تشخیص عیب لکه در سطوح رنگی متالیک ماشین‌های کشاورزی با استفاده از سامانه بینایی ماشین

جلال الدین قضاوتی[1*]، هادی آذرم[2]، مهدی عباسقلی پور[3]، ابولفضل لطفی اسکی[4] و محمد ملکیان[5]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بناب، ایران Ghezavati905@gmail.com
۳- استادیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب
۴،۲و۵- دانش آموخته ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب

چکیده

سطوح رنگ متالیک دارای عیوبی همچون لکه، شره، لکه آب، پوست پرتقالی شدن و غیره می‌باشد که تشخیص و شناسایی این عیوب به صورت خودکار در خط تولید کارخانه های تولید کننده ماشین‌های کشاورزی و خودروها، بازرسی سطوح رنگی را تسهیل و با دقت بالایی امکان پذیر خواهد کرد. در این تحقیق تشخیص عیب لکه با استفاده از سامانه بینایی ماشین مورد بررسی قرار گرفته است. در سامانه طراحی شده ابتدا تصویر با یک سامانه نورپردازی دارای ساختار و دوربین دیجیتالی تهیه شد، سپس الگوریتمی برای پردازش تصویر و تشخیص عیب لکه طراحی گردید. در الگوریتم پیشنهادی تشخیص عیب لکه شامل مجموعه‌ای از توابع ریخت‌شناسی بود، به طوری‌که بعد از پیاده سازی الگوریتم، درصد خطای آن ۶/۰۶ درصد برآورد گردید.

کلمات کلیدی: بینایی ماشین، پردازش تصویر، تشخیص عیوب رنگی سطوح متالیک، لکه، ریخت‌شناسی

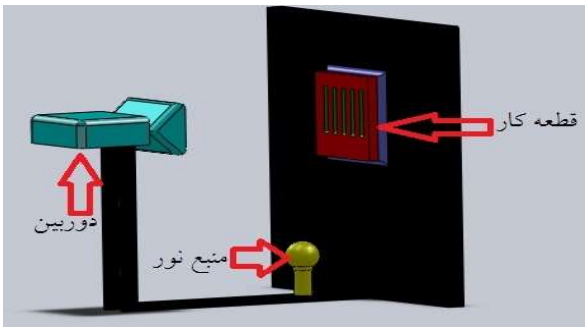
مقدمه

از سامانه‌های رنگی که جهت رنگ آمیزی سطوح متالیک استفاده می شود، می توان به قلموهای ساده رنگزنی و سامانه‌های اتاق پاشش رنگ که در کارخانجات بزرگ خودروسازی جهان قرار دارند اشاره کرد. بر حسب نوع سامانه رنگزنی عیوب مختلفی می‌تواند برروی سطوح متالیک ایجاد گردد که این عیوب باتوجه به نوع سامانه رنگزنی، درصد مواد حل‌کننده، فشار سامانه وغیره متفاوت می‌باشد. بدنه بعد از انجام مراحل مختلف وارد اتاقک رنگ شده و عملیات رنگ‌پاشی انجام می‌گیرد، بعد از پایان عملیات و خشک شدن رنگ، خودرو وارد دالانی شده که روشنایی آن توسط لامپ‌های فلورسنت تامین می‌شود. در این قسمت کارشناسانی هستند که با دقت سطوح را بازرسی کرده و در صورتی‌که سطوح بدنه دارای عیب‌هایی مانند لکه کردن، پوست پرتقالی شدن، خراش های سنباده زنی، تیره شدن، لکه و غیره باشد، عیوب را شناسایی و بدنه را از پروسه خط تولید خارج می کنند. با مکانیزه‌تر شدن تولید محصولات و افزایش حجم تولیدات و در نتیجه لزوم کاهش زمان کنترل کیفیت، استفاده از روش‌های کنترل کیفیت غیر تماسی و غیر مخرب که امکان کنترل تمامی قطعات را فراهم می‌کند بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. لزوم به کارگیری روش‌های کنترل کیفی جدید، کنترل کیفیت به کمک پردازش تصویر را به دلیل توانایی‌های منحصر به فرد آن نمایان‌تر می‌گرداند. کنترل

