

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۴/۲

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۱۶

درجه بندی کیفی ظروف چینی با استفاده از ماشین بینایی

سیدجواد حسینی نیا^۱، سیدمحمد امام^۲، خلیل خلیلی^۳

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

sjhoseininia96@gmail.com

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

sy.m.emam@birjandut.ac.ir

^۳ استاد دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

kkhalili@birjand.ac.ir

چکیده: درجه بندی، یکی از مراحل کنترل کیفی در کارخانجات تولیدکننده ظروف چینی است که به صورت چشمی انجام می شود. بینایی ماشین از جمله روش های نوین برای عیب یابی و درجه بندی محصولات تولیدی متفاوت است. در این تحقیق، از روش تابش الگوی ساختاریافته خطی، تکنیک مثلث بندی و قوانین حاکم بر آینه ها با هدف تشخیص عیوب و در نتیجه آن، درجه بندی ظروف چینی استفاده شده است. همچنین از میان عیوب به وجود آمده روی ظروف چینی، برخی از عیوبی که باعث تغییر در هندسه، محیط و بافت سطح ظروف می شوند، از جمله دفورمگی، انباشتگی لعاب، لعاب نگرفتگی، پین بدنه و افتادگی کف، مورد بررسی قرار گرفته اند. با تابش الگوی ساختاریافته خطی بر سطح ظروف، از پروفیل خطوط بازتاب شده از روی ظروف تصویربرداری شده است. سپس برای پردازش و استخراج ویژگی های مورد نظر، تصاویر به رایانه انتقال یافته و پس از تشخیص نوع عیب، معیاری برای تعیین درجه ظروف به دست آمده است. سپس با توجه به جدول درجه بندی تعریف شده به صورت عددی، درجه ظروف تعیین شده است. در نهایت، به کمک الگوریتم های ارائه شده در این تحقیق، تعداد ۲۲۵۰ عدد از ظروف با درجه از قبل تعیین شده، بررسی گردیده که صحت الگوریتم مربوط به عیب افتادگی کف ۹۷/۶۶ درصد و صحت الگوریتم مربوط به عیب لعاب نگرفتگی ۹۸/۵ درصد تعیین شد.

واژه های کلیدی: بینایی ماشین، پردازش تصویر، درجه بندی ظروف چینی، الگوی ساختاریافته، عیب یابی.

۱. مقدمه

به دلیل اهمیت موضوع رقابت و مشتری‌مداری در فروش محصولات بین تولیدکنندگان ظروف چینی، درجه‌بندی ظروف چینی از جمله فرایندهای مهم کنترل کیفی در تولید این محصولات است. به علت یکنواخت نبودن محصولات به دلیل تنوع عیوب و تفاوت‌های طبیعی در قضاوت نیروی انسانی و خطاهای اپراتوری و همچنین به دلیل هنگفت بودن نرخ تولید در کارخانه‌های تولید ظروف چینی، نیاز به انجام فرایند درجه‌بندی ظروف به صورت آنالیز و در نتیجه آن، افزایش سرعت درجه‌بندی، دقت، یکنواختی و کاهش هزینه‌ها احساس می‌شود. از جمله روش‌های متداول در این قبیل فرایندهای آنالیز، استفاده از بینایی ماشین است. به طور اساسی، همه سیستم‌های ماشین بینایی، متشکل از یک دوربین، رایانه مجهز به کارت واسط، سیستم نورپردازی و سنسورهاست. در خطوط تولیدی که از نیروی انسانی برای کنترل یا درجه‌بندی محصولات استفاده می‌شود، امکان یک پارچه کردن تشخیص، ثبت اطلاعات و همچنین تحلیل‌های آماری بعدی وجود ندارد. در فرایند تولید ظروف چینی، پارامترهای اثرگذار مختلف باعث ایجاد عیوب متنوعی در نمای ظاهری آن ظروف می‌شود؛ به طوری که کنترل کیفی در سطوح مختلف تولید، به امری مهم در جهت افزایش کیفیت و کاهش ضایعات و البته مشتری‌مداری بهتر تبدیل می‌شود. عیوب مورد بررسی در این تحقیق، شامل دفورمگی، انباشتگی لعاب، لعاب‌نگرفتگی، پین بدنه، اعوجاج لعاب، افتادگی کف، لب‌پریدگی و پایه‌پریدگی روی محصولات چینی است. با توجه به اینکه هریک از عیوب به گونه‌ای در هندسه، بافت سطح و محیط ظرف تغییر ایجاد می‌کنند، نیاز به روشی جهت داده برداری از اطلاعات سه‌بعدی ظروف است. سیستم‌های داده برداری برای کسب اطلاعات سه‌بعدی اشیاء، شامل دو گروه تماسی و غیرتماسی بوده که سیستم‌های غیرتماسی به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند. در یک سیستم غیرفعال، برای داده برداری و کسب اطلاعات سه‌بعدی از اشیاء، هیچ‌گونه منبع انرژی خارجی مانند نور لیز و یا به طور کلی تغییر صحنه سیستم بینایی، به کار گرفته نمی‌شود و از حرکات و سایه‌های سطوح یا سیستم بینایی دوگانه،

برای کسب داده‌های سه‌بعدی استفاده می‌شود. از جمله روش‌های فعال می‌توان به روش مثلث‌بندی، پالس لیزر و تداخل‌سنجی اشاره کرد [۱]. سیستم‌های غیرتماسی متعددی جهت داده برداری و ارائه تصویر سه‌بعدی از شیء وجود دارد که از میان آن‌ها دیدگاه نورپردازی ساختاریافته و استفاده از نور با الگوی تابش خطی یا مشبک، مناسب‌ترین روش برای رسیدن به هدف است. امروزه نورپردازی ساختاریافته کاربردهای فراوانی از جمله رباتیک، بازرسی، اندازه‌گیری، ثبت دیجیتال اشیاء تاریخی، سرگرمی و... دارد. تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از نور ساختاریافته برای کسب اطلاعات سه‌بعدی از اشیاء صورت گرفته است. در تحقیقات صورت گرفته، سیستمی متشکل از دوربین، نور خطی لیزر و نرم‌افزار، براساس روش مثلث‌بندی، برای کسب اطلاعات سه‌بعدی از اشیاء ارائه شده است [۲]. از تکنیک‌های مختلفی از جمله اعمال نویز، برای افزایش دقت اسکنر لیزری استفاده شده است [۳]. اندازه‌گیری‌ها در این روش، فقط وابسته به فاصله منبع نور ساختاری نبوده، بلکه به جهت خطوط تاییده شده به شیء هم بستگی دارد. بر این اساس در روشی از چند نور ساختاری با جهات متفاوت، جهت داده برداری سه‌بعدی استفاده شده است [۴]. برای بازرسی سه‌بعدی سطوح خاص، از روش نورپردازی ساختاریافته برای محاسبه موقعیت و جهات سطوح استفاده شده که آرایه‌ای از نور نقطه‌ای لیزر و بازتاب آن از سطوح، به کار گرفته شده است. با کار تجربی و آنالیزهایی که صورت گرفته، مشخص شد که برای تعیین جهت یک سطح نیاز به دو عدد دوربین است [۵] یا به محاسبه بردار نرمال سطح در نقطه مورد بررسی و مختصات همسایگی‌های همگن آن (که روش انحنای چتری نام دارد) نیاز می‌باشد [۶]. کاربرد الگویی با سطح خاکستری نزولی در یک جهت، به جای استفاده از الگوهای خطی یا نقطه‌ای، به منظور کسب عمق صحنه در هر پیکسل، بررسی شده است [۷]. در بازرسی قطعات صنعتی مختلف که به گونه‌ای تحت ارتعاش قرار می‌گیرند، بدون شک ثبت پروفیل سه‌بعدی قطعه با خطای زیادی همراه خواهد بود. بنابراین، از یک سنسور نور ساختاریافته حاوی دو یا چند عدد خط لیزر، برای ارائه اطلاعات سه‌بعدی از قطعات، بدون تأثیر ارتعاشات بر آن اطلاعات، استفاده شده است

