

آشکار سازی و تخمین میزان تخلخل در سنگ های ساختمانی بر پایه شکل بهبود یافته الگوی دودویی محلی

فرشاد تاجری پور^۱، شروان فکری ارشاد^۲

^۱دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز Tajeri@shirazu.ac.ir

^۲دانشکده کامپیوتر دانشگاه شیراز Shfekri@shirazu.ac.ir

چکیده

تاکنون روش‌های مختلفی برای آنالیز و طبقه‌بندی بافت تصویر ارائه شده است. یکی از این روش‌ها که در عین سادگی در محاسبات، می‌تواند ویژگی‌های مناسبی برای طبقه‌بندی تولید کند، الگوی دودویی محلی است. در این مقاله روشی برای آشکارسازی و تخمین میزان تخلخل در سنگ‌های ساختمانی با استفاده از شکل بهبود یافته این ویژگی‌ها ارائه شده است. روش ارائه شده در این مقاله شامل دو مرحله آموزش و آشکارسازی است. در مرحله آموزش ابتدا بردار ویژگی مبنا از طریق اعمال عملگر الگوی دودویی محلی بر روی کل تصویر بدون تخلخل محاسبه می‌شود. سپس این تصویر به پنجره‌هایی تقسیم شده و به همین طریق برای هر پنجره بردار ویژگی، استخراج می‌گردد و با مقایسه آنها با بردار ویژگی مبنا، حد آستانه مناسبی برای سالم بودن پنجره‌ها بدست می‌آید. در مرحله آشکارسازی، تصویر تست پنجره‌بندی می‌شود و به کمک حد آستانه‌ی بدست آمده، پنجره‌هایی که دارای تخلخل هستند مشخص می‌گردند. از جمله مزایای این روش می‌توان به عدم حساسیت به تغییرات شدت روشنایی و انتقال تصویر و همچنین سادگی در محاسبات اشاره کرد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این روش توانایی بالایی در آشکار سازی تخلخل در انواع سنگ‌های ساختمانی دارد.

کلمات کلیدی

الگوی دودویی محلی، تخلخل سنگ، بافت تصویر، بینایی ماشین، استخراج بردار ویژگی

۱- مقدمه

دانست. بنابراین روشی که در این مقاله ارائه خواهد شد، در زمره ی روش‌های آشکارسازی عیوب قرار می‌گیرد. تاکنون در زمینه آشکارسازی بخش‌های معیوب از بخش‌های سالم در تولیدات صنعتی کارهای زیادی صورت گرفته است که از آنجمله می‌توان به اقداماتی در زمینه چوب [۱]، سرامیک [۲]، چرم [۳]، پارچه [۴] و تولیدات فلزی [۵] اشاره کرد. به طور کلی در طراحی سیستم‌های آشکار ساز خودکار عیوب که به آنها سیستم‌های خودکار بازرسی مبتنی بر بینایی ماشین^۲ هم گفته می‌شود، دو هدف اصلی مدنظر است:

الف- دقت روش ارائه شده در تشخیص محدوده وسیعی از عیوب

ب- حجم محاسباتی^۳ روش که توانایی برخط بودن^۴ سیستم به شدت به آن وابسته است. (در ادامه، این مقوله به تفصیل برای آشکار سازی تخلخل بررسی خواهد شد).

در راستای این اهداف، در زمینه آشکار سازی بخش‌های معیوب از بخش‌های سالم در تولیدات صنعتی، روش‌های گوناگونی ارائه شده است. صرف نظر از زمینه کاربردی هر یک از آنها، می‌توان اکثر روش‌های مطرح شده را به ۴ گروه اصلی تقسیم کرد:

- گروه اول: روش‌های آماری^۵
- گروه دوم: روش‌های ساختاری^۶
- گروه سوم: روش‌های مبتنی بر فیلتر

به هر گونه خلل و فرج و سوراخ در سطح سنگ، تخلخل^۱ می‌گویند. در سنگ‌های ساختمانی، میزان تخلخل اهمیت بیشتری دارد، زیرا می‌تواند در مرغوبیت و کیفیت سطح تمام شده بنا از دیدگاه معماری تاثیر گذار باشد. از طرفی دوام و بقای ساختمان پس از گذشت زمان نیز به شدت به میزان تخلخل وابسته است چرا که وجود تخلخل در سنگ‌های استفاده شده در نمای ساختمان ضریب آسیب پذیری آن را در برابر یخ زدگی و باران‌های اسیدی و حوادثی همچون زلزله تغییر می‌دهد. بنابراین در کارخانجات سنگ‌بری، یکی از عوامل اصلی در درجه بندی کیفی سنگ‌های بریده شده، میزان تخلخل سطحی آنها است. هم‌اکنون در اکثر کارخانجات این عمل به صورت بصری و توسط کارگران باتجربه صورت می‌گیرد. اما با توجه به طول زمان کار و سرعت جایجایی قطعات بریده شده بر روی غلطک‌های حمل، دقت کارگران به مرور زمان کاهش می‌یابد. بنابراین آشکارسازی و تخمین میزان تخلخل در سنگ‌های بریده شده به صورت خودکار می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت موثر باشد. با توجه به شکل ظاهری اکثر سنگ‌های ساختمانی، هرگونه خلل و فرج بر روی سنگ را می‌توان جزو عیوب سنگ

