

اندازه‌گیری دمای شمش فولاد با استفاده از سیستم بینایی ماشین و الگوریتم ژنتیک در شرایط متغیر

مهدی عباسقلی پور^{۱*}، بهزاد محمدی الستی^۱، جلال الدین قضاوتی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، تبریز، ایران

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، تبریز، ایران

* abbasgholipour@bonabiau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲)

چکیده

یکی از پارامترهای مهم در عملیات نورد گرم، اندازه‌گیری دمای شمش خروجی از کوره است. براین اساس طراحی یک سیستم الکترونیکی هوشمند خودکار، همانند سیستم بینایی ماشین برای اندازه‌گیری دمای شمش به صورت زمان واقعی ضرورت می‌یابد. در تحقیق حاضر سیستم بینایی ماشین پیشنهادی برای تهیه تصاویر مناسب از شمش داخل کوره، پردازش تصویر بر پایه تفکیک حدود آستانه در فضای رنگی HSI و استخراج خصوصیات آن (اندازه‌گیری دمای شمش)، طراحی شد. برای بررسی تغییر در شرایط نورپردازی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، حدود آستانه سه محدوده دمایی (محدوده دمایی ۱ معادل ۱۵۰۰-۱۲۰۰، محدوده دمایی ۲ معادل ۱۲۰۰-۹۰۰، محدوده دمایی ۳ معادل ۹۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) در تصاویر موزاییکی شمش گذاشته، تعیین و مورد تحلیل قرار گرفت. تحلیل عملکرد الگوریتم ژنتیک در فضای رنگی HSI آشکار ساخت که در شرایط متغیر، تفکیک تصویر رنگی براساس این الگوریتم عملکرد معادلی با تحلیل خوشه بندی در تصاویر دارد. بنابراین با این روش می‌توان به تأثیرات شرایط نورپردازی متغیر با پذیرش یک محدوده خطا غلبه کرد.

کلمات کلیدی:

شمش فولاد، اندازه‌گیری دما، بینایی ماشین، پردازش تصویر، حد آستانه، الگوریتم ژنتیک.

۱- مقدمه

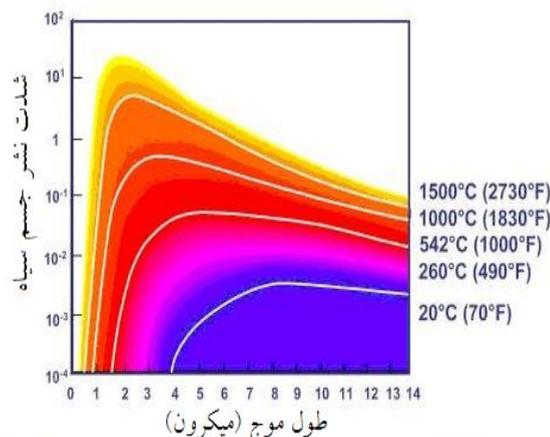
ایجاد ترک خوردگی و خرابی در غلتک‌های نورد، متوقف شدن خط و افزایش بی مورد مدت زمان تولید، بالا رفتن ضایعات شمش و محصول و در نهایت کاهش کیفیت محصول اشاره کرد. موارد مذکور از جمله دلایلی هستند که اندازه‌گیری و کنترل دما را در فرایند نورد گرم، خطیر و اجتناب ناپذیر می‌سازند. در حال حاضر در کارخانه‌های نورد روش معمول

در کارخانه‌های فولاد سازی اندازه‌گیری و مدیریت دمای شمش در مراحل مختلف فرایند نورد گرم فولاد، می‌تواند نقش مهمی را در کاهش میزان ضایعات و افزایش بازدهی خطوط نورد انواع مقاطع فولادی ایفا کند. از جمله اثرات زیان بخش دمای غیر مجاز شمش در خط نورد، می‌توان به موارد گیر کردن شمش در استندهای اول و دوم نورد به دلیل دمای پایین تر از حد مجاز،

در سال ۱۹۹۷، شرکت سیستم‌های مادون‌قرمز (AGEMA) سیستمی را بر اساس سیستم اندازه‌گیر و تصویربرداری حرارتی معرفی کرد. این سیستم یک روش اندازه‌گیر درجه حرارت بر اساس اندازه‌گیری طول موج ساطع شده از جنس گداخته بود که در دوربین‌های حرارتی و دوربین‌های مادون‌قرمز استفاده می‌شود. سیستم‌های FLIR^۱، پس از ادغام با AGEMA، خانواده بینایی ماشین مادون‌قرمز IRMV^۲ را معرفی کرد. سیستم‌های بینایی حرارتی IRMV اولین سیستم‌های تصویربرداری حرارتی بودند که به‌طور خاص برای اندازه‌گیری دما و تصویربرداری حرارتی آنلاین طراحی شده بودند. دستگاه بینایی حرارتی IRMV معادل با ۷۶۰۰۰ ترموکوپل با عملکرد همزمان، البته با حالت غیر تماسی است [۴-۵]. یک دوربین کالیبره شده بینایی حرارتی می‌تواند با نرم‌افزار پردازش تصویر ترکیب شود و یک سیستم بینایی ماشین انعطاف‌پذیر با قابلیت نظارت و کنترل پیچیده را ایجاد کند. در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی برای افزایش استفاده از دوربین‌های حرارتی و به دست آوردن ارتباط نزدیک بین فیزیولوژی حرارتی و دمای پوست انجام شده است. تصویربرداری حرارتی در تشخیص سرطان پستان، بیماری‌های مرتبط با پاتولوژی خون (نظیر آرتریو اسکروز، بیماری عروق محیطی، ترومبوزهای وریدی، اثرات وازوکنستریکتورها از قبیل نیکوتین) بیماری‌های مرتبط با پاتولوژی مفاصل و استخوان‌ها و به‌ویژه تشخیص بیماری‌های مرتبط با پاتولوژی تومورال و بیماری‌های نوزادان دارای عملکرد موفقیت‌آمیزی است [۶-۱۰]. تصویربرداری حرارتی علاوه بر کاربرد وسیع در بازرسی و تعمیر و نگهداری در امور برق و مکانیک، در صنایع شیشه و سرامیک با اندازه‌گیری توزیع حرارت نقش بسزایی در حل مشکلات فرم دهی، افزایش بازده تولید، طراحی بهینه در ساخت قالب و اعمال منحنی‌های حرارتی بهینه ایفا می‌نماید. از سوی دیگر با شناسایی نقاط آسیب دیده نسوز مصرفی کوره‌های حرارتی در مراحل ابتدایی می‌توان علاوه بر جستجو و رفع عامل تخریب‌کننده با انجام به‌موقع و سریع تعمیرات گرم از گسترش و تخریب نسوز جلوگیری نمود و موجبات افزایش عمر کوره و کاهش مصرف

اندازه‌گیری دمای نورد گرم، نصب ترموکوپل‌های سقفی در کوره پیش گرم می‌باشد که البته این کار با معایبی همراه می‌باشد به‌طوری که برای هر ناحیه در کوره یک ترموکوپل مورد نیاز است و همچنین کالیبره بودن ترموکوپل‌ها در صحت اندازه‌گیری دمای محیط هر ناحیه موثر است. به‌طور واضح دمای محیط هر ناحیه کوره لزوماً دمای شمش در آن ناحیه نمی‌باشد و مواردی از جمله پایداری شعله مشعل‌ها و مدت زمان عبور یا ماندن شمش در آن ناحیه، بر روی دمای شمش تاثیر فراوان دارد. بنابراین مشکلات زیادی در اندازه‌گیری دقیق دمای شمش با ترموکوپل وجود دارد. برای حل این مشکلات در تحقیق حاضر سیستم جدیدی به نام سیستم بینایی ماشین به‌عنوان یک راه کار پیشنهاد گردیده است. در زمینه اندازه‌گیری دما و پارامترهای متغیر شمش تحقیقات متعددی انجام گرفته است [۱-۲] که در این تحقیق به‌طور تخصصی به اندازه‌گیری دمای شمش پرداخته شده است.