شامل اطلاعات از بافت سطوح، هندسه و محیط ظروف کسب شده است. سپس در پردازش تصاویر با توجه به نوع عیب، تغییرات ایجادشده در مشخصه‌هایی از قبل تعیین شده از خطوط (مانند انحراف معیار ضخامت خطوط) استخراج شده و در نهایت، درجه بندی صورت گرفته است.

۲. عیوب ظروف چینی لعابی

طی فرایند تولید ظروف چینی، به دلایل متفاوتی از جمله تغییرات ولتاژ برق، عدم یکنواختی لعاب قرار گرفته روی ظروف و عدم کیفیت در تولید بیسکویت ظروف، عیوب مختلفی روی ظروف پدیدار می‌شود. به‌طور کلی، می‌توان عیوب ظروف چینی را به چهار دسته کلی و زیرمجموعه‌های آن که در جدول (۱) ارائه شده است، تقسیم‌بندی کرد [۱۲].

جدول (۱): دسته‌بندی عیوب ظروف چینی

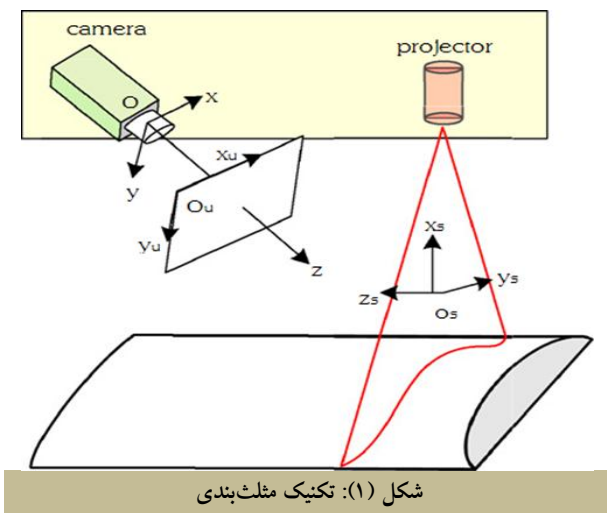
دسته	عیب	۱	۲	۳	۴
۱	تغییر در رنگ لعاب	لکه آهن	کف سفیدی	دورنگی	ترک مویی
۲	تغییر در محیط	دفورمگی	اعوجاج لبه	لب‌پریدگی	ترک ضایعات
۳	تغییر در بافت سطح	لعاب‌نگرفتگی	لب‌پریدگی	دانه خارجی	انباشتگی لعاب
۴	تغییر در هندسه	افتادگی کف	پایه پریدگی	دفورمگی	خرابی بدنه

از یک سیستم نورپردازی جهت بهره‌گیری، در صورتی که به‌علت گودی و انحنا در فرم تولیدی ظروف چینی، بخشی از ظرف دارای سایه و بخش دیگری دارای انعکاس خواهد بود. در نتیجه، نورپردازی جهت کاربردی ندارد. در تحقیقات صورت گرفته، از نورپردازی جهت برای شناسایی و ضبط عیوب اعوجاج لعاب، لعاب‌نگرفتگی و برجستگی استفاده شده است [۱۴]. الگوریتم‌های مناسب برای کاهش زمان عیب‌یابی عیوب لعاب‌نگرفتگی، برجستگی، عیوب گوشه و لب‌پریدگی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵]. برای شناسایی لعاب‌نگرفتگی، از الگوریتمی ساده پس از اعمال عملیات مورفولوژیکی روی تصویر اولیه استفاده شده است. همچنین برای شناسایی عیوب تورفتگی و برجستگی‌ها، تصویر اولیه معکوس شده و سپس از عملیات لب‌یاب و پر کردن فاصله‌ها استفاده شده است [۱۶]. برای تمایز عیوب نقطه‌ای و

[۸]. از نور ساختاریافته خطی و تکنیک مثلث‌بندی، برای شناسایی ترک‌های ایجادشده در جوش استفاده شده است [۹]. روشی برای داده برداری با تراکم بیشتر از سطوح، با استفاده از الگوی نور خطی و فرایند جابجایی خطوط که نیاز به ثبات و کالیبره کردن لیزر نیست، بررسی شده است [۱۰]. از جمله محدودیت‌های کاربرد مستقیم نور ساختاریافته این است که در مقابل سطوح با انعکاس زیاد، دارای محدودیت بوده و همچنین بازیابی اطلاعات سطوح دارای سایه امکان‌پذیر نیست. اما در نمونه‌ای از الگوها، برای حذف دو محدودیت ذکر شده، از انتشار الگوها روی سطوح استفاده شده است [۱۱]. در این تحقیق، از قابلیت انعکاس نور در ظروف چینی و همچنین اعمال قوانین آینه‌ها در سیستم ضبط تصاویر ظروف بهره گرفته شده است؛ به‌طوری‌که به‌کمک روش ابتکاری سیستم تلفیقی نورپردازی ساختاریافته و گنبدی و در نتیجه، تابش الگوهای ساختاریافته روی ظروف چینی، داده‌های

برخی از عیوب تغییردهنده رنگ و محیط ظروف توسط نویسندگان در تحقیقات قبلی [۱۳] مورد بررسی قرار گرفته و نتایج ارائه شده است. در این تحقیق، هدف استفاده از روش نوآورانه در نورپردازی تلفیقی ساختاریافته و گنبدی و همچنین الگوریتمی برای استخراج عیوب است که به‌کمک آن، عیوبی که باعث تغییر در هندسه، محیط و بافت سطح ظروف شده است، بررسی شده و در نتیجه، ظروف معیوب و غیر درجه A شناخته شده‌اند. اکثر تحقیقات در زمینه محصولات لعابی، روی محصولات کاشی سرامیک صورت گرفته است. به دلیل تفاوت اساسی که در هندسه کاشی سرامیک با ظروف چینی وجود دارد، اکثر روش‌های نورپردازی و عیب‌یابی به‌کاربرده شده در آن تحقیقات، کاربردی برای عیب‌یابی ظروف چینی ندارد؛ برای مثال، جهت شناسایی عیب لعاب‌نگرفتگی در کاشی سرامیک، می‌توان

H_s ماتریس انتقال همگن از صفحه نور به صفحه تصویر است. از فرمول (۲) برای کسب اطلاعات سه‌بعدی شیء استفاده می‌شود. برای بازرسی سطح ظروف و کنترل تغییرات ایجادشده روی آن به‌عنوان عیب، نیاز به تاباندن آرایه‌ای از خطوط روی شیء و ثبت تصویر آن است.



