

ارائه‌ی یک الگوریتم جدید برپایه‌ی شکل توسعه‌یافته‌ی فیلتر LoG برای آشکارسازی عیوب تیز کاشی‌ها و سرامیکها

مرتضی خادمی
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

مهدی سعادت‌مند طرزجان
دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده برق
m_saadatmand_tarzjan@yahoo.com

چکیده

هم‌اکنون تمام بخشهای تولید بجز مرحله‌ی کنترل کیفیت، در کارخانجات کاشی و سرامیک به صورت خودکار انجام می‌شود [1] و اولین گام در ساخت یک دستگاه خودکار درجه‌بندی کاشی، آشکارسازی عیوب کاشی‌هاست. در این مقاله الگوریتمی جدید برای آشکارسازی عیوب تیز کاشی‌ها و سرامیکها (مانند ترکها و خالها) با استفاده از شکل توسعه‌یافته‌ی فیلتر LoG، ارائه شده است. از مزایای الگوریتم پیشنهادی می‌توان به سرعت بالا در عین سادگی و قابلیت تنظیم حساسیت در تشخیص عیوب، اشاره کرد که به این ترتیب می‌توان از آن بر روی خط تولید به صورت بلادرنگ² استفاده کرد. تنها عیب الگوریتم پیشنهادی کاهش دقت آن در طرحهایی است که ساختارهایی با کنتراست بالا دارند که البته آن هم با در نظر گرفتن تمهیداتی قابل رفع است.

کلمات کلیدی

کاشی و سرامیک، عیوب تیز، فیلتر LoG توسعه یافته، کنتراست

۱- مقدمه

عیوبی همچون ترکها، خالها و سوراخها معمولاً در تصویر کاشی، لبه‌های تندی بوجود می‌آورند. این نوع عیوب را عیوب تیز می‌نامیم. تاکنون شیوه‌های متعددی برای تشخیص عیوب تیز بکار گرفته شده است. به طور کلی روشهایی که تاکنون در آشکارسازی این نوع عیوب موفق بوده‌اند را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

- آشکارسازی با استفاده از فیلترهای خطی: در این شیوه از فیلترهای خطی و کانولوشن برای آشکارسازی عیوب استفاده می‌شود. مزیت اصلی این روش سرعت بالا و حجم کم محاسبات است. ویژگی مورد نظر این الگوریتمها در آشکارسازی عیوب تیز، کنتراست

¹ sharp defects
² real time

نسبتا بالای آنها نسبت به بقیه‌ی تصویر است. عملکرد اینگونه روشها در کاشی‌هایی که به صورت یکنواخت رنگ‌آمیزی شده‌اند، بسیار چشمگیر است، اما برای آشکارسازی عیوب تیز در سایر طرحها به الگوریتمهای دقیقتری نیاز است.

• **شناسایی طرح در فضای فرکانسی و فضایی:** همانطور که گفته شد روشهای کانولوشنی در طرحهایی که دارای تغییرات شدید رنگ هستند، عملکرد مناسبی ندارند. بعلاوه چون این تغییرات شدید که گاه کنتراست آنها از کنتراست عیوب نیز بیشتر است، جزئی از طرح هستند، نمی‌توان انتظار داشت که بدون توجه به خود طرح، بتوان عیوب را در این کاشی‌ها آشکار نمود. به عبارت دیگر، برای آشکارسازی عیوب تیز در این نوع کاشی‌ها، می‌بایست ویژگیها، براساس بافت طرح، از کاشی استخراج شود. در مباحث تشخیص الگو، اثرات الگوهای منظم نسبتا به آسانی می‌تواند در فضای فرکانسی یا فضایی از هم تفکیک شود که تحلیل در فضای فرکانسی معمولا ترجیح داده می‌شود؛ زیرا علاوه بر اینکه در این روش، تصویر به عناصر فرکانسی مجزا تجزیه می‌شود، انرژی هر یک نیز محاسبه می‌گردد. به همین دلیل، نویز نیز آسانتر از سیگنال جدا می‌شود. با وجود این، در تصاویری که به شدت تصادفی هستند، محل الگوهای اولیه، مشخص نبوده و به آسانی نیز قابل تشخیص نیست و به همین جهت جداسازی عیوبی از قبیل ترکها با استفاده از اطلاعات فضای فرکانسی به تنهایی، بسیار مشکل است [2]. به همین جهت، نیز از توصیف توأم فرکانسی و فضایی تصویر استفاده می‌شود. این شیوه قابلیت جدایی ساختارهای الگو را بهبود می‌بخشد، زیرا که با این روش ساختارهای مشخصه‌ی الگوها در نواحی جداگانه‌ای تقویت می‌شوند [3]. الگوریتمی که "Fioravanti" و دوستانشان در [4] ارائه داده‌اند از توزیع واینر، برای تشخیص عیوب تیز استفاده می‌کند. در این روش، حول هر پیکسل، پنجره‌ای در نظر گرفته می‌شود به طوری که پیکسل مذکور در مرکز آن قرار می‌گیرد. سپس تبدیل فوریه‌ی ترکیبی غیر خطی، از مقادیر پیکسلهای این پنجره محاسبه می‌گردد و توزیع حقیقی حاصل نرمال می‌گردد تا تنها مشخصات عمومی و ظاهری طیف حفظ شود. نشان داده شده است که ساختارهایی همچون ترکها فقط بوسیله‌ی شکل کلی طیف و نه خود مقادیر بردار ویژگی، قابل تشخیص است. از توزیع تصادفی این پنجره‌ها، برای تشخیص خطوط استفاده شده است. مشکل اساسی این الگوریتم حجم زیاد محاسباتش است. به همین جهت نیز برای تحقق آن به پردازنده‌های ویژه‌ای نیاز است. با وجود این، این روش دقیقترین شیوه در تشخیص عیوب تیز می‌باشد.