گروه چهارم: روش های مبتنی بر مدل

روش هایی که بر حسب ماتریس های همبستگی^۶ [۶]، خصایص هیستوگرام تصویر [۷] و یا تابع همبستگی^۸ [۸] ارائه شده اند همگی در گروه اول قرار می گیرند. به طور مثال در [۸] برای تشخیص عیوب بافتی در پارچه، روشی بر حسب تابع همبستگی ارائه شده است. در این روش، در مرحله تمرین با انتخاب یک پنجره از تصویر سالم و حرکت دادن آن بر روی تصویر، حد آستانه‌ی مناسبی بدست می آید و سپس در مرحله آزمایش به کمک حد آستانه‌ی محاسبه شده، پنجره های معیوب آشکار می شوند. روش هایی که بر پایه ویژگی های لبه [۹]، نمایش اسکلت^۹ [۱۰] و یا اپراتورهای مورفولوژی [۱۱] کار می کنند را می توان در گروه دوم قرار داد. به طور مثال ون و ژیا [۹]، برای تشخیص عیوب در تولیدات چرمی از ویژگی های استخراج شده از تصویر لبه یابی، استفاده کرده اند. در گروه سوم برای آشکارسازی عیوب از فیلترهایی طراحی شده، استفاده می شود. فیلترها عموماً در محیط فرکانس، محیط فضایی^{۱۰} و یا ادغامی از هر دو طراحی می شوند. کومار [۱۲] روشی برای آشکارسازی نقایص در پارچه های طرح دار با استفاده از فیلتر های گابور ارائه کرده است. در این روش ابتدا تصویر مورد بررسی از یک بانک فیلتر عبور کرده و سپس خروجی فیلتر آستانه گذاری می شود. در نهایت با ترکیب خروجی فیلترها می توان به الگوی مناسبی از عیوب دست یافت. در همین زمینه لینز و همکارانش [۱۳] توانایی انواع فیلترها را برای تشخیص عیوب بافتی مقایسه کرده اند که برای آگاهی بیشتر می توان به آن مراجعه کرد. گروه چهارم از روش ها را روش های مبتنی بر مدل می گویند. روش های مبتنی بر مدل های فرکتال^{۱۱} [۱۴]، مدل های میدان تصادفی^{۱۲} [۱۵] و مدل های پسرقت خودکار^{۱۳} [۱۶] همگی در این گروه قرار می گیرند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که این گروه از روش ها عموماً در آنالیز بافت های طبیعی نسبت به تولیدات صنعتی بهتر عمل می کنند. لازم به توضیح است که دسته بندی ذکر شده با توجه به [۱۷] بیان شده است.

در این مقاله هدف ارائه روشی مناسب برای آشکارسازی تخلخل در سنگ های ساختمانی است. از آنجا که روش پیشنهادی باید قابلیت آشکار سازی تخلخل در انواع سنگ های ساختمانی و همچنین بر خط بودن را دارا باشد، بنابراین روشی با استفاده از ویژگی های الگوی دودویی محلی^{۱۴} ارائه شده است. شایان ذکر است که برای صرفه جویی در زمان و کاهش هزینه ها، توانایی بر خط بودن روش به شدت می تواند از جنبه کاربردی موثر باشد. از روش الگوی دودویی محلی برای تشخیص چهره [۱۸] و طبقه بندی بافت تصویر [۱۹] استفاده گردیده است، اما در این مقاله از شکل بهبود یافته آن جهت آشکارسازی تخلخل در سنگ های ساختمانی استفاده می شود.

در نتایج حاصل از این پژوهش توانایی بالای این روش در آشکار سازی تخلخل در محدوده وسیعی از انواع سنگ های ساختمانی نشان داده شده است.

۱-۱ ساختار مقاله

در این مقاله ابتدا در بخش دوم، روش الگوی دودویی محلی معرفی می گردد و سپس در بخش سوم شکل بهبود یافته آن مطرح خواهد شد. در ادامه در بخش های ۴ و ۵ روش پیشنهادی برای آشکارسازی و تخمین میزان تخلخل ارائه می شود. در بخش ۶ نحوه تنظیم متغیرهای استفاده شده در روش پیشنهادی توضیح داده می شود. بخش ۷ شامل نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی است. در نهایت در بخش ۸ به بحث و نتیجه گیری پرداخته خواهد شد.

۲- الگوی دودویی محلی

همان طور که در بخش مقدمه اشاره مختصری کردیم، یکی از روش هایی که برای طبقه بندی بافت تصویر استفاده شده، روش الگوی دودویی محلی است [۱۹]. در این روش ابتدا برای هر کدام از پیکسل های تصویر، یک همسایگی از تصویر در نظر گرفته می شود. سپس شدت روشنایی نقاط موجود در همسایگی با نقطه مرکز همسایگی مقایسه می گردد. به طور معمول برای آن که عملگر نسبت به چرخش تصویر حساس نباشد، همسایگی به صورت دایره ای در نظر گرفته می شود. نمونه هایی از همسایگی ها با شعاع (R) در شکل (۱) نشان داده شده اند. همان طور که در شکل (۱) دیده می شود مختصات برخی از نقاط دقیقاً روی مرکز پیکسل قرار نمی گیرند. این سری از نقاط به کمک درون یابی محاسبه می شوند. اکنون برای محاسبه ی الگوی دودویی محلی، در یک همسایگی از تصویر، از معادله (۱) استفاده می شود.

$$LBP_{P,R} = \sum_{i=0}^{P-1} S(g_i - g_c) 2^i \quad S(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

