

ارائه یک الگوریتم جدید برای آشکارسازی عیوب بافتی کاشی‌ها

مهدی سعادت‌مند طرزجان

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده برق.

m_saadatmand_tarzjan@yahoo.com

مرتضی خادمی

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق.

شده و سپس طی فرآیند معینی مقاومت مکانیکی لازم را بدست آورده‌اند. کاشی‌ها، سرامیکها و چینی‌ها از این دست محصولات هستند (که از این به بعد، جهت سهولت همه‌ی آنها را با عنوان کاشی می‌شناسیم). بر اساس نوع رنگ‌آمیزی و طرح، کاشی‌ها را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم نمود:

۱. کاشی‌های ساده: این کاشی‌ها دارای طرح یا الگویی نبوده و تمام سطح آنها به صورت یکدست و یکنواخت، تنها با یک رنگ، رنگ‌آمیزی شده است مانند سرامیک‌های ساده و کاشی‌های ساده سنتی.

۲. کاشی‌های بافتی: می‌توان گفت که سطح این کاشی‌ها در حقیقت یک تصویر بافتی است و الزاماً دو کاشی یکسان از نظر درجه‌بندی از نظر طرح کاملاً یکسان نیستند، مانند تمام انواع سرامیکها (به استثنای سرامیکهای ساده).

۳. کاشی‌های الگودار: همه کاشی‌های الگودار یک خط تولید باید دارای طرحی کاملاً یکسان با طرح مرجع باشند و کوچکترین اختلاف به عنوان عیب در نظر گرفته می‌شود.

همچنین، از دیدگاه اثری که عیوب بر ظاهر کاشی می‌گذارند، می‌توان آنها را به چهار دسته تقسیم نمود:

۱. عیوب رنگی: مهمترین مشخصه این عیوب تفاوت رنگ آنها با رنگهای بکاررفته در کاشی است.

۲. عیوب تیز: این عیوب در تصویر ساختارهایی با کنتراست بالا بوجود می‌آورند.

۳. عیوب بافت: اشکالات طرح در کاشی‌های بافتی.

۴. عیوب الگو: عبارت است از هر نوع تخلفی از الگوی مرجع در کاشی‌های الگودار.

ما قبلاً در [۱]، [۲] و [۳] الگوریتم‌هایی برای آشکارسازی عیوب رنگی و تیز ارائه داده‌ایم. در این مقاله الگوریتمی جدید

چکیده در این مقاله الگوریتمی جدید برای آشکارسازی عیوب بافتی (texture defects) کاشی‌ها و سرامیک‌ها ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی دارای دو مرحله است: استخراج ویژگی و بازرسی. در مرحله استخراج ویژگی از تصویر یک یا چند کاشی مرجع بدون عیب برای استخراج پارامترهای الگوریتم استفاده می‌شود. در آغاز، رنگ‌های بکار رفته در بافت با استفاده از مدلسازی خوشه‌ای استخراج می‌گردد. سپس هر تصویر مرجع با استفاده از خوشه‌های بدست آمده و قانون نزدیکیترین همسایه، به یک تصویر چندسطحی تجزیه می‌شود. و در نهایت با استفاده از عملگرهای مورفولوژیکی، معیاری از چگالی محلی لکه‌های هر سطح، بدست می‌آید. در مرحله بازرسی، ابتدا مشابه قبل تصویر تحت بازرسی به یک تصویر چندسطحی تجزیه شده، معیار چگالی محلی لکه‌ها برای هر سطح محاسبه می‌شود. سپس، از طریق مقایسه چگالی محلی لکه‌های کاشی تحت بازرسی، با مقادیر مشابه بدست آمده در مرحله قبل، عیوب بافتی کاشی آشکار می‌شوند. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها از حجم محاسباتی و دقت قابل قبولی در آشکارسازی عیوب برخوردار است.

کلمات کلیدی آشکارسازی عیوب کاشی‌ها، عیوب بافتی،

مدلسازی خوشه‌ای، عملگرهای مورفولوژیکی

۱- مقدمه

عبارت محصولات سرامیکی به اشیا یا اجسام از جنس مواد معدنی غیرفلزی اطلاق می‌شود که بر اساس نیاز شکل داده

برای آشکارسازی عیوب بافتی کاشی‌ها ارائه شده که مختص نوع خاصی از کاشی‌ها نیست. در ادامه، در بخش بعدی روشهای متداول در آشکارسازی عیوب رنگی و عیوب بافتی کاشی‌ها معرفی می‌شوند. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی عیوب بافتی شرح داده شده است. بخش چهارم به بیان تصحیحاتی برای بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی اختصاص یافته است. و در نهایت در بخش‌های پنجم و ششم به ترتیب نتایج شبیه‌سازی‌ها و نتیجه‌گیری ذکر گردیده است.