• **استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی:** در [4] الگوریتمی ارائه شده است که با استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی به تشخیص عیوب تیز کاشی‌ها می‌پردازد. در این شیوه به کمک یک الگوریتم بهینه‌سازی، شکل ماسک عملگرهای ریخت‌شناسی چنان انتخاب می‌شود که پاسخ آن به ساختارهای الگو کمترین مقدار ممکن باشد. سپس با اعمال ماسک مذکور بر تصویری بدون عیب، آستانه‌ی خطا محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی بازرسی، هر پیکسلی که پاسخش به عملگر مذکور بیش از این مقدار آستانه باشد به عنوان عیب شناخته می‌شود. این روش برخلاف الگوریتم قبلی در عین حال که دقت بسیار مناسبی دارد از سرعت مناسبی نیز برخوردار است.

با وجود روشهای مختلف آشکارسازی عیوب تیز، معمولا این الگوریتمها مکمل هم هستند و در یک سیستم عملی باید از چند الگوریتم در کنار یکدیگر استفاده کرد [5]. با اینکه آشکارسازی ساختارهای با کنتراست بالا، بوسیله‌ی فیلترهای خطی، بحثی بسیار قدیمی و باسابقه است، اما کاربرد این روشها در آشکارسازی عیوب تیز کاشی‌ها، بحث جدید و نویی است. علیرغم تلاش فراوان ما در یافتن منابع علمی و مقالاتی در این زمینه، حاصل کار محدود به چند مقاله بود. به عنوان مثال، در پروژه‌ی ASSIST [2]، از یک الگوریتم آشکارسازی خطوط، برای تشخیص ترکها و خالهای کاشی‌ها استفاده شده است. در این روش دو فیلتر یک بعدی آشکارسازی خط، در دو جهت عمودی و افقی بر تصویر اعمال می‌شوند [6]. در تصویر حاصل، هر ماکزیمم محلی احتمال وجود یک خط را نشان می‌دهد و این فرضیه که در آن محل خطی وجود دارد را قوت می‌بخشد. برای بررسی صحت این فرضیه، شکل سیگنال خروجی با شکل مورد انتظار، مقایسه می‌شود و چنانچه مشابه بودند این فرضیه تأیید و در غیر این صورت رد می‌گردد. این فیلترها در صورتی که بهینه گردند قادر به تشخیص ساختارهایی حتی با عرض چند پیکسل نیز هستند [2]. این روش بسیار سریع است اما عیب آن در دقت آشکارسازیش است. بوسیله‌ی این

³ Wigner distribution

⁴ feature

روش ترکهایی که خیلی نازک هستند را (با عرض حدودا یک یا دو پیکسل) نمی توان تشخیص داد. در این مقاله ابتدا فیلتر لبه یاب LoG تعمیم داده شده و سپس به کمک آن الگوریتمی جدید، برای آشکارسازی عیوب تیز کاشی ها ارائه گردیده است. این الگوریتم، در عین سادگی بسیار سریع است (سریعترین الگوریتم در آشکارسازی عیوب تیز). نتایج شبیه سازی ها نیز نشان دهنده دقت قابل قبول آن است. در کنار این مزایا، می توان به آسانی دقت این الگوریتم را نیز مطابق نظر کاربر تنظیم نمود. در ادامه ی این مقاله در بخش دو شکل توسعه یافته ی فیلتر LoG ارائه شده است. بخش سه به معرفی الگوریتم پیشنهادی می پردازد. بخش چهار به بررسی نتایج شبیه سازیها اختصاص یافته و در نهایت در بخشهای پنج و شش به ترتیب نتیجه گیری و مراجع بیان گردیده است.