در معادله (۱)، P نشان دهنده تعداد نقاط همسایه و g شدت روشنایی نقاط همسایگی است. در اینجا g_c شدت روشنایی نقطه مرکزی را نشان می دهد. همان طور که از معادله (۱) برمی آید، خروجی عملگر الگوی دودویی محلی، عددی دودویی با P بیت اطلاعات است. همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده، نحوه ی اندیس گذاری پیکسل های همسایه می تواند منجر به تغییر مقدار LBP_{P,R} شود. بنابراین با چرخش عدد دودویی بدست آمده و انتخاب کمینه مقدار ممکن، می توان مقدار یکتایی را به هر کدام از الگوهای محلی اختصاص داد. این مطلب را در معادله (۲) می توان ملاحظه کرد.

$$LBP_{P,R}^{ri} = \min\{ROR(LBP_{P,R}, i) \mid i = 0, 1, \dots, P - 1\} \quad (2)$$

همگنی برابر با ۴ است. در این روش الگوهایی که میزان همگنی آنها کمتر یا برابر با T_u باشد، الگوهای همگن تعریف می شوند و الگوهایی که میزان همگنی آنها بیش از T_u باشد، الگوی ناهمگن. با توجه به این تعریف، الگوی دودویی محلی بهبود یافته طبق معادله (۴) تعریف می گردد.

$$LBP_{P,R} = \begin{cases} \sum_{p=0}^{p-1} s(g_p - g_c) & \text{if } U \leq T_u \\ P + 1 & \text{حالات دیگر} \end{cases} \quad (4)$$

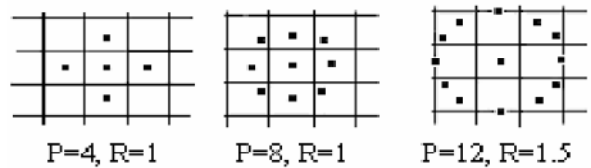
اکنون در مرحله استخراج ویژگی، با توجه به معادله (۴) می توان برای هر تصویر یک بردار ویژگی $P+2$ بعدی استخراج کرد. به طوری که دیده می شود، در شکل بهبود یافته الگوی دودویی محلی، به همسایگی های همگن برجسب هایی از صفر تا P و به همسایگی های ناهمگن برجسب $P+1$ اختصاص داده می شود. اکنون برای استخراج بردار ویژگی، پس از اعمال عملگر بر روی تصویر و اختصاص برجسب ها، می توان احتمال برخورد به هر کدام از برجسب ها را به عنوان یکی از ابعاد بردار ویژگی محاسبه کرد. احتمال برخورد به هر برجسب به صورت نسبت تعداد نقاط با آن برجسب به تعداد کل نقاط تعریف می گردد.

۴- روش پیشنهادی برای آشکار سازی تخلخل در سنگ های ساختمانی

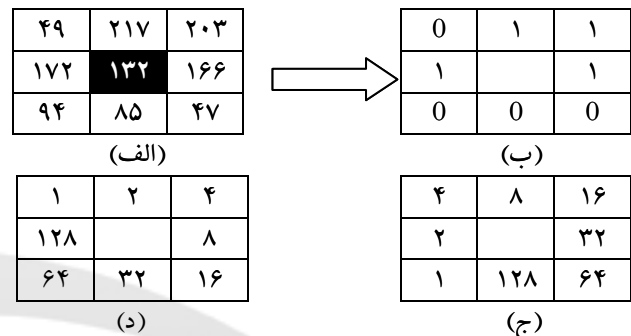
همانطور که در مقدمه توضیح داده شد، به هر گونه خلل و فرج در سنگ، تخلخل گفته می شود، که کیفیت و مقاومت سنگ های ساختمانی به شدت بر میزان آن وابسته است. در این بخش روش پیشنهادی این مقاله برای آشکار سازی تخلخل در سنگ های ساختمانی ارائه می گردد. برای آشکار سازی تخلخل، ابتدا به یک مرحله آموزش نیاز است. در همین راستا یک تصویر از سنگی که بدون تخلخل است، گرفته می شود. سپس عملگر الگوی دودویی محلی، روی کل تصویر سالم اعمال می گردد. در ادامه طبق معادله (۴) بردار ویژگی برای آن محاسبه می شود. این بردار ویژگی $P+2$ بعدی را بردار ویژگی مبنا (M)، می نامیم. در ادامه تصویر سالم را پنجره بندی می کنیم و ابعاد پنجره ها $W \times W$ در نظر می گیریم. سپس الگوی دودویی محلی روی هر کدام از پنجره ها اعمال می شود و برای هر کدام یک بردار ویژگی استخراج می گردد. اکنون می توان نسبت درستیابی لگاریتمی^{۱۸} هر کدام از پنجره ها را به بردار مبنا، طبق معادله (۵) محاسبه کرد.

$$L_k = (S_k, M) = \sum_{i=0}^{P+1} S_{ik} \log \left(\frac{S_{ik}}{M_i} \right) \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

عدم حساسیت اپراتور به چرخش^{۱۵} با نماد π_i نشان داده شده است. همچنین ROR ^{۱۶} نشان دهنده چرخش به سمت راست است، که در معادله (۲) این عمل i بار انجام می گردد و حداقل



شکل (۱): همسایگی دایروی متقارن به ازای مقادیر مختلف P, R



$$LBP = 2 + 4 + 8 + 128 = 142$$

$$LBP = 2 + 8 + 16 + 32 = 58$$

شکل (۲): (الف) همسایگی مربعی 3×3 (ب) مقایسه پیکسل مرکزی با همسایه ها (ج) یکی از نحوه های اندیس گذاری و محاسبه LBP (د) یکی از نحوه های اندیس گذاری و محاسبه LBP

عدد بدست آمده به ازای Z های بین صفر تا $P-1$ به عنوان الگوی دودویی محلی انتخاب می شود.