شکل (۱): تکنیک مثلث‌بندی

عیوب به‌شکل رینگ (لعاب‌نگرفتنگی‌ها)، از انحراف معیار شعاع عیب از مرکز ثقل آن استفاده شده است [۱۷].

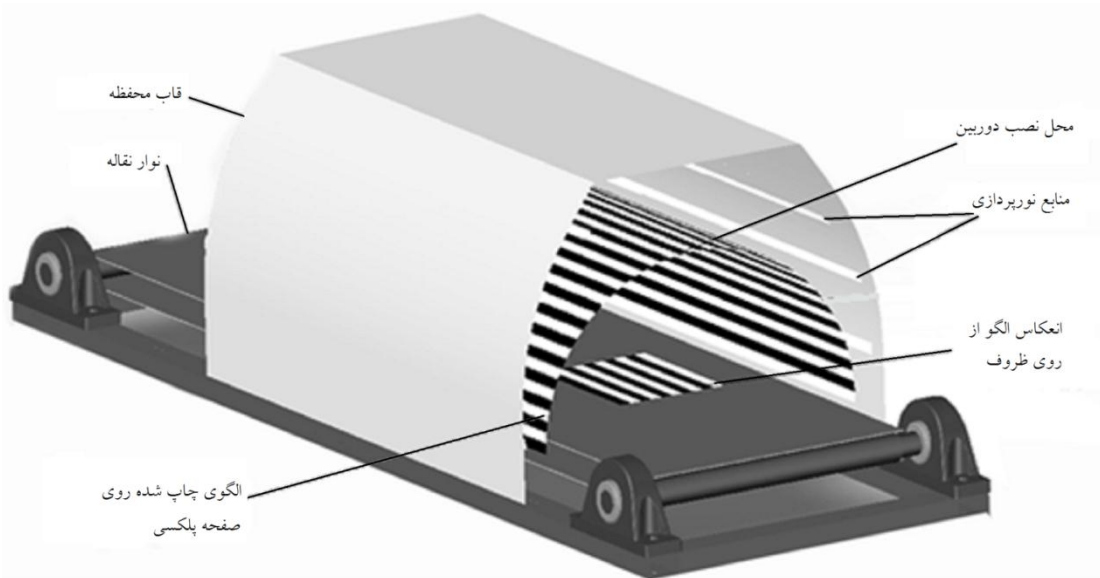
۳. اصول تکنیک مثلث‌بندی

اساس سیستم نورپردازی ساختاری در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۸]. صفحه مختصات دوربین با $Oxyz$ ، صفحه مختصات تصویر با $O_u x_u y_u$ و مختصات صفحه نور با $O_s x_s y_s z_s$ نمایش داده شده است. اگر مختصات نقطه P در صفحه نور $m_s = (x_s, y_s, 0)^T$ باشد و مختصات تصویر P در صفحه تصویر $p = (u, v, 1)^T$ باشد، طبق مدل دوربین داریم:

$$\rho \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = A(R_s \ T_s) \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

که ρ فاکتور مقیاس، A ماتریس پارامترهای درونی دوربین، R_s و T_s ماتریس چرخش و بردار انتقال از صفحه نور به صفحه دوربین هستند. فرمول (۱) را به فرم زیر می‌توان نوشت:

$$\rho \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = A(rs \ rs \ ts) \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ 1 \end{pmatrix} = H_s \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$



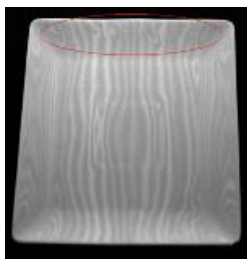
شکل (۲): نمایی شماتیک از سیستم تلفیقی نورپردازی ساختاری و گنبدی

۳. نوع سنسور مورد استفاده (یک‌بعدی یا دوبعدی)؛
 ۴. روش اسکن (تجهیزات ثابت یا متحرک)؛
 ۵. واحد تولیدکننده الگوی نوری.
- کاربرد نور ساختاریافته خطی برای کسب اطلاعات سه‌بعدی

پارامترهایی که در تکنیک مثلث‌بندی، علت اختلاف در ساختار مثلث‌بندی نورد، عبارت‌اند از [۱۹]:

۱. نوع اپتیک به‌کاررفته در سیستم؛
۲. الگوی نورپردازی؛

در روش هدف این تحقیق الگوی ساختاریافته خطی به صورت نوارهای تیره و روشن و روی یک صفحه از جنس پلکسی مات، چاپ شده‌اند و تحت سیستم نورپردازی شکل (۲)، روی ظروف تابانده می‌شوند (با توجه به شکل ۲، به دلیل قرارگیری سیستم در داخل محفظه مربوط، نورپردازی محیط بر نورپردازی سیستم تأثیر نخواهد داشت). بنابراین، ظروف در مقابل الگو به صورت آینه عمل کرده و بازتاب آن خطوط در صفحه سنسور دوربین، تشکیل تصویر می‌دهد. با توجه به [۱۰] و نتایج موجود در گزارش، با انتخاب ضخامت‌ها و شدت نورهای مختلف، مراحل چندین بار تکرار شده است تا نتایج الگوریتم درجه‌بندی پیشنهادی با نتایج و استانداردهای کارخانه چینی تقدیس همخوانی بهتر داشته و کمترین میزان خطا حاصل شود. که در نتیجه آزمایش‌ها مشخص شد پهنای خطوط تیره و روشن موثرترین پارامتر بوده و با آزمون و خطا روی چندین ظرف، پهنای بهینه به دست آمده است. شایان ذکر است که تمام ظروف قبل از ورود به سیستم نورپردازی، تمیز می‌شوند. لذا در خط تولید، قبل از ورود ظروف به سیستم درجه‌بندی، همه ظروف از یک تونل شست‌شو و خشک‌کن عبور داده می‌شوند. هر یک از عیوب روی ظروف که باعث تغییر در بافت سطح و هندسه ظرف شده است، مانند یک آینه عمل می‌کنند. رفتار عیوب در مقابل الگوی تابیده شده، در بخش بعد به تفصیل ارائه شده است. ظرف نشان‌داده شده در شکل (۴-ب)، همان ظرف شکل (۴-الف) را تحت نورپردازی هدف مقاله نشان می‌دهد که عیب اعوجاج لعاب در وسط محدوده لبه بالا نمایان شده است.



ب



الف

شکل (۴): الف. استفاده از نورپردازی ساختاریافته به کمک لیزر؛

ب. استفاده از نورپردازی ساختاری به کمک سیستم تلفیقی از نورپردازی

ساختاری و گنبدی

از هندسه انواع متفاوت ظروف چینی و همچنین در شرایط نورپردازی معمولی محیط کارخانه، با نواقصی همراه خواهد بود که تأثیر آن‌ها بر نتایج نهایی غیرقابل اغماض است. از جمله نواقص ناشی از شرایط ذکر شده، می‌توان به وجود سایه در قسمتی از شیء نشان‌داده شده در شکل (۳-الف) و همچنین وجود انعکاس در قسمتی از شیء نشان‌داده شده در شکل (۳-ب) اشاره کرد [۱۱].