بر اساس قانون پلانک هر شیء مقداری انرژی تابشی منتشر می‌کند که شدت آن تابعی از دمای شیء است. به‌طور ساده با اندازه‌گیری شدت تشعشع می‌توان دمای شیء را اندازه‌گیری نمود [۳]. چنانچه در شکل ۱ نشان داده شده است به هر محدوده دمایی می‌توان شدت رنگ مشخصی را در طول موج‌های مختلف تخصیص داد. بنابراین با تشخیص شدت رنگ هر نقطه از تصویر می‌توان دمای آن را تعیین و گزارش نمود.

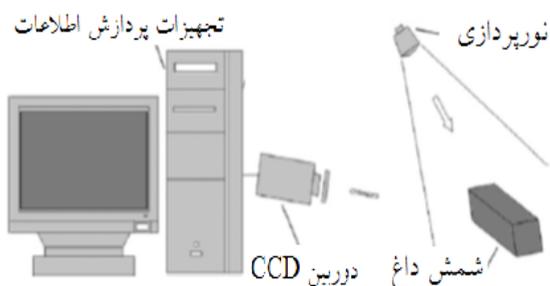


شکل (۱): مشخصات طیفی تابش جسم سیاه [۳]

ژنتیک در پردازش تصویر و استخراج ویژگی‌های آن در موارد خاص استفاده شده است، اما برای تعیین محدوده‌های بهینه دمایی در تصاویر شمش گداخته تحقیقی صورت نگرفته است. براین اساس در تحقیق حاضر برای بررسی تغییرات نور محیط، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، حدود آستانه سه محدوده دمایی (محدوده دمایی ۱ معادل با ۱۵۰۰-۱۲۰۰، محدوده دمایی ۲ معادل با ۱۲۰۰-۹۰۰، محدوده دمایی ۳ معادل با ۹۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) در تصاویر شمش گداخته، تعیین و مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۳).

۲- مواد و روش‌ها

برای اندازه‌گیری دمای شمش از یک سیستم بینایی ماشین شامل تجهیزات تصویربرداری از جمله لامپ‌ها، دوربین حرارتی و کارت تصویرگیر کامپیوتری استفاده گردید. تصاویر توسط دوربین دیجیتال Panasonic Lumix مدل DMC-TZ10 تهیه شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود نورپردازی از نوع مقابل و توسط لامپ LED مدل G5.3 انتخاب گردیده است. دوربین در ارتفاع و فاصله مناسب بر روی سه پایه نصب گردیده و پس از حصول اطمینان از عدم لرزش مجموعه نگاه‌دارنده دوربین و نورپردازی مناسب محیط، تصویربرداری صورت گرفته است. در تصویربرداری از شمش، دوربین در راستای عمود بر وجه جانبی شمش قرار داشته و فاصله بین دوربین و همچنین منبع نور با سطح شمش ۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل (۲): شماژیک سیستم تصویربرداری بینایی ماشین

نسوز به ازای شیشه تولیدی را فراهم کرد [۱۱]. در پژوهشی دیگر با ثبت همزمان سیگنال‌های پلی‌گرافی کلاسیک و ترموگرافی چهره (تصویربرداری حرارتی چهره) نسبت به برچسب زنی صحیح تصاویر حرارتی اقدام نموده و همچنین مقایسه تغییرات در سیگنال‌های مختلف فیزیولوژیکی بدن در هنگام وقوع استرس انجام شده است. استرس در این تحقیق در دو سطح کم و زیاد مورد توجه بوده است. آزمایش بر روی ۶ نفر و هر نفر ۴ بار در طول زمانی ۲ دقیقه انجام شده است. دادها پس از طی مراحل پیش پردازش و استخراج ویژگی وارد سیستم تشخیص می‌شوند. در سیستم تشخیص از دو روش جداسازی خطی و شبکه عصبی استفاده شده است. نتایج بدست آمده از روش شبکه عصبی MLP نسبت به روش LDA از رشد جزئی برخوردار است [۱۲].

به‌طوری‌که از تحقیقات مذکور در بالا مشخص می‌شود پژوهش‌های زیادی در رابطه با بهینه‌سازی سیستم تصویربرداری حرارتی انجام گرفته است. اما در رابطه با تغییرات نورپردازی در این تصویربرداری تحقیقی انجام نگرفته است. براین اساس تحقیق حاضر بر پایه بررسی تغییرات شرایط نورپردازی در تصویرگیری شکل گرفت. الگوریتم‌های ژنتیک از جمله روش‌هایی هستند که تعدادی از محققان برای استخراج خصوصیات تصویر از آن‌ها استفاده کرده‌اند. هاموچ و همکاران (۲۰۰۸) از یک روش آستانه‌گیری خودکار چند سطحی براساس الگوریتم ژنتیک برای تفکیک تصویر استفاده نمودند. در این مقاله آن‌ها توانستند برای یک تصویر تعداد آستانه‌ها و مقادیر متناسب با آن‌ها را با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین کنند [۱۳]. ژنگ و همکاران (۲۰۰۲) برای بازرسی خودکار عیوب سطوح متالیک، از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. در این تحقیق یک سیستم بینایی ماشین برای گرفتن تصاویر از سطوح خارجی متالیک توسعه داده شد و نیز یک روش هوشمند براساس مورفولوژی و الگوریتم ژنتیک جهت تعیین عیوب ساختاری بر روی سطوح متالیک ناهموار پیشنهاد گردید [۱۴].

به‌طوری‌که در تحقیقات ذکر شده آمده است از الگوریتم

ارزیابی نتایج تفکیک توسط الگوریتم ژنتیک در فضای HSI مورد استفاده قرار گرفتند.

برای پردازش تصاویر و استخراج خصوصیات آن (اندازه‌گیری دما)، یک الگوریتم پردازش تصویر مناسب بر مبنای حدود آستانه رنگی استخراج شده از الگوریتم ژنتیک، طراحی شد.