۳- شکل بهبود یافته الگوی دودویی محلی و استخراج ویژگی

نتایج عملی اوجالا و همکارانش در [۱۹] نشان داد الگوی دودویی محلی که به این صورت محاسبه می شود، علی رغم توانایی مطلوب برای آنالیز و طبقه بندی بافت تصویر، بار محاسباتی بالایی را به سیستم تحمیل می کند و این امر توانایی بر خط بودن را به شدت کاهش می دهد. بنابراین اندکی بعد شکل بهبود یافته ای این عملگر ارائه گردید [۲۰]. برای محاسبه ویژگی ها در شکل بهبود یافته ای عملگر الگوی دودویی محلی، معیاری به نام میزان همگنی^{۱۷} (یکنواختی) طبق معادله (۳) تعریف می شود.

$$U(LBP_{P,R}) = \left| S(g_{p-1} - g_c) - S(g_0 - g_c) \right| + \sum_{p=1}^{p-1} \left| S(g_p - g_c) - S(g_{p-1} - g_c) \right| \quad (3)$$

همان طور که در معادله (۳) نشان داده شده، میزان همگنی نشان دهنده تعداد جهش ها در شدت روشنایی نقاط موجود در همسایگی است. به طور مثال برای الگوی 00001001 میزان

کنند. دسته اول که دارای کمترین میزان تخلخل و بالاترین کیفیت است، سنگ سوپر ممتاز، درجه یک، درجه دو و درجه سه نامیده می شوند. نسبت میزان تخلخل و درجه کیفی سنگ، بسته به نوع سنگ و کاربرد آن متفاوت است. به طور مثال میزان تخلخل در سنگ تراورتن پرتقالی به دلیل کاربرد در بخش های تزئینی ساختمان، نسبت به سنگ تیشه ای، اهمیت بیشتری دارد که این موضوع از جدول (۱) به خوبی نتیجه می شود. در جدول (۱) این نسبت برای ۳ مدل سنگ ساختمانی نشان داده شده است. در جدول (۱) اعداد درون هر خانه نشان دهنده بازه ای از میزان تخلخل است که به کمک آن می توان درجه کیفی سنگ مورد نظر را با توجه به سطر مذکور طبقه بندی کرد. لازم به توضیح است که مقادیر ذکر شده در جدول (۱) با مشاوره یکی از کارشناسان این رشته (عمران)، به صورت تجربی تهیه شده است.

جدول (۱). درجه بندی کیفی سنگ های ساختمانی بر حسب درصد تخلخل

نوع سنگ / درجه کیفی	تراورتن کرم	تراورتن پرتقالی	تیشه ای
سوپر ممتاز	۰-۵%	۰-۳%	۰-۷%
ممتاز	۵-۱۰%	۳-۶%	۷-۱۴%
درجه یک	۱۰-۱۵%	۶-۱۰%	۱۴-۲۱%
درجه دو	۱۵-۲۰%	۱۰-۱۳%	۲۱-۲۸%
درجه سه	۲۰-۲۵%	۱۳-۱۶%	۲۸-۳۵%

به طور مثال، میزان تخلخل در الگوهای عیب تولید شده در شکل (۴) به کمک معادله (۷) محاسبه شده و در جدول (۲) مشاهده می شود. اکنون می توان با استفاده از جدول (۱)، درجه کیفی آنها را تعیین کرد.

جدول (۲). تخمین تخلخل در الگوهای عیب تولید شده در شکل ۴

نوع همسایگی / نوع سنگ	۳×۳	۵×۵	۳×۳ و ۷×۷
تراورتن کرم	۹,۴۱%	۶,۱۲%	۷,۶۳%
تراورتن پرتقالی	۵,۸۲%	۳,۱۳%	۴,۱۹%
تیشه ای	۵,۴۰%	۴,۷۸%	۵,۶۳%

در معادله (۵)، S_k بردار ویژگی پنجره K ام است و N تعداد کل پنجره ها. همچنین i نشان دهنده i ام از بردار ویژگی است. اکنون با توجه به این موضوع که کمینه شدن مقدار L_k نشان دهنده ی میزان تشابه با یک کلاس خاص است، بنابراین حداکثر مقادیر محاسبه شده برای پنجره ها به عنوان حد آستانه برای پنجره های سالم، در نظر گرفته می شود. معادله (۶) این موضوع را نشان می دهد.

