیط کاشی، یعنی حفره ها می رسد. برای این منظور از متمم^۱ تصویر قبلی استفاده می کنیم. با محاسبه متمم تصویر قبلی، در واقع حفره ها را فعال و بدنه ی کاشی که قبلا برچسب گذاری شده را غیر فعال می کنیم. تا در این مرحله، برچسب گذاری روی حفره ها انجام شود.

برای متمم کردن تصویر باینری، تمام صفرها به یک و تمام یکها به صفر تبدیل می شود. شکل (۳-۲۳) تصویر متمم شده را نشان می دهد که حفره ها و حاشیه های تصویر در آن مشخص شده اند.

^۱ Complement



شکل (۳-۲۳) متمم تصویر و حفره‌ها و پس زمینه

مشکلی که اینجا وجود دارد حاشیه‌های تصویر هستند که بعد از متمم کردن تصویر، به همراه حفره‌ها فعال می‌شوند. این نواحی در شکل (۳-۲۳) با کلمه‌ی "BORDERS" مشخص شده‌اند. در صورتی که ما نمی‌خواهیم این حواشی که در واقع پس زمینه‌ی تصویر هستند، بعنوان مولفه‌های تصویر در نظر گرفته شوند. از این رو باید این قسمت‌ها را حذف، یا غیر فعال کنیم. برای این منظور در سومین مرحله از الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی عیوب، از بازسازی مورفولوژی استفاده کرده‌ایم.

بازسازی مورفولوژی روشی بسیار پرکاربرد در بینایی ماشین می‌باشد که در آن بجای استفاده از یک تصویر و عنصر ساختمان، از دو تصویر و یک عنصر ساختمانی استفاده می‌شود [۳۸]. تصویر اول تصویر ماسک است که همان تصویر اصلی (متمم شده) می‌باشد. تصویر دوم تصویر مارکر است که بعنوان محدود کننده‌ی عملیات اتساع ایفای نقش می‌کند. و یک عنصر ساختمانی که شعاع همسایگی عمل اتساع را تعیین می‌کند. این الگوریتم تکراری بصورت زیر می‌باشد.

۱. Initialize h_1 to be the marker image, F

۲. Create the structuring element : $B = \text{ones}(3)$

۳. Repeat

$$h_{k+1} = (h_k \oplus B) \cap G$$

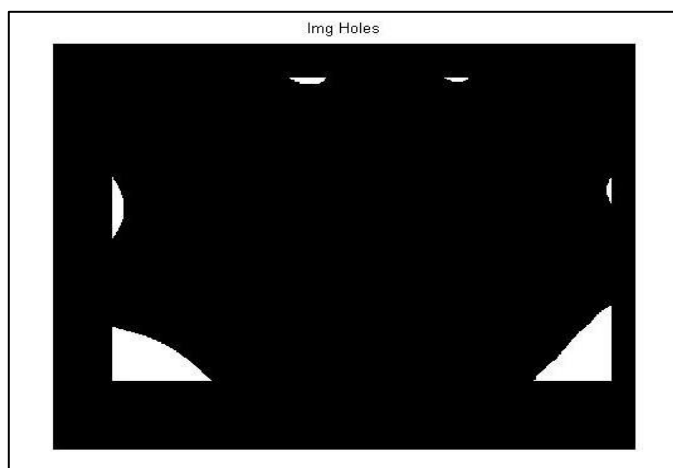
until $h_{k+1} = h_k$

$$۴. R_G(F) = h_{k+1} \quad (37-3)$$

تصویر مارکر برای حذف اشیاء متصل به حاشیه‌ی تصویر به صورت زیر انتخاب می‌شود. بطوریکه تصویر مارکر باید زیر مجموعه‌ی ماسک باشد.

$$F(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{if } (x, y) \text{ is on the border of } I \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (38-3)$$

نتیجه‌ی بازسازی انتخاب تمام اشیاء فعال تصویر است که به حاشیه‌ی تصویر متصل‌اند. حال با تفاضل تصویر متمم شده از نتیجه‌ی بازسازی، مجموعه‌ای بدست می‌آید که با حاشیه‌ی تصویر تماس ندارند. که این مجموعه حفره‌های تصویر خواهند بود. شکل (۳-۲۴) حفره‌های استخراج شده را نمایش می‌دهد.



شکل (۳-۲۴) آشکارسازی حفره‌ها و نتیجه‌ی حذف اشیاء محیطی

همانطور که در شکل مشخص است در این تصویر فقط حفره‌های تصویر آشکار هستند. از این رو در مرحله‌ی چهارم از الگوریتم، با اعمال مجدد الگوریتم برچسب گذاری مولفه‌های متصل روی تصویر حاصل شده، این بار حفره‌ها را برچسب گذاری می‌کنیم. عمل برچسب گذاری به ازای تمام عیوب انجام می‌شود. و عیوب از ۲ برچسب خواهند خورد. (زیرا برچسب ۱ همیشه برای شیء کاشی و مرزهایش خواهد بود.) از این رو تعداد عیوب همیشه از رابطه‌ی (۳-۳۹) قابل محاسبه خواهد بود.

$$Defects\ Number = Max(LabelsNumber) - ۱ \quad (۳-۳۹)$$

بدیهی است وقتی این عدد صفر باشد، بیانگر عدم وجود نقص خواهد بود که می‌توان در اینصورت سلامت کاشی را اعلام کرد. بعد از انجام برچسب گذاری حفره‌ها، مختصات نواحی معیوب کاشی را خواهیم داشت. حال به راحتی می‌توان با انتخاب مرز هریک از نواحی، محیط هر عیب را نمایش داد. شکل (۳-۲۵) نتیجه‌ی نهایی شناسایی و آشکارسازی عیوب برای کاشی معیوب و سالم را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۵) نتایج آشکارسازی عیوب برای کاشی معیوب و سالم

۳-۸- محاسبه‌ی اندازه و درجه بندی عیوب

۳-۸-۱- تبدیل واحد پیکسل به واحد میلی‌متر

بعد از آشکار سازی حفره‌ها و نواحی معیوب، اکنون مختصات طولی و عرضی هر یک از نواحی معیوب را می‌دانیم. اما نکته مورد نظر در این مرحله این است که ما می‌خواهیم ابعاد عیوب را بر حسب میلی‌متر داشته باشیم. زیرا در استانداردهای درجه بندی، اندازه‌ی عیوب بر حسب میلی‌متر تعیین شده است. در حالیکه مولفه‌های تشکیل دهنده‌ی نقاط تصویر بر واحد پیکسل هستند. از این رو باید تبدیلی از واحد پیکسل، به واحد میلی‌متر انجام شود. و این تبدیل برای اندازه‌ی طولی و عرضی

نواحی معیوب بر حسب پیکسل اعمال شود. برای این منظور باید رابطه‌ی مشخصی برای تبدیل واحدهای فوق تعیین کرده و تمام تبدیلات را طبق رابطه‌ی مذکور انجام دهیم. برای این منظور ما از روابط مندرج در جدول (۳-۳) استفاده شده است.^۱

جدول (۳-۳) نسبت‌های تبدیل واحد پیکسل به سانتی‌متر

رزولیشن تصویر	اندازه‌ی هر پیکسل به اینچ	اندازه‌ی پیکسل به سانتی‌متر ^۲
۹۶ پیکسل بر اینچ	$1/96 = 0.0104$	$0.0104 \times 2.54 = 0.026$
۷۲ پیکسل بر اینچ	$1/72 = 0.0138$	$0.0138 \times 2.54 = 0.035$

مسئله‌ی دوم در این مورد این است که اندازه‌ی شیء محصول در تصویر، نسبت به اندازه‌ی واقعی آن کمتر است. از این رو برای محاسبه‌ی دقیق اندازه‌ی عیوب، باید نسبت اندازه‌ی شیء درون تصویر به اندازه‌ی واقعی شیء را نیز بدانیم. روابط این تبدیلات نیز در جدول (۴-۳) مشخص شده است. (نمونه‌ی مورد استفاده در جدول مذکور، تصاویر اخذ شده از کاشی‌های با اندازه‌ی 25×40 سانتی‌متر می‌باشد که دارای رزولیشن ۹۶ پیکسل بر واحد اینچ هستند. برای کاشی‌های با ابعاد دیگر، مقادیر قابل تبدیل هستند).

^۱ نمونه‌ی استفاده شده در این جدول تصاویر ۹۶ پیکسل بر اینچ می‌باشد.

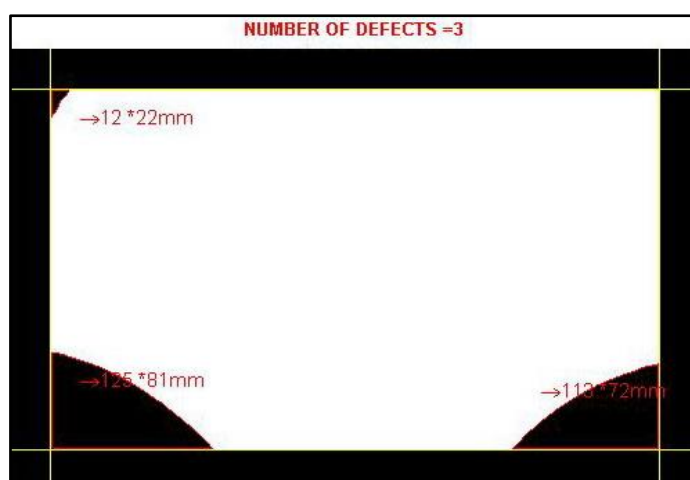
^۲ هر اینچ ۲.۵۴ سانتی‌متر می‌باشد. قبلاً اشاره شد که اندازه‌ی عیوب به میلی‌متر محاسبه خواهند شد لذا بدیهی است که برای تبدیل مقادیر محاسبه شده در این قسمت به میلی‌متر عدد بدست آمده در ۱۰ ضرب می‌شود. مثلاً هر پیکسل با رزولیشن ۹۶، ۰.۲۶ میلی‌متر می‌باشد.

جدول (۳-۴) تعیین نسبت اندازه‌ی تصویر شیء به اندازه‌ی واقعی

نسبت تبدیل طول	نسبت تبدیل عرض	اندازه‌ی طول کاشی در تصویر	اندازه‌ی - عرض کاشی در تصویر	اندازه‌ی - واقعی طول کاشی	اندازه‌ی - واقعی عرض کاشی
$25/10=2.5$	$40/16=2.5$	۱۰cm	۱۶cm	۲۵cm	۴۰cm

شکل (۳-۲۶) نمونه‌ای از یک سرامیک معیوب بعداز محاسبه‌ی ابعاد شکستگی‌هایش را نشان

می‌دهد.



شکل (۳-۲۶) نمونه‌ای از سرامیک بعداز محاسبه‌ی اندازه‌ی عیوب

۳-۸-۲- الگوریتم تعیین درجه‌ی عیوب

بعداز محاسبه‌ی اندازه‌ی نواحی معیوب بر حسب میلی‌متر، اکنون باید طبق روالی عمل درجه بندی را انجام داد. استانداردهایی توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران^۱ بخش کاشی‌های سرامیکی، برای درجه بندی کیفی محصولات کاشی و سرامیک تعیین شده است. اما در اغلب کارخانه‌ها معیارهای مورد استفاده برای تعیین کیفیت محصولات تاحدی متفاوت بوده و توسط خود کارخانه‌ها تعیین می‌شود. عیوب شکستگی تقریباً معیارهای مشخصی دارند. از این رو در این پایان نامه برای

^۱ استاندارد شماره ۲، تجدید نظر چهارم

درجه بندی محصولات بر حسب عیوب شکستگی، با استفاده از موارد مندرج توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، چارچوب مناسبی برای درجه بندی این محصولات ارائه کرده ایم. که مفاد آن در جدول (۳-۵) ذکر شده است. در این باره باید متذکر شویم طبق مفاد استانداردهای مذکور، سرامیک-های دارای شکستگی، از درجه سه به بالا برچسب می خورند. یعنی محصولاتی که ما روی آن کار می-کنیم، یا بعنوان درجه یک(بدون عیب شکستگی) برچسب خواهند خورد، و یا درجه های سه و بالاتر و حتی بازیافت شده را خواهیم داشت. ما کاشی های فاقد عیب شکستگی را کاشی های سالم معرفی خواهیم کرد.

جدول (۳-۵) قواعد مورد استفاده برای درجه بندی عیوب شکستگی

درجه عیب	عرض شکستگی	طول شکستگی	
۳	۱ تا ۵ میلیمتر	۱ تا ۵ میلیمتر	اندازه ی ابعاد عیوب
۴	۵ تا ۱۵ میلیمتر	۵ تا ۳۰ میلیمتر	
۵(ضایعات)	بیش از ۱۵ میلیمتر	بیش از ۳۰ میلیمتر	

همانطور که می دانیم درجه بندی محصولات کاشی و سرامیک بر اساس بررسی تمام انواع عیوب محصول می باشد. اما از آنجا که در این پایان نامه روی عیب شکستگی بعنوان یکی از مهمترین و بنیادی ترین عیوب کاشی سرامیک برای درجه بندی کیفی کار شده است، سعی شده تا هرکدام از این عیوب را جداگانه تعیین درجه کنیم. این دیدگاه با این منطق بوده است که اگر کار پیشنهادی با سایر کارهای عیوب دیگر ترکیب شد، بتوان از قبل میزان کیفیت عیوب شکستگی را تعیین کرد. و در سیستم نهایی با نظرات خبرگان روشی مناسب را برای تصمیم گیری در مورد درجه ی نهایی محصول اتخاذ کرد. لذا در جهت تکامل کار انجام شده در این پایان نامه، میزان درجه کیفی هر قسمت معیوب را جداگانه تعیین می کنیم. و در نهایت به هر عیب بطور جداگانه برچسبی مناسب و طبق استاندارد

تعیین شده اختصاص می‌دهیم. برای این منظور از الگوریتم زیر استفاده شده است.