۲- فیلتر LoG توسعه یافته

همانطور که گفته شد عیوب تیز در تصاویر، نسبت به نواحی مجاورشان، کنتراست بیشتری دارند. فیلترهای کانولوشنی لبه یابی، با تقویت این نواحی می توانند در آشکارسازی آنها مثر ثمر باشند [7]. لبه ها را به لحاظ شکل ظاهریشان می توان به چهار دسته کلی I- پله ای II- شیبی III- قله ای و IV- پالسی تقسیم کرد. برای آشکارسازی لبه های پله ای، معمولا از مشتقگیری مرتبه ی اول (عملگرهای گرادیانی) استفاده می شود. این آشکارسازها برای سایر لبه ها چندان مناسب نیستند. در تصاویر هموار که وسعت ناحیه ی تغییر شدت نور، بیشتر است بهتر است که از آشکارساز لبه ی بهینه ی canny یا آشکارسازهای لبه ی گذر از صفر استفاده شود. به طور کلی آشکارسازهای گذر از صفر دو نوعند: آشکارسازی لبه، در گذر از صفرهای مشتق دوم تصویر در جهت گرادیان و آشکارسازی لبه در گذر از صفرهای لاپلاسین تصویر. چون عمل مشتقگیری نویز را افزایش می دهد، بنابراین روشهای مشتق دوم نسبت به نویز حساستر از روشهای گرادیانی هستند و بنابراین در این روشها باید توجه بیشتری به حذف نویز مبذول شود. عیوب تیز کاشی ها معمولا در تصویر، لبه های پله ای و شیبی بوجود می آورند و به همین جهت عملگرهای گذر از صفر برای آشکارسازی آنها مناسبترند. مار و هیلدرس گذر از صفرهای مشتق دوم تصویر در جهت گرادیان را به عنوان تعریف طبیعی لبه های آن مطرح کردند و ثابت کردند که با برقراری شرط تغییرات خطی، گذر از صفرهای لاپلاسین گوسی و مشتق دوم در جهت گرادیان بر هم منطبق هستند [8]. در تصاویر واقعی معمولا بر اثر عوامل مختلف تغییرات روشنایی نرم می شود و تا اندازه ای شرط تغییرات خطی برقرار است. برای اطمینان از برقراری این شرط، از یک فیلتر هموارساز گوسی استفاده می شود. چون فیلتر گوسی و عملگر لاپلاسین هر دو خطی هستند، بنابراین نسبت به هم و نسبت به عمل کانولوشن خواص جابجایی و شرکت پذیری دارند. برای بدست آوردن پنجره ی لاپلاسین گوسی ابتدا با استفاده از خاصیت شرکت پذیری، در حالت پیوسته از تابع گوسی دوبعدی لاپلاسین گرفته می شود (معادله ی (۱)) و سپس از تابع لاپلاسین گوسی حاصل نمونه برداری می شود تا پنجره LoG بدست آید.

$$g(x, y) = e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \Rightarrow \nabla^2 g(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) \times e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (1)$$

مجموع ضرایب پنجره ی LoG، مانند سایر پنجره های از نوع مشتق، صفر است. از نظر فرکانسی عملگر LoG یک فیلتر میان گذر است که ترکیبی از یک فیلتر پایین گذر گوسی و یک عملگر بالاگذر لاپلاسین است. یکی از مزایای عملگر لاپلاسین گوسی این است که نقاط گذر از صفر اضافی در پاسخ به لبه های پله ای ایجاد نمی کند. برای جلوگیری از آشکارسازی لبه های ضعیف و برای مکانیابی بهتر لبه ها، گذر از صفرهای خروجی در جهت حداکثر شیب منفی، به عنوان لبه های تصویر آشکار

⁵ smoothed pictures

⁶ Marr & Hildreth

می‌شوند و برای کاهش نویز نیز از اندازه‌ی گرادیان، اندازه‌ی شیب گذر از صفر یا یک ویژگی مناسب دیگر مانند واریانس محلی تصویر آستانه‌گیری می‌شود.