۳- تبدیل داده‌ها

پراکنندگی مقادیر پیکسل‌های تصویر در فضای رنگی RGB (R قرمز، G سبز و B آبی) ناحیه‌ای به شکل توده متمرکز را در طول محورها تشکیل می‌دهد این نوع توزیع نمی‌تواند همانند روش‌های حد آستانه محدودده‌های مینیم-ماکزیمم ساده را ایجاد نماید ولی مقادیر پیکسل‌های همان تصویر در فضای HSI (H اصل رنگ، S اشباع و I شدت) در سطح بیشتری گسترده می‌شود. برای ساده‌سازی مسئله، روش تفکیک حد آستانه در فضای توزیع شده HSI مورد آزمایش قرار گرفت.

مدل HSI به وسیله تبدیل مؤلفه‌های رنگی RGB با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) تعریف می‌شود [۱۵]:

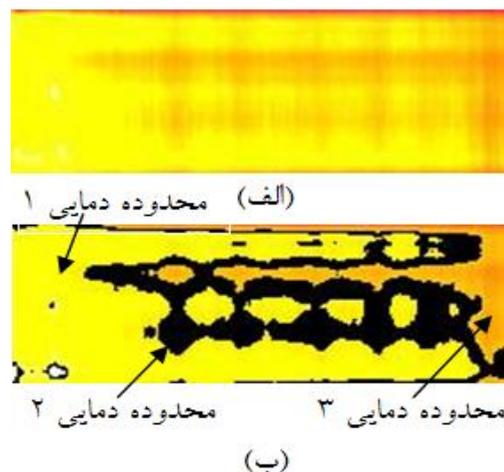
$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{(R-G)+(R-B)}{2 \left[\frac{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}{2} \right]^{1/2}} \right\} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R,G,B)] \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (3)$$

در این تحقیق تمامی مؤلفه‌های HSI به مقادیر بین صفر تا ۲۵۵ نرمال‌سازی و مقادیر اصل رنگ و اشباع در نقاط تکین‌شان برابر صفر قرار داده شدند. بنابراین برای به دست آوردن حدود آستانه متناسب با دماهای متفاوت شمش گداخته، یک الگوریتم جستجوی مؤثر حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر این، الگوریتم مذکور می‌بایست قادر به تعیین یک ناحیه بهینه کلی باشد، بدون اینکه در یک ناحیه بهینه موضعی محدود شود. الگوریتم‌های

نمونه تصاویر اخذ شده از شمش داخل کوره در دماهای مختلف توسط سیستم مذکور در شکل ۳ نشان داده شده است.



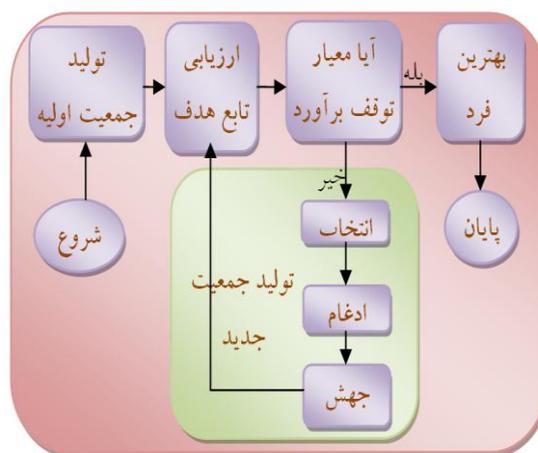
شکل (۳): نمونه تصویر شمش گداخته: (الف): تصویر نمونه و (ب):

محدوده‌های دمایی

برای بررسی تغییرات در شرایط نورپردازی از یک تصویر موزاییکی استفاده شد. این تصویر شامل دو تصویر از تصاویر نورپردازی ضعیف و دو تصویر دیگر از تصاویر نورپردازی مناسب بود (در دمای ثابت شمش). اندازه تصویر موزاییکی 70×800 پیکسل، شامل چهار بخش کوچک 70×200 پیکسل بود. هدف از موزاییکی کردن تصاویر تحت شرایط مختلف این است که آیا الگوریتم ژنتیک می‌تواند شرایط متغیر را همسان‌سازی نموده و ناحیه رنگی مناسب در فضای HSI برای استفاده در تفکیک محدوده‌های دمایی تصاویر تعیین کند؟ با توجه به اینکه تغییر شرایط نورپردازی، محدوده وسیعی از تغییرات رنگی را به وجود می‌آورد، بنابراین تصاویر موزاییکی به نحو بهتری مشخصات رنگی تصاویر را در شرایط متغیر ارایه خواهند کرد. تعداد چهار عدد از تصاویر منتخب با اندازه کامل 640×486 پیکسل به عنوان تصاویر مرجع انتخاب و توسط فردی ماهر و با اختصاص دادن رنگ‌های مجزا برای پیکسل‌های محدوده‌های دمایی ۱، ۲ و ۳ در نرم‌افزار Photo/Paint به صورت دستی تفکیک شدند. ضمناً از بین تصاویر گرفته شده چهار تصویر تفکیک نشده انتخاب و به عنوان تصاویر نمونه آزمایش جهت

در الگوریتم مذکور یک کروموزوم، متشکل از رشته‌ای اعداد می‌باشد که محدوده‌های دمایی را در فضای HSI نشان می‌دهد و به روش جایگشتی کدگذاری شده است. به هر کدام از پارامترهای محدوده‌ای (حدود بالا و پایین مقادیر اصل رنگ، شدت و اشباع برای محدوده‌های دمایی ۱ و ۲) یک موقعیت ثابت در طول کروموزوم اختصاص داده شده است. براساس تعریف فضای HSI مقدار اصل رنگ از جمله مشخصه‌های رنگی بارز می‌باشد. بنابراین رشته‌ای با حد بالای مقدار رنگی برای محدوده دمایی ۱ در اولین مکان کروموزوم و حد پایین مقدار رنگی برای همان محدوده دمایی در مکان بعدی تنظیم شد. دو موقعیت بعدی حدود بالا و پایین اشباع برای محدوده دمایی ۱ بودند. محدوده‌های شدت در مکان‌های پنجم و ششم قرار داشتند. همین ترتیب برای محدوده دمایی ۲ در ادامه کروموزوم مربوط به شش موقعیت آخر رعایت گردید (جدول ۱). بنابراین در حالت کلی ۱۲ موقعیت مکانی برای متغیرهای الگوریتم ژنتیک اختصاص داده شده است. ژنی برای محدوده دمایی ۳ لازم نیست در نظر گرفته شود. چون مابقی فضای رنگی برای محدوده مذکور در نظر گرفته می‌شود.

ژنتیک از جمله روش‌های بهینه‌سازی موازی و کلی می‌باشند. قدرت اصلی الگوریتم‌های ژنتیک در قابلیت بهینه‌سازی اطلاعات متراکم یک حوزه ناشناخته اولیه به صورت بسیار کارآمد است. در تحقیق حاضر، الگوریتم ژنتیک برای طراحی یک موتور جستجو، انتخاب شد. مراحل کاری الگوریتم ژنتیک به‌طور کلی در شکل ۶ به ترتیب مشخص شده است [۱۶].