If (*Height_Def* > ۱۵) || (*Width_Def* > ۳۰)

Def_Grade = ۵

Elseif ($1 \leq \textit{Height_Def} \leq ۵$) and ($1 \leq \textit{Width_Def} \leq ۵$)

Def_Grade = ۳

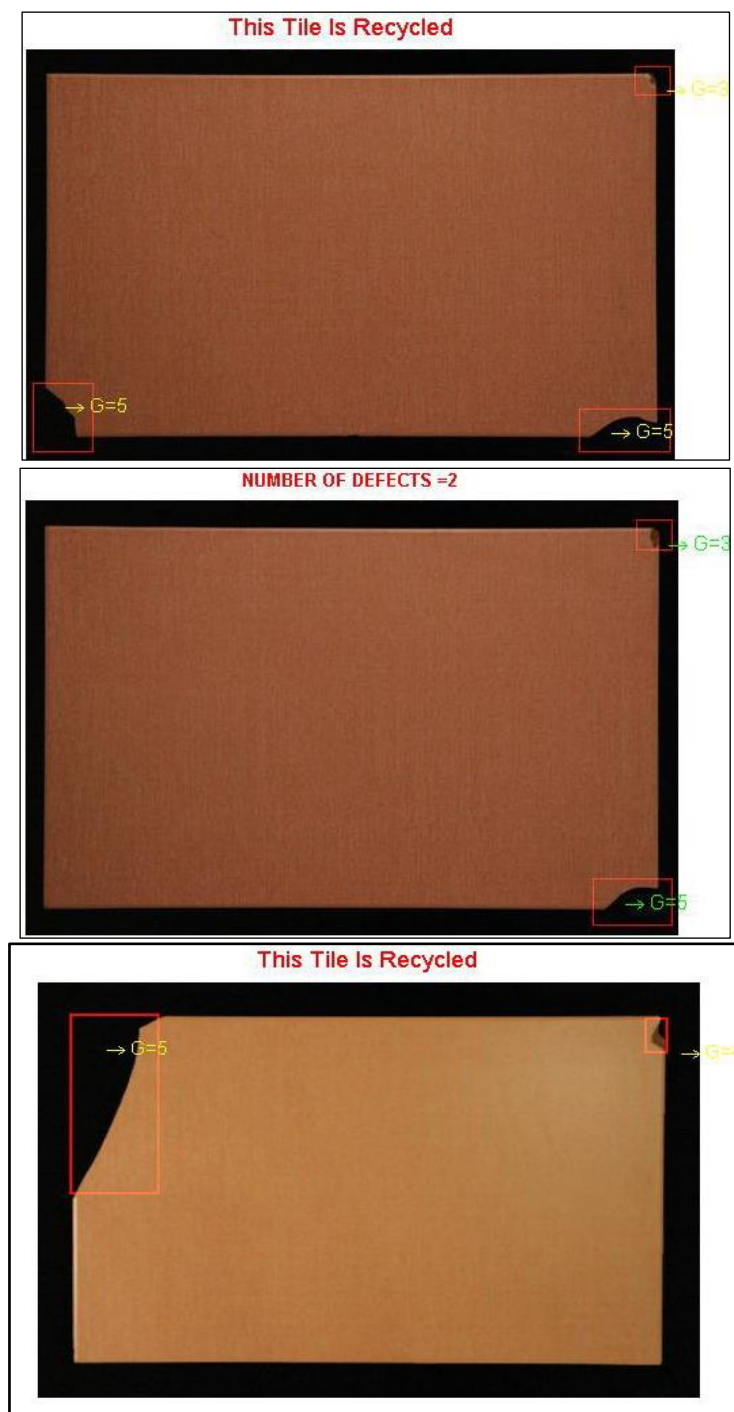
Else

Def_Grade = ۴

End

(۴۰-۳)

تصویر (۳-۲۷) نمونه ای از کاشی‌های سرامیکی معیوب درجه بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۷) نمونه‌هایی از کاشی‌های سرامیکی درجه بندی شده

۳-۹- نتیجه گیری

در این فصل بعد از اخذ تصاویر و پردازش‌های اولیه تصاویر برای پردازش اصلی که آشکارسازی عیوب شکستگی هستند مهیا شدند. دیدگاه اصلی برای آشکارسازی عیوب مورد نظر بازیابی مرزهای سالم بود. دلیل اصلی استفاده از این دیدگاه نیز ایجاد یک چارچوب مناسب و در بر گیرنده‌ی شیء اصلی بوده است. تا بر این اساس شیء اصلی و تمام اجزای موجود آن و تمام اجزای ناموجود آن (مانند نواحی شکسته) در این چارچوب مناسب از سایر نواحی تصویر جدا شوند. تا بتوان تسلط کافی بر شیء اصلی جهت کشف و شناسایی عیوب داشت. از طرفی وجود این چارچوب و قرار گیری شیء اصلی داخل آن، دیدگاه و تعریف جدیدی از عیوب در اختیار می‌گذارد. و آن تعریف اختلافات شدت بوجود آمده در نواحی شیء هست که وقتی درون چارچوب ایجاد شده قرار می‌گیرند بعنوان حفره نمایان می‌شوند. مزیت این ظهور اینست که با یک روش متمرکز و ساده تمام عیوب با هزینه‌ی کم و دقت بالا آشکار می‌شوند. بدیهی است که با بکارگیری این دیدگاه، آشکارسازی عیوب دیگری که اکثرشان باعث ایجاد اختلاف شدت در تصویر شیء اصلی می‌شوند، میسر خواهد شد. که بدلیل منحرف نشدن از بحث اصلی پایان نامه و عدم گستردگی بی‌دلیل موضوع، قابلیت امکان آشکارسازی سایر عیوب در بستر یکپارچه‌ی دیدگاه پایان نامه، در فصل پنجم از پایان‌نامه بطور مفصل‌تر بیان شده است.

فصل ۴:

محاسبه و ارزیابی نتایج

۴-۱- مقدمه

در این فصل آزمایشاتی را به منظور تخمین نحوه‌ی کارکرد روش پیشنهادی انجام داده و نتایج

حاصل از آزمایشات انجام شده را مطرح خواهیم کرد. سعی بر این بوده تا آزمایشات جامعی را انجام دهیم. جامع بودن آزمایشات یعنی از هر آزمونی که تا بحال در بهترین کارهای مربوطه صورت گرفته است استفاده شود. لازم بذکر است برای پیاده سازی و اجرای الگوریتم روش پیشنهادی از نرم افزار متلب (R2011a) به ورژن ۷.۱۲.۰.۶۳۵ بر روی سیستم لب تاپ با پردازنده‌ی Intel® Core™۲ Duo CPU P۸۸۰۰ @ ۲.۶۶GHz با حافظه تصادفی ۴.۰۰GB استفاده شده است.

۴-۲- محاسبه و ارزیابی نتایج

همانطور که در فصل گذشته دیدیم، روش پیشنهادی این پایان نامه در راستای کشف و آشکارسازی شکستگی‌های محصولات کاشی و سرامیک نتایجی را بدست آورد. علاوه بر این، همانطور که در ابتدای پایان نامه ذکر شد، هدف این پایان نامه، کاربردی و مورد استفاده بودن در دو فاز مختلف تولید محصولات کاشی و سرامیک می‌باشد. از همین رو دو نتیجه به ازای هر محصول ورودی محاسبه می‌شود. اولین نتیجه کشف عیوب شکستگی در محصولات و جداسازی محصولات معیوب از محصولات سالم می‌باشد. دومین نتیجه نیز محاسبه‌ی میزان شکستگی و درجه بندی آنها می‌باشد. ما نتایج مذکور و بدست آمده از برخی محصولات را در غالب تصویر نشان داده‌ایم.



شکل (۴-۱) نمونه‌هایی از انواع نتایج بدست آمده

۴-۲-۲- ارزیابی نتایج بر اساس تشخیص صحیح کاشی‌های معیوب و سالم

در اولین آزمایش صورت گرفته هدف توان تشخیص صحیح کاشی‌های معیوب و سالم می‌باشد. لذا این آزمایش به ازای تمام تصاویر محصولات پایگاه داده انجام می‌گیرد. نکته لازم بذکر در مورد این ارزیابی این است که آزمایش مذکور مستقل از تعداد و درجه‌ی عیوب می‌باشد. لذا هدف در این آزمایش این است که کاشی معیوب، معیوب اعلام شده و کاشی سالم، سالم اعلام شود. یکی از اهداف این آزمایش ارزیابی کارکرد روش پیشنهادی برای استفاده در مرحله‌ی قبل از پخت محصولات می‌باشد. جایی که درجه‌ی عیوب اهمیتی نداشته و هدف شناسایی محصولات معیوب و جلوگیری از ارسال آنها به مراحل بعدی تولید می‌باشد. جدول (۴-۱) نتایج حاصل از این ارزیابی را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱) ارزیابی نتایج بر اساس تشخیص صحیح کاشی‌های معیوب و سالم

تعداد کاشی سالم	تعداد کاشی معیوب	
۲۰۰	۱۵۰	تعداد کاشی‌ها
۱۹۷	۱۴۶	جداسازی صحیح
۹۸.۵٪	۹۷.۳٪	دقت
۳	۴	جداسازی غلط

۴-۲-۳- ارزیابی نتایج بر حسب تشخیص و آشکارسازی صحیح عیوب

معیار مورد نظر برای این آزمایش توان تشخیص تمام عیوب موجود در محصولات مورد بررسی می‌باشد. لذا موفقیت این آزمایش زمانی است که الگوریتم توان تشخیص صحیح محل عیب را داشته باشد. از طرفی تشخیص غلط نواحی سالم محصولات نیز در این ارزیابی بررسی می‌شوند. طبق این ارزیابی باید تمام عیوب موجود در محصولات بدرستی بعنوان عیوب تشخیص داده شده و اعلان شوند، و متعاقباً نباید هیچ ناحیه‌ی سالمی به اشتباه معیوب معرفی شود.

جدول (۴-۲) ارزیابی تشخیص و آشکارسازی صحیح عیوب

تعداد تشخیص نواحی سالم بعنوان ناحیه معیوب	عیوب آشکار نشده	عیوب آشکار شده	مجموع عیوب	
۵	۱۸	۳۳۴	۳۵۲	تعداد
-	۵.۲٪	۹۴.۸٪	۱۰۰٪	درصد

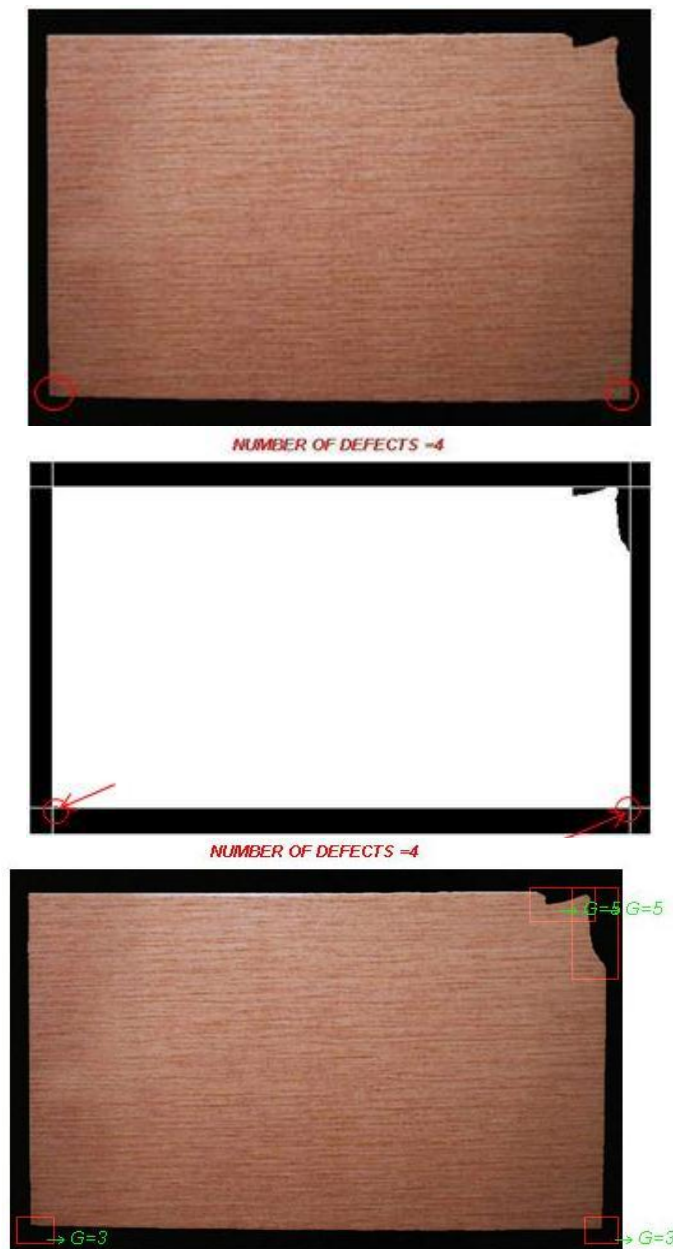
نکته‌ی لازم بذکر در مورد این ارزیابی این است که عمده‌ترین دلیل عدم تشخیص عیوب تشخیص داده نشده ریز بودن اندازه‌ی این عیوب است. طبق بررسی‌ها تمام این عیوب جزء کوچکترین اندازه‌های عیوب درجه سه بودند. مواردی چون صاف کردن مرزها بواسطه‌ی چیدن مرزهای ناهموار در مرحله‌ی حذف نویز و افزودن خطوط مرزی بمنظور بازیابی مرزها موجب محو شدن عیوب ریز می‌شوند. البته مجدداً لازم بذکر است که در مرحله‌ی حذف نویز، مرزهای هر ضلع در صورت ناهموار بودن به اندازه‌ی یک پیکسل به درون چیده می‌شود. چون این نقاط ناهموار نقاط متصل به مرزها هستند. می‌دانیم که اندازه‌ی یک پیکسل ۰.۲ میلی‌متر می‌باشد. مرزهای بازیابی شده نیز به پهنای یک پیکسل روی اضلاع ایجاد می‌شوند. که اعمال پردازشی در مجموع ۰.۴ میلی‌متر از مرزها را در بر خواهند گرفت. که این مقدار در مقابل اندازه‌ی استاندارد عیب بسیار ناچیز است.