$$T = \max(L_k) \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

اینک پس از محاسبه ی حد آستانه ی سالم بودن، در مرحله آزمایش برای آشکار سازی تخلخل در تصویری که احتمالاً معیوب است مجدداً تصویر مورد آزمایش به پنجره هایی با همان ابعاد $W \times W$ تقسیم می گردد. سپس برای هر کدام از پنجره ها بردار ویژگی استخراج شده و نسبت درستی آن با توجه به بردار مبنا سنجیده می شود. در صورتی که این نسبت از حد آستانه ی سالم بودن، بیشتر باشد، آن پنجره به عنوان پنجره ی حاوی عیب معرفی می گردد. با توجه به وجود بافت های تکرار شونده^{۱۹} و غیر تکرار شونده در سنگ های ساختمانی، بهتر است برای افزایش قدرت آشکار سازی الگوریتم فوق، پنجره ها در مرحله آموزش و آزمایش به صورت هم پوشان انتخاب شوند. لازم به توضیح است که این روش هرگونه عیبی را در تصویر مشخص می نماید، لذا این احتمال وجود دارد که عیبی مانند لک، تغییر نابهنجار رنگ و... نیز در صورت وجود، آشکار شوند. بنابراین هر پنجره ای که به عنوان پنجره ی معیوب معرفی می شود لزوماً دارای تخلخل نیست. ولیکن بررسی ها در این زمینه نشان می دهد که درصد بالایی از عیوب در سنگ های ساختمانی صرفاً مربوط به تخلخل می شود.

۵- تخمین میزان تخلخل و درجه بندی کیفی

برای درجه بندی کیفی سنگ های ساختمانی، میزان تخلخل در مقابل سایر شاخص هایی نظیر بافت، رنگ و برش از اهمیت بالایی برخوردار است. مهندسان ساختمان میزان تخلخل را، نسبت مجموع مساحت نقاط متخلخل بر کل مجموعه مساحت سنگ بیان می کنند. روشی که در این مقاله ارائه شد، به خوبی توانایی آشکار سازی نقاط متخلخل را دارد، بنابراین پس از اعمال آن، می توان در الگوی عیب تولید شده با معادله (۷) میزان تخلخل را بر حسب درصد محاسبه کرد.

$$\text{میزان تخلخل} = 100 \times \frac{\text{تعداد پیکسل های معیوب}}{\text{مجموع کل پیکسل ها}} \quad (7)$$

اکنون پس از محاسبه میزان تخلخل، می توان سنگ بریده شده را از لحاظ کیفیت، درجه بندی نمود. عموماً مهندسان ساختمان سنگ های ساختمانی را از لحاظ کیفیت به ۵ دسته تقسیم می

۶- تنظیم متغیرها

در روش پیشنهادی برای آشکار سازی تخلخل در سنگ های ساختمانی که در بخش ۴ ارائه شد، برخی از عوامل همچون اندازه پنجره ها، ابعاد و نوع همسایگی و حد آستانه‌ی میزان یکنواختی (T_{II}) باید در ابتدا تنظیم شوند. بنابراین در این قسمت به تفکیک هر کدام از آنها بررسی می‌گردد.

۶-۱- ابعاد و نوع همسایگی

همان طور که در بخش ۲ توضیح داده شد، می‌توان برای جلوگیری از حساسیت الگوی دودویی به چرخش، همسایگی را به صورت دایره‌ای در نظر گرفت. ولی از آنجا که در مرحله عکس برداری از سنگ های بریده شده در کارخانجات سنگ بری مسئله چرخش قابل کنترل است، بنابراین برای سهولت در محاسبه‌ی الگوی دودویی محلی، همسایگی می‌تواند به صورت مربعی در نظر گرفته شود. نمونه‌هایی از نحوه اعمال عملگر دودویی محلی با همسایگی مربعی در شکل (۳) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، در این حالت نماد الگوی دودویی محلی به فرم $LBP_{P,D}$ تغییر می‌کند، که D نشان دهنده‌ی ابعاد پنجره‌ی مربعی استفاده شده، و P تعداد همسایگان است. در این حالت نیز، محاسبه الگوی دودویی محلی طبق معادله (۴) صورت می‌گیرد.

۶-۲- ابعاد پنجره

با توجه به روش پیشنهادی ارائه شده در بخش ۴، در مرحله آموزش و آزمایش تصاویر مورد بررسی باید به پنجره‌هایی مساوی تقسیم شوند. ابعاد پنجره‌ها به شدت می‌تواند بر روی دقت الگوریتم تاثیر گذار باشد. از طرفی تعداد عملگرهایی هم که روی یک پنجره اعمال می‌شوند، به ابعاد پنجره و ابعاد همسایگی وابسته است. در [۲۱] برای تعیین سائز پنجره‌ها برای آشکار سازی عیوب بافتی پارچه از روش خاصی استفاده شده است. در [۲۱] برای آن که بردار ویژگی استخراجی از هر پنجره توانایی خوبی در معرفی ویژگی های آن پنجره داشته باشد، تعداد عملگرهای قابل اعمال باید حداقل از حد نصاب قابل قبولی بالاتر باشند. بنابراین اگر ابعاد پنجره $W \times W$ و ابعاد همسایگی‌ها در محاسبه الگوی دودویی محلی $D \times D$ باشد، تعداد عملگرهایی که می‌توان روی این پنجره اعمال نمود برابر با $(W-D+1)^2$ خواهد بود. اکنون اگر حد نصاب عملگرها را به طور مثال ۱۰۰ در نظر بگیریم، در نتیجه $W \geq 9+D$

۶-۳- حد آستانه‌ی میزان یکنواختی

همان طور که در بخش ۲ اشاره شد، برای تفکیک الگوهای همگن و ناهمگن، به حد نصابی نیاز داریم که در معادله (۴) با T_{II} نشان داده شده است. از آنجا که برچسب های الصاق شده به الگوهای همگن موجود در بافت تصویر (برچسب های صفر

تا P) باید اکثر الگوهای موجود در تصویر را پوشش دهد و الگوهای ناهمگن بخش ناچیزی از الگوها را شامل شود [۲۱]، بنابراین با توجه به نتایج پیاده سازی، اگر T_{II} برابر با $P/4$ باشد، درصد کمی از الگوها دارای برچسب ناهمگن خواهند بود.