شکل (۴): روند نمای الگوریتم ژنتیک

۴- مؤلفه‌ها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک

۴-۱- کروموزوم

جدول (۱): ساختار کروموزوم رشته‌ای

حدود آستانه محدوده دمایی ۱						حدود آستانه محدوده دمایی ۲					
مکان ۱	مکان ۲	مکان ۳	مکان ۴	مکان ۵	مکان ۶	مکان ۷	مکان ۸	مکان ۹	مکان ۱۰	مکان ۱۱	مکان ۱۲
H	H	S	S	I	I	H	H	S	S	I	I
بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین

گرفته شد [۱۷].

۴-۲- اندازه جمعیت

عناصر اصلی یک الگوریتم ژنتیک، کروموزوم‌ها می‌باشند. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها به‌عنوان یک جمعیت مطرح می‌گردند. قانون سرانگشتی گولدبرگ (۱۹۸۹b) اندازه جمعیت را تقریباً برابر با طول کروموزوم تعریف می‌کند. در تحقیق کاربردی حاضر، طول کروموزوم ۱۲ عدد، اندازه جمعیت ۱۲ کروموزومی برای تولید محدوده‌های تفکیک نهایی در نظر

۴-۳- روش انتخاب

از انواع روش‌های مختلف انتخاب، دو روش انتخاب چرخ رولت و روش مسابقه‌ای بدون جایگزینی و با اندازه چهار در الگوریتم ژنتیک مذکور (مقایسه تعداد چهار کروموزوم تصادفی از جمعیت و انتخاب برترین کروموزوم از بین آن‌ها) مورد

همگرایی آن احتمال ادغام ۰/۸۵ از طریق سعی و خطا اختیار گردید [۱۸]. عملگر جهش، اختلالات ناگهانی را در کروموزوم به وسیله معکوس نمودن یکی از عناصر ژنتیکی یا تعداد بیشتری از آن‌ها در طول تولیدمثل فراهم می‌کند. گولدرگ (۱۹۸۹a) و باک (۱۹۹۳) نرخ جهش را متناسب با عکس اندازه جمعیت پیشنهاد نمودند، که برای این کاربرد مقدار ۰/۰۸ را نتیجه داد [۱۸، ۱۹]. ولی به دلیل تقویت همگرایی الگوریتم ژنتیک با روش انتخاب چرخ رولت، نرخ جهش بالاتری مورد نیاز می‌باشد. در نتیجه نرخ جهش ۰/۱۶ در این کاربرد استفاده گردید.

ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت روش انتخاب مسابقه‌ای به دلیل همگرایی ناگهانی و کوچک شدن سریع فضای جستجو در مراحل اولیه، مورد پذیرش قرار نگرفت.

۴-۴- عملگرهای ادغام و جهش

عملگرهای ادغام و جهش ساختار ژنتیکی فرزندان را از مواد ژنتیکی والدین تعریف می‌کنند. یک ادغام دو نقطه‌ای مابین کروموزوم‌های منتخب جهت تولید جمعیت جدید برای هر تولیدمثل انجام گرفت (شکل ۵). دی جانگ (۱۹۷۵) نشان داد که عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک نیازمند احتمال ادغام بالا (۰/۷۵ الی ۰/۹) می‌باشد. بنابراین با اعمال الگوریتم ژنتیک در فضای HSI بر روی انواع تصاویر مختلف و بررسی عملکرد

110	39	210	70	190	100	225	30	170	80	200	50
180	10	250	60	240	70	250	20	190	85	212	59
(الف)											
110	39	210	70	240	70	250	20	190	85	200	50
180	10	250	60	190	100	225	30	170	80	212	59
(ب)											

شکل (۵): ادغام دو نقطه‌ای مابین کروموزوم‌ها: (الف): کروموزوم‌های والد و (ب): کروموزوم‌های فرزند

۴-۵- قیدها

کلیه حدود بالا در جدول ۱ می‌بایست بزرگ‌تر از حدود پایین متناظرشان باشند. به عنوان مثال حد بالای مقدار اصل رنگ محدوده دمایی ۱ می‌بایست از حد پایین آن بزرگ‌تر باشد درحالی‌که فرایندهای ادغام و جهش موجب نقص این چنین قیدهایی خواهند شد. در این تحقیق از تصحیح کننده‌ای استفاده شده است که می‌تواند در صورت بروز تناقض مقدار حد بالا را تا ده برابر حد پایین بزرگ‌تر کرده و آن را به عقب براند. دلیل تغییر حدود بالا به خاطر این است که حدود پایین تأثیرات معنی‌دار بیشتری روی تفکیک دارند.

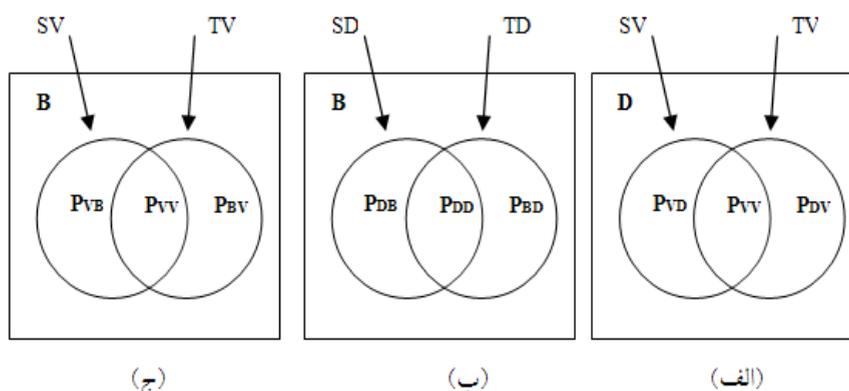
۴-۶- تابع برازش

برای تعریف تابع برازش از روش تخمین عملکرد تفکیک استفاده شده است. در این تابع SEN_V نسبت پیکسل‌های محدوده دمایی ۱ درست تفکیک شده در تصویر نمونه آزمایش به تعداد کل پیکسل‌های محدوده دمایی ۱ در تصویر مرجع می‌باشد (رابطه ۴) و SEN_D نسبت تعداد پیکسل‌های محدوده دمایی ۲ درست تفکیک شده در تصویر نمونه آزمایش به تعداد کل پیکسل‌های محدوده دمایی ۲ در تصویر مرجع می‌باشد (رابطه ۵) و SEN_B نسبت تعداد پیکسل‌های محدوده دمایی ۳

به طوری که تغییرات هر کدام از مجموعه‌ها با استفاده از سه نمودار دو به دو بیان شده است. بدین طریق کلیه حالت‌های ممکن بعد از تفکیک نشان داده شده است (شکل ۶).

درست تفکیک شده در تصویر نمونه آزمایش به تعداد کل پیکسل‌های محدوده دمایی ۳ در تصویر مرجع می‌باشد (رابطه ۶).

برای نمایش تفکیک پیکسل‌ها از نمودار ون استفاده شد.



شکل (۶): نمودار ون مجموعه‌ای از پیکسل‌های محدوده ۱، ۲ و ۳ در تصویر مرجع و بعد از تفکیک در تصویر نمونه آزمایش: (الف): پیکسل‌های محدوده ۱ با ۲، (ب): پیکسل‌های محدوده ۲ با ۳ و (ج): پیکسل‌های محدوده ۱ با ۳

P_{DV} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۲ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۱ تشخیص داده شده‌اند.