اما نکته حائز اهمیت اینست که طبق بررسی‌ها شکستگی‌های دارای عرض و طول کمتر از ۱.۵ میلی‌متر اغلب تشخیص داده نمی‌شوند. اگر از این مقدار ۰.۴ میلی‌متر را بر اثر پردازش‌های روش بر عهده گیریم، طبق بررسی‌ها، مقدار باقیمانده بر اثر دلایلی چون خطا در تبدیلات رنگی تصویر و تفاوت‌ها در اندازه‌گیری دستی با اندازه‌گیری پیکسلی و مواردی از این قبیل نشأت می‌گیرند. هرچند اندازه‌ی ۱.۵ میلی‌متر در طول و عرض نسبت به اندازه‌ی عیوب بازهم اندازه‌ی کمی است. اما از دیدگاه این پایان‌نامه می‌توان با ارتقاء دقت اعمال پیش پردازش مذکور در تبدیلات رنگ و با ارتقاء سطح کیفی تصویر برداری از جمله، دوربین و بخصوص نورپردازی مناسب، مقدار خطا را به پایین تر از این حد نیز رساند. یعنی فقط اختلاف ۰.۴ میلی‌متر بر اثر اعمال پردازشی الگوریتم استفاده شده توسط

روش پیشنهادی باقی خواهد ماند که این مقدار طبق تعاریف مقادیر تعیین شده برای استانداردهای درجه‌بندی که حداقل آن ۱.۵ میلی‌متر است، قابل چشم‌پوشی به نظر می‌رسد.

مهمترین علت در مورد تشخیص نواحی سالم بعنوان ناحیه‌ی معیوب، عدم کیفیت مناسب تصاویر اخذ شده است. که این موضوع یا به دلیل عدم نورپردازی صحیح، یا بدلیل ضعف در برخی دوربین‌ها و لنزهایشان است که قادر به اخذ لبه‌های صاف نبوده و مرزهای اشیاء در تصاویر اخذ شده توسط این دوربین‌ها دارای اعوجاج است. البته عدم کیفیت بدنه‌ی محصولات نیز باعث این امر خواهد شد. بویژه برخی کاشی‌هایی که مرزهایشان دارای موج می‌باشد. در هر صورت در این مورد اگر محصولات سالم باشند و کیفیت تصویر برداری نیز مناسب باشد، مرزهای بازیابی شده از معیوب اعلام شدن نواحی سالم جلوگیری خواهند کرد. برای روشن‌تر شدن این موضوع شکل (۴-۲) قسمت (ا) نمونه‌ای از یک محصول فاقد کیفیت لازم را نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر پیداست، سرامیک موجود در این تصویر دارای اعوجاج در مرزها می‌باشد. از طرفی مشخص است در حالیکه تصویر صاف گرفته شده، کمی انحراف در مرزها وجود دارد که این بدلیل مشکلات تصویر برداری است. نواحی موج دار با خطوط قرمز مشخص شده‌اند. قسمت دوم از شکل کارکرد صحیح و بدون نقص الگوریتم را در این مورد نشان می‌دهد. همانطور که این قسمت نشان می‌دهد ملاحظه می‌شود که اعوجاجات مرزها از بین رفته و خطوط مرزی بدرستی بازیابی شده‌اند. اما دو ناحیه در گوشه‌های پایین شیء درون تصویر که در قسمت دوم مشخص شده‌اند، بعلت تو رفتگی ایجاد حفره کرده‌اند. بدیهی است که از نظر تعریف، این نواحی با شکستی مترادف بوده و لذا انتخاب و اعلام این نواحی بعنوان عیب دور از ذهن نیست. اما چون دقیقاً شکستگی حادث نشده است، ما این قسمت‌های کوچک را جزء قسمت‌های سالمی که معیوب اعلام شده‌اند اعلان کرده‌ایم. هرچند از دیدگاهی دیگر می‌توان اینطور عنوان کرد که این موضوع نه تنها عیب و ضعفی برای روش پیشنهادی بشمار نمی‌آید، بلکه مزیتی است که روش قادر است نواحی که محصولات دارای خوردگی و تورفتگی در آن نواحی هستند را نیز آشکار کند. اما ما به عنوان و رسالت تعیین شده‌ی این پایان نامه اکتفا کرده و تنها عیوب شکستگی را در این منظر

دخیل می‌کنیم. لذا تصمیم در مورد نقطه‌ی ضعف یا قوت بودن این موضوع را بر عهده‌ی خوانندگان محترم می‌گذاریم.



شکل (۴-۲) نمونه‌ای از اعلان اشتباه. بالا: تصویر اولیه‌ی کاشی دارای کیفیت پایین و مرزهای ناهموار. وسط: مرزهای بازیابی شده و نمایش نقاط انحرافی. پایین: عیوب کشف شده

۴-۲-۴- ارزیابی نتایج درجه بندی صحیح

هدف از این ارزیابی تخمین توان درجه بندی صحیح عیوب می‌باشد. طبق این ارزیابی عیوب در

فضای واقعی و بر اساس قواعد جدول (۳-۵) برچسب خورده اند. سپس نتیجه‌ی درجه بندی توسط الگوریتم (۳-۴۵) با برچسب واقعی مقایسه شده است. هرگونه اختلاف در نتایج بعنوان عدم توان درجه بندی صحیح تلقی می‌شود. از این رو در این ارزیابی عیوب موجود در محصولات بر اساس درجه‌اشان مشخص و جدا شده‌اند.

جدول (۳-۴) ارزیابی نتایج درجه بندی عیوب

درجه ۳	درجه ۴	درجه ۵	مجموع	
۶۵	۱۱۴	۱۵۵	۳۳۴	تعداد عیوب آشکار شده
۶۳	۱۰۸	۱۴۷	۳۲۰	تعداد درجه بندی صحیح
%۹۶	%۹۴	%۹۴	%۹۶	درصد تشخیص صحیح

نکته لازم بذکر در مورد ارزیابی درجه بندی این است که ۵ عیب تشخیص داده نشده که در جدول (۲-۴) ذکر شد، در این ارزیابی حذف شده‌اند. خطاهای درجه بندی بدلیل تجاوز طول یا عرض نواحی معیوب از حدود تعیین شده می‌باشد. بطوریکه این موضوع در تبدیل واحدهای پیکسل به میلیمتر و محاسبه‌ی اندازه‌ی واقعی محصولات تاثیر نامطلوب می‌گذارد. با توجه به موارد ذکر شده و طبق بررسی‌ها عیوبی که اشتباه درجه بندی شده اند، اغلب در درجه‌ی بالاتر برچسب خورده‌اند.

۴-۲-۵- ارزیابی زمان اجرای روش پیشنهادی

چراکه در هر قسمت کارها باید با قسمت‌های دیگر هماهنگ شوند. اما می‌توان اظهار داشت که تعاریف از زمان اجرای بلادرنگ در صنایع مختلف متفاوت است. مثلاً زمان اجرا برای عملکرد یک کاتر رشته‌های ماکارونی در اندازه‌های تعیین شده، با زمان اجرای عملکرد یک ربات مکانیکی برای جابجا کردن سپر اتومبیل متفاوت می‌باشد. درحالیکه هر دو عملکرد باید بطور قطعی و در مدت زمان

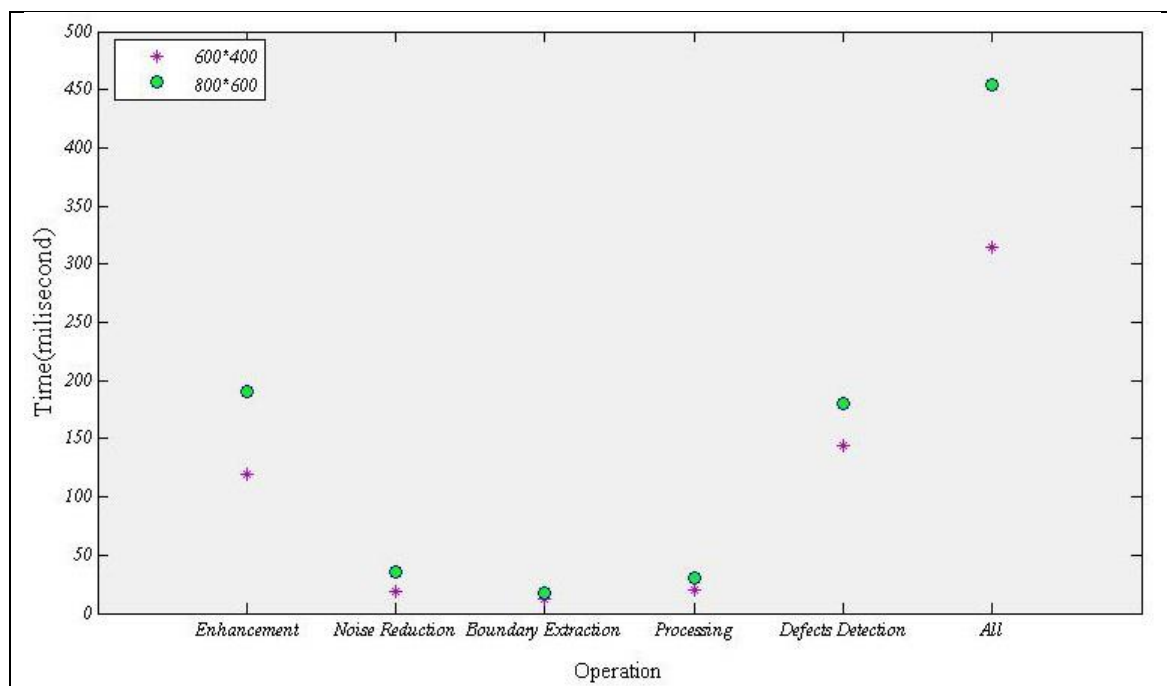
مشخصی اجرا شوند. در خطوط تولید، زمان اجرای بلادرنگ در هر کاربردی با توجه به حداقل و حداکثر محدوده زمانی در نظر گرفته شده برای آن کاربرد خاص تعیین می‌شود. در کار مورد نظر نیز تمهیداتی برای اجرای روش در زمان مناسب اندیشیده شده است. اما ذکر این نکته لازم است که خطوط تولید محصولات کاشی و سرامیک، از این حیث دارای تنوع بسیاری می‌باشند. بطوریکه بیشتر نوع و ابعاد محصولات تولیدی باعث اختلافات سرعت خط تولید می‌شود. از این حیث کارخانه‌های مختلف دارای اختلافات متعددی هستند. از طرفی سرعت خط تولید توسط ابزارالات مکانیکی نیز قابل کنترل می‌باشد. بطوریکه در بسیاری از مواقع کارگران خط تولید بویژه قسمت درجه بندی محصولات، می‌توانند جهت بررسی دقیق تر خط را متوقف کنند. با توجه به مطالب ذکر شده، بدیهی است که از نظر سرعت خطوط، قواعد یکسانی روی خطوط تولیدی کارخانه‌ها وجود ندارد. در [۵۳] آقای گنزالس و همکارانش در یک پروژه‌ی شرکتی با محوریت آشکارسازی شکستگی‌های گوشه‌های کاشی، بررسی دقیقی روی خطوط کارخانه انجام داده‌اند. از این رو ما نیز با تکیه به بررسی‌های مقاله‌ی مذکور و تجزیه و تحلیل‌هایی سعی در تعیین قواعدی مناسب در جهت ارزیابی زمان اجرای روش پیشنهادی کرده‌ایم. طبق بررسی‌های انجام شده در مقاله‌ی فوق، حداکثر سرعت خط تولید که برای کوچکترین سایز محصولات مورد بررسی (کاشی های ۲۰*۲۲) است، ۰.۴۵ متر بر ثانیه عنوان شده است. بنا به گفته‌ی نویسندگان، در این حالت که سریع‌ترین زمان برای تولید محصولات عنوان شده است، ۹۰ قطعه در هر دقیقه تولید می‌شود. از این رو هر قطعه‌ی تولیدی ۰.۶۶ ثانیه زمان خواهد برد. بدیهی است که با افزایش ابعاد محصولات تولیدی، تعداد قطعات تولید شده حتی با همین سرعت نیز کاهش پیدا خواهد کرد. محققان حداقل تعداد تولید را برای محصولات بزرگتر ۴۰ قطعه در دقیقه اعلام کرده‌اند. که در این حالت مدت ۱.۵ ثانیه برای هر محصول تولید شده زمان خواهیم داشت.

اما بازهم ذکر می‌شود که در کارخانه‌های مختلف بنا به دلایل متعددی سرعت خطوط تولید متفاوت می‌باشد. با توجه به مسائل ذکر شده، ما روش پیشنهادی را بر اساس زمان اجرا به تفکیک هر مرحله مورد ارزیابی قرار داده‌ایم. جدول (۴-۴) و شکل (۴-۳) میانگین زمان مورد نیاز روش پیشنهادی

به ازای مراحل مختلف برای دو نمونه از محصولات در دو ابعاد مختلف تصویری را بصورت عددی و نمودار نشان می‌دهند.

جدول (۴-۴) میانگین زمان اجرای هر یک از مراحل بر حسب میلی ثانیه

ابعاد تصاویر	زمان- بهبود تصاویر و دودویی سازی	میانگین زمان حذف نویز	میانگین زمان استخراج مرز	پردازش	شناسایی عیوب	زمان کل
۶۰۰*۴۰۰ پیکسل	۱۲۰	۱۹	۱۲	۲۰	۱۴۴	۳۱۵
۸۰۰*۶۰۰ پیکسل	۱۹۰	۳۶	۱۷	۳۱	۱۸۰	۴۵۴



شکل (۴-۳) نمودار میانگین زمان اجرای مراحل مختلف روش پیشنهادی بر حسب میلی ثانیه

همانطور که مشخص است میانگین زمان اجرای الگوریتم و آشکارسازی عیوب کمتر از حداقل زمان ممکن در سریعترین حالت خط تولید می‌باشد.