۴۹	۲۱۷	۲۰۳
۱۷۲	۱۳۲	۱۶۶
۹۴	۸۵	۴۷

0	۱	۱
۱		۱
0	0	0

(الف)

۲۶	۱۳۲	۲۳۲	۱۱۱	۲۲۰
۵۵	۴۹	۲۱۷	۲۰۳	۲۳۱
۹۸	۱۷۲	۱۳۲	۱۶۶	۱۷۹
۶	۹۴	۸۵	۴۷	۶۵
۷۲	۱۱۲	۱۳۰	۱۲۱	۳۲

0	۱	۱	۱	۱
0				۱
0				۱
0				0
0	0	0	۱	0

(ب)

شکل (۳): (الف) همسایگی مربعی 3×3 در حالت $LBP_{8,3}$ (ب) همسایگی مربعی 5×5 در حالت $LBP_{16,5}$

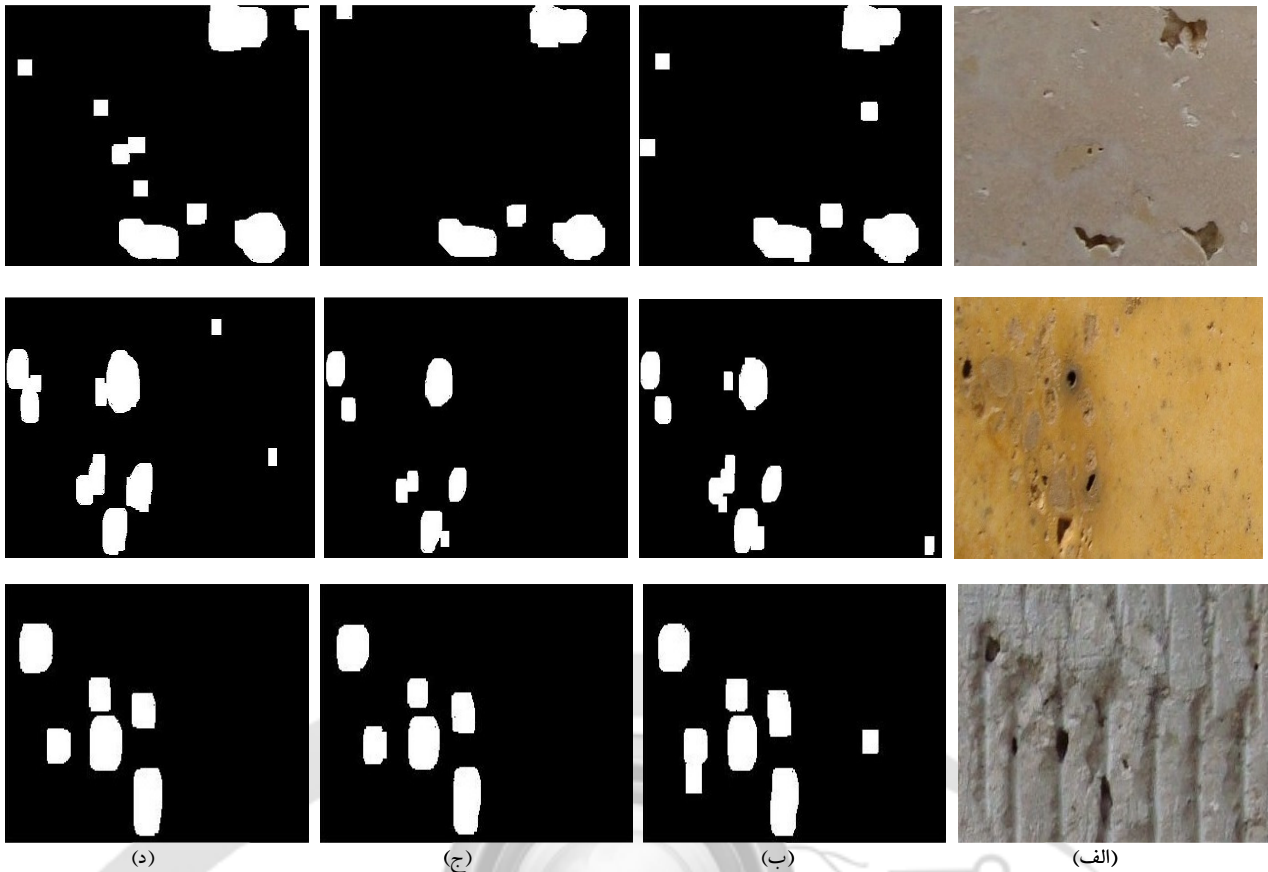
۷- پیاده سازی و بررسی عملکرد

هدف از این مقاله ارائه روشی برای آشکار سازی تخلخل در سنگ های ساختمانی است. در همین راستا به کمک دوربینی با دقت 2^8 (Mega Pixel) ۸، از ۳ مدل سنگ ساختمانی به نام های "تراورتن کرم"، "تیشه ای" و "تراورتن پرتقالی" عکس برداری شده است. لازم به توضیح است که برای هر مدل سنگ نیز، تصاویر سالمی که هیچ گونه تخلخلی را نشان نمی دهند جهت مرحله آموزش تهیه شده است. پیش از اجرای روش، برای همسان سازی شدت روشنایی، بر روی تمامی تصاویر یک مرحله برابری هیستوگرام^{۲۱} اعمال شده و در ادامه ابعاد مختلفی برای پنجره‌ها مورد آزمایش قرار گرفته است. بدین ترتیب مشخص گردید که پنجره با ابعاد 16×16 دارای بالاترین دقت می‌باشد. همان طور که در جدول (۳) دیده میشود، ۳ نوع همسایگی 3×3 و 5×5 و 7×7 برای استخراج ویژگی مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین از آنجا که روش ارائه شده دارای تفکیک پذیری چندگانه^{۲۲} می‌باشد، بنابراین می‌توان نتایج مربوط به انواع همسایگی‌ها را طبق معادله (۸) با یکدیگر ادغام کرد.