۲- روش‌های متداول در آشکارسازی عیوب رنگی و بافتی

در درجه‌بندی کاشی‌های بافتی، یکسان بودن بافت در کل سطح کاشی یکی از مهمترین پارامترها است. انسان به آسانی هرگونه بی‌نظمی را در بافت تشخیص می‌دهد؛ درحالی‌که به دلیل تفاوت فراوان بافتهای مختلف با یکدیگر، ارائه الگوریتمی عمومی که بتواند این بی‌نظمی‌ها را در هر بافتی تشخیص دهد، بسیار دشوار است. عیوب بافتی در تصویر لکه‌هایی ایجاد می‌کند که یا رنگ آنها با رنگ‌های بکار رفته در کاشی متفاوت است که به این ترتیب در زمره عیوب رنگی نیز قرار می‌گیرند و یا اندازه، شکل یا چگالی آنها غیر قابل قبول است. دسته اول را می‌توان بکمک روش‌های آشکارسازی عیوب رنگی از تصویر استخراج نمود، اما آشکارسازی دسته دوم نیازمند طراحی الگوریتم‌های ویژه‌ای است.

الگوریتم‌هایی که تاکنون برای آشکارسازی عیوب رنگی ارائه شده‌اند، عمدتاً براساس خوشه‌بندی رنگ‌های کاشی و مدلسازی خوشه‌ای بوده‌اند [۲]. این الگوریتم‌ها نیز از دو مرحله تشکیل شده‌اند:

۱. استخراج ویژگی: در این مرحله با استفاده از خوشه‌بندی تصویر یک یا چند کاشی بدون عیب، مدلی از رنگ‌های بکاررفته در کاشی بدست می‌آید.

۲. بازرسی: در این مرحله با استفاده از خوشه‌های بدست آمده در مرحله قبل و براساس قانون نزدیکترین همسایه، تصویر کاشی تحت بازرسی ناحیه‌بندی شده و به یک تصویر چندسطحی تجزیه می‌شود. هر پیکسلی که اختلاف رنگ آن با مرکز خوشه‌ای که متعلق به آن است، از یک حد مجاز بیشتر باشد، به عنوان عیب آشکار می‌شود. به نظر می‌رسد، استخراج کلاسه‌های رنگی بهترین راه تشخیص عیوب رنگی

است، به طوری که در اکثر مقالات، به شیوه‌های مختلف از این ایده استفاده گردیده است [۶،۵،۴].