۴-۳- نتیجه گیری

در این فصل تمام جنبه‌های فنی و عملی و کاربردی روش ارائه شده توسط پایان نامه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. روش‌ها و دیدگاه‌های مورد استفاده در ارزیابی روش پیشنهادی تمام روش‌ها و دیدگاه‌هایی هستند که تا امروز توسط سایر روش‌های موجود در این زمینه استفاده شده‌اند. علاوه بر این، هر دیدگاهی که از نظر پایان‌نامه میسر و موثر در ارزیابی روش بود نیز برای ارزیابی بهتر اضافه و استفاده شده است. نتایج حاصل شده با دقت فراوانی محاسبه شده و در جداول مخصوص به هر ارزیابی درج شده‌اند. که در فصل آینده ارزش نتایج حاصل شده در مقایسه با روش‌های دیگر بررسی می‌شود.

فصل ۵:

بررسی قابلیت های گسترش روش پیشنهادی جهت کشف و شناسایی سایر عیوب

کاشی و سرامیک و مقایسه با روش های پیشین

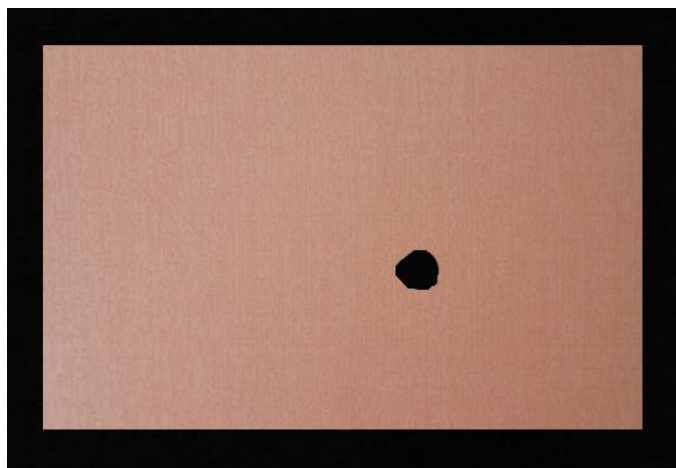
۵-۱- پیشگفتار

همانطور که در مقدمات پایان نامه و در خلال فصول گذشته عنوان شد، علاوه بر رسالت اصلی پایان نامه که همان آشکار سازی عیوب شکستگی محصولات کاشی و سرامیک می باشد، یکی از مهمترین اهدافی که این پایان نامه در نظر داشت، ایجاد بستری مناسب برای کشف سایر عیوب کاشی و سرامیک بوده است. از نظر این پایان نامه اگر در روشی آشکار سازی عیب خاصی حتی به بهترین نحو انجام بگیرد در حالیکه در بستر پیاده سازی هیچ تمهید و جایگاهی برای عیوب دیگر در نظر گرفته نشود، آن روش محکوم به شکست است. شکست به این منظور که در نهایت استفاده‌ی عملی از روش مقرون به صرفه نبوده و انجام نخواهد شد. چراکه در این صورت چندین روش دیگر که ممکن است اختلافات پیاده سازی بسیاری باهم داشته باشند باید در غالب یک پروژه قرار گیرند، که از نظر مهندسی این موضوع معقولی به نظر نمی‌رسد. لذا در راستای این سیاست و در این فصل، برای نمایش توان گسترش روش پیشنهادی در کشف سایر عیوب تحت یک بستر واحد، دو نمونه از عیوب مهم و مورد توجهی که از تغییرات شدت رنگ ایجاد شده‌اند، بر پایه‌ی روش پیشنهادی آشکار و شناسایی خواهند شد. در بخش نهایی از این فصل، نتایج حاصل از ارزیابی روش پیشنهادی انجام شده در فصل قبل، با روش‌های پیشین در زمینه‌ی مربوط مقایسه شده است. در اولین قسمت یک مقایسه‌ی کلی از نظر فنی با تمام روش‌های انتخابی انجام گرفته است. سپس یکی از کامل‌ترین روش‌ها برای مقایسه‌ی دقیق‌تر کارایی روش از جنبه‌های مختلف انتخاب شده و مقایسه‌ی دیگری بر این مبنا انجام شده است.

۵-۲- بررسی قابلیت‌های گسترش روش پیشنهادی جهت کشف و شناسایی سایر عیوب کاشی و سرامیک

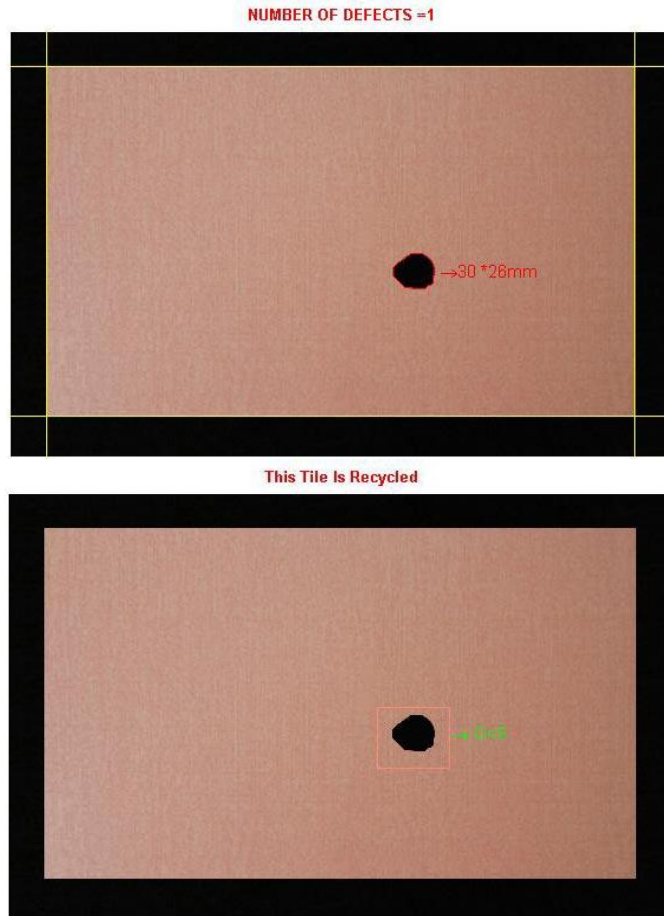
۵-۲-۱- آشکارسازی پدیدگی شکستگی‌های روی سطح محصولات کاشی و سرامیک

همانطور که تا این مرحله از کار مشاهده شد، روش پیشنهادی مقاله توان کشف و آشکارسازی عیوب شکستگی محصولات کاشی و سرامیک را دارد. در حالیکه روش‌های موجود تنها توان شناسایی شکستگی‌های مرزهای محصولات را دارند، یکی از اهداف اصلی این پایان نامه توان آشکارسازی این عیوب در تمام سطح محصولات می‌باشد. به بیان واضح تر اگر محصولی دارای شکستگی و پدیدگی در روی بدنه باشد، روش‌های موجود قادر به شناسایی آن نخواهند بود. چراکه همانطور که در فصل دوم در قسمت معرفی این روش‌ها بیان شد، آنها از ردیابی مرزها جهت آشکارسازی استفاده می‌کنند و فقط مرزهای استخراج شده را مبنا قرار می‌دهند. در حالیکه دیدگاه مورد استفاده در این پایان نامه بر اساس بازیابی مرزها و ایجاد حفره‌ها، نه تنها نواقص مرزی، بلکه هرگونه نواقص دیگر در سایر سطوح و بدنه‌ی محصولات را نیز بعنوان حفره استخراج کرده و آشکار می‌کند. یعنی اگر قسمتی از بدنه‌ی محصولی، بنا به دلایل مختلف از محصول جدا شود، روش‌های موجود قادر به شناسایی آن نخواهند بود. شکل (۵-۱) نوعی سرامیک دارای شکستگی روی سطح بدنه‌ی محصول را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱) شکل کاشی سرامیکی دارای شکستگی روی بدنه

این عیوب (شکستگی‌های روی سطح محصولات کاشی و سرامیک) بیشتر در بدنه‌ی خام محصولات و قبل از پخت محصولات اتفاق می‌افتد. جایی که محصولات هنوز موادی ضعیف هستند. و احتمال جدا شدن قسمتی از بدنه‌ی کاشی یا شکستن قسمتی از سطح کاشی وجود دارد. مزیت روش پیشنهادی مقاله اینست که چون اختلافات شدت رنگ بعنوان حفره آشکار خواهند شد، لذا هرگونه نقص در بدنه‌ی محصولات نیز بعنوان حفره آشکار خواهد شد. از این‌رو در روش پیشنهادی این عیوب نیز بعنوان حفره آشکار شده و شناسایی می‌شوند. شکل (۵-۲) نتیجه‌ی حاصل از کشف نقص شکستگی در سطح بدنه‌ی کاشی را توسط روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

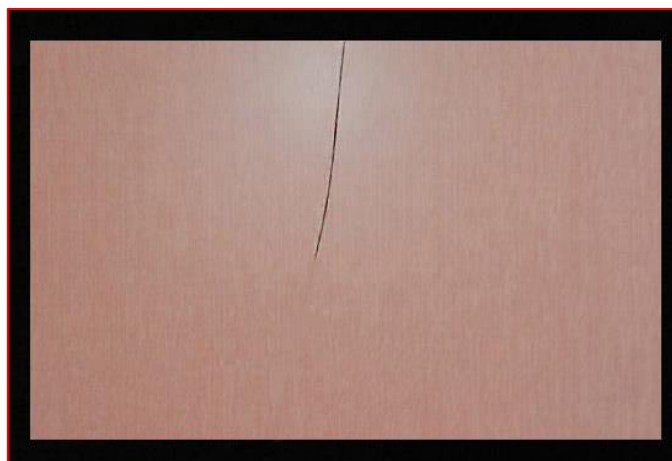


شکل (۵-۲) نتیجه‌ی اعمال روش برای آشکارسازی و درجه بندی شکستگی روی بدنه‌ی کاشی

۵-۲-۲- آشکارسازی ترک روی سطح محصولات کاشی و سرامیک

همانطور که در ابتدای پایان‌نامه عنوان شد، علاوه بر هدف اصلی پایان‌نامه که آشکارسازی عیوب شکستگی تمام سطح محصولات کاشی و سرامیک می‌باشد، یکی دیگر از اهداف اصلی این پایان‌نامه فراهم آوردن بستری مناسب در راستای تسهیل امکان گسترش روش در چارچوبی واحد و تعیین شده است. می‌دانیم که در حوزه‌ی پردازش تصویر و در مسائل شناسایی عیوب، باید ویژگی‌هایی جهت این کار انتخاب شوند. همانطور که از عیوب کاشی و سرامیک پیداست، می‌بینیم که اکثر عیوب این محصول، باعث ایجاد اختلاف در شدت رنگ می‌شوند. عیوبی همچون انواع ترک‌ها، سوراخ‌ها و خال‌ها عیوبی هستند که باعث ایجاد اختلاف شدت رنگ در نواحی مختلف کاشی می‌شوند. واضح است که دیدگاه این پایان‌نامه نیز بر همین اساس بوده و در نهایت نواحی دارای اختلافات شدت را که

مشکوک به عیب می‌باشند بعنوان حفره آشکار می‌کند. دیدگاه بازیابی مرزها و آشکارسازی حفره‌ها که در این پایان نامه استفاده شده است اینست که علاوه بر عیوب شکستگی، در صورت استخراج مناسب نواحی مذکور، این عیوب نیز توسط روش پیشنهادی بعنوان حفره آشکار شده و براحتی قابل شناسایی و جداسازی خواهند بود. این موضوع مخصوصاً برای ترک‌های بزرگ براحتی قابل تشخیص است. لذا ما برای این قسمت به مثال و نمونه‌ای از آشکارسازی محصولات دارای این عیب بسنده می‌کنیم. منظور از ترک‌های بزرگ همان شکستگی‌هایی هستند که باعث جدا شدن دو قسمت از بدنه شده‌اند اما هنوز قسمتی از کاشی بطور کامل جدا نشده است. شکل (۳-۵) نمونه‌ای از محصولی دارای این عیب را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵) نمونه‌ای از کاشی دارای عیب ترک

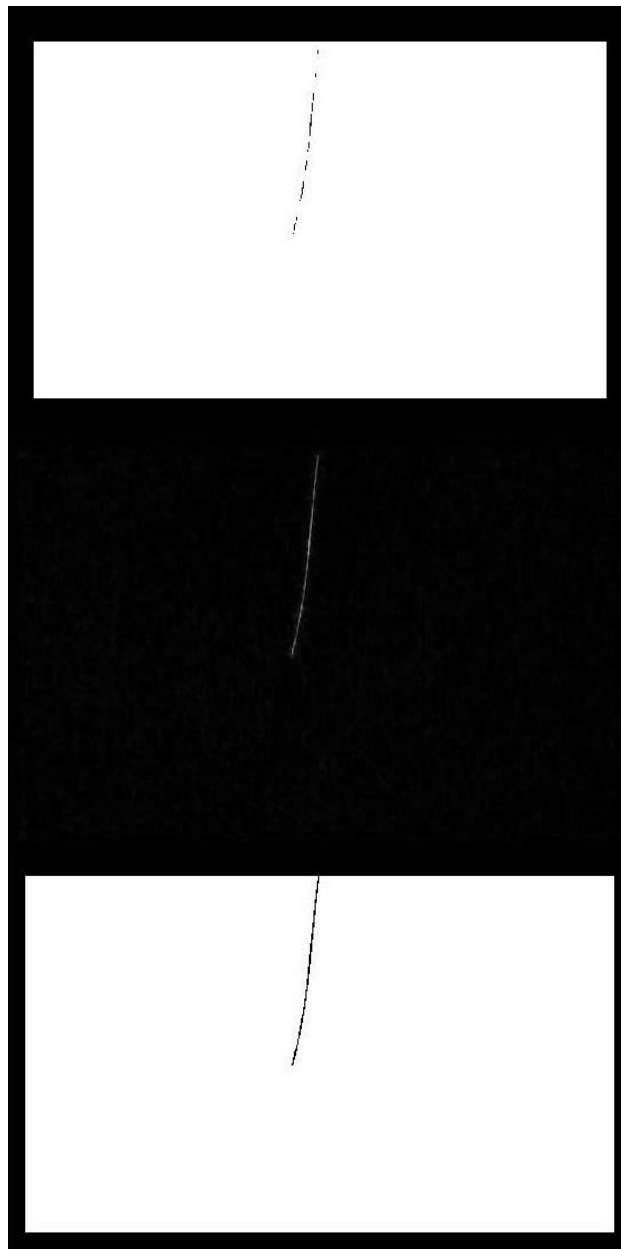
الگوریتم‌های متعددی برای آشکارسازی ترک‌ها وجود داشته و استفاده می‌شوند. یکی از روش‌های موجود استفاده از عملگرهای مورفولوژی می‌باشد که در [۵۴] استفاده شده است. در مقاله‌ی مذکور از عملگرهای شکل شناسی "بسته- باز"^۱ برای شناسایی ناپیوستگی‌های نازک استفاده شده است. که طبق رابطه‌ی (۱-۵) تعریف می‌شود.

$$co(I) = close(i) - open(i) = erosion(dilation(i)) - dilation(erosion(i)) \quad (۱-۵)$$

^۱ Close-Open(CO)

در صورت عدم استفاده از الگوریتم فوق، بعداز تبدیل تصویر باینری، ترک موجود با وضوح کمتری نمایش داده خواهد شد. از این رو ما نیز برای برجسته کردن ترک مورد نظر از همین روش استفاده کرده‌ایم.