P_{DD} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۲ که در تصویر نمونه آزمایش درست تشخیص داده شده‌اند.

P_{DB} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۲ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۳ تشخیص داده شده‌اند.

P_{BV} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۳ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۱ تشخیص داده شده‌اند.

P_{BD} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۳ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۲ تشخیص داده شده‌اند.

و P_{BB} : تعداد پیکسل‌های محدوده دمایی ۳ که در تصویر نمونه به طور صحیح تشخیص داده شده‌اند.

هنگامی که تابع برازش برابر با میانگین SEN_V ، SEN_D و SEN_B قرار داده شد (رابطه ۷) کاهش نویز در زمینه تصویر بعد از تفکیک با مشکل مواجه گردید چرا که تعداد پیکسل‌های زمینه و اشیاء مورد نظر در تصاویر مختلف کاملاً متفاوت می‌باشد. به همین خاطر یک تابع برازش متعادل (بایاس شده) مورد استفاده

$$SEN_V = \frac{P_{VV}}{P_{VV} + P_{VD} + P_{VB}} \quad (4)$$

$$SEN_D = \frac{P_{DD}}{P_{DV} + P_{DD} + P_{DB}} \quad (5)$$

$$SEN_B = \frac{P_{BB}}{P_{BV} + P_{BD} + P_{BB}} \quad (6)$$

در نمودار ون (شکل ۶) و روابط بالا B پیکسل‌های محدوده دمایی ۳، D پیکسل‌های محدوده دمایی ۲، SV پیکسل‌های محدوده دمایی ۱ در تصویر مرجع، TV پیکسل‌های محدوده دمایی ۱ در تصویر نمونه آزمایش، SD پیکسل‌های محدوده دمایی ۲ در تصویر مرجع و TD پیکسل‌های محدوده دمایی ۲ در تصویر نمونه آزمایش می‌باشد.

P_{VV} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۱ که در تصویر نمونه آزمایش به درستی تشخیص داده شده‌اند.

P_{VD} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۱ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۲ تشخیص داده شده‌اند.

P_{VB} : تعداد پیکسل محدوده دمایی ۱ که در تصویر نمونه، در محدوده دمایی ۳ تشخیص داده شده‌اند.

تصاویر مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک به وسیله دو روش دیگر تفکیک شدند. سپس تخمین عملکرد برای هر روش محاسبه و در نهایت باهم مقایسه گردیدند. در تحقیق حاضر، تصاویر به طور جداگانه با استفاده از سه روش تفکیک از جمله الگوریتم کلاستر کردن K-Means در فضای $L^*a^*b^*$ ، الگوریتم ژنتیک در فضای HSI برای یک تصویر واحد و الگوریتم ژنتیک در فضای HSI برای تصویر موزاییکی تفکیک گردیدند. در روش تفکیک به وسیله الگوریتم ژنتیک برای یک تصویر واحد منحصراً از یک تصویر که تحت شرایط یکسانی گرفته شده است برای استخراج محدوده‌های رنگی استفاده می‌گردد و این محدوده‌ها برای تفکیک تمامی تصاویر تحت شرایط متفاوت به کار برده می‌شود. جهت تعیین تفاوت‌های موجود در عملکرد تفکیک مابین الگوریتم‌های مختلف در یک طرح کاملاً تصادفی از تحلیل واریانس استفاده گردید. روش‌های تفکیک مطابق با میانگین تخمین عملکرد با استفاده از آزمون چند محدوده‌ای دانکن طبقه‌بندی شدند.

۶- نتایج و بحث

در طول آزمایش‌های انجام گرفته، پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک در راستای رسیدن به کوچک‌ترین مقدار برازش تنظیم شدند. با اعمال تنظیمات ذکر شده در بخش‌های قبلی این تحقیق از تعداد ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ کروموزوم برای اندازه جمعیت استفاده شد. بهترین مقدار برازش با استفاده از تابع برازش متعادل در کلیه اندازه‌های جمعیت و زیر ۱۰۰ نسل برابر با ۰/۰۸۱۷ بود. وقتی اندازه جمعیت افزایش یافت هیچ‌گونه بهبود اساسی در مقدار تابع برازش حاصل نشد. مقادیر نهایی احتمال ادغام (صفر و یک) نیز مورد آزمایش قرار گرفتند که هیچ‌گونه بهبودی در مقدار تابع برازش حاصل نشد. هنگامی که عمل ادغام انجام نگیرد الگوریتم ژنتیک در فضای HSI هنوز هم می‌تواند بهترین مقدار تابع برازش را تولید نماید اما در آن صورت سرعت همگرایی کاهش می‌یابد. وقتی که نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در فضای HSI با استفاده از تابع برازش متعادل

قرار گرفت که به صورت یک تابع وزن داری از SEN_V و SEN_D و SEN_B نسبت به پیکسل‌های متناسب آن‌ها در تصویر بود (رابطه ۸). توابع برازش میانگین (FE) و متعادل (FB) عبارتند از:

$$FE = \left(\frac{SEN_V + SEN_D + SEN_B}{3} \right) \quad (7)$$

$$FB = ORatio \times SEN_B + (1 - ORatio) \times \left(\frac{SEN_V + SEN_D}{2} \right) \quad (8)$$

که ORatio برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های محدوده‌های دمایی ۱ و ۲ در تصویر مرجع به کل پیکسل‌ها می‌باشد. ORatio در تصویر موزاییکی برابر ۰/۶۰۹۵ به دست آمد.

۴-۷- معیار توقف

هنگامی که یکی از سه شرط زیر برقرار گردد الگوریتم ژنتیک در فضای HSI متوقف می‌شود.

شرط اول: اگر دسته‌ای از پارامترهای ایده آل با مقدار برازشی کوچک‌تر از یک حد آستانه قابل قبول حاصل شوند در آن صورت فرایند خاتمه می‌یابد. حد آستانه قابل قبول در این تحقیق با توجه به تصاویر مرجع تفکیک شده با دست در ۰/۰۵ تنظیم شده بود.

شرط دوم: اگر بهترین مقدار برازش جمعیت‌ها جهت بهبود دادن آن‌ها در پنج نسل پی در پی از دست برود آنگاه فرایند پایان می‌یابد.

شرط سوم: اگر تعداد تولید نسل بیشتر از ۴۰۰ باشد آنگاه فرایند متوقف می‌گردد.

هنگامی که یکی از این شرایط محقق گردد کروموزومی با بهترین مقدار برازش به عنوان حدود ناحیه‌های محدوده‌های دمایی ۱ و ۲ در فضای HSI توسط الگوریتم ژنتیک حاصل می‌شود و سپس این کروموزوم رمزگشایی می‌گردد.