کیفیت به کمک بینایی ماشین دارای مزیت‌هایی از جمله برخورداری از سرعت بسیار بالا نسبت به روش‌های غیر تماسی و غیر مخرب بودن و انعطاف پذیری بسیار بالا می‌باشد (Khalili *et al.*, 2006). در تحقیقی یک سامانه بینایی برای تشخیص عیوب سطوح فلزی با انعکاس قوی پیشنهاد دادند. از هموارسازی، حذف نویز از تصویر و سپس حد آستانه آتسو جهت بخش‌بندی کردن تصویر استفاده کردند. در این روش عیوبی از قبیل برآمدگی تیز بر اثر ماشین کاری، روزنه، لکه روغن، پوست انداختن، ایجاد سوراخ، حفره و خراش مورد مطالعه قرار گرفت (Zhang *et al.*, 2011). یک روش طبقه بندی بر پایه اطلاعات بافتی برای سطوح متالیک (فولاد) نمونه‌های تصادفی پیشنهاد شد. یک روش برپایه احتمال، با توجه به تغییرپذیری بافت و درک توابع تصادفی توصیف کردند (Cord *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر بررسی خودکار سطوح متالیک با استفاده از ماشین بینایی پرداختند که هدف تشخیص عیوب ساختاری در سطوح ناهموار متالیک بود. آنها از الگوریتم ژنتیک برای تفهیم و پردازش پارامترهای ریخت‌شناسی در عناصر ساختاری و بخش‌بندی حدآستانه عیوب استفاده کردند. با این روش عیوب ساختاری از قبیل شکاف و حفره را با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی و بخش‌بندی تشخیص دادند (Zhang *et al.*, 2002). در تحقیقی دیگر برای بازرسی سطوح متالیک یاتاقان نورد شده یک سامانه خودکار ارائه شد. آنها یک الگوریتم انتخاب حدآستانه جدید تطبیقی برای بخش‌بندی ارائه دادند، به طوری که با استفاده از حدآستانه و فیلتر ریخت‌شناسی به بررسی عیوبی همچون سمباده، لکه، سائیدگی و خراش پرداختند (Pernkopf and Oleary, 2002). در تحقیقی دیگر روشی جدید برای بازرسی بینایی برپایه بافت شناسی برای کنترل اطلاعات کیفیت محصول کاشی سرامیک ارائه شد. این روش توانایی تجزیه درهم (مرکب) توپوگرافی و خصوصیت سطوح رنگی را دارا بود. آنها از دو خصوصیت توپوگرافی و بازتاب برای تشخیص عیوب سطوح کاشی استفاده کردند (Smith and Stamp, 2000). هدف از این تحقیق، پردازش تصاویر دیجیتالی عیوب سطوح رنگی متالیک، استخراج خصوصیات تصاویر و به کارگیری سامانه بینایی ماشین جهت تشخیص عیب لکه با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی می‌باشد.