شکل (۴-۵) نتیجه‌ی حاصل از اعمال الگوریتم فوق بر روی تصویر (۳-۵) را به همراه مراحل مختلف باینری سازی تصویر نشان می‌دهد.

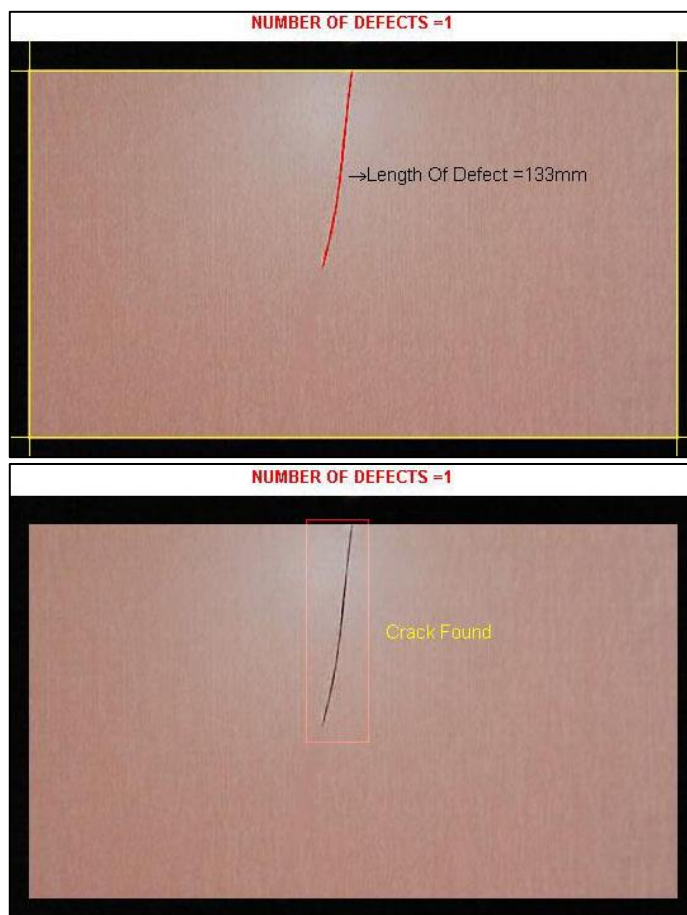


شکل (۴-۵) برجسته سازی ترک. بالا: تصویر باینری شده تصویر اصلی، وسط: برجسته سازی ترک با روش C- (O) مورفولوژی، پایین: باینری شده‌ی تصویر بعداز اعمال الگوریتم مورفولوژی و برجسته سازی ترک

بدیهی است که بعد از برجسته سازی خط (ترک) توسط اپراتورهای شکل شناسی در تصویر سیاه سفید، ترک موجود ایجاد حفره خواهد کرد. سپس با اعمال الگوریتم پیشنهادی بخش (۳-۸) براحتی حفره استخراج شده و می توان محل عیب را مشخص کرد. نکته لازم بذکر در این قسمت اینست که این نمونه از کار صرفاً جهت نمایش توان گسترش الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی عیوب دیگر معرفی شد. لذا روش استخراج ترک مد نظر کاربرد ما نمی باشد. پیام پایان نامه در این قسمت اینست که اگر عیوبی که ایجاد اختلاف در شدت رنگ می کنند را بتوان برجسته کرد، با استفاده از دیدگاه آشکارسازی حفره ها می توان محل و حتی نوع برخی از عیوب را نیز مشخص کرد. نقطه ی قوت این موضوع اینست که تمام این عیوب توسط یک دیدگاه آشکار خواهند شد که آن هم دیدگاه بازیابی مرزها و آشکارسازی حفره ها خواهد بود. که این موضوع را می توان به سایر عیوب نیز همچون حفره سوزنی، سوراخ در سطح و سایر عیوب از این قبیل تعمیم داد.

شکل (۵-۵) نتایج نهایی استفاده از الگوریتم پیشنهادی پایان نامه برای آشکارسازی ترک را نشان

می دهد.



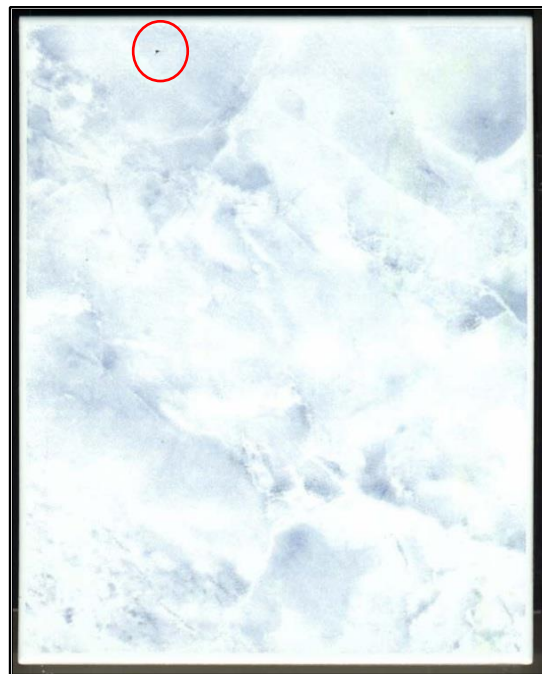
شکل (۵-۵) نتایج نهایی اعمال روش پیشنهادی برای شناسایی و آشکارسازی ترک

همانطور که ملاحظه می شود با توجه به روش بکارگرفته شده بعداز آشکارسازی حفره ها می توان اندازه ی عیوب را نیز محاسبه کرد. بدیهی است که ترک ها نسبت به نواحی سالم دارای ساختارهای نامتناجس با طول زیاد و عرض کم می باشند. لذا می توان از این ویژگی جهت تشخیص آنها استفاده کرد.

۵-۲-۳- آشکارسازی خال و سوراخ روی سطح محصولات کاشی و سرامیک

همانطور که در قسمت های قبل عنوان شد اکثر عیوب سطح محصولات کاشی و سرامیک و بخصوص عیوب تیز، باعث اختلاف شدت رنگ در نواحی معیوب می شوند. در قسمت های قبل آشکارسازی عیب ترک را بعنوان یکی از عیوب قابل کشف توسط روش پیشنهادی معرفی و تحلیل

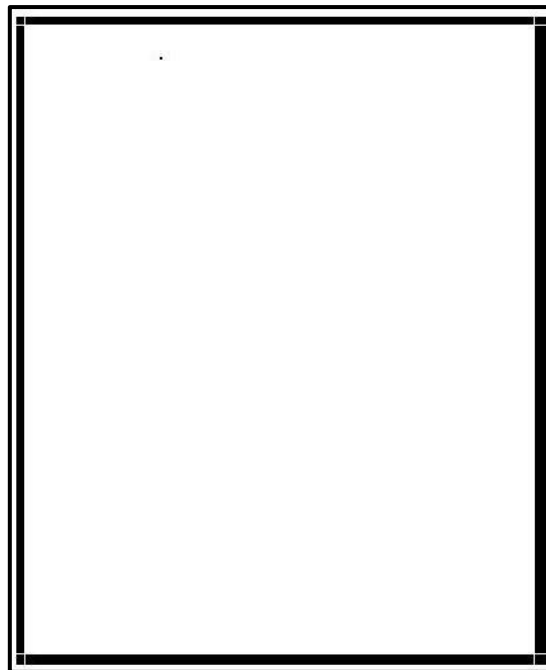
کردیم. در این قسمت بدنبال تشریح بیشتر قابلیت گسترش روش پیشنهادی در کشف و شناسایی سایر عیوب، به کشف یک نوع از عیوب "خال" در محصولات کاشی و سرامیک می‌پردازیم. عیوب خال، سوراخ، لکه و عیوب ریز و تیزی از این قبیل، عیوبی هستند که ساختارهای نامتناجس تقریباً مشابهی در سطح محصولات ایجاد می‌کنند. تصویر مورد استفاده‌ی ما برای این قسمت تصویر کاشی و سرامیک دارای عیب خال میباشد که در یکی از بهترین مقاله‌هایی که سعی در آشکارسازی این عیوب داشته را استفاده شده است. شکل (۵-۶) تصویر کاشی سرامیکی دارای عیب خال را نشان می‌دهد که در مقاله‌ی [۵۵] مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۵-۶) نمونه‌ای از سرامیک طرح دار دارای عیب خال. عکس از [۵۵]

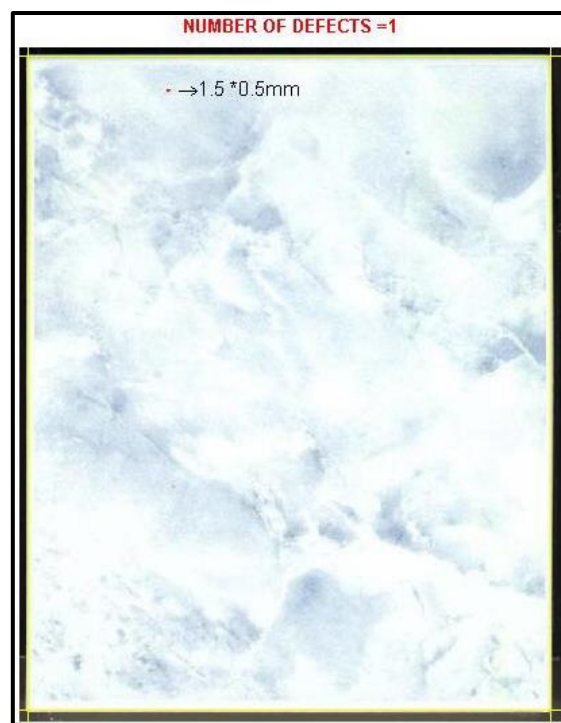
نویسندگان مقاله‌ی مذکور اظهار داشته‌اند که کشف این عیب بسیار دشوار می‌باشد چراکه شدت آن تقریبی از شدت الگوی تصویر است [۵۵]. با کمترین دقت در تصویر کاشی شکل (۵-۶) و مشاهده‌ی رنگ الگوی کاشی و شدت رنگ عیب مشخص شده و ریز بودن آن، می‌توان به صحت این اظهار نویسندگان پی برد. از این رو ما این تصویر را نمونه‌ی مناسب و قابل استنادی جهت نمایش توان و چگونگی کارکرد روش پیشنهادی در شناسایی این نوع عیوب دانسته و انتخاب کرده‌ایم.

همانطور که در تصویر اصلی مشخص شده است، می‌بینیم که خال موجود روی سطح کاشی
 سرامیک ایجاد نوعی بی‌نظمی در شدت کرده است. نویسندگان در این مقاله برای آشکارسازی این
 عیب از الگوریتم لبه یاب کنی استفاده کرده‌اند. اما همانطور که در قسمت کشف ترک ذکر شد، هدف
 اصلی پایان نامه ارائه‌ی روش کامل جهت آشکارسازی عیوب شکستگی تمام سطح محصولات می-
 باشد. و بخش آشکارسازی سایر عیوب هم صرفاً جهت نمایش توان روش بطور متمرکز برای
 آشکارسازی سایر عیوب عنوان شده است. لذا نوع و چگونگی روش‌های استفاده شده برای شناسایی
 عیوب دیگر مسئله‌ی مورد بحث این پایان نامه نیست. موضوع مورد بررسی فقط اینست که عیوب
 مذکور جهت کشف با روشی مناسب برجسته شوند. تا اختلاف شدت در تصاویر دودویی با وضوح
 بیشتری مشخص باشد. که در اینصورت با اعمال الگوریتم‌های کشف عیوب ارائه شده در بخش (۳-۸)
 این پایان‌نامه تمام عیوب موجود مشخص خواهند شد. در این قسمت نیز ما از روش‌های مورد استفاده
 در همین پایان نامه تصویر ورودی شکل (۵-۶) را به تصویر باینری تبدیل کرده‌ایم. شکل (۵-۷) تصویر
 باینری بعد از مرحله‌ی حذف نویز و صاف کردن مرزها را نشان می‌دهد.