۵- روش ارزیابی الگوریتم ژنتیک در فضای HSI

برای تخمین عملکرد الگوریتم ژنتیک در فضای HSI که وظیفه تولید تقسیمات فضای رنگی را بر عهده دارد همان دسته از

با تابع برازش میانگین مقایسه گردد، مشاهده می‌شود که تابع برازش متعادل به مقدار ناچیزی محدوده‌های پایین را برای هر مؤلفه HSI کاهش می‌دهد (در جدول ۲ محدوده‌های پایین با اعداد زیر خط‌دار متمایز شده‌اند) ضمناً رمزگشایی کروموزوم در الگوریتم مذکور مطابق با جدول ۱ صورت می‌گیرد.

جدول (۲): نتایج حاصل از عملکرد الگوریتم ژنتیک با پارامترهای اندازه جمعیت: ۱۲، روش انتخاب: چرخ رولت، احتمال ادغام: ۰/۸۵، نرخ جهش: ۰/۱۶

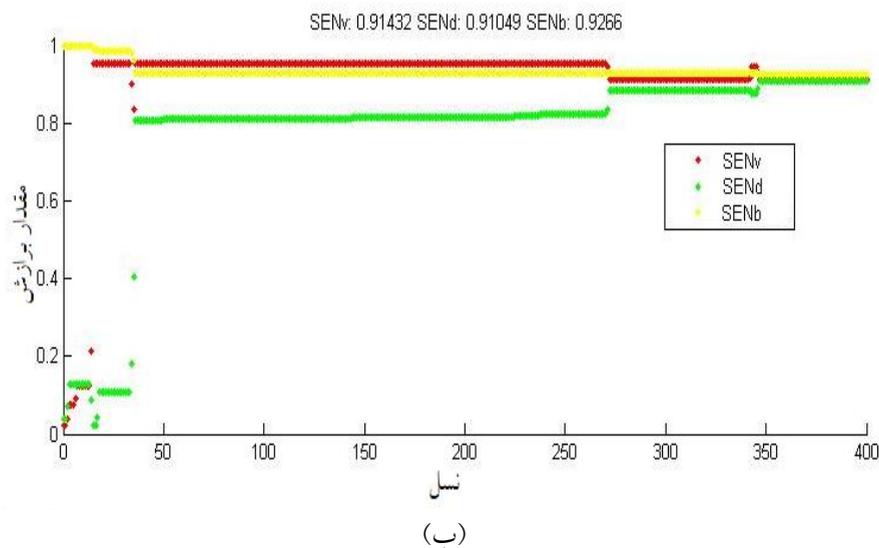
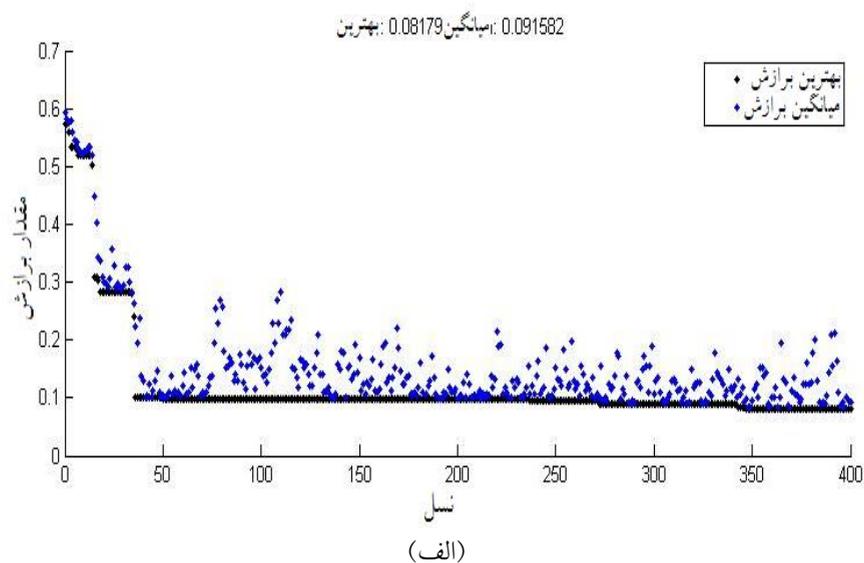
تابع برازش متعادل (FB)	تابع برازش میانگین (FE)	
۰/۰۸۱۷	۰/۱۸۱۳	مقدار برازش
۵۵	۹۵	نسل بهینه
۶۱-۶	۸۸-۱۵	رمزگشایی
۲۵۵-۵۱	۲۵۵-۳۶	کروموزوم
۱۸۹-۶	۲۵۴-۲۹	
۲۵۵-۶	۲۵۴-۱۸	
۲۵۵-۶	۲۵۵-۱۶	
۷۱-۶	۷۸-۱۵	

موردنظر روش مسابقه‌ای به دلیل ایجاد همگرایی بسیار زیاد در مراحل اولیه الگوریتم، در نقاط بهینه محلی گیر افتاده و آن نقاط را به‌عنوان نقاط بهینه ارایه می‌کند ولی چرخ رولت به دلیل داشتن ماهیت تصادفی در کمتر از ۱۰۰ نسل به نقطه بهینه مورد نظر دست یافت.

مقایسه تصویر تفکیک شده به‌وسیله الگوریتم ژنتیک با تصویر مرجع تفکیک شده به‌وسیله دست نشان می‌دهد که کیفیت تفکیک به‌وسیله الگوریتم ژنتیک در حد قابل قبول و مناسبی می‌باشد.

این نتایج مورد انتظار است چرا که تابع برازش متعادل وزن بیشتری بر روی ماهیت رنگ در تصویر دارد و این منجر به در نظر گرفتن مقدار رنگی، اشباع و شدت پایین توسط الگوریتم ژنتیک می‌شود. از منحنی‌های عملکرد همگرایی تابع برازش متعادل مشاهده می‌شود (شکل ۷-الف) که نزدیک‌ترین مقدار برازش مینیمم با سرعت زیاد و قبل از ۵۰ امین نسل حاصل می‌شود. چنانکه در شکل (۷-ب) نشان داده شده است در نسل‌های ابتدایی به دلیل تصادفی بودن محدوده‌های رنگی تشخیص کامل محدوده دمایی ۱ و ۲ صورت نگرفته است به عبارت دیگر مقدار حساسیت تشخیص محدوده دمایی ۱ و ۲ کمتر از ۰/۸ می‌باشد. ولی با پیشروی الگوریتم و اعمال عملگرهای ادغام و جهش محدوده‌های رنگی بهینه‌تری حاصل شده است این موضوع به‌وضوح در ۵۰ امین نسل دیده می‌شود.