ایده‌ی اصلی الگوریتم پیشنهادی ما این است که ابتدا در مرحله‌ی آموزش با استفاده از تصویر یک کاشی بدون عیب (این تصویر را تصویر مرجع می‌گوییم)، مقادیر آستانه‌ی مورد نیاز تنظیم شود؛ به طوری که، با اعمال این فیلتر بر تصویر بدون عیب، در هیچ نقطه‌ای هیچ گذر از صفری رخ ندهد ولی چنانچه لبه‌ها کمی تقویت شوند و کنتراست آنها از مقدار فعلی کمی بیشتر شود، با اعمال عملگر در تصویر گذر از صفر بوجود آید. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که در حین بازرسی چنانچه کنتراست ناحیه‌ای از کاشی تحت بازرسی، از کنتراست تمام بخشهای تصویر مرجع بیشتر باشد، در آن ناحیه یک گذر از صفر بوجود آمده، به این ترتیب آشکار شود. بدیهی است که در این ناحیه یک عیب تیز وجود دارد.

با تغییر پارامتر σ می‌توان حساسیت عملگر LoG را تغییر دهیم. اما با بررسی بیشتر این عملگر می‌توان به نکته‌ی مهمتری نیز دست یافت. می‌دانیم که مجموع درایه‌های یک پنجره‌ی مشتقگیر، صفر است. اما با بررسی عملگر LoG می‌توان مشاهده کرد که به ازای σ های کوچک این مجموع (یا افست) برابر با یک عدد منفی است و با افزایش σ این مجموع نیز بزرگتر شده و به سمت صفر میل می‌کند. مجموع درایه‌های عملگر LoG به ازای ۹ مقدار مختلف σ ، را در جدول ۱ نشان داده‌ایم.

جدول ۱: مجموع درایه‌های پنجره‌ی عملگر LoG								
$\sigma=0.9$	$\sigma=0.8$	$\sigma=0.7$	$\sigma=0.6$	$\sigma=0.5$	$\sigma=0.4$	$\sigma=0.3$	$\sigma=0.2$	$\sigma=0.1$
-1.2769e-4	-0.002	-0.015	-0.106	-0.452	-1.172	-1.858	-1.999	-2

برای اینکه لبه‌ای توسط یک عملگر گذر از صفر با افست منفی آشکار شود یا به عبارت دیگر گذر از صفری رخ دهد باید کنتراست لبه یا اختلاف سطح روشنایی پیکسلهای لبه با پیکسلهای همسایه‌اش بیشتر از یک حد آستانه باشد به طوری که بر این افست غلبه کرده و حاصل اعمال عملگر در آن نقطه مثبت شود (زیرا افست منفی باعث می‌شود که در حالت عادی حاصل اعمال عملگر، عددی منفی باشد). از این خاصیت می‌توان برای آشکارسازی عیوب تیز استفاده کرد. به این ترتیب که اگر افست فیلتر چنان باشد که لبه‌های تصویر مرجع در آستانه‌ی آشکار شدن قرار گیرند آنگاه می‌توان انتظار داشت که در مرحله‌ی بازرسی، این فیلتر لبه‌هایی که کنتراستشان از لبه‌های تصویر مرجع بیشتر باشد را آشکار نماید. بر اساس مشاهدات تجربی به این نتیجه رسیدیم که افست فیلتر LoG زیاد است؛ به طوری که در تصاویر مرجعی که دارای لبه‌های تندی نیستند و باید افست کوچک باشد، برای کوچک شدن افست مجبوریم σ را بزرگ انتخاب کنیم. با بزرگ شدن σ ، بر ابعاد پنجره‌ی گوسی‌ای که برای نرم کردن تصویر قبل از مشتقگیری مورد استفاده قرار می‌گیرد افزوده شده و در نتیجه لبه‌ها بیشتر نرم می‌شود؛ به این ترتیب عیوبی همچون خالها و لکه‌ها که سطح کوچکی دارند و ترکهایی که عرضشان کم است، توسط فیلتر گوسی از بین رفته و دیگر بوسیله عملگر لاپلاس قابل آشکارسازی نخواهند بود. بنابراین باید به طریقی از افست عملگر کاست.