علی‌رغم تلاش فراوان نویسندگان مقاله به منظور یافتن منابعی در زمینه آشکارسازی عیوب بافتی، تنها سه مقاله بدست آمد [۹،۸،۷]. الگوریتم‌های ارائه شده در سه مقاله مذکور، همانند سایر الگوریتم‌های آشکارسازی عیوب کاشی‌ها، دارای دو مرحله استخراج ویژگی و بازرسی هستند. الگوریتمی که در [۷] ارائه شده است، با استفاده از مقایسه هیستوگرام بلاک‌های تصویر (سطح خاکستری) با یک هیستوگرام مبنا سعی می‌کند عیوب بافت را آشکار نماید. این الگوریتم بصورت تلویحی فرض می‌کند که بافت از کنار هم قرار گرفتن تعدادی الگوی اولیه تشکیل شده است. این فرض در بسیاری مواقع صحیح نیست که سبب کاهش شدید دقت الگوریتم می‌شود. الگوریتم‌های آقای Song و همکارانش [۸] و آقای Mirmehdi و همکارانش [۹] هر دو از تصویر چندسطحی که طی فرآیند آشکارسازی عیوب رنگی بوجود می‌آید استفاده می‌کنند (در ادامه مقاله به هر سطح تصویر چندسطحی مذکور یک سطح رنگی می‌گوییم). با نگاهی اجمالی به بافتهای طبیعی از قبیل سرامیکها، سنگ‌های گرانیت و مرمر [۴]، می‌توان گفت که هر سطح رنگی، از لکه‌هایی با ابعاد، اشکال و پراکندگی مشخص تشکیل شده است. حال چنانچه معیاری برای اندازه‌گیری و مقایسه این پارامترها ارائه شود، می‌توان براساس آن عیوب بافتی را آشکار نمود. توجه به این نکته ضروری است که استفاده از سطوح رنگی در آشکارسازی عیوب بافتی می‌تواند تأثیر فراوانی در کاهش هزینه محاسباتی داشته باشد. چراکه آشکارسازی عیوب رنگی بخشی ضروری در یک سیستم خودکار درجه‌بندی کاشی‌ها است. الگوریتم Song در مرحله استخراج ویژگی، در هر سطح رنگی پارامترهایی چون مساحت، میزان شکستگی‌های محیط لکه‌ها، کشیدگی، فاصله تا لکه‌های دیگر و ... را برای همه لکه‌ها محاسبه می‌نماید. سپس با استفاده از این داده‌ها، مدلی آماری از نوع توزیع نرمال برای لکه‌های هر سطح تخمین زده می‌شود. در مرحله بازرسی در هر سطح، همان پارامترهای قبلی برای هر لکه محاسبه و با مدلی که در مرحله آموزش تخمین زده شده بود، مقایسه می‌شود. در صورت عدم مطابقت، لکه مذکور به عنوان عیب آشکار می‌گردد. در این الگوریتم، علی‌رغم دقت قابل قبول آن [۵]، تعداد پارامترهایی که باید با طرح کاشی تطبیق داده شوند،

بسیار زیاد است. که این موجب افزایش پیچیدگی الگوریتم و حجم محاسبات آن شده است. همچنین این روش، در مواردی که تعداد لکه‌های سطوح رنگی کم بوده یا توزیع آنها نرمال نباشد، چندان قابل اعتماد و روبااست نیست [7]. الگوریتم Mirmehdi سعی دارد به کمک عملگرهای مورفولوژیکی به معیاری برای مقایسه اندازه و تراکم لکه‌های تصویر تحت بازرسی، با اندازه و تراکم لکه‌های تصویر مرجع دست یابد. به این ترتیب که در مرحله استخراج ویژگی به تناوب فیلتر کاهش (erosion) بر سطوح رنگی، اعمال می‌شود؛ تا اینکه تمام لکه‌های آنها از بین رود. تعداد مراحل لازم برای حذف تمام لکه‌ها، به عنوان ویژگی تصویر مرجع حفظ می‌شود. همین عمل با فیلتر توسعه (dilation) نیز انجام می‌شود تا اینکه تمام سطوح رنگی پر شوند. در مرحله بازرسی، ابتدا بر هر سطح رنگی به همان تعدادی که در مرحله استخراج ویژگی بدست آمد، فیلترهای کاهش اعمال می‌شود. لکه‌های باقیمانده، نشان دهنده عیوب بافتی هستند. فیلتر توسعه نیز بروش مشابه بر هر سطح رنگی اعمال می‌شود که اینبار سوراخ‌های باقیمانده نشان دهنده عیوب بافتی هستند. برای بهبود کارایی می‌توان در مرحله بازرسی تعداد پیکسل‌های موجود در تصویر را پس از هر بار اعمال فیلتر، ثبت و با مقادیر متناظر در تصویر مرجع مقایسه نمود. مزیت اساسی این روش، سادگی محاسبات و تعداد کم پارامترهایی است که باید با بافت تطبیق داده شود. با این حال، این الگوریتم فقط به اندازه لکه‌ها توجه دارد و در برابر چگالی و شکل آنها بی‌تأثیر است. بعلاوه چنانچه اندازه لکه‌های یک سطح رنگی دامنه وسیعی را بپوشاند، آنگاه از دقت الگوریتم بشدت کاسته می‌شود [7]. همانطور که می‌بینید الگوریتم‌های بالا یا از نظر محاسباتی بسیار پیچیده هستند و یا قادر به آشکارسازی مؤثر عیوب در همه موارد نیستند. الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی عیوب بافتی، به چگالی محلی لکه‌های سطوح رنگی توجه دارد.