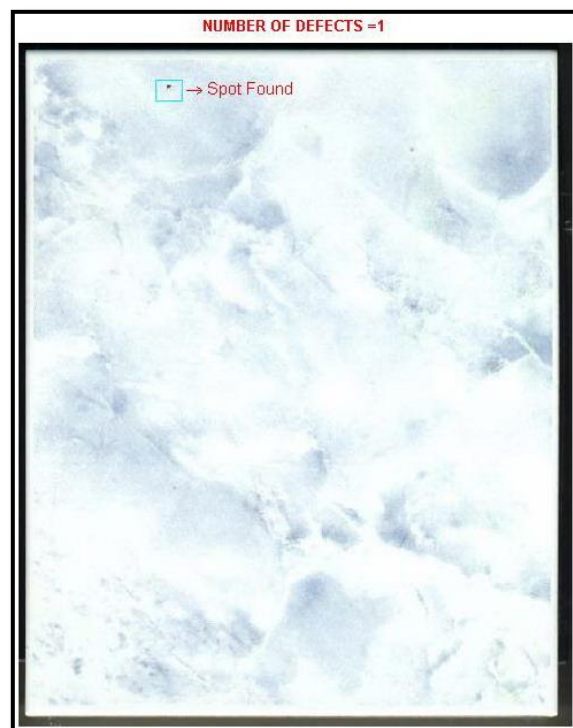


شکل (۵-۷) تصویر باینری سرامیک با عیب خال بعد از حذف نویز و صاف کردن مرزها

همانطور که از شکل مشخص است، عیب مورد نظر بصورت حفره‌ای ریز در تصویر مشخص شده است. لذا در این مرحله با اعمال مجموعه الگوریتم‌های بخش (۸-۳) می‌توان حفره را استخراج و مشخص کرد. در ادامه امکان محاسبه‌ی اندازه‌ی عیوب جهت تعیین درجه‌ی عیوب نیز وجود دارد. لازم بذکر است که اندازه‌ی عیوب یک ویژگی بسیار مناسبی جهت تشخیص نوع عیوب نیز بوده و می‌توان برای تشخیص نوع عیوب از هندسه‌ی تشکیل شده‌ی عیوب استفاده کرد. بطوریکه مثلاً عیب ترک ساختاری با طول زیاد و پهنای کم دارد. و عیب سوراخ و خال در عرض و طول دارای مقادیر کمی هستند. شکل (۸-۵) و (۹-۵) بترتیب نتایج حاصل از آشکارسازی و محاسبه‌ی اندازه و شناسایی عیب خال موجود در شکل (۶-۵) را نشان می‌دهند.



شکل (۸-۵) تصویر حاصل از محاسبه‌ی اندازه‌ی عیب خال



شکل (۵-۹) تصویر نهایی بعد از کشف عیب خال

۵-۳- مقایسه با روش‌های پیشین

در این بخش برای ارزیابی نتیجه‌ی کارکرد الگوریتم روش پیشنهادی، نتایج روش پیشنهادی را با نتایج روش‌های موجود مقایسه خواهیم کرد. در قسمت اول از این بخش، روش پیشنهادی پایان نامه با روش‌های موجود از لحاظ کلیات توانایی‌های فنی و عملیاتی موجود در روش‌ها مقایسه شده است. در قسمت دوم یکی از روش‌ها که از نظر تکنیکی نزدیک‌تر به روش پیشنهادی بوده و قابلیت بیشتری برای قیاس دارد انتخاب شده و از جنبه‌های زمان، دقت و پیاده سازی نتایج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۵-۳-۱- مقایسه‌ی کلی روش پیشنهادی با روش‌های پیشین

در این قسمت ۳ روش برای مقایسه با روش پیشنهادی پایان نامه انتخاب شده‌اند. نکته‌ی بسیار حائز اهمیت در مورد این بخش اینست که همانطور که در قسمت‌های پیش ذکر شد، به دلیل عدم

وجود پایگاه داده‌ی یکسان در زمینه‌ی مورد نظر، وجود تفاوت در ساختار روش‌ها امری بدیهی است. از این رو مشخص است که مقایسات انجام شده ممکن است در شرایط متفاوت، نتایج متفاوتی داشته باشند. و در این پایان نامه تمام مقایسات با شرایط موجود در کار انجام شده در این پایان‌نامه انجام شده است. از این رو در جدول (۵-۱)، مقایسه بر اساس کلیات کارکرد روش‌ها و بخصوص معرفی و مقایسه‌ی قابلیت‌ها و ضعف‌های هر یک از روش‌ها انجام شده است.

جدول (۵-۱) مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پیشین

روش	روش پیشنهادی پایان نامه	[۲۴]	[۱۰]	[۲۳]
تکنیک مورد استفاده	بازیابی مرز سالم بر پایه شیب نقاط مرزی - تشخیص حفره‌ها	استخراج لبه - ردیابی مرزها	توصیف گر لبه ها - ردیابی کانطور	ضرب داخلی بردارها
دامنه‌ی کشف عیوب	شکستگی و پدیدگی تمام مرزها - شکستگی و پدیدگی تمام سطح کاشی	شکستگی تمام مرزها	شکستگی تمام مرزها	شکستگی گوشه ها
درصد تشخیص صحیح	٪۹۸	٪۹۷	٪۸۲.۵	٪۸۷.۵
مزایای روش	شمارش تعداد عیوب - عدم نیاز به نمونه اولیه - بلادرنگ بودن زمان اجرا - درجه بندی عیوب -	شمارش تعداد عیوب - عدم نیاز به نمونه اولیه	قابلیت استفاده در هندسه های مختلف با داشتن نمونه‌های اولیه	سادگی روش - عدم نیاز به نمونه اولیه
ضعف های روش	نیاز به صاف و بدون چرخش بودن محصولات	پیچیدگی محاسبات و زمان اجرای بالا - عدم کشف شکستگی های میان بدنه	زمانبر بودن روش - عدم کشف شکستگی های میان بدنه	عدم کشف شکستگی های مرزها و بین بدنه
توان درجه بندی عیوب	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
زمان اجرای روش (ثانیه)	۰.۴۵	۲	۴.۵	-

۵-۳-۲- مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش مقاله [۲۴]

همانطور که در ابتدای فصل سوم در بخش پایگاه داده‌ها عنوان شد، پایگاه داده‌ی مرجع و استاندارد برای ارزیابی یکسان کارهای انجام شده در زمینه‌ی مربوط وجود ندارد. لذا بدیهی است که ارزیابی بر پایه‌ی مقایسه، شرایط پیچیده‌تری داشته باشد. در این قسمت برای اینکه مقایسه‌ای با روش‌های پیشین داشته باشیم، یکی از کامل‌ترین کارهای اخیر انجام شده در زمینه‌ی مربوطه را جهت مقایسه انتخاب کرده‌ایم. از اینرو مقاله‌ی [۲۴] بعنوان روشی کامل در راستای آشکارسازی

شکستگی‌های مرز کاشی و سرامیک که در فصل دوم به تفصیل معرفی شد، برای مقایسه انتخاب شده است. دلیل انتخاب این مقاله کامل بودن کار صورت گرفته نسبت به سایر روش‌های دیگر و نزدیکی تقریبی دیدگاه پردازش با کار انجام شده در این پایان‌نامه می‌باشد. نکته‌ی قابل توجه که در ابتدای بخش قبل نیز ذکر شد را در این بخش به ضرورت تکرار می‌کنیم و آن اینست که به دلیل شرایط مختلف پیاده سازی و نوع پایگاه‌های داده، بدیهی است که نتایج بدست آمده عمومیت کامل نداشته باشند. و ما برای اینکه مقایسه‌ای بر این اساس داشته باشیم هر دو روش را با تکیه بر شرایط بوجود آمده در این پایان‌نامه مقایسه می‌کنیم. هر چند تمام شرایط انتخاب شده برای هر دو روش یکسان می‌باشد اما بمنظور ایجاد شرایط یکسان و برابر، تعدادی تصویر بصورت تصادفی از تصاویر پایگاه داده-ی تهیه شده انتخاب شده است. علاوه بر این، مقایسه را بر حسب تعداد عیوب انجام داده‌ایم تا نتایج کسب شده بتوانند با شفافیت بیشتری توانایی و دقت روش برتر را بیان کنند. از این رو ۷۵ عدد تصویر کاشی از بین تصاویر کاشی‌های معیوب پایگاه داده بطور تصادفی برای مقایسه انتخاب شده‌اند. بطوریکه این ۷۵ عدد کاشی انتخاب شده در مجموع دارای ۱۸۱ عیب می‌باشند. جدول (۵-۲) نتایج حاصل از مقایسه انجام شده را بر حسب دقت و زمان نشان می‌دهد.

جدول (۵-۲) مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش [۲۴]

روش	تعداد تصویر انتخاب شده	تعداد عیوب	تعداد تشخیص صحیح	درصد تشخیص صحیح	تعداد تشخیص غلط	متوسط زمان اجرای الگوریتم (میلی ثانیه)
روش پیشنهادی	۷۵	۱۸۱	۱۷۴	۹۶.۱	۳	۴۵۴
روش مقاله [۲۴]	۷۵	۱۸۱	۱۷۰	۹۳.۲٪	۲۶	۲۶۰۰

لازم بذکر است که در فیلدهای جدول مقایسه، فیلد "تعداد تشخیص صحیح" به این موضوع دلالت دارد که، عیوب موجود آشکار شده و بدرستی بعنوان عیب معرفی شوند. فیلد "تعداد تشخیص

غلط" نیز شامل تشخیص‌هایی است که طی آنها نواحی سالم بعنوان عیب آشکار شده‌اند. فیلد آخر نیز متوسط زمان اجرای کل الگوریتم که مجموع متوسط اجرای زمان مراحل مختلف می‌باشد را نشان می‌دهد. بطوریکه تصاویر انتخابی همگی دارای ابعاد 600×800 پیکسل می‌باشند.

همانطور که از نتایج ملاحظه می‌شود، روش مقاله [۲۴] در مقایسه با روش پیشنهادی به مرزها حساسیت زیادی دارد. بدیهی است که این حساسیت از روش بکاررفته در کشف عیوب ناشی می‌شود. همانطور که در فصل دوم گفته شد، روش مذکور از ردیابی و اختلاف پیکسل‌های مرزی جهت کشف نقاط معیوب استفاده می‌کند. بدیهی است که با کوچکترین انحراف در مرز (مثل نمونه کاشی شکل ۴-۲) آن نقطه بعنوان عیب آشکار خواهد شد. هرچند که این انحراف شکستگی نبوده و نویز یا نقاط پراکنده بر اثر ناهمواری مرزها باشند. اما رسم مرزهای بازیابی شده این امکان را که نقاط ناهموار به این شدت بعنوان عیب تلقی شوند را از بین می‌برد.

از طرفی متوسط زمان محاسبه شده‌ی اجرای الگوریتم در هر یک از روش‌ها، برتری بدون قید و شرط روش پیشنهادی پایان نامه را از این حیث بیان می‌کند. زمان اجرای مراحل مختلف الگوریتم روش پیشنهادی پایان نامه به ازای هریک از مراحل در جدول (۴-۴) نمایش داده شده است. اما طبق بررسی‌ها می‌توان اینگونه ابراز داشت که عمده دلایل سرعت کم روش مقاله [۲۴]، استفاده‌ی دوباره از عملیات آستانه‌گیری، تبدیل رادون و عملیات استخراج لبه با استفاده از عملگر سوبل بوده است. لازم بذکر است که تصاویر انتخاب شده از کاشی‌های 25×40 و در ابعاد (400×600) پیکسل می‌باشند.

فصل ۶:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده

۶-۱- نتیجه گیری

همانطور که در چکیده‌ی پایان نامه ذکر شد، رسالت این پایان نامه را ارائه‌ی روشی برای تشخیص خودکار عیوب شکستگی کاشی و سرامیک توسط تکنیک‌های پردازش تصویر و بینایی ماشین عنوان کردیم. از طرفی عنوان شد که هدف اینست روش پیشنهادی توان استفاده در دو فاز تولیدی را داشته باشد. تا این مرحله از نتایج بدست آمده ملاحظه شد که روش پیشنهادی قابلیت خوبی در تشخیص، شمارش و جداسازی محصولات معیوب بر اساس عیوب شکستگی را داراست. بررسی‌های انجام شده از نظر زمان اجرا نیز توان بکارگیری روش پیشنهادی را در محیط کارخانه نشان می‌دهد. بطوریکه روش پیشنهادی پایان نامه قادر است در کمتر از نیم ثانیه، تمام عیوب شکستگی واقع در سطح محصولات کاشی و سرامیک را کشف و شناسایی کند. اما نکته‌ی مهم اینست که کارهای انجام شده در این زمینه فقط به شناسایی شکستگی‌های گوشه‌ها و یا مرزهای محصولات بسنده کرده‌اند. در فصل گذشته ملاحظه شد که روش پیشنهادی پایان نامه قابلیت گسترش برای شناسایی تعداد قابل توجهی از دیگر عیوب سطحی را نیز دارا می‌باشد. مزیت این موضوع اینست که برای تعمیم روش و شناسایی عیوب دیگر، نیازی به تغییر دیدگاه و روند مورد استفاده نمی‌باشد. یکی از اهداف اصلی پایان نامه این بود که بتواند چارچوب اولیه‌ای را ایجاد کند و توسط آن عیوب شکستگی را آشکار سازد. بطوریکه برای آشکارسازی برخی دیگر از عیوب سطحی، نیازی به تغییرات اساسی در چارچوب اولیه و دیدگاه اولیه‌ی روش می‌باشد.

این موضوع از نظر پیاده سازی نیز بسیار حائز اهمیت است. چراکه استفاده از روش‌های متفاوت برای شناسایی عیوب مختلف باعث پیچیدگی کار خواهد شد. و این امر هزینه‌های سخت افزاری و نرم افزاری جهت پیاده سازی و حتی پشتیبانی دستگاه‌های تولید شده را افزایش خواهد داد. بنابراین همانطور که در فصل گذشته نیز عنوان شد، روش پیشنهادی پایان نامه قادر خواهد بود با یک دیدگاه کلی برای آشکارسازی سایر عیوب نیز گسترش پیدا کند. همانطور که در فصل گذشته در مورد

آشکارسازی ترک دیدیم، کاری که باید انجام شود استخراج عیب مورد نظر می‌باشد. باز همانطور که ذکر شد، اکثر عیوب تعریف شده [۵۶][۵۷] دارای اختلافات شدت رنگ نسبت به سایر نقاط می‌باشند. اگر این اختلافات و محلشان بخوبی مشخص شود، دیدگاه آشکارسازی حفره‌ها عمل آشکارسازی، شمارش تعداد و محاسبه‌ی اندازه‌ی عیوب مذکور را انجام خواهد داد. حتی با در نظر گرفتن برخی ویژگی‌های هندسی عیوب می‌توان نوع عیب را نیز مشخص کرد. همانطور که ما از اندازه‌ی پهنای بسیار کم و طول نسبتاً بیشتر ترک‌ها جهت تمیز دادن این عیوب از عیوب شکستگی استفاده کردیم. از طرفی دیگر همانطور که در ارزیابی زمان اجرای روش بیان شد، زمان اجرای بسیار کم روش پیشنهادی، حاکی از قابلیت استفاده از روش در محیط بلادرنگ کارخانه می‌باشد.