$$L_K^N = \sum_{n=1}^N L_K(S_K^n, M^n) \quad (8)$$

یکی از روش‌هایی که عموماً برای محاسبه کارایی روش‌های پیشنهادی برای آشکار سازی عیوب، استفاده می‌شود، نرخ آشکار سازی عیوب است [۲۲]. در این مقاله نیز از همین روش استفاده شده است که طبق معادله (۹) تعریف می‌گردد.

$$DR = 100 \times \left(\frac{N_{cc} + N_{dd}}{N_{total}} \right) \quad (9)$$



شکل (۴): نتایج آشکارسازی تخلخل (الف) تصاویر از سنگ های متخلخل (ب) آشکار سازی با در نظر گرفتن همسایگی به صورت ادغام 7×7 و 3×3 (ج) آشکار سازی با در نظر گرفتن همسایگی به صورت 5×5 (د) آشکار سازی با در نظر گرفتن همسایگی به صورت 3×3

جدول (۳): نرخ آشکار سازی میزان تخلخل در ۳ مدل سنگ بر حسب درصد

نوع سنگ عملگر (p,w)	تعداد ویژگی	تراورتن کرم	تیشه ای	تراورتن پرتقالی
۸.۳	۱۰	۸۸,۶۸	۹۱,۶۴	۹۰,۰۲
۱۶.۵	۱۸	۹۳,۶۷	۹۲,۲۷	۹۴,۴۳
۲۴.۷	۲۶	۹۰,۰۵	۹۱,۳۲	۹۵,۴۳
$۱۶.۵ + ۸.۳$	$۱۸ + ۱۰$	۹۳,۲۲	۹۰,۵۳	۹۱,۱۴
$۲۴.۷ + ۸.۳$	$۲۶ + ۱۰$	۸۹,۶۰	۸۸,۰۳	۹۰,۷۵
$+ ۱۶.۵$ ۲۴.۷	$۲۶ + ۱۸$	۸۹,۴۴	۹۴,۱۱	۹۲,۴۴
$۱۶.۵ + ۸.۳$ $+ ۲۴.۷$	$۱۸ + ۱۰$ $+ ۲۶$	۸۵,۵۴	۸۷,۷۳	۹۱,۳۷

۸- بحث و استنتاج

هدف اصلی این مقاله ارائه روشی برای آشکار سازی و تخمین میزان تخلخل در سنگ های ساختمانی بود. در همین راستا روشی مبتنی بر الگوی دودویی محلی ارائه شد. نتایج بدست آمده نشان داد که روش از توانایی خوبی برای آشکار سازی

در معادله (۸)، N_{dd} نشان دهنده تعداد پنجره هایی از تصویر است که دارای تخلخل بوده و توسط الگوریتم نیز به عنوان پنجره های معیوب تشخیص داده شده اند. همچنین N_{cc} تعداد پنجره هایی از تصویر است که حاوی هیچ گونه تخلخلی نبوده و توسط الگوریتم پیشنهادی نیز به عنوان پنجره های سالم معرفی شده اند. نرخ آشکار سازی برای ۳ مدل سنگ در جدول (۳) نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در راستای محاسبه نرخ آشکار سازی، الگوی عیب تولید شده به پنجره هایی با ابعاد 16×16 تقسیم گردید و پنجره ای که حداقل یک درصد از آن معیوب بود به عنوان پنجره معیوب در نظر گرفته شد. یک درصد در ابعاد 20×20 به معنای ۴ پیکسل معیوب می باشد. از آنجا که از هر مدل سنگ ۱۵ تصویر تهیه شده است، بنابراین نرخ آشکار سازی ذکر شده برای هر مدل سنگ در جدول (۳) میانگین نرخ محاسبه شده برای تمامی تصاویر است. در شکل (۴) تعدادی از نتایج آشکار سازی تخلخل با محاسبه انواع همسایگی به تفکیک مدل های سنگ نشان داده شده است. در رابطه با شکل (۴) شایان ذکر است که تصاویر سطر اول مربوط به سنگ تراورتن کرم، سطر دوم مربوط به سنگ تراورتن پرتقالی و سطر سوم مربوط به سنگ تیشه ای می باشد.

[11] K.L. Mak, P. Penga and K.F.C. Yiu, "Fabric Defect Detection using Morphological Filters", Elsevier Journal on Image and Vision Computing, Vol. 27, pp. 1585-1592, 2009

[12] A. Kumar and G.K.H.Pang, "Defect Detection in Textured Materials using Gabor filters", IEEE Trans. Ind. Appl, vol. 38, no. 2, pp. 425-440, Mar/Apr. 2002

[13] N. Lins, F. Ade, and M. Unser. "Comparison of Various Filter sets for Defect Detection". International Conference on Pattern Recognition, volume 1, pp. 428-431, 1984.