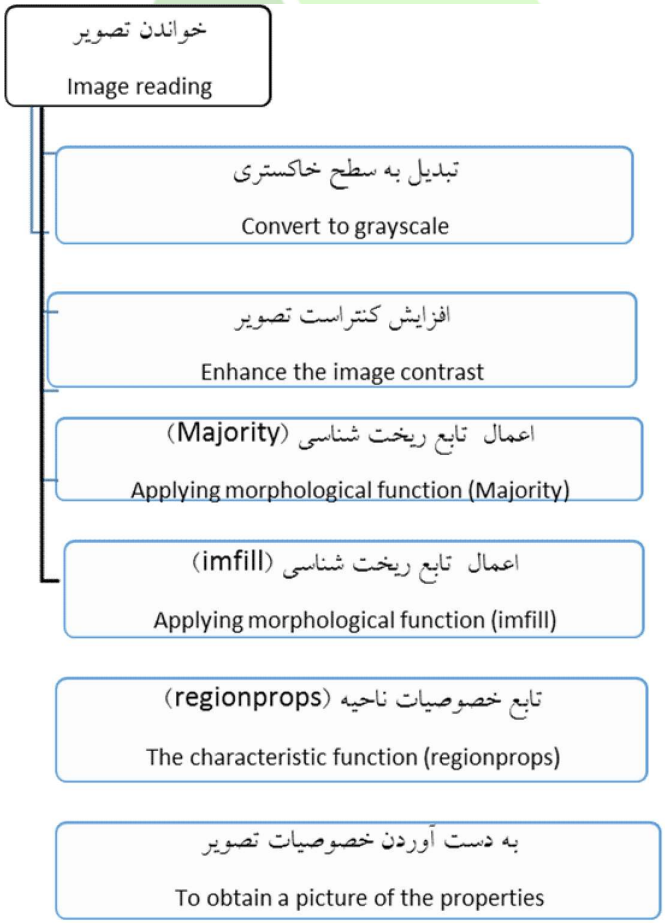
مواد و روش‌ها

برای تشخیص و شناسایی عیوب رنگی سطوح متالیک یک سامانه بینایی ماشین طراحی گردید. اجزای اصلی سامانه طراحی شده شامل دوربین عکاسی، منبع‌نور و نرم‌افزار پردازش تصویر بود. در ابتدا از عیب لکه سطوح رنگی متالیک تصویر برداری و سپس با کمک الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده، تصویر بررسی و پردازش گردید. تصاویر توسط دوربین دیجیتال Panasonic Lumix مدل DMC-TZ10 گرفته شد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود نورپردازی از نوع دارای ساختار و توسط لامپ LED مدل G5.3 انتخاب شد. برای جلوگیری از انعکاس نور، منبع نور در پائین قطعه کار قرار داده شد.



شکل ۱– شماتیک نورپردازی از نوع دارای ساختار

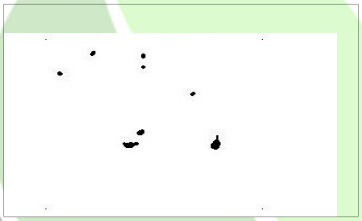
دوربین در ارتفاع و فاصله مناسب برروی سه پایه نصب گردید و پس از حصول اطمینان از عدم لرزش مجموعه نگه دارنده دوربین و نورپردازی مناسب محیط، تصویربرداری صورت گرفت. در تصویربرداری از سطوح رنگی، دوربین در راستای عمودی سطوح رنگی قرار داشته و فاصله بین دوربین و همچنین منبع نور با سطوح رنگی ۶۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. در شکل ۲ الگوریتم پردازش تصویر استفاده شده نمایش داده شده است.



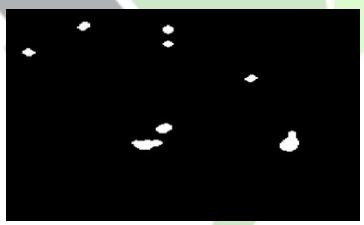
شکل ۲ – الگوریتم پردازش تصویر استفاده شده

پس از انتقال تصویر به رایانه، الگوریتم پیاده سازی شده در نرم افزار Matlab بر روی آن اجرا شد و سطوح تصویر پردازش گردید. پس از خواندن تصویر (شکل ۳) و تبدیل فضای رنگی و افزایش کنتراست تصویر، از تابع ریخت شناسی برای تشخیص عیب استفاده شد (شکل ۴). بعد از این مرحله از یک فیلتر جهت تبدیل رنگ استفاده شد و لکه‌ها بصورت پیکسل‌های سفید پُر شد (شکل ۵).

شکل ۳ – تصویر اصلی لکه



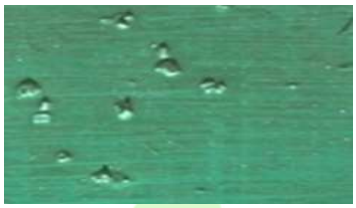
شکل ۴ – تصویر پس از اعمال تابع شکل شناسی



شکل ۵– تصویر پس از اعمال تابع شکل شناسی imfill

حال باید محیط لکه را بسته و بصورت یکپارچه در آورده شود. بعد از عبور از فیلترهای استاندارد متعدد و بستن محیط لکه‌ها از توابع مختلف ریخت شناسی استفاده می‌شود تا تصویر به دست آمد آمده کمترین نویز را داشته باشد. بعد از حذف نویز باید محیط داخلی لکه‌ها را با پیکسل های سفید که نشان دهنده عیب لکه می‌باشند جایگزین کرد که با استفاده از تابع imfill این کار انجام شد. پس از انجام این مراحل، تصویر به‌دست آمده بدون نویز است، حال خصوصیاتی که از قبل برای این عیب در نظر گرفته شده است، به‌دست می‌آید. در مورد عیب لکه این خصوصیات شامل مرکز هندسی، تعداد لکه ها و درصد لکه می‌باشد که برنامه حاضر به

صورت عددی این نتایج را استخراج می کند (جدول ۱). برای آزمون الگوریتم پیشنهادی، تصاویری که توسط الگوریتم شناسایی شده‌اند، با تصاویری که توسط نرم‌افزار Paint ایجاد شده‌اند مقایسه گردید. در این تحقیق عیوب لکه در سه رنگ سبز، آبی و سفید ایجاد و مورد بررسی قرار گرفت که در شکل ۶ تصاویر اصلی لکه‌ها نشان داده شده است.