۳) الگوریتم پیشنهادی

تغییر در تراکم یا اندازه لکه‌های یک سطح رنگی، بطور مستقیم سبب تغییر چگالی محلی پیکسل‌ها می‌شود. بنابراین با اندازه‌گیری و مقایسه چگالی محلی پیکسل‌ها، عیوب ناشی از تغییر تراکم یا اندازه لکه‌ها را می‌توان آشکار نمود. این فرضیه اساس روش پیشنهادی ما در آشکارسازی عیوب پهن است.

فرض کنید G_i ، سطح رنگی i تصویر باشد. اگر تصویر را به بلاکهای $L \times L$ تقسیم کنیم، تعداد پیکسل‌های غیر صفر (یا به طور خلاصه تعداد پیکسل‌های) هر بلاک متناسب است با چگالی پیکسل‌های آن بلاک. تصویر Gd_i^L که طبق معادله (۱) تعریف می‌شود را تصویر چگالی G_i می‌نامیم. هر پیکسل تصویر Gd_i^L با یک بلاک $L \times L$ در G_i متناظر است. معادله (۱) به هر پیکسل تصویر Gd_i^L مقداری برابر با تعداد پیکسل‌های بلاک متناظرش در G_i را نسبت می‌دهد.

$$Gd_i^L(x, y) = \sum_{k=(x-1)L+1}^{xL} \sum_{j=(y-1)L+1}^{yL} G_i(k, j) \quad (1)$$

Gd_i^L ، تصویری بافتی است که نشان دهنده چگالی محلی پیکسل‌های G_i ، می‌باشد. آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد که چنانچه L مناسب انتخاب شود، تغییر چگالی و ابعاد لکه‌های G_i ، به صورت تغییرات تند و کوچکی در Gd_i^L ، ظاهر می‌شود. این یافته، منطقی نیز هست. به عنوان مثال فرض کنید لکه‌ای بزرگتر از اندازه عادی و L تقریباً برابر با ابعاد این لکه باشد. در این صورت، اثر لکه مذکور در تصویر چگالی، یک یا چند پیکسل است که اختلاف سطوح خاکستری آنها با پیکسل‌های همسایه‌شان بیشتر از سایر نواحی تصویر است. بنابراین مسأله ما به آشکارسازی تغییرات تند در نواحی کوچک یک تصویر بافتی ساده می‌شود. برای آشکارسازی این نواحی از نسخه تنظیم‌شده الگوریتم آقای Fioravanti و همکارانش استفاده شده است [۱۰]. الگوریتم مذکور که در آشکارسازی عیوب تیز کاشی‌ها کاربرد دارد، از عملگر ریختشناسی CO استفاده می‌کند. این عملگر برای تصویر I و ماسک S بصورت ذیل تعریف می‌شود:

$$CO(I, S) = Close(I, S) - Open(I, S) \quad (2)$$

$$Close(I, S) = Erosion(Dilattion(I, S))$$

$$Open(I, S) = Dilattion(Erosion(I, S))$$

الگوریتم Fioravanti در مرحله استخراج ویژگی، شکل ماسک عملگر CO (برای یک تصویر بدون عیب مرجع) را چنان تنظیم می‌کند که تابع هزینه مطلوب کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. در مرحله بازرسی، مقدار تابع هزینه در مرحله بازرسی، معیار تشخیص عیوب است. به این ترتیب که ابتدا، عملگر CO بر تصویر تحت بازرسی اعمال می‌شود. در تصویر حاصل، هر ناحیه‌ای که تابع هزینه در آن، مقداری بیش از حد مجاز (که در مرحله استخراج ویژگی بدست آمده) داشته باشد به عنوان ناحیه معیوب شناخته می‌شود. برای استخراج شکل بهینه ماسک، از الگوریتمی تکراری برپایه معیار کاهش گرادیان

استفاده شده است [۱۰]. ما بجای تابع هزینه تعریف شده در [۱۰] از ماکزیمم پیکسل‌های یک بلاک، استفاده نموده‌ایم. همچنین ماسک‌ها می‌بایست حداقل ۹ مقدار غیر صفر داشته باشند. مسأله بعدی، اندازه بلاک‌هاست. عموماً در یک کاشی لکه‌هایی با ابعاد گوناگون وجود دارد. بنابراین لازم است پردازش فوق با L های متفاوتی انجام شود، تا هیچ عیبی از چشم دور نماند. ما پردازش را با چهار اندازه متفاوت برای بلاک‌ها انجام داده‌ایم: $L=4, 8, 16, 32$. پس در مجموع می‌توان این الگوریتم را چنین خلاصه نمود:

۱. مرحله استخراج ویژگی: فرض کنید در مرحله تشخیص عیوب رنگی، تصویر کاشی به k سطح رنگی تجزیه شده است. در ابتدا از هر سطح رنگی چهار تصویر چگالی (با L هایی که قبلاً ذکر شد) استخراج کرده، ماسک بهینه متناظر با هریک را با استفاده از الگوریتم Fioravanti بدست می‌آوریم. پس از اعمال عملگر CO حاصل بر هر یک از تصاویر چگالی، ماکزیمم مقدار حاصل از فیلترگذاری به عنوان ویژگی بافت بدست می‌آید.

$$tr_i^L = \max(CO(Gd_i^L)) \quad , i=1,2,\dots,k \quad (3)$$

۲. مرحله بازرسی: ابتدا عیوب رنگی تصویر تحت بازرسی از تصویر حذف می‌شوند [۲]. پس از استخراج تصاویر چگالی از سطوح رنگی، عملگر CO (با ماسک‌هایی که در مرحله بازرسی بدست آمد) بر هریک از آنها اعمال می‌شود. تصاویر حاصل که طبق معادله (۴) محاسبه می‌شوند، را با M_i^L ($i=1,2,\dots,k$) نشان می‌دهیم. مطابق معادله (۵)، پیکسل‌هایی از M_i^L که سطح خاکستری آنها بیشتر از tr_i^L است، متعلق به عیوب بافتی هستند (به این پیکسل‌ها، پیکسل‌های خطا می‌گوییم).

$$M_i^L = CO(Gd_i^L) \quad , i=1,2,\dots,k \quad (4)$$

$$E = \begin{cases} 1 & M_i^L > tr_i^L \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad , i=1,2,\dots,k, L=4,8,16,32 \quad (5)$$

۴) بهبود الگوریتم پیشنهادی

انتظار می‌رود الگوریتم فوق بتواند عیوب بافتی را بخوبی آشکار نماید، اما در عمل کاستی‌هایی مشاهده می‌شود که ناشی از یکپارچه نبودن لکه‌ها در سطوح رنگی است. ناحیه‌بندی تصویر براساس قانون نزدیکترین همسایه و بدون توجه به همسایگی‌ها معمولاً سبب سوراخ‌دار و تکه تکه شدن لکه‌ها

می‌شود. برای رفع این مسأله باید از روش‌های ناحیه‌بندی مفهومی (contextual segmentation) استفاده شود. مطابق روش آقای Kittler [۱۱]، ابتدا همانند قبل با استفاده از قانون نزدیکترین همسایه تصویر تحت بازرسی را ناحیه‌بندی می‌کنیم. در نتیجه هر پیکسل در یک سطح رنگی قرار می‌گیرد. در تصویر ناحیه‌بندی شده (که آن را با نشان S می‌دهیم)، به هر پیکسل شماره کلاسش نسبت داده می‌شود. بنابراین اگر پیکسل (x,y) متعلق به سطح رنگی z باشد، آنگاه $S(x,y)=z$ است. اعمال فیلتر میانه بر تصویر S ، باعث حذف گسستگیها و یکدست شدن لکه‌ها می‌شود. اکنون می‌توان مطابق با معادله (۶) سطوح رنگی را از تصویر حاصل استخراج نمود. الگوریتم پیشنهادی را DOMO^۱ می‌نامیم.

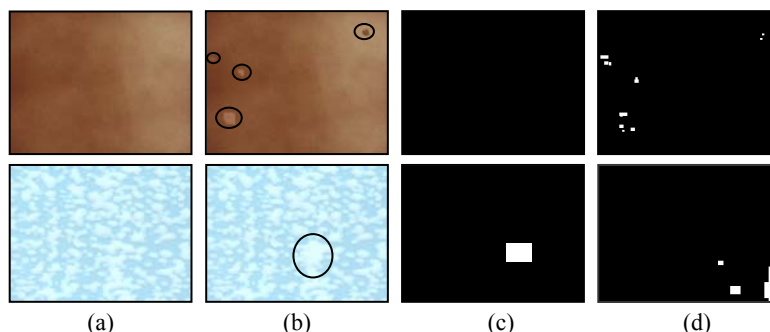
$$S_m = \text{median}(S)$$

$$G_i(x,y) = \begin{cases} 1 & S_m(x,y) = i \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