[14] H.G. Bua., J. Wanga, and X.Huanga, "Fabric Defect Detection based on Multiple Fractal Features and Support Vector data Description", Elsevier Journal on Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 22, Issue 2, pp. 224-235, March 2009,

[15] F. Cohen, Z. Fan, and S. Attali. "Automated Inspection of Textile Fabrics using textural models". IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(8):803-809, 1991.

[16] J.Mao and A.Jain. "Texture Classification and Segmentation using Multiresolution Simultaneous Autoregressive Models". Pattern Recognition, 25(2):173-188, 1992.

[17] X. Xie, "A Review of Recent Advances in Surface Defect Detection using Texture analysis", Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis 7(3):1-22, 2008

[18] T. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikäinen, "Face Recognition with Local Binary Patterns", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3021. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 469-481, 2004

[19] M. Pietikäinen, T. Ojala, and Z. Xu, "Rotation-Invariant Texture Classification Using Feature Distributions", Pattern Recognition, vol. 33, pp. 43-52, 2000.

[20] T. Ojala, M.Pietikäinen, and T.Mäenpää, "Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 24, No. 7, July 2002

[21] F. Tajeripour, E. Kabir, A.Sheikhi, "Fabric Defect detection using Modified Local Binary Patterns", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, May/Oct. 2007

[22] A. Bodnarova, M. Bennamoun, and K.K.Kubik, "Suitability Analysis of Techniques for Flaw Detection in Textiles using Texture Analysis", Pattern Analysis & Applications, Vol. 3, pp. 254-266, Sep 2000.

زیر نویس ها

- 1 Porosity
- 2 Visual Inspection System
- 3 Complexity
- 4 Online
- 5 Statistical
- 6 Structural
- 7 Co - Occurrence
- 8 Correlation
- 9 Skeleton Representation
- 10 Spatial Domain
- 11 Fractal
- 12 Random Field
- 13 Autoregressive
- 14 Local Binary Pattern
- 15 Rotation Invariant
- 16 Rotate to Right
- 17 Uniformity Measure
- 18 Log Likelihood Rate
- 19 Periodic
- 20 Resolution
- 21 Histogram Equalization
- 22 Multi Resolution

بخش های متخلخل در انواع سنگ های ساختمانی برخوردار است. همچنین به کمک تصویر بدست آمده از نقاط متخلخل و معادله ای که ارائه شد، میزان تخلخل بر حسب درصد محاسبه گردید. لازم به توضیح است که توانایی این روش برای آشکارسازی با کوچکتر شدن مساحت تخلخل رو به کاهش می گذارد، ولیکن از آنجا که در درجه بندی کیفی سنگ های ساختمانی، تخلخل های کوچک نقش چندانی ندارند، بنابراین روش پیشنهادی می تواند از جنبه کاربردی سودمند باشد. از دیگر مزایای روش پیشنهادی می توان به سرعت بالا و بر خط بودن اشاره کرد. روش ارائه شده به دلیل استفاده از مرحله آموزش، می تواند برای آشکار سازی بخش های معیوب از سالم در موارد کاربردی دیگر نیز استفاده گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات جناب آقای مهندس محمد عبداللهی (کارشناس ارشد مهندسی عمران از دانشگاه امیرکبیر تهران) در جمع آوری پایگاه داده‌ی مورد نیاز، قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] Z. Zhaoa, N. Yeb, "Effective Semi-Supervised Nonlinear Dimensionality Reduction for Wood Defects Recognition", International Journal of Computer Science and Information Systems, Vol. 7, pp. 127-138, Jun 2010

[2] G.M.A. Rahaman and M. Hossain, "Automatic Defect Detection and Classification Technique from Image: a special case using ceramic tiles", International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 1, No. 1, May 2009

[3] W.P.Amorim, H.Pistori, M.C.Pereira, and M.A.C.Jacinto. "Attributes Reduction Applied to Leather Defects Classification", In Proc of 23rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images, pp. 353-359, Sep 2010

[4] A.Ghosh, T.Guha, R.B.Bhar, and S.Das "Pattern Classification of Fabric Defects Using Support Vector Machine", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 23, pp. 142-151, Number2-3, 2011

[5] P.N. Sargunar, R. Sukanesh, "Automatic Detection of Porosity and Slag Inclusion in Boilers Using Statistical Pattern Recognition Techniques", International Journal of Computer Applications, Vol. 1, No. 21, 2010

[6] R. Conners, C. McMillan, K. Lin, and R. Vasquez-Espinosa. "Identifying and Locating Surface Defects in Wood: Part of an automated timber processing system". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 5:573-583, 1983.

[7] C. Kim and A. Koivo. "Hierarchical Classification of Surface Defects on Dusty Wood Boards". Pattern Recognition Letters, 15(7): pp. 713-721, 1994.

[8] H.G. Bu, X.B. Huang, J. Wang, X. Chen, "Detection of Fabric Defects by Auto-Regressive Spectral Analysis and Support Vector Data Description", Textile Research Journal, vol. 80, no. 7, pp. 579-589, May 2010

[9] W.Wen and A. Xia. "Verifying Edges for Visual Inspection Purposes". Pattern Recognition Letters, 20:315-328, 1999

[10] J. Chen and A. Jain. "A Structural Approach to Identify Defects in Textured Images". IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 1, pp. 29-32, 1988.