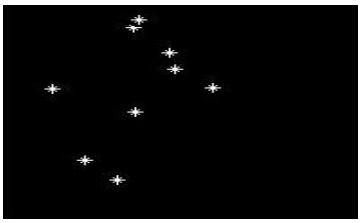
(الف) لکه سبز

(ب) لکه آبی

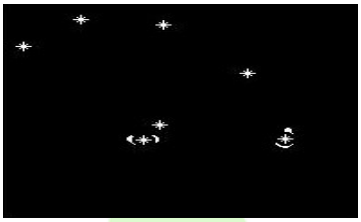
(ج) لکه سفید

شکل ۶ – تصاویر اصلی لکه

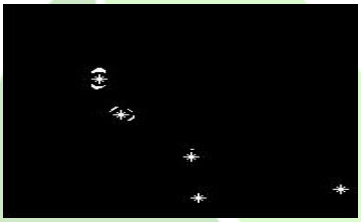
بعد از اعمال توابع مختلف ریخت شناسی مراکز سطح هر یک از لکه ها توسط الگوریتم پیشنهادی به‌دست آمد؛ که در شکل ۷ مراکز سطح لکه‌ها نشان داده شده است.



(الف) مراکز سطح لکه سبز



(ب) مراکز سطح لکه آبی



(ج) مراکز سطح لکه سفید

شکل ۷ – تشخیص مراکز سطح لکه‌ها توسط الگوریتم پیشنهادی

جدول ۱ خصوصیات به‌دست آمده از تصاویر لکه‌ها که توسط الگوریتم پیشنهادی استخراج شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات به‌دست آمده از تصاویر لکه توسط الگوریتم پیشنهادی

رنگ	سبز	آبی	سفید
اندازه تصویر	۲۰۰*۲۰۰	۲۰۰*۲۰۰	۲۰۰*۲۰۰
تعداد کل پیکسل	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰
تعداد پیکسل سفید	۳۴۵	۸۲۴	۵۱۴
تعداد پیکسل سیاه	۳۹۶۵۵	۳۹۱۷۶	۳۹۴۸۶
بیشترین مساحت	۶۴	۱۳۷	۱۴۴
کمترین مساحت	۸	۳۰	۵
تعداد لکه‌ها	۰/۸۶۲۵	۲/۰۶۰۰	۱/۲۸۵۰
درصد لکه			

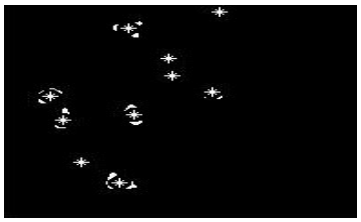
همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، خصوصیاتی همچون اندازه تصویر، تعداد کل پیکسل، تعداد پیکسل سفید (نشان دهنده عیب)، تعداد پیکسل سیاه (پس‌زمینه)، بیشترین و کم‌ترین مساحت، تعداد لکه‌ها و درصد لکه به تفکیک آمده است. بعد از این مرحله تصاویری را که توسط نرم‌افزار Paint لکه‌های آن به صورت دستی جدا شده بود مورد پردازش قرار گرفت. شکل ۸ عیوب لکه‌هایی که توسط نرم افزار Paint به‌دست آمده و شکل ۹ مراکز سطح تصاویر Paint که توسط برنامه به‌دست آمده است را نشان می‌دهد.