ب



الف

شکل (۳): نواقص ناشی از کاربرد نور ساختاریافته در شرایط معمول محیط. (الف. وجود سایه در قسمتی از شیء؛ ب. وجود انعکاس در قسمتی از شیء)

در این بخش از تحقیق، برای حذف نواقص موجود در سیستم‌های نورپردازی ساختاریافته، تلفیقی از تکنیک نورپردازی ساختاریافته و روش نورپردازی گنبدی به کار گرفته شده و همچنین از خاصیت انعکاس تصویر خطوط ساختاریافته از سطح ظروف (مشابه آینه‌ها و قوانین حاکم بر آن‌ها) بهره گرفته شده است. نمایی شماتیک از سیستم مذکور در شکل (۲) ارائه شده است. شکل (۴) تصاویر گرفته شده از ظرف دارای عیب اعوجاج لعاب را نشان می‌دهد. به هنگام استفاده از نور لیزر برای تاباندن الگوی خطی روی ظروف، عیوب نمایان نمی‌شوند. از جمله دلایل این امر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

محدودیت در تنظیم زاویه لیزر، نیاز به رزولوشن بالای نور و دوربین، براق بودن سطح ظروف، عدم امکان تاباندن خطوط با ضخامت کمتر از عیوب کوچکی مانند لعاب‌نگرفتگی نقطه‌ای و تهیه تصویر از آن، ماهیت هم‌دوس بودن پرتوهای نور لیزر و ایجاد تغییرات جزئی در هندسه و سطح ظروف معیوب. شکل (۴-الف)، ظرف دارای عیب اعوجاج لعاب را نشان می‌دهد که به علت استفاده از نور لیزر برای تاباندن الگوی خطوط روی ظرف، عیب اعوجاج لعاب نمایان نشده است.

۴. درجه‌بندی ظروف

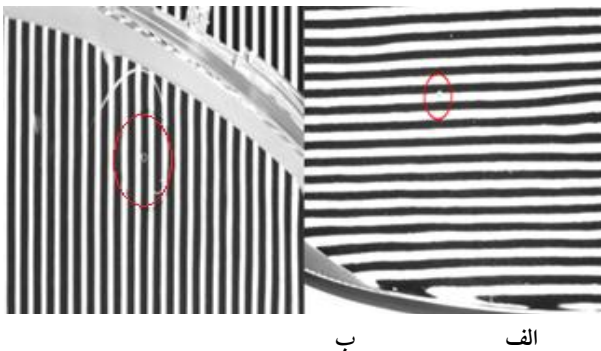
از آنجاکه جدول درجه‌بندی موجود در واحد درجه‌بندی کارخانه، به‌عنوان مرجع جهت نیروی انسانی تعریف شده، تعریفی کیفی و توصیفی از عیوب برای تعیین درجه ظروف براساس آن عیوب، صورت گرفته است. بنابراین برای شناسایی عیوب و تعیین درجه ظروف توسط رایانه، لازم است برای هر یک از درجه‌ها، محدوده عیوب از حالت کیفی به شاخص‌های کمی تبدیل شود. برای تعریف کمی هر عیب، تعداد متعددی از ظروف که درجه آن‌ها توسط اپراتورهای مختلف تشخیص داده شده، مورد پردازش تصویر قرار گرفته و در نهایت، شاخص‌های کمی آن عیب استخراج شده است. سپس این فرایند برای تمام درجه‌ها انجام شده و در نتیجه، برای هر درجه از هر عیب، یک تعریف عددی مشخص به‌دست آمده است. در جدول (۲)، تعریفی عددی از هر یک از عیوب و درجه‌های مربوط به آن ارائه شده است [۱۲]. در ادامه، پارامترهای موجود در جدول شرح داده خواهند شد. برای کمی‌سازی هر عیب ذکرشده در جدول (۲) (کالیبره‌کردن سیستم)، از ۳۰۰ ظرف درجه‌بندی‌شده توسط ۳ اپراتور استفاده شده و در نهایت، مورد تأیید واحد کنترل کیفی کارخانه قرار گرفته است. در این جدول، عیوب خارج از محدوده B1، در درجه C قرار خواهند گرفت.

جدول (۲): تعریف عیوب به‌صورت عددی برای هر درجه

درجه عیب	واحد سنجش	A	A1	B	B1
افتادگی کف	انحراف معیار	$S=14$	$14 < S \leq 15$	$15 < S \leq 16$	$16 \leq S$
لعاب‌نگرفتنی	مساحت [mm ²]	$A=0$	$0 < A \leq 2$	$2 < A \leq 6$	$6 < A \leq 10$
دانه خارجی	مساحت [mm ²]	$A=0$	$0 < A \leq 3$	$3 < A \leq 8$	$8 < A \leq 11$
انباشتنی لعاب	انحراف معیار	$S=30$	$30 < S \leq 32$	$32 < S \leq 36$	$36 \leq S$
دفورمگی	انحراف معیار	$S=2$	$2 < S \leq 4$	$4 < S \leq 6$	$6 < S \leq 10$
لب‌پریدگی	طول [mm]	$L \leq 2$	$2 < L \leq 4$	$4 < L \leq 7$	$7 < L \leq 10$

۴.۱. بررسی عیوب تحت تابش الگوی ساختاریافته

طی انعکاس هریک از خطوط تیره و روشن روی ظروف چینی، خطوط متناسب با فرم تولیدی ظروف در صفحه سنسور دوربین، تشکیل تصویر خواهند داد. هریک از عیوب موجود روی ظروف باعث تغییر در شکل ظاهری خطوط تابیده‌شده روی ظروف می‌شوند. در تحقیق صورت گرفته روی یک قطعه شفاف با فرم سطح غیر تخت، از نور ساختاریافته برای عیب‌یابی سطوح قطعه استفاده شده که عیوب نقطه‌ای به‌صورت نقاطی با رنگ متفاوت از رنگ خط تابیده‌شده روی عیب، در تصویر نمایان گردیده است. شکل (۵) تصویر قطعه دارای عیب را نشان می‌دهد [۲۰].