۵) شبیه‌سازی

برای بررسی عملکرد DOMO، آن را با الگوریتم Desoli مقایسه می‌کنیم. در شکل (۱)، پاسخ DOMO و Desoli برای دو تصویر عیب‌دار نشان داده شده است. روش کار چنین بوده است که ابتدا در فاز استخراج ویژگی، هر دو الگوریتم از تصاویر مرجع $(a-1)$ ، ویژگی‌های مورد نیازشان را استخراج نموده‌اند. سپس در فاز بازرسی تصاویر عیب‌دار $(b-1)$ به هر دو الگوریتم داده شده، تا عیوب بافتی آنها را آشکار نمایند. نتایج حاصل از الگوریتم Desoli و الگوریتم پیشنهادی به ترتیب در $(c-1)$ و $(d-1)$ نشان داده شده است. تصاویر عیب‌دار $(b-1)$ در حقیقت همان تصاویر $(a-1)$ هستند که عمداً عیوبی در آنها ایجاد شده است. همانطور که می‌بینید، الگوریتم Desoli نتوانسته است عیوب تصویر $(b-1)$ را آشکار نماید. علت این ضعف را باید در ساختار الگوریتم Desoli جستجو نمود. در این الگوریتم تلویحاً فرض شده است که بافت کاشی از کنار هم قرار گرفتن تعدادی الگوی اولیه بوجود آمده است. این فرض برای تصویر $(b-1)$ صادق نیست. در نتیجه الگوریتم مذکور نتوانسته است، عیب را آشکار نماید. در حالی که DOMO دارای چنین وضعی نبوده و توانسته عیب را در هر دو کاشی عیب‌دار آشکار کند. در

¹ Density modeling of large defects using morphological operations



شکل (۱): مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم Desoli: (a) تصویر مرجع بدون عیب، (b) تصویر عیب‌دار، (c) عیوبی آشکار شده توسط الگوریتم Desoli، و (d) عیوب آشکار شده توسط الگوریتم پیشنهادی (توضیحات بیشتر در متن آورده شده است).

که می‌توان با تحلیل تصاویر چگالی این اشکال را تا حد زیادی از بین برد.

مراجع

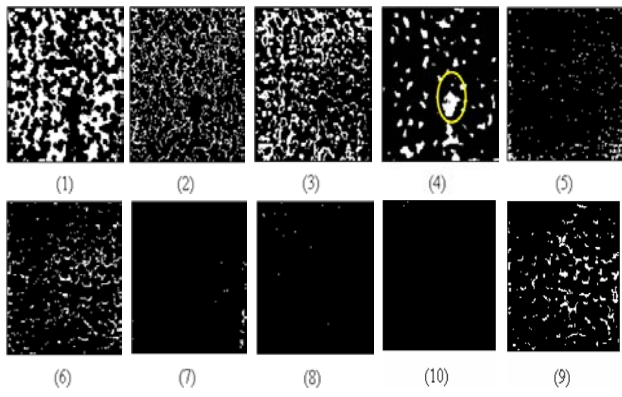
- [1] M. Saadatmand-T., M. Khademi, "Color defects detection of ceramic tiles using clustering modeling and introducing a new color clustering algorithm," 2nd Conf. on Machine Vision, Image Processing & Applications (MVIP'2003), Feb. 2003.
- [2] M. Saadatmand-T., M. Khademi, "A novel color clustering algorithm based on MinMax criteria, its optimization using genetic algorithms, and its application in ceramic tile color defects detection," 5th Con. On Intelligent Systems, Oct. 2003.
- [3] M. Saadatmand-T., M. Khademi, "A novel algorithm based on extended form of LoG filter to detect sharp defects of ceramic tiles," 11th Iranian Conf. on Electrical Engineering, 2003.
- [4] M. Mirmehdi, R. Marik, M. Petrou, J. Kittler, "Structural Fault Detection in Random Macro Textures," *Proceedings of Signal Processing, Theories and Applications*, III: 1499-1502, Sep. 1996.
- [5] C. Boukouvalas, F. D. Natale, G. D. Toni, J. Kittler, R. Marik, M. Mirmehdi, M. Petrou, P. L. Roy, R. Salgari, G. Vernazza, "ASSIST: automatic system for surface inspection and sorting of tiles," *Journal of Material Processing Technology*, 82: 179-188, 1998.
- [6] C. Boukouvalas, J. Kittler, R. Marik, M. Mirmehdi and M. Petrou, "Ceramic Tile Inspection for Colour and Structural Defects", *Proceedings of AMPT95*, pp. 390-399, 1995.
- [7] G.S. Desoli, S. Fioravanti, R. Fioravanti, D. Corso, "A System for Automated Visual Inspection of Ceramic Tiles," IEEE, 1993.
- [8] K.Y. Song, J. Kittler, M. Petrou, I. Ng., "Chromato-structural approach towards surface defect detection in random textured images," *Proceedings of the SPIE*, 2183: 193-204, 1994.
- [9] J. Serra, *Image analysis and mathematical morphology*. Academic Press, New York, 1983.
- [10] S. Fioravanti, F.G. D. Natale, R. Marik, M. Mirmehdi, J. Kittler, M. Petrou, "Spectral and Rank Order Approaches to Texture Analysis," *European Transaction on Telecommunications*, 6(3), May-June 1995.
- [11] J. Kittler, J. Foglein, "Contextual Classification of Multispectral Pixel Data," *Image and Vision Computing*, 2(1): 13-29, 1984.

شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب سطوح رنگی تصویر (b-۱) - (پایین) و عیوب آشکار شده در آنها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید لکه بزرگی که در سطح رنگی چهارم توسط عیب بوجود آمده، سبب تغییر چگالی محلی در محل عیب و نواحی اطراف آن شده است. و به همین دلیل هم علاوه بر ناحیه عیب نواحی اطراف آن نیز به عنوان عیب آشکار شده است. در شکل (۴) پاسخ DOMO به یک سرامیک عیب‌دار (تصویر c-۴) و یک سرامیک بدون عیب (تصویر e-۴) نشان داده شده است. برای تطبیق الگوریتم با طرح از دو تصویر مرجع (a-۴) و (b-۴) استفاده گردیده است. همانطور که می‌بینید الگوریتم پیشنهادی توانسته است در مرحله بازرسی، عیوب بافتی کاشی (b-۴) را با موفقیت آشکار نماید. همچنین مطابق تصویر (d-۴)، کاشی (b-۴) بعنوان یک کاشی بدون عیب تشخیص داده شده است. در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) سطوح رنگی و عیوب آشکار شده در هر یک از آنها نشان داده شده است.

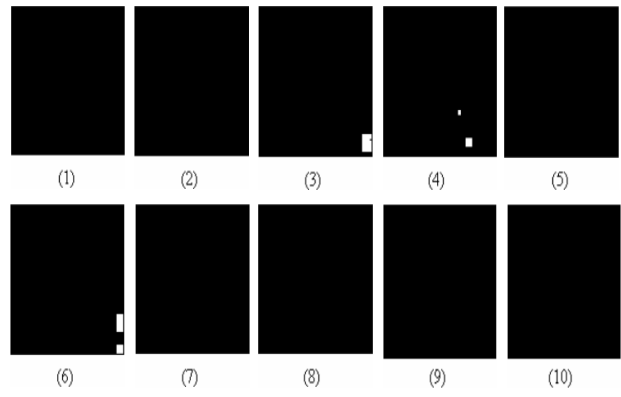
۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتمی جدید برای آشکارسازی عیوب بافتی ارائه شده است. این الگوریتم از چگالی محلی پیکسل‌های سطوح رنگی به عنوان ویژگی مطلوب در آشکارسازی استفاده می‌کند. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که اولاً الگوریتم پیشنهادی قادر به آشکارسازی عیوب در طیف وسیعی از کاشی‌ها است و ثانیاً حجم محاسباتی آن چندان زیاد نیست. خصوصاً که بخش‌هایی از محاسبات که شامل چندی‌سازی برداری تصویر و استخراج سطوح رنگی می‌شود با فرآیند آشکارسازی عیوب رنگی مشترک است.