(الف) لکه سبز

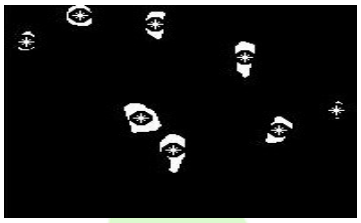
(ب) لکه آبی

(ج) لکه سفید

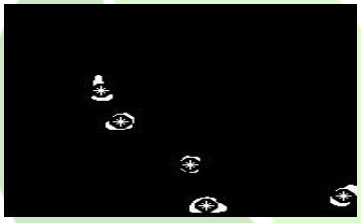
شکل ۸ – تصاویر اصلی لکه (پینت)



(الف) مراکز سطح لکه سبز



(ب) مراکز سطح لکه آبی



(ج) مراکز سطح لکه سفید

شکل ۹ – تشخیص مراکز سطح (پینت)

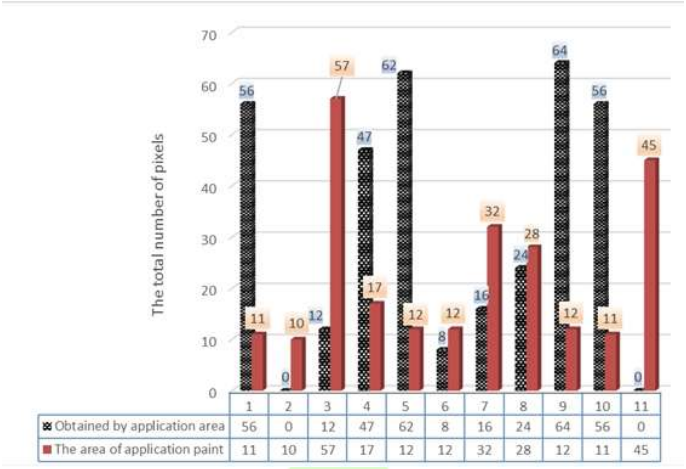
جدول ۲ خصوصیات به‌دست آمده از تصاویر لکه توسط نرم‌افزار Paint را نشان می‌دهد.

جدول ۲ – خصوصیات به‌دست آمده از تصاویر لکه (پینت)

رنگ	سبز	آبی	سفید
اندازه تصویر	۲۰۰*۲۰۰	۲۰۰*۲۰۰	۲۰۰*۲۰۰
تعداد کل پیکسل	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰
تعداد پیکسل سفید	۱۰۴۸	۱۸۶۵	۹۶۳
تعداد پیکسل سیاه	۳۸۹۵۲	۳۸۱۳۵	۳۹۰۳۷
بیشترین مساحت	۱۷۴	۳۹۰	۲۳۵
کمترین مساحت	۲۸	۸۲	۱۴۹
تعداد لکه‌ها	۱۱	۸	۵
درصد لکه	۲/۶۲۰۰	۴/۶۶۲۵	۲/۴۰۷۵

نتایج و بحث

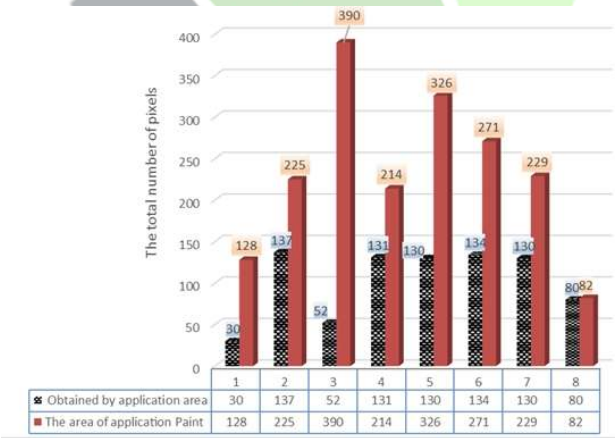
در این بخش نتایج حاصل از پردازش تصاویر عیب لکه و نمودار تغییرات فراوانی مساحت برای لکه در سه رنگ سبز، آبی و سفید ارائه شده است. نتایج پردازش از محیط Workspace نرم افزار Matlab جمع‌آوری شده و به کمک نرم‌افزار Excel شکل نمودارهای مربوط به هر عیب ترسیم گردید. این نمودارها با مقایسه دو تصویر به‌دست آمد، تصویری که به کمک پردازش تصویر توسط الگوریتم پیشنهادی به دست آمده و تصویری که به کمک نرم‌افزار Paint سطوح لکه آن جدا شده و به کمک برنامه حاضر مساحت هر کدام از عیوب محاسبه شده است و در نهایت با تصویر به‌دست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی مقایسه گردیده است. در ابتدا نتایج به‌دست آمده از سطح رنگی سبز مورد تحلیل قرار گرفته است. همانطور که از جدول ۱ مشاهده می شود، تعداد لکه‌ها نُه عدد است، اما نرم‌افزار Paint ۱۱ لکه را نشان می دهد (جدول ۲). که میزان خطای الگوریتم تشخیص لکه (سبز) ۱۸/۲ درصد به دست آمد. شکل ۱۰ نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح سبز را نشان می‌دهد.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Obtained by application area	56	0	12	47	62	8	16	24	64	56	0
The area of application paint	11	10	57	17	12	12	32	28	12	11	45