بدیهی است که با تغییر سه پارامتر m ، n و t در معادله‌ی (۲) می‌توان افست عملگر $H(r)$ را تغییر داد. اما نکته‌ی مهم این است که با تغییر این پارامترها آیا باز هم می‌توان از عملگر حاصل به عنوان فیلتر آشکارسازی لبه در گذر از صفر استفاده کرد.

$$H(r) = \left(\frac{r^2}{n} - t \right) e^{-\frac{r^2}{m}} \quad (2)$$

در حقیقت $H(r)$ ، شکل توسعه یافته‌ی عملگر LoG است و به همین جهت آن را ELoG می‌نامیم. اگر $m=2\sigma^2$ ، $t=1$ و $n=\sigma^2$ باشد، آنگاه $H(r)$ به عملگر LoG تبدیل می‌شود. فرض می‌کنیم $H(r)$ برابر با لاپلاس تابعی مانند $M(x,y)$ باشد. پس باید معادله‌ی (۳) برقرار باشد.

$$H(r) = M_{xx} + M_{yy}, \quad r^2 = x^2 + y^2 \quad (۳)$$

اکنون معادله‌ی دیفرانسیل (۳) را حل می‌کنیم، داریم:

$$M_x = \frac{\partial M}{\partial x} = M_r \times \frac{2x}{2\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{x}{r} M_r \quad (۴)$$

$$M_{xx} = \frac{\partial M_x}{\partial x} = \frac{1}{r} M_r + x \left(\frac{-x}{r^3} \right) M_r + \frac{x^2}{r^2} M_{rr} \quad (۵)$$

همانند بالا می‌توان معادلات مشابهی نیز برای M_{yy} نوشت. به این ترتیب داریم:

$$M_{xx} + M_{yy} = \left(\frac{2}{r} - \frac{x^2 + y^2}{r^3} \right) M_r + \frac{x^2 + y^2}{r^2} M_{rr} = \frac{1}{r} M_r + M_{rr} \quad (۶)$$

بنابراین معادله‌ی دیفرانسیل (۳) به صورت ذیل ساده می‌شود.

$$M_{rr} + \frac{1}{r} M_r = \left(\frac{r^2}{n} - t \right) e^{-\frac{r^2}{m}} \quad (۷)$$

معادله‌ی (۷) یک معادله‌ی خطی مرتبه‌ی دوم است که به سادگی قابل حل می‌باشد. پاسخ این معادله‌ی دیفرانسیل را در (۸) نشان داده‌ایم.

$$M(r) = \frac{m^2}{4n} e^{-\frac{r^2}{m}} + \frac{m}{2} \left(t - \frac{m}{n} \right) \times \int \frac{1}{r} e^{-\frac{r^2}{m}} dr \quad (۸)$$

همانطور که می‌بینید $M(r)$ شامل دو بخش مجزا است. بخش اول معادله‌ی گوسی و بخش دوم یک تابع غیر خطی بر حسب r است. اگر $t=m/n$ باشد، بخش دوم حذف می‌شود و $M(r)$ به یک معادله‌ی گوسی ساده تبدیل می‌گردد. به عبارت دیگر اگر $t=m/n$ باشد $H(r)$ به لاپلاس یک تابع گوسی، ساده می‌شود و از آن می‌توان در آشکارسازی عیوب در گذر از صفر استفاده کرد. با مقایسه‌ی معادله‌ی (۲) با عملگر استاندارد LoG بروشنی می‌توان دید که اگر $m=n=2\sigma^2$ (و در نتیجه $t=1$) باشد، افست عملگر ELoG نصف افست LoG خواهد بود. شبیه‌سازیها نشان داد که این افست برای الگوریتم پیشنهادی ما مناسب است.

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی ما چنین است که در مرحله‌ی آموزش مقدار σ را با شروع از صفر، مرحله به مرحله افزایش داده، در هر مرحله عملگر ELoG را بر تصویر اعمال کرده، و به جستجوی گذر از صفرهای آن می‌پردازیم. این روال تا آنجا ادامه می‌یابد که اولین گذر از صفر در تصویر مرجع رخ دهد. به این ترتیب σ ای که به ازای آن، عملگر در آستانه‌ی آشکارسازی لبه‌های تصویر مرجع، قرار می‌گیرد را بدست آورده‌ایم (آن را با σ_{im} نشان می‌دهیم). پنجره‌ی ELoG، از نمونه‌برداری معادله‌ی (۱۰) بدست می‌آید.

$$\sigma_{ins} = \beta \times \sigma_{im} \quad (۹)$$

⁷ Extended LoG (ELoG)

$$H(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2}{n} - t \right) \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{m}} \quad , m = n = 2\sigma_{Ins}^2 \quad , t = I \quad (10)$$