۶-۲- پیشنهادات برای کارهای آینده

یکی از پیشنهادات مشخص و بسیار قابل دسترس برای کارهای آینده، تعمیم و گسترش روش پیشنهادی بر اساس قابلیت‌های عنوان شده در فصل ۵ و در جهت شناسایی برخی دیگر از عیوب سطحی می‌باشد. همانطور که بیان شد روش پیشنهادی ظرفیت بسیار ویژه و بالایی جهت گسترش در راستای آشکارسازی سایر عیوب را داراست. در فصل ۵ مثالی روشن برای تعمیم روش در شناسایی عیوب ترک ذکر شد. لذا بدیهی است که با استفاده از روش پیشنهادی این پایان نامه بعنوان روش پایه جهت شناسایی و آشکارسازی عیوب شکستگی و پریدگی، می‌توان از روش برای شناسایی و آشکارسازی تمام عیوبی که ایجاد نوعی اختلاف در شدت رنگ می‌کنند از جمله ترک، خال، حفره سوزنی و غیره استفاده کرد و به این ترتیب در آینده روش را گسترش داد.

یکی دیگر از پیشنهادات پایان نامه برای کارهای آینده استفاده از روش در شناسایی عیوب سایر محصولات تولیدی می‌باشد. می‌دانیم که اغلب محصولات تولیدی مشابه با محصولات کاشی و سرامیک، دارای عیوبی تقریباً مشابه هستند. بعنوان مثال در شناسایی عیوب محصولات استیل یا

شیشه ای یا سایر محصولات سرامیکی که در ابعاد و هندسه‌های مورد نظر می‌باشند می‌توان از روش مورد نظر استفاده کرد.

- [1] I. Morishita, M. Okumura, (1983), “**Automated visual inspection systems for industrial applications**”, Volume 1, Issue 2, Pages 59–67, Copyright © 1983 Published by Elsevier Ltd.
- [2] Ms. Shubhada.K. Nagrale, Mr. S.T.Bagde, March||2013,” **Application of Image Processing for Development of Automated Inspection System**”, ISSN: 2250-3005, International Journal of Computational Engineering Research (ijceronline.com) Vol. 3 Issue. 3
- [۳] عباسپور، مجید- “تکنولوژی و جهان امروز”- انتشارات صدرا- تهران- ۱۳۷۸
- [4] MikeJones, “**Advantages of Industrial Automation**”, on Aug31, 2012, <http://www.slideshare.net/CPGroupMike/advantages-of-industrial-automation-14133608>
- [5] Production Line Halt, Prediction by Artificial Intelligence “**Application of Artificial Neural Networks**” First Published 2005 by Farassan IN Shiraz. Written in Persian. ISBN 10. 964-7210-88-
- [6] M. S. Aksoy, O Torkul, H Cekidmoghlu(2004) “An industrial visual inspection system that uses inductive learning”, Journal of Intelligent Manufacturing ,August 2004, Volume 15, Issue 4, pp 569-574
- [7] <http://www.indiabiznet.com/forum/topics/machine-vision-system>
- [8] <http://www.automation.com/resources-tools/articles-white-papers/vision-sensors-systems/package-choose-machine-vision-quality-inspection-to-reduce-waste-and-boost-roi>
- [۹] حنیف راست گفتار ، جلال الدین شایگان، ۱۳۸۵، “**بهبود مصرف انرژی (الکتریکی و حرارتی) در صنعت کاشی و سرامیک کشور**”، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، دانشگاه تهران
- [10] Hocenski, Z., Keser, T., 2007 “**Failure detection and isolation in ceramic tile edges based on contour descriptor analysis**”, Control & Automation, 2007. MED '07. Mediterranean Conference on , 27-29 June 2007, E-ISBN :978-1-4244-1282-2 , Athens
- [11] C.S. Cho, B.M. Chung, M.J. Park, (2005), “**Development of real-time vision-based Fabric inspection system**”, IEEE Trans. Ind. Electron. 52 (4) 1073–1079.
- [12] Mostafavi, Mahkameh S, December (2006), “**A New Method in Detection of Ceramic Tiles Color Defects using Genetic C-Means Algorithm**”, Enformatika;2006, Vol. 17, p168, Academic Journal
- [13] G.s.Desoli,S.fioravanti ,R.fioravanti and D.corso, 1993, “**A system for automated visual inspection of ceramic tiles**,” Int’l conf.industrial elec., Control, and instrum, pp.1871-1876, 1993
- [14] C.Boukouvalas, J. Kittler, R.Marik and M. Petrou, (1999), “**Color grading of randomly textured ceramic tiles using color histograms**”, IEEE Trans. Industrial Electronics, vol.146, NO. 1, pp.219-226, 1999
- [15] C.Boukouvalas, J.Kittler, R.Marik, M.Mirmehdi, M.Petrou,(1995), ”**Ceramic tile inspection for colour and structural defects**”, university of Geneva, Proceedings of AMPT95, pp.390-399, 1995.
- [16] H. Elbehriy, A. Hefnawy, and M. Elewa, (2005), “**Surface Defects Detection for Ceramic Tiles Using Image Processing and Morphological Techniques**”, Proceedings of World

Academy of Science, Engineering and Technology, vol 5, pp 158-160, April 2005, ISSN 1307-6884.

- [17] Ebrahimzadeh, A., ossienzadeh, M., (2010), “**An efficient system for automatic sorting of the ceramic tiles, Digital Content, Multimedia Technology and its Applications**” (IDC), 2010 6th International Conference on Seoul, 16-18 Aug. 2010, E-ISBN :978-8-9886-7827-5, INSPEC Accession Number:11526223
- [18] Suzana Vasilic, Zeljko Hocenski ,(2006), “**The Edge Detecting Methods in Ceramic Tiles Defects Detection**”, IEEE ISIE 2006, July 9-12, 2006, Montreal, Quebec, Canada,
- [19] Li Chaorong, Li Jianping, Huang Mingqing,(2012), “**Alumina Ceramic Surface Defect Detection: Combining Canny Edge Detector**”, International Journal of Advancements in Computing Technology(IJACT) ,Volume4, Number5, March 2012 , doi: 10.4156/ijact.vol4.issue5.16
- [20] C. Boukouvalas, F. D. Natale, G. D. Toni, J. Kittler, R. Marik, M. Mirmehdi, M. Petrou, P. L. Roy, R. Salgari,G. Vernazza,(1998) “**ASSIST: automatic system for surface inspection and sorting of tiles**”, Journal of Material Processing Technology, 82:179-188, 1998.
- [21] Željko Hocenski, Tomislav Keser, Alfonso Baumgartner, (2007), “**A Simple and Efficient Method for Ceramic Tile Surface Defects Detection**”, Industrial Electronics, ISIE 2007. IEEE International Symposium on Vigo, 1-4244-0755-9/07/\$20.00 '2007 IEEE
- [22] J. M. VALIENTE, F. LÓPEZ, F. ACEBRÓN AND E. PÉREZ , ”**AN IMAGE REGISTRATION METHOD FOR CERAMIC TILE INSPECTION PURPOSES**”, Department of Computer Engineering, Universidad Politécnica de Valencia Camino de Vera 14 46022 VALENCIA, SPAIN
- [23] F. S. Najafabadi, H. Pourghassem, (2011), “**Corner Defect Detection Based on Dot Product in Ceramic Tile Images**”, IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, 2011.
- [24] M.S.Mansoor, H.tajik, G.Mohamadi, M.Pashna. (2008). “**Edge Defect Detection in Ceramic Tile Based on Boundary Analysis Using Fuzzy Thresholding and Radon Transform**”, Signal Processing and Information Technology ISSPIT 2008. IEEE International Symposium proceeding of ISSPIT
- [25] Y. Yong, Z. Chongxun, L. Pan,(2004) “**A Novel Fuzzy C-Means Clustering Algorithm for Image**”, Thresholding, measurement science, Volume 4 Section 1, 2004
- [26] Ching-YUng Lin, Mm Wu, Jeffrey A. Bloom, (2001) “**Rotation, Scale, and Translation Resilient Watermarking for Images**”, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 10, NO. 5, MAY, 2001.
- [27] O. R. Terrade, E. Valveny, (2003), “**Radon Transform for Lineal Symbol Representation**”, Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, IEEE 2003.
- [28] Alper Pahsa,(2006), “**Morphological Image Processing With Fuzzy Logic**”, Havacilik Vc Uzay Teknolojileri Der Gisi Ocak 2006, CICK 2SAY13(27-34)
- [29] K.L. Mak, P. Peng, K.F.C. Yiu, (2009), “**Fabric defect detection using morphological filters**”, Image and Vision Computing 27 (2009) 1585–1592
- [30] P. Soille, (2003) “**Morphological Image Analysis**”, second ed., Springer, 2003.
- [31] Hamid Hassanpour a, Payam M. Farahabadi “**Using Hidden Markov Models for paper currency recognition**”, (2009) Elsevier Ltd. All rights reserved
- [32] S P VIMAL, P K THIRUVIKRAMAN,(2012), “**Automated image enhancement using power law transformations**”, Sadhana December 2012, Volume 37, Issue 6, pp 739-745, Publisher Springer-Verlag
- [33] Poynton, Charles, (1996), “**A technical introduction to digital video**” (John Wiley & Sons), Inc. New York, NY, USA ©1996, ISBN:0-471-12253

- [34] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G.(1995), "**MACHINE VISION**", Schunck Published by McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-032018-7
- [35] Zeljko Hocenski, Ivan Aleksi, Robert Mijakovic(2009), "**Ceramic Tiles Failure Detection Based on FPGA Image Processing**", IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009), Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea July 5-8, 2009
- [36] N. Otsu. (1979), "**A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms**", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1979, 9(1)
- [37] Maythapolnun ATHIMETHPHAT (2010), "**A Review on Global Binarization Algorithms for Degraded Document Image**", S 188-195 (Jan. 2011) AU Journal of Technology. 14.3 (January 2011): 188- 195.
- [38] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins (2004), "**Digital Image Processing using Matlab**", pp356-374, Pearson, Prentice Hall, 2004.
- [39] P. Margos (2004), "**Image Video Processing handbook**", 2nd edition, Edited by A. C. Bovik, Elsevier Academic, Nov. 2004
- [40] Farajzadeh, M., Mahmoodi (2012), "**Detection of small target based on morphological filters**", Electrical Engineering (ICEE), 2012 20th Iranian Conference on Tehran, 15-17 May 2012, ISBN: 978-1-4673-1149-6
- [41] Jean-F Rivest, Pierre Soille and Serge Beucher (1993), "**Morphological gradients**", J. Electron. Imaging. 2(4), 326-336 (Oct 01, 1993).
- [۴۲] رافائل سی گونزالس، ریچارد ای وودز، استیون ال ادینز، ۲۰۰۴، "پردازش تصاویر دیجیتال با استفاده از نرم افزار متلب". میرطوسی ایوب، جلد اول، چاپ اول، انتشارات پیوند نو، تهران، ص ۴۴۹
- [43] J. Canny (1986), "**A Computational Approach to Edge Detection**", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 6, Nov. 1986.
- [44] J. Canny (1983), Master's thesis, MIT, "**Finding edges and lines in image**", 1983
- [45] Mark S. Nixon, Alberto S. Aguado, (2008), "**Feature Extraction and Image processing**", second edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Copyright © 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved
- [46] M.C. Shin, D. Goldgof, and K.W. Bowyer (2001) "**Comparison of Edge Detector Performance through Use in an Object Recognition Task**". Computer Vision and Image Understanding, vol. 84, no. 1, pp. 160-178, Oct. 2001
- [47] N. Shire, M. Khanapurkar, S.Mundewadikar(2011), "**Plain Ceramic tiles surface defect detection using Image Processing**", Fourth International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, 18-20 Nov. 2011, 978-1-4577-1847-2, Port Louis, 978-0-7695-4561-5/11 26.00 © 2011 IEEE
- [48] T. LINDBERG (1998), "**Edge detection and ridge detection with automatic scale selection**", International Journal of Computer Vision, 30, 2, PP. 117--154, 1998.
- [49] jean-f.rivest, pierre soille and serge beucher, "**morphological gredient**" centre morphologic mathematic, ecole des mines de paris 35 rue saint-france
- [50] D.Corso,R.Fioravanti, SFioravanti(1995), "**Morphological analysis of textured images for identification of thin structures**", Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-95 Vol 4., International Conference on Detroit
- [51] Beant Kaur, Gurdeep Mohal, Palak Gupta, Jasleen kaur(2011) , "**Mathematical Morphological Edge Detection for Different Applications**", IJCST Vol. 2, Iss ue 2, June 2011
- [52] Zhao Yu quian, Gui Wei Hua, Chen Zhen Cheng, Tang Jing tian, Li Ling Yun, (2005) "**Medical Images Edge detection Based on mathematical Morphology**", Proceedings of the 2005 IEEE
- [53] J.M. VALIENTE GONZALEZ, F. ACEBRON LINUESA, F. LOPEZ GARCIA , "**AN AUTOMATIC VISUAL INSPECTION SYSTEM FOR CERAMIC TILE**

[۵۴] مهدی سعادتمند طرزجان , مرتضی خادمی, "الگوریتمی برای آشکارسازی عیوب تیز کاشی‌ها

با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی و الگوریتم‌های ژنتیکی". (2004), دوازدهمین کنفرانس

مهندسی برق ایران 2004-05-09

[55] Željko Hocenski , Suzana Vasilić , Verica Hocenski(2006), “Improved Canny Edge Detector in Ceramic Tiles Defect Detection”, IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on Paris ,6-10 Nov. 2006, 1553-572X

[۵۶] مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران, "کاشی های سرامیکی تعاریف طبقه بندی ویژگی ها و نشانه

گذاری", استاندارد ملی ایران 25, تجدیدنظر چهارم

[۵۷] مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران - قسمت , "کاشی های سرامیکی تعیین ابعاد و کیفیت سطح -

روش آزمون"

[۵۸] آزاده خداپرست , عباس مصطفی, "کنترل کیفیت محصولات کاشی بر روی خط تولید با

استفاده از تبدیل موجک و ویژگیهای آماری", دومین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر, تهران -

بهمن ماه ۱۳۸۱

پیوست‌ها

پیوست الف

پردازش تصویر ریخت شناسی

یکی از مهمترین مراحل در پیش پردازش تصویر، پردازش ریخت شناسی می باشد. ریخت شناسی عموماً از مفاهیم مجموعه های ریاضی استفاده می کند و از آن بیشتر برای استخراج نقاط کلیدی تصویر، حذف نقاط غیر مفید تصویر و موارد مشابه دیگر استفاده می شود. به بیان دیگر ریخت شناسی ریاضی یا همان ریخت شناسی روشی پر کاربرد برای تجزیه و تحلیل ساختارها در حوزه ی است که هدف آن تجزیه و تحلیل اشکال و اشیاء هدف در تصویر می باشد.