شکل ۱۰ – نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح سبز

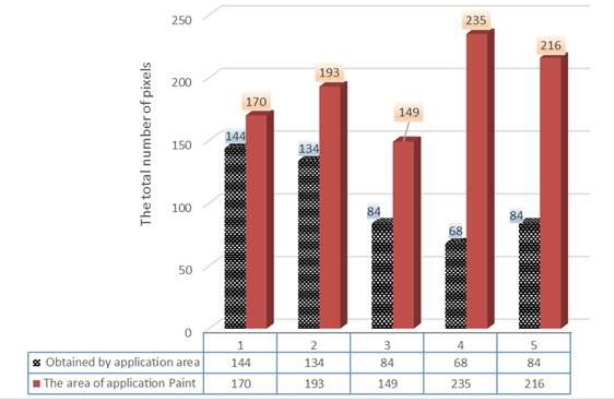
هدف از نمایش این نمودار، نشان دادن تغییرات در تشخیص صحیح تعداد لکه‌ها می‌باشد که توازن قابل قبولی را بین دو برنامه نشان می دهد. همانطور که در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود تعداد مراکز سطح برای لکه آبی در نرم‌افزار Paint هشت و الگوریتم پیشنهادی نیز، هشت را نشان می‌دهند؛ که درصد خطا الگوریتم تشخیص لکه آبی صفر درصد می باشد. شکل ۱۱ نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح آبی را نشان می دهد.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Obtained by application area	30	137	52	131	130	134	130	80
The area of application Paint	128	225	390	214	326	271	229	82

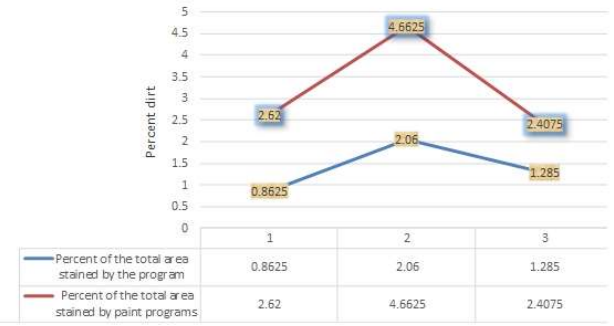
شکل ۱۱ – نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح آبی

همانطور که در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود تعداد مراکز سطح برای لکه سفید در نرم‌افزار Paint پنج و الگوریتم پیشنهادی نیز، پنج را نشان می‌دهند؛ که درصد خطا الگوریتم تشخیص لکه سفید صفر درصد می باشد. شکل ۱۲ نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح سفید را نشان می دهد.



شکل ۱۲ – نمودار تغییرات فراوانی لکه در سطح سفید

تغییرات فراوانی درصد کل لکه در نمودار شکل ۱۳ نمایش داده شده است. این نمودار درصد کل مساحت لکه توسط برنامه را با نمودار آبی و درصد کل مساحت لکه توسط نرم‌افزار Paint را با نمودار قرمز نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ – نمودار فراوانی تغییرات مساحت کل لکه

همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود، تغییرات فراوانی درصد کل مساحت لکه برنامه و نرم‌افزار **Paint** هم عرض می باشند. این امر به این معنی است که الگوریتم پیشنهادی، عیوب لکه‌ها را به درستی تشخیص داده است. هدف اندازه واقعی لکه نیست، بلکه هدف تشخیص عیب لکه می‌باشد. برای به‌دست آوردن درصد خطای الگوریتم پیشنهادی، میزان خطا در هر یک از