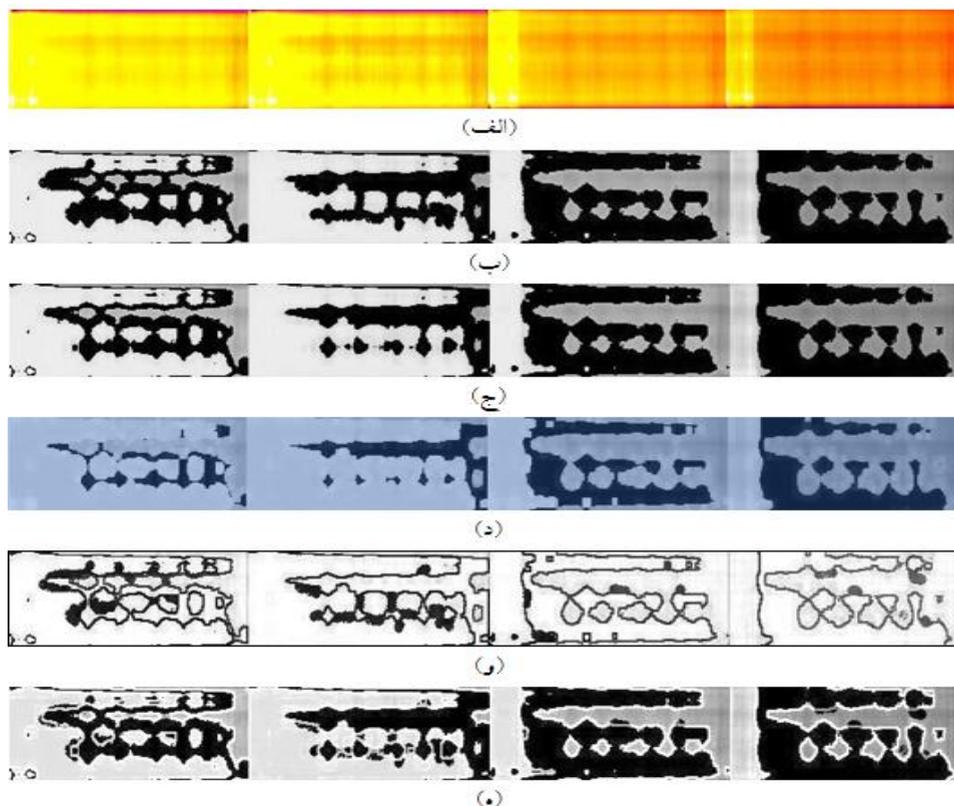
سه محدوده‌ای که بیشترین تأثیر معنی‌دار بر روی عملکرد تفکیک داشتند عبارت از محدوده‌های پایین شدت، اشباع و مقدار رنگی می‌باشند. برای جمعیت‌هایی با اندازه‌های ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ الگوریتم ژنتیک در فضای HSI به همان مقادیر این سه محدوده مهم زیر ۱۰۰ نسل دست یافت. در مقایسه دو روش انتخاب چرخ رولت و مسابقه‌ای برای تعیین یک نقطه بهینه



شکل (۷): نمودارهای همگرایی الگوریتم ژنتیک با تابع برازش متعادل: (الف): نمودار بهترین برازش و میانگین مقدار برازش در نسل جاری و (ب): نمودار حساسیت‌ها در نسل جاری

(۸-ب) و تصویر تفکیک شده با تابع برازش متعادل (۸-ج) و تصویر تفکیک شده با تابع برازش میانگین (۸-د) از هم آشکار شده است (۸-و-۸-ه).

به طوری که در شکل ۸ نشان داده شده است تفکیک تصویر با استفاده از تابع برازش میانگین (۸-د) با نویزهای نسبتاً زیادی در تصویر همراه است. در حالی که تفکیک تصویر با استفاده از تابع برازش متعادل (۸-ج) به علت توازن مناسب حساسیت‌ها نسبت به تعداد پیکسل‌ها به صورت مناسبی صورت گرفته است. این موضوع به وسیله کسر کردن دو تصویر تفکیک شده با دست



شکل (۸): تفکیک تصویر موزاییکی مرجع به روش‌های مختلف: (الف): تصویر موزاییکی اولیه، (ب): تصویر تفکیک شده با دست، (ج): تصویر تفکیک شده با تابع برازش متعادل، (د): تصویر تفکیک شده با تابع برازش میانگین، (و): اختلاف تصاویر ب و ج، (ه): اختلاف دو تصویر ب و د

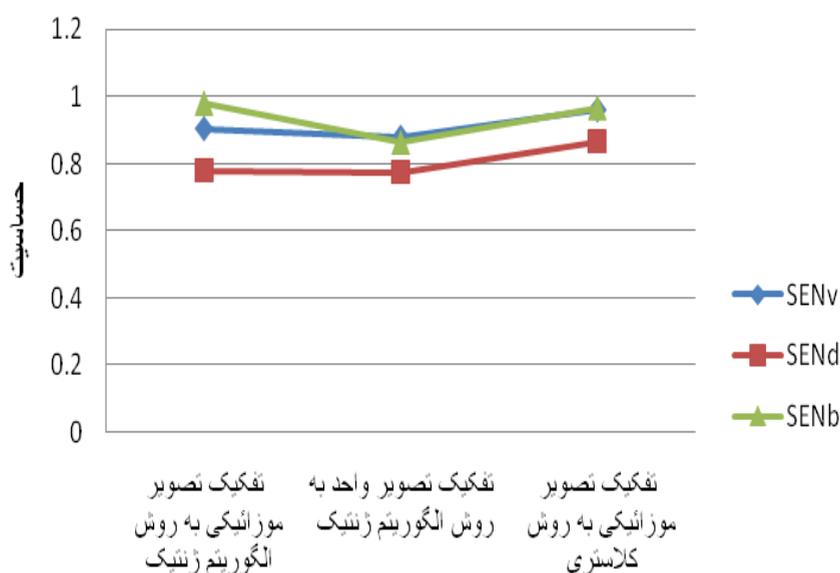
جدول (۳): آزمون چند محدوده‌ای دانکن برای میانگین و انحراف معیار SENb، SENd، SENv و SUM مربوطه به سه تیمار قابل مقایسه با تصویر مرجع تفکیک شده به وسیله دست

میانگین SUM (انحراف معیار)	میانگین SENb (انحراف معیار)	میانگین SENd (انحراف معیار)	میانگین SENv (انحراف معیار)	روش تفکیک
۰/۵۲۰۲a (۰/۲۵۵۱)	۰/۸۶۵۵a (۰/۰۹۵۲)	۰/۷۷۴۸a (۰/۰۷)	۰/۸۷۹۹a (۰/۰۹۲۱)	الگوریتم ژنتیک در فضای HIS بر اساس پردازش تصویر واحد
۲/۶۶۴۲a (۰/۰۵۸)	۰/۹۸a (۰/۰۳۴)	۰/۷۷۹a (۰/۰۸۷۸)	۰/۹۰۵۲a (۰/۰۱۶۹)	الگوریتم ژنتیک در فضای HIS بر اساس پردازش تصویر موزاییکی
۲/۷۹۱۹a (۰/۰۳۲۲)	۰/۹۶۶۷a (۰/۰۲۵۹)	۰/۸۶۵۵a (۰/۰۵۳۲)	۰/۹۵۹۷a (۰/۰۳۸۱)	الگوریتم کلاستر کردن K-Means در فضای نرمال سازی شده L*a*b

*میانگین‌هایی که با حرف همسان علامت‌گذاری شده‌اند در سطح احتمال ۵٪ نسبت به هم اختلاف معنی‌داری ندارند

دریافت که کاربرد الگوریتم در فضای HSI بر روی تصویر موزاییکی راه حل ماندگاری می‌باشد. با توجه به اینکه SUM نیز هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در میان سه تیمار ندارد بنابراین وقتی که تصاویر مورد نظر با تصاویر مرجع تفکیک شده با دست مقایسه می‌شوند می‌توان دریافت که در میان روش‌های تفکیک مختلف، کلیه تغییرات مربوط به مقادیر SEN_V ، SEN_D و SEN_B خواهند بود.