که β ضریب حساسیت عملگر است. بوسیله‌ی این پارامتر می‌توان دقت آشکارساز را مطابق دلخواه استفاده کننده تنظیم کرد. اگر $\beta=I$ باشد، الگوریتم بیشترین حساسیت را داراست و هرچه از یک کوچکتر باشد به همان نسبت از حساسیت آن کاسته می‌شود. در مرحله‌ی بازرسی ELoG را بر تصویر تحت بازرسی اعمال کرده و گذر از صفرهای حاصل را آشکار می‌کنیم. توجه کنید که چون فیلتر دارای افست منفی است حاصل اعمال فیلتر بر تصویر همواره منفی است مگر آنکه گذر از صفر رخ داده باشد؛ بنابراین کافی است پس از اعمال فیلتر به دنبال نقاطی با پاسخ مثبت بگردیم. طبق مطالب گفته شده نواحی آشکار شده، بیانگر عیوب تیز کاشی تحت بازرسی، هستند. الگوریتم پیشنهادیمان را SDEF می‌نامیم. نتایج شبیه‌سازی‌ها بیانگر عملکرد قابل قبول این الگوریتم، علیرغم سادگی است.

۴- شبیه‌سازی

پس از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، کارکرد آن را برای چند نوع کاشی با طرح‌های متفاوت بررسی نمودیم. ما عملکرد الگوریتم را برای بیش از ۳۰ کاشی در ۵ طرح مورد بررسی قرار دادیم که در اینجا سه طرح را نشان داده‌ایم. به طور کلی برای هر طرح ابتدا در مرحله‌ی استخراج ویژگی، تصویر مرجع به الگوریتم داده می‌شود تا خود را با آن تطبیق دهد، سپس در مرحله‌ی بازرسی از فیلتر حاصل برای یافتن عیوب کاشی‌ها استفاده می‌گردد. در شکل‌های ۱، ۵ و ۹ تصویر سه کاشی مرجع ساده و طرح‌دار (بدون عیب) که ما آنها را در مرحله‌ی استخراج ویژگی به الگوریتم داده‌ایم و در شکل‌های ۲، ۷ و ۱۰، تصویر کاشی‌های معیوبی که می‌خواهیم عیوب آنها را آشکار کنیم نشان داده شده است. در شکل‌های ۳، ۸ و ۱۱ عیوب آشکار شده با $\beta=I$ (حداکثر حساسیت) و در شکل‌های ۴، ۹ و ۱۲ عیوب آشکار شده با $\beta=0.9$ نشان داده شده است. اولین نکته‌ای که جلب نظر می‌کند، انعطاف‌پذیری الگوریتم و قابلیت تنظیم حساسیت آن در آشکارسازی عیوب است. به عنوان نمونه، همانطور که در شکل ۳ می‌بینید، فیلتر با $\beta=I$ از کوچکترین خالها نیز صرف نظر نکرده است در حالی که با $\beta=0.9$ (شکل ۴) تنها خالهای بزرگتر و یا سوراخها را آشکار نموده است (ممکن است به دلیل ریز بودن خالها، به آسانی در تصویر قابل تشخیص نباشند). در شکل ۶، یک کاشی طرح‌دار نشان داده شده است. SDEF چه با $\beta=0.9$ و چه با $\beta=I$ توانسته است خراش و خالهای کاشی را آشکار نماید. دو طرحی که تا کنون درباره‌ی آنها بحث شد دارای تغییرات شدید رنگی نبودند. در شکل ۱۰، تصویر یک کاشی الگودار معیوب (با عیب لعاب نگرفتگی) نشان داده شده است. طرح این کاشی برخلاف دو طرح قبلی دارای لبه‌های تند است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نتیجه‌ی اعمال فیلتر ELoG بر این تصویر را نشان می‌دهد. همانطور که می‌بینید با اینکه لعاب‌نگرفتگی در تصویر لبه‌های تیزی بوجود آورده است اما SDEF به خوبی نتوانسته عیب را آشکار کند؛ چراکه طرح کاشی دارای لبه‌هایی با همان شدت کنتراست است، البته با ناحیه‌بندی تصویر کاشی و تعیین آستانه برای هر ناحیه به صورت جداگانه، می‌توان این اشکال را تا حدی رفع نمود که نتایج بدست آمده در مقالات بعدی ارائه خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که دیدید، عملکرد این الگوریتم برای کاشی‌هایی که طرح‌هایی با تغییرات ملایم رنگ دارند، بسیار مناسب بود و هرچه کنتراست ساختارهای موجود در طرح کاشی بیشتر باشد از دقت الگوریتم پیشنهادی نیز کاسته می‌شود، هرچند که با در