شکل (۵): الف و ب. تصویر قطعه شفاف با عیوب نقطه‌ای تحت نورپردازی ساختاریافته

براساس انحراف خطوط تابیده‌شده روی ظروف، نوع عیب تأثیر زیادی بر پارامترهای نحوه انحراف، دفورمگی، انباشتنی، پراکندگی، تحذب، تقعر، پهن و باریک شدن خطوط دارد؛ به‌طوری که هریک از عیوب، بر تعدادی مشخص از پارامترهای ذکرشده تأثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان با بررسی پارامترهای ذکرشده در تصاویر ظروف، نوع عیب را شناسایی کرد. در شکل‌های (۶) تا (۸)، تصاویر مربوط به برخی از عیوب تحت نورپردازی ساختاریافته و نور معمولی ارائه شده است. تمام مراحل درجه‌بندی براساس عیوب پشت ظروف، به همان ترتیب عیوب داخل ظروف است با این تفاوت که شاخص عددی تعریف‌شده در جدول درجه‌بندی براساس عیوب پشت ظروف، بازه وسیع‌تری از عیب را دربرمی‌گیرد (هر عیب درجه اهمیت کمتری دارد). همچنین، به‌هنگام بررسی پشت ظروف، به‌علت تحذب ظروف، سیستم نورپردازی هدف تحقیق تمام بخش‌های

۴.۲. پردازش تصاویر و الگوریتم‌های درجه‌بندی

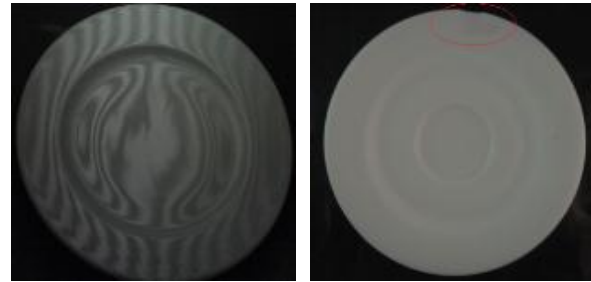
در این تحقیق، برای پردازش تصاویر، از نرم‌افزار IMAQ استفاده شده است. اولین گام در فرایند پردازش تصویر، نویزگیری و تقویت تصاویر است. سپس با اعمال عملگرهای متفاوت روی تصاویر، عیوب ذکرشده در جدول (۲) شناسایی می‌شوند و در نهایت براساس جدول (۲)، توسط نرم‌افزار پردازش تصویر، برای هر یک از عیوب یک مشخصه کنتریلی برای درجه‌بندی ظروف تعیین می‌شود. نکته بسیار مهم در تعیین درجه ظروف، چگونگی درجه‌بندی ظروف به‌هنگام وجود چند عیب متفاوت روی آن ظروف است. در این حالت، درجه‌بندی براساس آن عیبی که ظرف را در درجه پایین‌تری قرار می‌دهد، صورت می‌گیرد.

ابتدا باید همه عیوب بررسی شوند و سپس درجه ظروف براساس آن عیوب تعیین شود و در نهایت، پایین‌ترین درجه برای ظرف انتخاب گردد [۱۲]. افتادگی کف در دسته عیوب تأثیرگذار بر هندسه ظروف قرار می‌گیرد و این عیب به دلیل انبساط و انقباض‌های ایجادشده به‌هنگام پخت ظروف درون کوره و همچنین ابعاد بزرگ پایه ظروف ایجاد می‌شود. در بررسی صورت‌گرفته روی ۴۸۰۰۰ ظرف در ۵ شیفت از یک ماه کاری، مشخص شد عیب افتادگی کف فقط در ظروف گرد با قطر بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، عیب مذکور در تمام انواع ظروف ظاهر نمی‌شود. به دلیل انجام فرایند درجه‌بندی بعد از پخت کامل لعاب و قبل از چاپ نقش روی آن‌ها، ظروف دارای سطحی سفید کاملاً براق‌اند. بنابراین، ظروف در مقابل الگوهای تابیده‌شده روی آن‌ها، از قوانین آینه‌ها تبعیت می‌کنند. عیب افتادگی کف به‌صورت گودی در محدوده داخلی ظرف نمایان می‌شود و بخش زیادی از ظرف را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ در نتیجه، مانند یک آینه مقعر بزرگ عمل می‌کند و الگو در محدوده بین نقطه کانونی و آینه قرار می‌گیرد. این امر باعث پهن شدن خطوط و افزایش فاصله بین آن‌ها می‌شود.

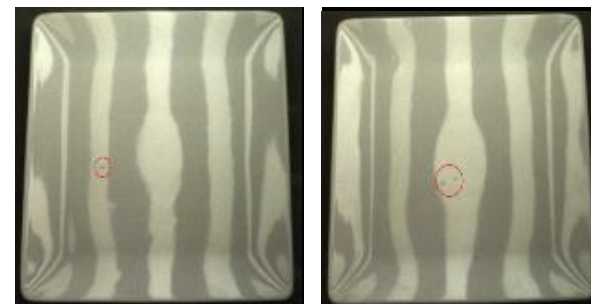
در شکل (۹)، ظرف درجه A تحت تابش الگوی خطی و همچنین در شکل (۱۰) ظرف دارای عیب افتادگی کف تحت تابش الگوی خطی، ارائه شده است. در تحقیق صورت‌گرفته

پشت ظروف را پوشش نخواهد داد. بنابراین، از دو عدد دوربین نصب‌شده در دو طرف تونل نورپردازی استفاده می‌شود تا تصاویر مورد نیاز کسب گردد.

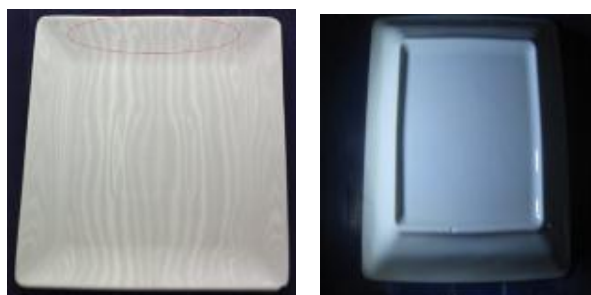
از مزایای استفاده از بینایی استریو (دو دوربین) که در این تحقیق استفاده شده، این است که دوربین دوم مناطقی را که در میدان دید دوربین اول نیست، پوشش می‌دهد.



شکل (۶): الف. تصویر ظرف دارای عیب لب‌پریدگی؛ ب. تصویر ظرف دارای عیب افتادگی کف



شکل (۷): الف. تصویر ظرف با وجود عیب دانه خارجی؛ ب. تصویر ظرف با وجود عیب لعاب‌نگرفتگی

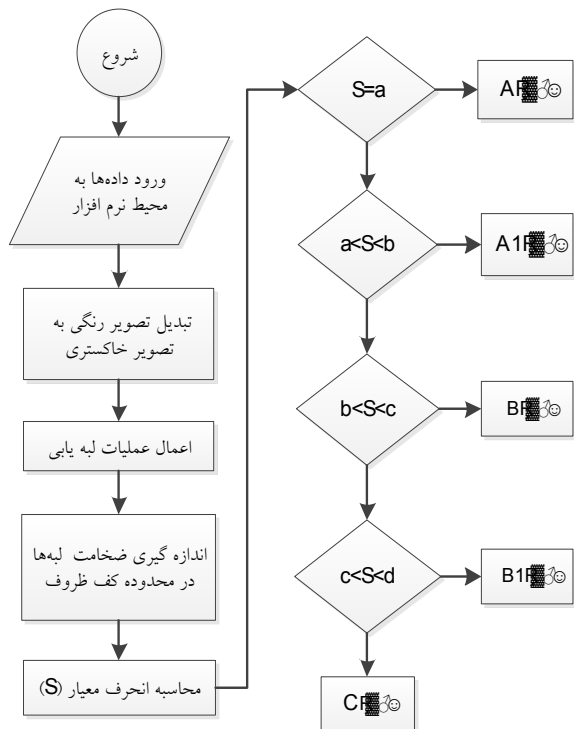


شکل (۸): الف. تصویر ظرف با وجود عیب پایه‌پریدگی؛ ب. تصویر ظرف با وجود عیب اعوجاج لعاب

$$\bar{x} = \frac{\sum_{m=0}^n F_m}{n} \quad (۴)$$

به طوری که S برابر انحراف معیار، n برابر تعداد خطوط در جهت X، Fm برابر گام خطوط تیره و روشن در موقعیت m و \bar{x} برابر میانگین فاصله‌های به دست آمده است.