به این صورت که هر تصویر با مجموعه های ریاضی معادل می شود. در حقیقت هر مجموعه بازگوکننده ی یک شیء درون تصویر می باشد. عملگرهای مختلف ریخت شناسی در مراحل پیش پردازش و پردازش روش پیشنهادی پایان نامه، بسیار استفاده شده اند. از این رو تصمیم گرفته شد برای شفاف تر شدن عملیات انجام شده و درک راحت تر روش های استفاده شده در پایان نامه، در این قسمت بطور اجمالی پردازش تصویر ریخت شناسی و نحوه ی کارکرد عملگرهای استفاده شده در این پایان نامه را توضیح دهیم. لازم بذکر است تمام پردازش ها روی تصاویر دودویی انجام می شوند. لذا تعاریف ارائه شده برای عملگرهای ریخت شناسی نیز در فضای دودویی تعریف شده اند.

انتقال^۱ و انعکاس^۲ ریخت شناسی

فرض کنیم A تعدادی پیکسل در فضای باینری است و $w=(x,y)$ مختصات یک نقطه خاص در

صفحه می باشد. پس A_w مجموعه ایست که در جهت x,y منتقل شده است. لذا خواهیم داشت :

¹ Transition

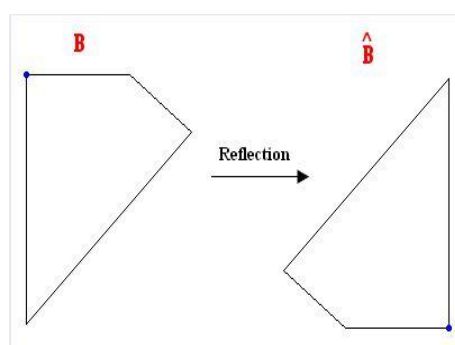
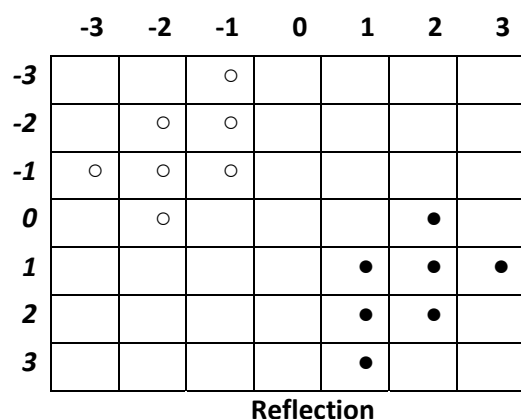
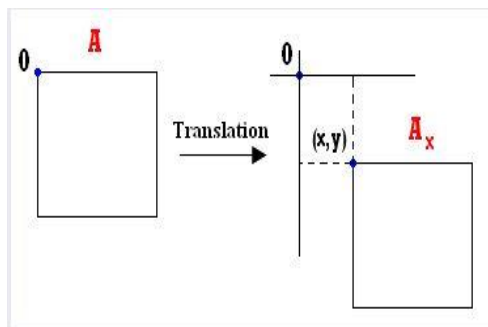
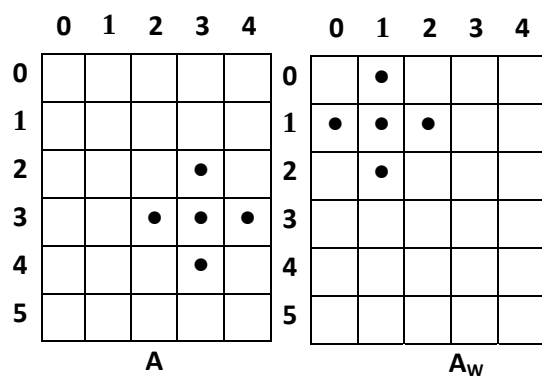
² Reflection

$$A_x = \{(a, b) + (x, y) : (a, b) \in A\}$$

تقارن مجموعه‌ی A نسبت به مرکز خودش را انعکاس گویند. که آن را با $\hat{A}$ نشان می‌دهند. در واقع این تقارن در هر دو بعد x و y انجام می‌شود.

$$\hat{A} = \{(-x, -y) : (x, y) \in A\}$$

شکل زیر از بالا به پایین به ترتیب شمای گرافیکی عمل انتقال و شمای گرافیکی عمل انعکاس را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۶) شکل (۱) بالا: عمل انتقال در صفحه و پیکسل‌های تصویر. پایین: نحوه انجام عمل انعکاس در صفحه و پیکسل‌های تصویر

عملگرهای گسترش^۱ و سایش^۲ ریخت‌شناسی

اتساع عملی است که باعث بزرگ یا ضخیم‌تر شدن اشیاء تصاویر دودویی می‌شود. روش انجام و مقدار این ضخامت را می‌توان با یک شکل که بعنوان عنصر ساختمان^۳ نامیده می‌شود، کنترل کرد. اتساع A با B بصورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود.

^۱ Dilation

^۲ Erosion

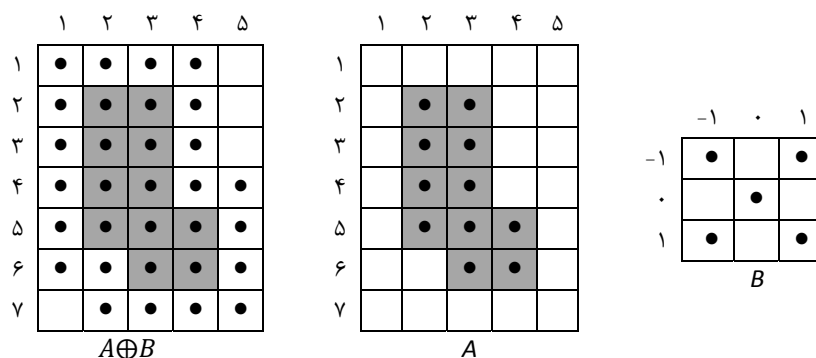
^۳ Structure element

$$A \oplus B = \{w | \text{reflection}(B) \cap A \neq \text{Null}, w \in A\}$$

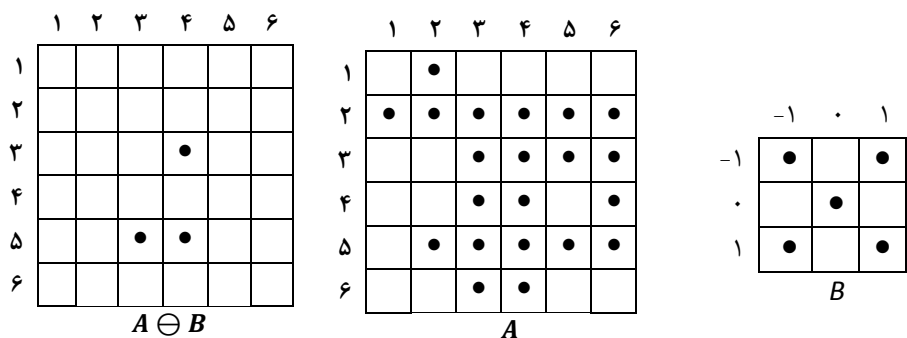
که در اینجا "reflection" عنصر ساختمانی B را حول مرکز خود قرینه می‌کند. به عبارت دیگر گسترش A با عنصر ساختمانی B بدین معنی است که اگر عنصر ساختمانی B را بر روی پیکسل‌های A حرکت دهیم، و در هربار حرکت اشتراک عنصر ساختمانی با محدوده زیر عنصر ساختمانی در تصویر A تهی نباشد، مقدار پیکسل مرکزی که عنصر ساختمانی بر روی آن قرار گرفته است، برابر یک خواهد شد. شکل (۲) بصورت گرافیکی مثالی ساده از نحوه‌ی عملکرد عملگر اتساع را نشان می‌دهد. سایش عملگری است که باعث کوچک یا نازک شدن عناصر در یک تصویر باینری می‌شود. مانند اتساع، چگونگی و میزان نازک شدن با عنصر ساختمان کنترل می‌شود. سایش A با B توسط رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود.

$$A \ominus B = \{w | (B) \subseteq A, w \in A\}$$

به عبارت دیگر، سایش A با B یعنی عنصر ساختمانی به ازای انتقال‌های مختلف باید زیر مجموعه‌ای از تصویر اصلی باشد. شکل (۳) نمایشی گرافیکی از فرآیند سایش است.



شکل (۲-۶) شکل (۲) نمایش گرافیکی عمل اتساع (A تصویر، B عنصر ساختمان)



شکل (۳-۶) شکل (۳) نمایش گرافیکی عمل سایش باعنصر ساختمانی B.

عملگرهای بستن^۱ و بازکردن^۲ ریخت شناسی

عملگر بسته روی مجموعه A با عنصر ساختمان B، عبارت از اعمال عملگر سایش بعد از عملگر اتساع می باشد. در واقع اعمال عملگر بستن بر روی تصویر باینری موجب می شود تا حفره های کوچک تصویر پر شوند. از نظر هندسی، $A \bullet B$ متمم اجتماع همه ی B های انتقال یافته ای است که با A هم پوشانی ندارند. رابطه ی زیر اعمال عملگر بستن را بر روی تصویر A با عنصر ساختمانی B تعریف می کند. همچنین شکل (۴) مثالی از اعمال عملگر بستن تصویر A و B را نشان می دهد.

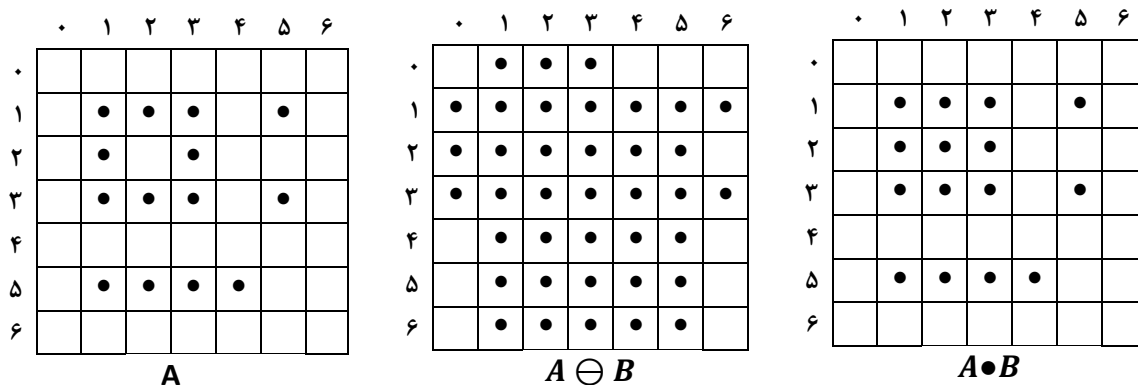
$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

عملگر باز روی مجموعه ی A با عنصر ساختمان B عبارت از سایش A با B و سپس اتساع نتیجه با B می باشد. در واقع اعمال عملگر باز کردن بر روی تصویر باینری موجب می شود تا اتصالات باریک تصویر حذف شده و تصویری آرام تر بدست آید. از نظر هندسی اجتماع تمام B های انتقال یافته ای است که کاملاً در A قرار می گیرند. رابطه ی زیر نحوه ی تعریف عملگر باز را نشان می دهد. همچنین شکل (۵) مثالی از عملیات باز را نشان می دهد.

¹ Closing

² Opening

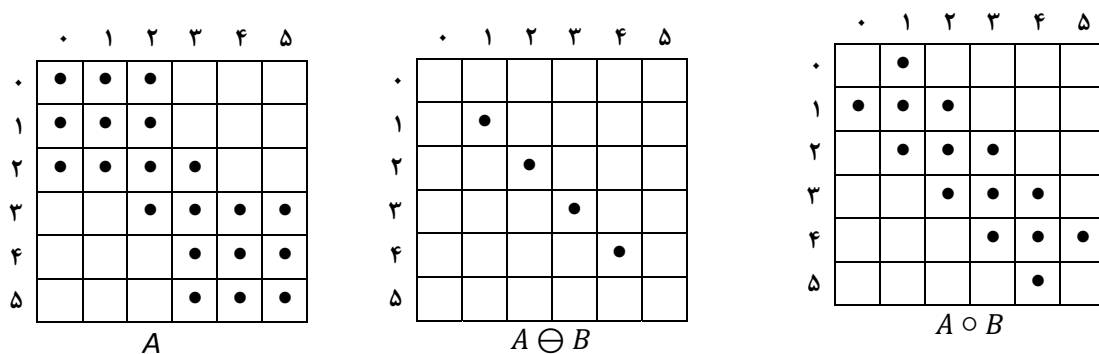
$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



شکل (۴-۶) شکل (۴) نمایش گرافیکی مثالی از عملگر بستن

❖ نکته ۱) در واقع می‌توان در نهایت گفت که عملگر بستن جزئیات تیره را حذف می‌کند (یا پیکسل‌های خالی پراکنده را پر می‌کند).

❖ نکته ۲) در واقع می‌توان در نهایت گفت که عملگر باز جزئیات روشن را حذف می‌کند (پیکسل‌های پر پراکنده را حذف می‌کند).



شکل (۵-۶) شکل (۵): نمایش گرافیکی مثالی از عملگر باز