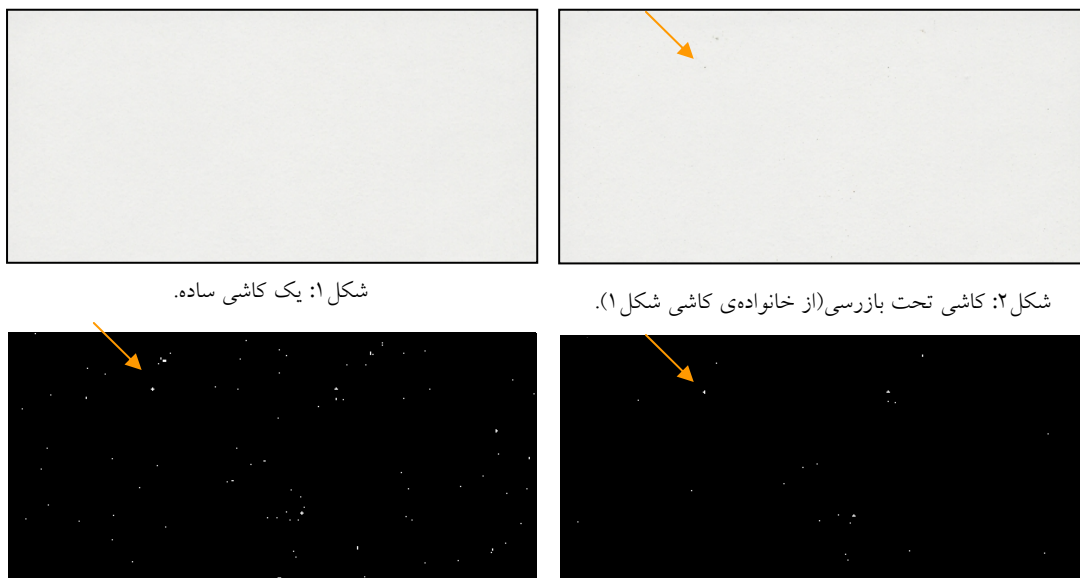
⁸ Sharp defect Detection Using ELoG Filter(SDEF)

نظر گرفتن تمهیداتی چون ناحیه‌بندی تصویر این اشکال تا حدی قابل رفع است. این الگوریتم علیرغم کارایی مناسبش، بسیار ساده است و سرعت الگوریتم چه در مرحله‌ی آموزش و چه در مرحله‌ی بازرسی بسیار بالاست که این امر در ساخت سیستم درجه‌بندی کاشی اهمیت فراوانی دارد. همچنین همانطور که دیدید، می‌توان حساسیت الگوریتم را با تغییر پارامتر β مطابق نیاز کاربر تنظیم نمود.

۶- مراجع

- [1] G.S. Desoli, S. Fioravanti, R. Fioravanti, D. Corso, "A System for Automated Visual Inspection of Ceramic Tiles", IEEE, 1993.
- [2] 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.
<http://www.compsci.bristol.ac.uk/Tools/Reports/Ps/mirmehdi-ampt95.ps.gz>
- [3] C. Boukouvalas, F. D. Natale, G. D. Toni, J. Kittler, R. Marik, M. Mirmehdi, M. Petrou, P. L. Roy, R. Salgari, G. Vernazza, "An Integrated System for Quality Inspection of Tiles", Int. Conference on Quality Control by Artificial Vision, QCAV, Vol. 97, pp. 49-54. 1997.
<http://www.compsci.bristol.ac.uk/Tools/Reports/Ps/mirmehdi-qcav97.ps.gz>
- [4] 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, Vol. 6, No. 3, 1995.
- [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, Vol. 82, pp. 179-188, 1998.
- [6] M. Petrou, "Optimal convolution filters and an algorithm for the detection of wide linear features", IEE Proceeding-I, Vol. 140, No. 5, 1993.
- [7] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, "Image Processing, Analysis and Machine Vision", Int. Thomson Computer Press, 1996.

[۸] داوود جعفری، "آشکارسازی لبه‌های تصویر"، سمینار کارشناسی ارشد مخابرات، دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، استاد راهنما: دکتر سید علیرضا سیدین.



شکل ۱: یک کاشی ساده.

شکل ۲: کاشی تحت بازرسی (از خانواده‌ی کاشی شکل ۱).

شکل ۳: عیوب تیز آشکارشده در شکل ۲ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۱ (تصویر مرجع) با $\beta=1$.