الگوریتم درجه‌بندی براساس عیب افتادگی کف در شکل (۱۱) ارائه شده است. برای بررسی تأثیر الگوریتم در محاسبه اندازه عیوب، برنامه‌های نرم‌افزاری براساس چند الگوریتم تهیه شده و با درجه‌بندی تعدادی ظرف با درجه و عیب مشخص، هر الگوریتم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس سرعت و درصد خطای هر الگوریتم مشخص گردیده و در نهایت، الگوریتم مناسب انتخاب شده است؛ جداول ارائه شده در نتایج، نشان از صحت قابل قبول الگوریتم منتخب دارد. همچنین برای افزایش سرعت سیستم از دو دوربین و عبور یک مرحله‌ای ظرف از مقابل آن استفاده شده است تا بتوان در یک مرحله عبور ظرف، اسکنی از کل آن استخراج کرد و از طرفی با پردازش آن دو تصویر، عیوب افتادگی کف، دفورمگی، پین‌هول و دانه خارجی با عبور یک مرحله‌ای از دستگاه استخراج می‌شوند.



شکل (۱۱): الگوریتم درجه‌بندی براساس عیب افتادگی کف

توسط مولدا و همکارانش روی فرایند نورد ورق، برای شناسایی عیب عدم تختی، روی محصول تولیدی، از روش نورپردازی ساختاریافته استفاده شده و برای تعیین معیار عیب، از اختلاف ارتفاع پروفیل خطوط تابیده شده نسبت به یک ارتفاع مرجع، استفاده شده است [۲۱].



شکل (۹): تصویر ظرف بدون وجود عیب افتادگی کف



شکل (۱۰): تصویر ظرف با وجود عیب افتادگی کف

در این تحقیق، برای تعیین مشخصه عیب و تعیین درجه مربوط به آن، از انحراف معیار ضخامت لبه خطوط بازتاب شده، در مرکز تصویر استفاده شده است. سپس طبق فرمول (۳)، با مقایسه عدد به دست آمده و عدد انحراف معیار مربوط به ظرف مرجع، درجه ظرف تعیین می‌شود.

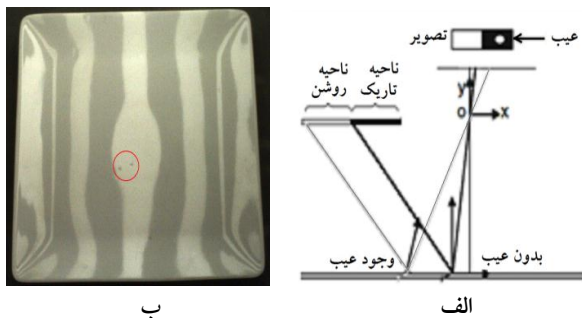
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^n (F_m - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (۳)$$



شکل (۱۳): تصویر ظرف با وجود عیب دفورمگی

برای شناسایی عیب انباشتگی و اعوجاج لعاب، از الگوریتم به کار گرفته شده در عیب دفورمگی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داده است که عیب اعوجاج لعاب محدوده‌ای بین ۵ تا ۲۰ درصد از سطح ظروف را دربرمی‌گیرد (شکل ۸-ب). بنابراین به محاسبه انحراف معیار ضخامت لبه خطوط بازتاب شده در هر ۰/۲ از طول ظرف نیاز است.

عیب دیگر مورد بررسی در این تحقیق، عیب لعاب‌نگرفتگی است. عیب لعاب‌نگرفتگی از جمله عیوب تأثیرگذار بر بافت سطح ظروف است. در تحقیق صورت گرفته توسط بوکوالاس و همکارانش در زمینه کاشی سرامیک، برای نورپردازی و تصویرگیری از محصولات دارای عیوب لعاب‌نگرفتگی و برجستگی‌های سطوح، از سیستم نورپردازی جهتی بهره گرفته شده است [۱۴]. فرایند درجه‌بندی براساس جدول (۲) شامل عیب پین‌هول نیز است؛ این عیب در زیرمجموعه عیب لعاب‌نگرفتگی قرار می‌گیرد. شکل (۱۴) تصویر ظرف شامل عیب پین‌هول را تحت سیستم نورپردازی ساختاریافته و همچنین قاعده کلی رفتار این عیب با نور ساختاریافته را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): الف. تصویر ظرف شامل عیب پین‌هول؛ ب. قاعده کلی رفتار عیب پین‌هول و دانه خارجی با نور ساختاریافته

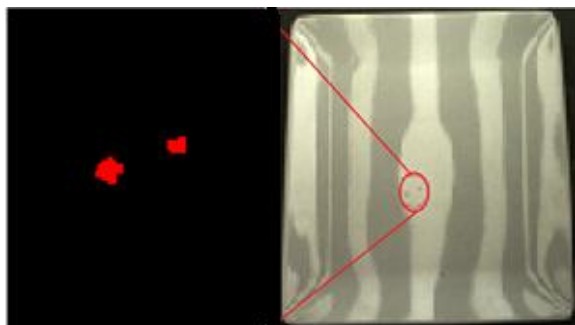
عیب دفورمگی از دیگر عیوب موجود روی ظروف چینی بوده که باعث تغییر در هندسه و محیط ظروف می‌شود. نویسندگان عیب دفورمگی روی ظروف گرد با قطر ۱۵ سانتی‌متر را در تحقیقات قبلی بررسی کرده‌اند. در بررسی صورت گرفته روی ۶۰۰۰۰ ظرف از ۴۰ نوع متفاوت، مشخص شد که در ۱۵ درصد از انواع ظروف دارای عیب دفورمگی، تغییراتی روی محیط آن‌ها ایجاد نمی‌شود. بنابراین روش ارائه شده در [۱۳] جواب‌گو برای تمام انواع ظروف نیست.

در این تحقیق، برای شناسایی عیب دفورمگی روی ظروف مربعی، از روش انعکاس الگوی ساختاریافته استفاده شده است. الگوریتم عیب‌یابی برای عیب دفورمگی مشابه الگوریتم ارائه شده برای عیب افتادگی کف بوده با این تفاوت که انحراف معیار فاصله لبه خطوط تیره و روشن در محدوده لبه ظروف به دست می‌آید. با توجه به اینکه مکانیزم شناسایی دفورمگی لبه ظروف، شامل مراحل تهیه تصویر از ظروف تحت سیستم نورپردازی هدف تحقیق، محاسبه انحراف معیار لبه خطوط تابیده شده روی ظروف و در نهایت، مقایسه انحراف معیار به دست آمده با انحراف معیار ظرف مرجع است، برای استخراج این عیب از همان روش شناسایی عیب افتادگی کف استفاده شده است.