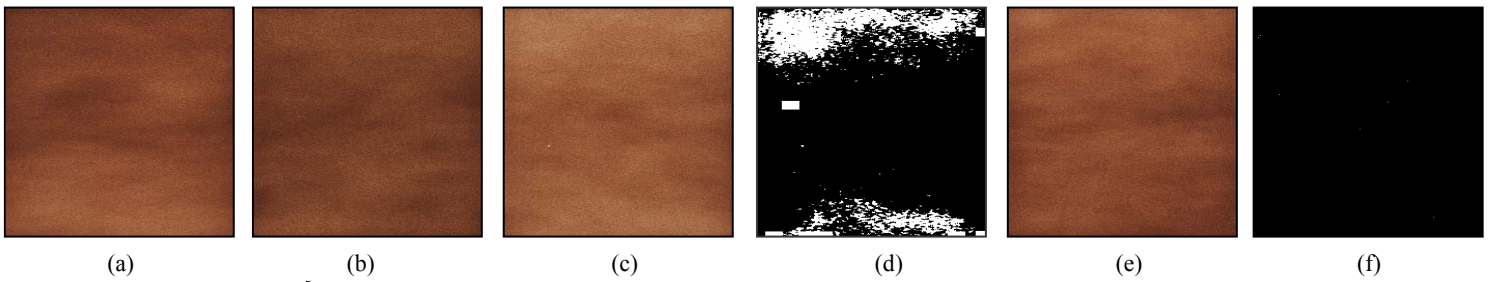
تنها نقص الگوریتم پیشنهادی این است که گاه علاوه بر ناحیه معیوب، نواحی مجاور آن را نیز آشکار می‌نماید. هرچند



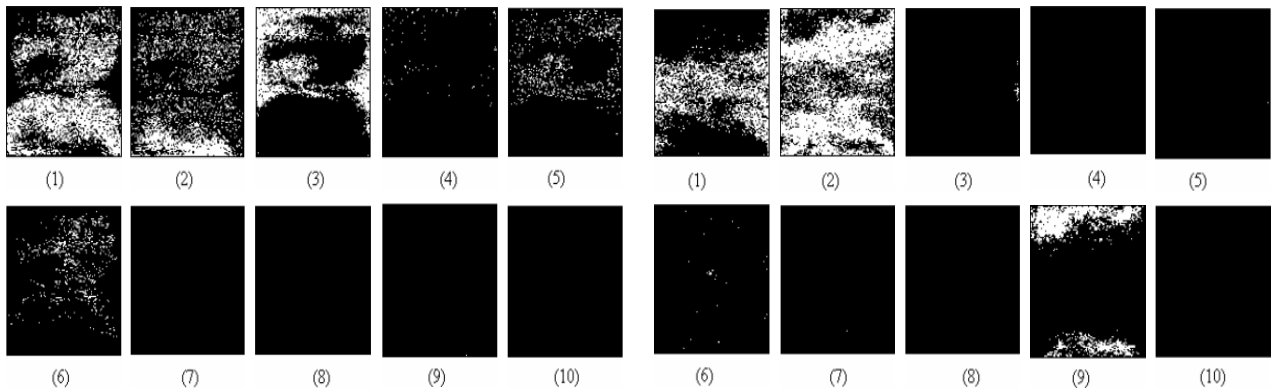
شکل (۲): سطوح رنگی تصویر (۱-ب-پایین).



شکل (۳): عیوب آشکار شده در تصویر (۱-ب-پایین) توسط الگوریتم پیشنهادی به تفکیک سطوح رنگی.

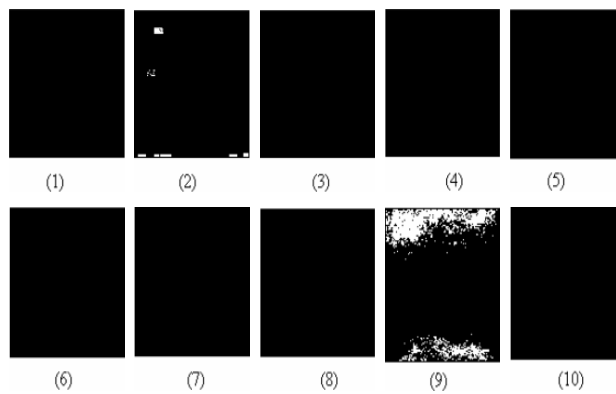


شکل (۴): بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی سرامیکهای پشت چرمی: دو تصویر مرجع، دو تصویر تحت بازرسی و عیوب آشکار شده در به ترتیب تصاویر (e,c), (f,d).



شکل (۵): سطوح رنگی تصویر مرجع ۴-ا.

شکل (۶): سطوح رنگی تصویر عیب دار ۴-ج.



شکل (۷): عیوب در تصویر ۴-ج به تفکیک سطوح رنگی.