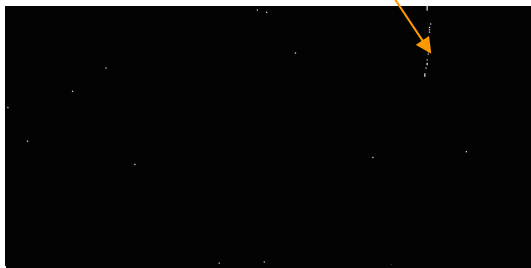
شکل ۴: عیوب تیز آشکارشده در شکل ۲ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۱ (تصویر مرجع) با $\beta=0.9$.



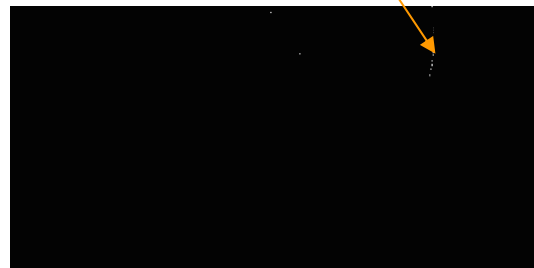
شکل ۵: یک کاشی طرح‌دار.



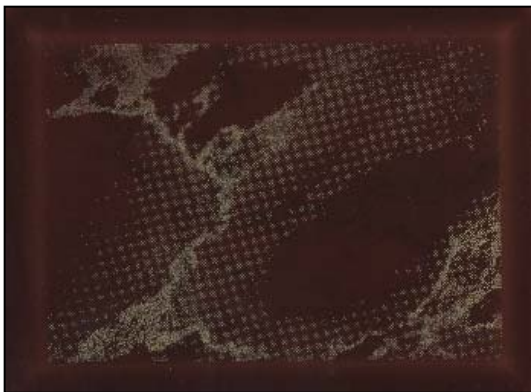
شکل ۶: کاشی تحت بازرسی (از خانواده‌ی کاشی شکل ۵).



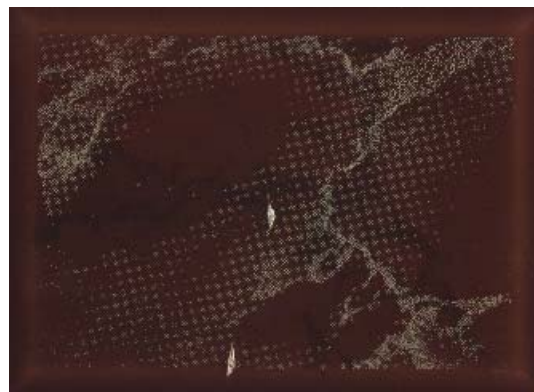
شکل ۷: عیوب تیز آشکارشده در شکل ۶ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۵ (تصویر مرجع) با $\beta=1$.



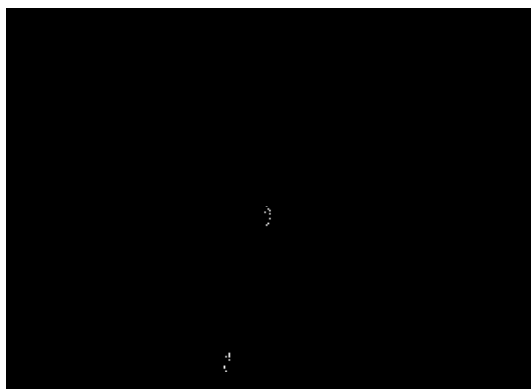
شکل ۸: عیوب آشکارشده در شکل ۶ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۵ (تصویر مرجع) با $\beta=0.9$.



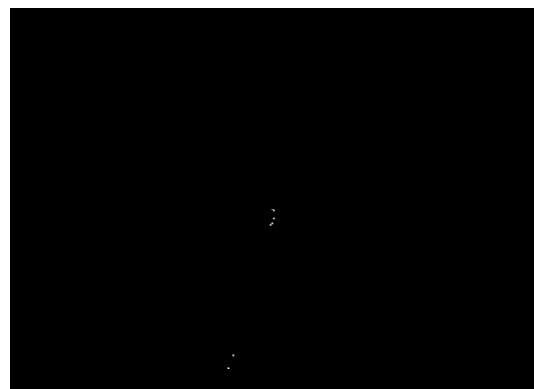
شکل ۹: یک کاشی الگودار.



شکل ۱۰: کاشی تحت بازرسی (از خانواده‌ی کاشی شکل ۹).



شکل ۱۱: عیوب آشکارشده در شکل ۱۰ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۹ (تصویر مرجع) با $\beta=1$.



شکل ۱۲: عیوب آشکارشده در شکل ۱۰ بر اساس ویژگیهای استخراج شده از شکل ۹ (تصویر مرجع) با $\beta=0.9$.