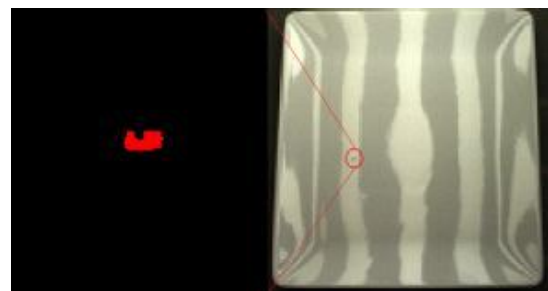
در شکل (۱۲) ظرف درجه A (از نظر عیب دفورمگی) تحت تابش الگوی خطی و همچنین در شکل (۱۳) ظرف دارای عیب ارائه شده است.



شکل (۱۲): تصویر ظرف بدون وجود عیب دفورمگی



شکل (۱۶): تصویر ظرف شامل عیب پین هول



شکل (۱۷): تصویر ظرف شامل عیب دانه خارجی

در جدول (۳) خطای الگوریتم شکل (۱۵)، در بررسی صورت گرفته روی ۱۰۰۰ ظرف ارائه شده است.

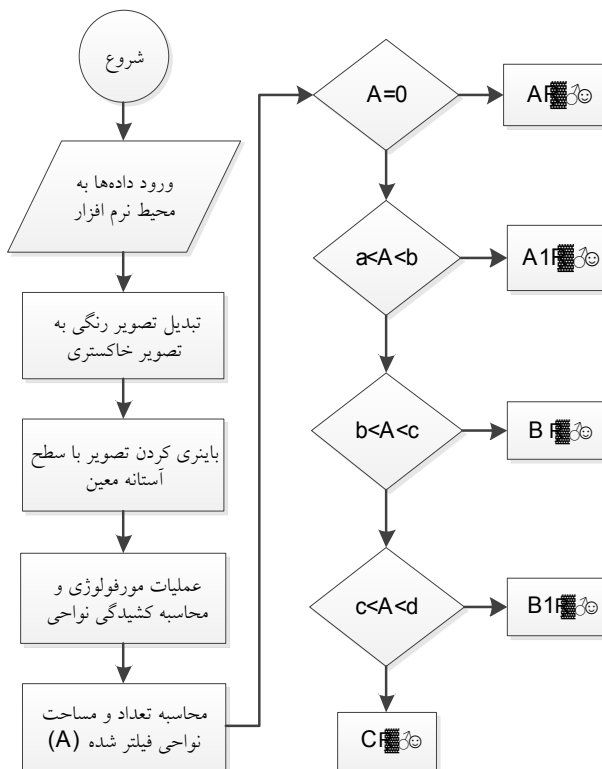
جدول (۳): خطای الگوریتم تشخیص عیب پین هول

عیب حقیقی	عیب پین هول	دانه خارجی
عیب تشخیص داده شده	۵۹۰	۷
پین هول	۱۸	۳۸۵
دانه خارجی	۹۷/۰۳	۹۸/۲۱
صحت	۹۷/۰۳	۹۷/۵

۵. نتایج

برای ارزیابی هریک از الگوریتم‌های ارائه شده در این تحقیق، از تعداد ۶۰۰ عدد از ظروف چینی استفاده شده و نتایج حاصل از درجه‌بندی و مقایسه آن‌ها با درجه حقیقی ظروف در جداول (۴) تا (۷) ارائه شده است. در بررسی‌های صورت گرفته در ۱۰ شیفت کاری در طول سه ماه، مشخص شد تعدادی از عیوب در طول سال به صورت مستمر وجود دارد. از جمله آن عیوب می‌توان به عیب دانه خارجی، پین هول و انباشتگی لعاب اشاره کرد. همچنین گروه دیگری از عیوب در بازه زمانی خاصی ایجاد می‌شوند. عیب

الگوریتم درجه‌بندی براساس عیب لعاب‌نگرفتگی در شکل (۱۵) و همچنین تصاویر اولیه و پردازش شده مربوط در شکل (۱۶) و (۱۷) ارائه شده است.



شکل (۱۵): الگوریتم درجه‌بندی براساس عیب پین هول

رفتار دو عیب پین هول و دانه خارجی تحت سیستم نورپردازی هدف تحقیق طبق شکل (۱۴-ب) است. بنابراین برای درجه‌بندی ظروف براساس این دو عیب، نیاز به تمایز آن‌ها از یکدیگر است. در این تحقیق، برای تمایز دو عیب از ویژگی کشیدگی شکل، طبق فرمول (۵) استفاده شده است؛ به طوری که W برابر با پهنا و L طول شیء است.

$$E = 1 - \left(\frac{W}{L}\right) \quad (5)$$

در تحقیق صورت گرفته در زمینه عیب‌یابی سطوح ورق‌های فلزی، برای تصویرگیری از محصول شامل عیب، از نورپردازی ساختاریافته بهره گرفته شده است. در آن تحقیق، برای شناسایی عیوب برجستگی روی سطوح ورق‌ها، فرایند تبدیل فوریه روی تصاویر اعمال شده و در نتیجه آن، عیوب به صورت محدوده‌ای تیره در تصویر نمایان شده‌اند [۲۲].

جدول (۶): درصد صحت درجه بندی عیب لعاب نگر فنگی

درجه حقیقی	A	A1	B	B1	C
تعداد ظروف	(۱۰۶)	(۱۵۲)	(۱۲۱)	(۱۰۰)	(۱۲۱)
درجه تشخیص داده شده	A	۱۰۰			
	A1	۶	۱۵۰		
	B		۲	۱۲۰	
	B1			۱	۱۰۰
	C				
درصد تشخیص	۹۴/۳۳	۹۸/۶۸	۹۹/۱۷	۱۰۰	۱۰۰
دقت کل	۹۸/۵ %				

جدول (۷): درصد صحت درجه بندی عیب دانه خارجی

درجه حقیقی	A	A1	B	B1	C
تعداد ظروف	(۱۵۴)	(۱۰۳)	(۶۶)	(۵۷)	(۷۰)
درجه تشخیص داده شده	A	۱۵۰			
	A1	۴	۱۰۰		
	B		۲	۶۵	
	B1			۱	۵۵
	C				
درصد تشخیص	۹۷/۴۰	۹۷/۰۸	۹۸/۴۸	۹۶/۴۹	۱۰۰
دقت کل	۹۷/۷ %				

۶. نتیجه گیری

نتایج بررسی های صوت گرفته روی تعداد مشخصی از ظروف، نشان می دهد که الگوریتم های ارائه شده در این تحقیق، صحت کافی دارد. همچنین با توجه به نرخ تولید کارخانه که در هر ۳ ثانیه یک ظرف درجه بندی می شود، سرعت الگوریتم ها هم جواب گوی استفاده از سیستم بینایی در فرایند اتوماسیون درجه بندی ظروف هستند. در تعریف کمی عیوب برای معرفی آنها به رایانه، این امکان وجود دارد که محدوده عددی هر یک از عیوب به گونه ای تعیین گردد که درصدی از ظروف که با خطا درجه بندی شده اند، در درجه ای پایین تر از درجه حقیقی قرار گیرند تا در نتیجه آن، خطای سیستم باعث تأثیر منفی بر کیفیت و استاندارد درجه بندی