تحلیل واریانس نشان می‌دهد که هیچ اختلاف معنی‌داری در میانگین تغییرات SEN_V ، SEN_D ، SEN_B و مجموع آن‌ها ($SUM=SEN_V+SEN_D+SEN_B$) در بین تیمارهای الگوریتم ژنتیک در فضای HSI براساس پردازش تصویر واحد، الگوریتم ژنتیک در فضای HSI براساس پردازش تصویر موزاییکی، الگوریتم کلاستر کردن K-Means در فضای نرمال‌سازی شده $L^*a^*b^*$ وجود ندارد (جدول ۳) از این نتیجه‌گیری می‌توان



شکل (۹): نمودار مقایسه میانگین حساسیت‌ها در میان تیمارها

تصویر مرجع ایجاد شود، الگوریتم ژنتیک در فضای HSI قادر به تعیین یک ناحیه صحیح جهت پوشش دادن فضای رنگی محدوده‌های دمایی ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. سه ناحیه رنگی که بیشترین تأثیر معنی‌دار بر روی عملکرد تفکیک داشتند عبارت از محدوده‌های پایین شدت، اشباع و مقدار رنگی می‌باشند.

روش تفکیک براساس الگوریتم ژنتیک که در این مقاله توضیح داده شد یک یافته ساده و جدیدی جهت تفکیک قدرتمند تصویر گرفته شده در محیط نورپردازی متغیر به نواحی محدوده‌های دمایی ۱، ۲ و ۳ می‌باشد.

تحلیل عملکرد الگوریتم ژنتیک در فضای رنگی HSI آشکار ساخت که برای تشخیص محدوده‌های دمایی ۱ و ۲ براساس

چنانچه در نمودار شکل ۹ نشان داده شده است با مقایسه میانگین حساسیت‌ها در میان تیمارهای موجود می‌توان دریافت که مینیمم موضعی تنها در روش تفکیک تصویر واحد براساس الگوریتم ژنتیک اتفاق می‌افتد و دلیل آن متغیر بودن شرایط تصاویر می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

براساس نتایج آماری معلوم می‌شود که الگوریتم ژنتیک در فضای HSI به یک عملکرد معادل با روش تحلیل کلاستری دست یافته است. وقتی که یک تصویر موزاییکی تشکیل شده از تصاویر مختلف با شرایط نورپردازی متفاوتی به‌عنوان یک

- [9] J. H. Tan, E. Ng, U. R. Acharya & C. Chee, "Infrared thermography on ocular surface temperature: a review", *Infrared Physics & Technology*, Vol. 52, No. 4, pp. 97-108, 2009.
- [10] Knobel, R.B., Guenther, B.D., Rice, H.E., "Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease", *Biological research for nursing*, Vol. 13, No. 3, pp. 274-282, 2011.
- [۱۱] م. ویژه، "نصویربرداری حرارتی و کاربرد آن در صنعت شیشه و سرامیک"، دومین کنگره سرامیک ایران، تهران، انجمن سرامیک ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۴.
- [۱۲] ا. رخشان، م. خلیل زاده، م. آذرنوش و ا. محمدیان، "آشکارسازی استرس با استفاده از تصویربرداری حرارتی چهره"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، تهران، انجمن کامپیوتر، مرکز توسعه فناوری نیرو، ۱۳۸۸.
- [13] K. Hammouche, M. Diaf & P. Siarry, "A multilevel automatic thresholding method based on a genetic algorithm for a fast image segmentation", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 109, No. 2, pp. 163-175, 2008.
- [14] H. Zheng, L. X. Kong & S. Nahavandi, "Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms", *Journal of materials processing technology*, Vol. 125, pp. 427-433, 2002.
- [15] R. C. Gonzalez, "Woods. RE, *Digital Image Processing*", Reading, Mass, 1992.
- [16] M. Alireza, "Genetic Algorithms. Naghoos-andisheh Publishing Co. Tehran-Iran", 2007.
- [17] D. Goldberg, "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley", *Objective Function*, vol. 18, 1989.
- [18] T. Bäck, "Optimal Mutation Rates in Genetic Search", *Proc. of the 5th International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 2-8, 1993.
- [19] D. E. Goldberg, "Sizing populations for serial and parallel genetic algorithms", *Proceedings of the 3rd international conference on genetic algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., pp. 70-79, 1989.
- ماشین بینایی در شرایط متغیر، تفکیک تصویر رنگی براساس این الگوریتم یک یافته مؤثر بوده و عملکرد معادلی با تحلیل کلاستر در تصاویر تحت شرایط ویژه دارد. از طرف دیگر مشخص شد که با این روش می‌توان به تأثیرات شرایط نورپردازی متغیر با پذیرش یک محدوده خطا غلبه کرد. در تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود برای بهبود این روش، از وسایل تصویرگیری بدون نویز و عملگرها و کدکننده‌های الگوریتم ژنتیک بهینه و کارا استفاده شود.
- ### ۸- مراجع
- [۱] ایرانهپور بروجنی، ح. شیخ، خ. فرمنش و ف. قدس، م "طالعه همگنساز و رفتار ترمومکانیکی سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ در حین فرآیند تبدیل شمش ریختگی به بیلت"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، دوره ۵، شماره اول، ص ۳۵-۴۲، ۱۳۹۰.
- [۲] ا. جعفری، س. م. عباسی، م. مرکباتی و م. سیف‌اللهی، "تأثیر نوع فرآیند ذوب مجدد بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ پایه نیکل ریختگی IN100"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، دوره ۹، شماره ۲، ص ۵۵-۶۵، ۱۳۹۴.
- [3] R. W. Waynant & M. N. Ediger, "Electro-optics handbook", Citeseer, 2000.
- [4] A. R. Jha, A. Jha & D. A. Jha, "Infrared technology: applications to electrooptics, photonic devices, and sensors", Wiley New York, 2000.
- [5] R. Rech, N. Muller, R. Lamm & S. Kirchhoff, "Laser measurements on large open die forgings", *Stahl und eisen*, Vol. 126, No. 2, pp. 53-57, 2006.
- [6] N. Bouzida, A. Bendada & X. P. Maldague, "Visualization of body thermoregulation by infrared imaging", *Journal of Thermal Biology*, Vol. 34, No. 3, pp. 120-126, 2009.
- [7] B. F. Jones, "A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine", *IEEE transactions on medical imaging*, Vol. 17, No. 6, pp. 1019-1027, 1998.
- [8] F. Ring, "Thermal imaging today and its relevance to diabetes", *Journal of diabetes science and technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 857-862, 2010.

۹- پی نوشت

- [1] Forward-Looking InfraRed imaging system
- [2] InfraRed Machine Vision