سطوح سبز (۱۸/۲ درصد)، آبی (صفر درصد) و سفید (صفر درصد) را باهم جمع کرده و میانگین این سه عدد را به‌دست می‌آید که حاصل این عمل ۶/۰۶درصد می‌باشد، این بدان معنی است که الگوریتم پیشنهادی دقت ۹۴ درصد در تشخیص عیب لکه دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در تحقیق حاضر عیب لکه در سطوح رنگی متالیک با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه عیوب سطح رنگی متالیک هم رنگ پس‌زمینه می باشد و نور تابیده شده به سطوح کاملاً بازتاب دارد، بنابراین جداسازی عیوب از زمینه تصویر با مشکلات فراوانی همراه می باشد. در این تحقیق سامانه نورپردازی ثابتی که بتواند شرایط مناسبی را جهت گرفتن تصویر مهیا کند پیشنهاد گردید. مهم‌ترین توابع بکار رفته برای تشخیص عیب لکه شامل توابع مختلف ریخت شناسی از جمله majority, cleanو imfill می‌باشد که بعد از این مراحل با استفاده از تابع مرکز هندسی، مراکز سطح به‌دست آمد. نتایج کلی این تحقیق به شرح زیر است:

۱- نمودار تغییرات فراوانی لکه نشان می‌دهد که تطابق نسبی بین الگوریتم پیشنهادی و جداسازی دستی توسط نرم‌افزار Paint دارد. میزان خطای کل الگوریتم پیشنهادی جهت تشخیص لکه ۶/۰۶ درصد به‌دست آمد.

۲- باتوجه به نتایج به‌دست آمده، سامانه نورپردازی پیشنهاد شده برای تشخیص لکه سطوح سفید و آبی مفید است، زیرا دارای کمترین مقدار خطا می‌باشند.

۳- در نهایت می توان به این نتیجه رسید که با استفاده از الگوریتم های پردازش تصویر پیشنهادی می توان عیوب سطوح رنگی متالیک را با دقت مناسبی تشخیص داد.

برای تکمیل تحقیقات در این زمینه پیشنهاد می‌شود، برای تشخیص عیب لکه در روی یک سطح از خروجی های این تحقیق استفاده کرده و یک سامانه هوشمند یا به عبارت دیگر الگوریتم آموزش دیده مانند شبکه عصبی طراحی گردد. همچنین الگوریتم حاضر برروی یک سامانه بینایی ماشین در خط تولید کارخانجات ماشین سازی پیاده سازی شده و تست و ارزیابی گردد.

منابع

1- Cord, A., F. Bach, and D. Jeulin. 2010 .Texture classification by statistical learning from morphologicalimage processing: application to metallic surfaces, Journal ofMicroscopy, Vol. 239, Pt 2 2010, pp. 159–166.

2- Khalili, Kh., E. Masroor, and H. Qolipour. 2006. Quality control of gear by machine vision. Ferdows , University of mashhad. (in Farsi).

3- Pernkopf, F., and P. Oleary. 2002. Visual Inspection of Machined MetallicHigh-Precision Surfaces, Eurasip Journal on Applied Signal Processing 2002:7, 667–678.

4- Smith, M., and R. Stamp. 2000. Automated inspection of textured ceramic tiles, Computers in Industry, 43 _2000. 73–82.

5- Zhang, X., Y. Ding, A. Shi, and R. Liang. 2011. A vision inspection system for the surface defects of strongly reflected metal based on multi-class SVM, elsevier, 38 (2011) 5930–5939.

6- Zheng, H., X. Kong, and S. Nahavandi. 2002. Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms, Journal of Materials Processing Technologe, 125-126 (2002) 427-433.

Detection of dirt defect on metallic colored surfaces using machine vision system

Jalaleddin Ghezavati[1*], Hadi Azarm[2], Mahdi Abbsgholipuor[3], Abolfazl Lotfi Aski[4] and Mohammad Malakian[5]

1- Young Researchers and Elite Club, Bonab Branch, Islamic Azad University,Bonab, Iran.
. Ghezavati905@gmail.com
3- Assistant Professor of Agricultural Machinery Engineering - Faculty of Agriculture-Islamic Azad University - Bonab Branch
2,4&5- MSc, Agricultural Machinery Department, Islamic Azad University of Bonab.

Abstract

Metallic color surface defects are such as dirt, run, water spotting, orange peel and etc. It is necessary to identify and inspect the colored surfaces defects into automatic producing lines such as agricultural machinery and vehicles. In this paper machine vision system is used to detect the dirt defect. First the designed system provides images by digital camera and the structured lighting system and then the algorithm is designed to image processing and detection of dirt defect. The proposed algorithm is consisted of the functions set such as morphological, which after the implementation of algorithm, its error was estimated 6.06 percent.

Keywords: Machine vis , Image processing, Detection of color defect on metallic surfaces, Dirt, Morphologic .