دفورمگی از جمله عیوبی است که به صورت دوره ای، روی ظروف ظاهر می شود. در نتیجه، زمان انتخاب تصادفی ظروف از خط تولید، بر نتایج عملکرد و درصد موفقیت الگوریتم ها موثر است. بنابراین از ظروفی که درجه آن ها و علت قرارگیری در آن درجه مشخص بوده، استفاده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جداول زیر، صحت شناسایی هر عیب موجود در ظروف توسط الگوریتم سیستم بینایی، تا حد زیادی متأثر از محدوده و شدت عیب است؛ به طوری که هر چه عیب محدوده وسیع تری از ظروف را دربرگیرد، شناسایی عیوب دقیق تر بوده و خطای کلی الگوریتم کمتر خواهد بود. در نتیجه، بیشترین خطا در ظروفی اتفاق افتاده که عیب با شدت کمتری دارند؛ این موضوع نشان از صحت الگوریتم ها دارد.

جدول (۴): درصد صحت درجه بندی عیب افتادگی کف

درجه حقیقی	A	A1	B	B1	C
تعداد ظروف	(۱۵۲)	(۱۰۸)	(۹۷)	(۱۳۵)	(۱۰۸)
درجه تشخیص داده شده	A	۱۴۵	۱		
	A1	۶	۱۰۴		
	B		۳	۹۴	
	B1			۳	۱۳۵
	C				
درصد تشخیص	۹۵/۳۹	۹۶/۲۹	۹۶/۹۰	۱۰۰	۱۰۰
دقت کل	۹۷/۶۶ %				

جدول (۵): درصد صحت درجه بندی عیب دفورمگی

درجه حقیقی	A	A1	B	B1	C
تعداد ظروف	(۱۵۹)	(۱۴۶)	(۱۱۵)	(۱۰۰)	(۸۰)
درجه تشخیص داده شده	A	۱۵۰	۱		
	A1	۹	۱۴۰		
	B		۵	۱۱۲	
	B1			۳	۱۰۰
	C				
درصد تشخیص	۹۴/۳۳	۹۵/۸۹	۹۷/۳۹	۱۰۰	۱۰۰
دقت کل	۹۷ %				

از همه آن‌ها متشکریم. همچنین از جناب مهندس بهبهانی و تمام پرسنل کارخانه چینی تقدیس شهرستان گناباد که در این تحقیق به ما کمک کرده‌اند، سپاسگزاریم.

ظروف ارائه‌شده به مشتری نداشته باشد. این موضوع در نتایج ارائه‌شده در جداول (۴) تا (۷) قابل مشاهده است.

سپاسگزاری

افراد بسیاری در به ثمر رساندن این مقاله به ما کمک کرده‌اند که

مراجع

- [1] Bi, Z. M., Wang, L., "Advances in 3D data acquisition and processing for industrial applications" Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 26, No. 26, pp. 403-413, 2010.
- [2] Francesco, I., Francesca, O., Alessandro, V., "An open system for 3D data acquisition from multiple sensor", The 7th International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception, pp. 52-57, 2005.
- [3] Khalili, K., Khatibi, S., Emam, S. M., "Improving the accuracy of laser scanning using dithering technique and simultaneous laser and camera calibration" Modares Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 79-92, 2013.
- [4] Tatsuya, O., Yoshihiro, Y., Masahiko, F., "Shape data registration based on structured light pattern direction the International Conference on Machine Automation", ICMA2008, pp. 223-228, 2008.
- [5] Arthur, C., Shree, K., "Structured highlight inspection of specular surfaces" Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligent, Vol. 10, No. 1, pp. 44-55, 1998.
- [6] Foorginejad, A., Khalil, K., "Point clouds curvature estimation using umbrella curvature" Modares Mechanical Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 227-235, 2015.
- [7] Savarese, S., Bouguet, JY., Perona, P., "3D depth recovery with grayscale structured lighting" California, 2000.
- [8] Rubén, U., Julio, M., Daniel, F., "Structured-light sensor using two laser stripes for 3D reconstruction without vibrations", Sensors, Vol. 14, No. 11, pp. 20041-20063, 2014
- [9] Zhigang, Qu., Abdeldjalil, B., Cem, S., Tat-Hean, G., "Development of a laser-based weld flaw identification system" Brunel Innovation Centre, 2013.
- [10] Jens, G., "Dense 3-D surface acquisition by structured light using off-the-shelf components", Conference on, Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement, 2000.
- [11] Shree, K., Mohit, G., "Diffuse structured light", 2012 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP), pp. 1-18, 2012.
- [12] Hosseininia, SJ., Emam, SM., Foorginejad, A., "Feasibility of porcelain sorting using image processing" Gilan, Iran, 2015.
- [13] Boukouvalas, C., Kittler, J., Marik, R., Mirmehdi, M., Petrou, M., "Ceramic tile inspection for color and structural defects", Technical Report, University of Bristol Bristol, UK, 1995.
- [14] Atiqur Rahaman, G. M., Mobarak Hossain. Md., "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, pp. 22-30, 2009.
- [15] Elbehriy, H., Hefna, wy., Elewa, M., "Surface defects detection for ceramic tiles using image processing and morphological techniques" International Journal of Computer, Information, Systems and Control Engineering, Vol. 1, No.5, pp. 1487-1491, 2007.
- [16] Utkarsh, B., Ruchika, C., "Ceramic tile's surface quality estimation using image processing techniques" International Journal of Applied Engineering and Technology, Vol. 4, No. 2, pp. 48-52, 2014.
- [17] Zhen, L., Junhua, S., Heng, W., Guangjun, Z., "Simple and fast rail wear measurement method based on structured light" Optics and Lasers in Engineering, Vol. 49, No. 10, pp. 1343-1351, 2011.
- [18] Khalili, K., Emam, S. M., "3D model reconstruction of web production with image processing techniques" Birjand, Iran, 2009.
- [19] Satorres, S., Gómez Ortega, J., Gámez García, J., Sánchez García, A., "A machine vision system for defect characterization on transparent parts with non-plane surfaces" Machine Vision and Applications, Vol. 23, No. 1, pp. 1-13, 2010.
- [20] Molleda, J., Usamentiaga, R., García, F., "On-line flatness measurement in the steelmaking industry" Sensors, Vol. 13, No. 8, pp. 10245-10272, 2013.
- [21] Sarosi, Z., Kunz, W. A., Wegene, K., "Detection of surface defects on sheet metal parts using one-shot deflectometry in the infrared range" Switzerland, 2011.

[۱۲] گزارش برنامه‌ریزی کنترل کیفی سیستم درجه‌بندی، کارخانه چینی تقدیس،

حوزه تخصصی کنترل کیفیت، شماره فرم طرح ۰۰-۰۹۳-FR-۱۳۹۳.