تشخیص خرابی‌های سطحی سیب برای درجه‌بندی کیفی آن

مهدی باژن و احسان‌اله کبیر

چکیده: در این مقاله دو نوع خرابی ضرب‌خوردگی و زنگ در سیب‌های گولدن دلیشز (زرد لبنانی) تشخیص داده می‌شود. خرابی زنگ به دو بخش زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه تقسیم شده است. سیب‌ها به سه کلاس درجه یک، درجه دو و وازده بر اساس بعضی از معیارهای استاندارد اروپایی درجه‌بندی می‌شوند. برای درجه‌بندی سیب، به طبقه‌بندی تصویر به ٦ کلاس سالم، دم، کاسبرگ، ضرب‌خوردگی، زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه نیاز داریم. در الگوریتم ارائه‌شده، پس از طبقه‌بندی پیکسلی به کمک شبکه عصبی پرسپترون بر اساس ویژگی‌های رنگی RGB، اصلاح طبقه‌بندی و آشکارسازی دم انجام می‌شود. برای اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس ضرب‌خوردگی، از ویژگی‌های H و S از فضای رنگی HSI استفاده می‌شود. اصلاح نواحی در کلاس‌های کاسبرگ، زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه بر اساس فاصله گرانیگاه دم تا گرانیگاه هر ناحیه انجام می‌شود. شناسایی نوع خرابی و تقسیم خرابی زنگ به دو کلاس زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه کار جدیدی است که در این مقاله ارائه شده است. نتایج آزمایش الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد که نرخ درجه‌بندی درست ۱۲۰ تصویر سیب، ۸۱/٦٦٪ است. خطاهای درجه‌بندی ناشی از عدم آشکارسازی دم و اشتباه در تشخیص خرابی است.

کلید واژه: **درجه‌بندی سیب، خرابی، ضرب‌خوردگی، زنگ، آشکارسازی دم، تحلیل بافت، بینایی ماشینی.**

۱- مقدمه

با توجه به شرایط مناسب اقلیمی کشورمان برای تولید میوه‌های مختلف در فصول گوناگون سال و نیاز به برآورده‌کردن استانداردهای کیفی کشورهای اروپایی، آسیای شرقی و جنوب شرقی برای افزایش صادرات محصولات باغبانی، لزوم مکانیزه‌کردن صنایع بسته‌بندی میوه در کشور و کنترل کیفی میوه‌ها قبل از بسته‌بندی احساس می‌شود. سیب از جمله محصولاتی است که در کشور ما به صورت انبوه تولید می‌شود. به طور کلی گونه‌های غالب سیب در کشور ما، زرد لبنانی[1] و قرمز لبنانی[2] است.

امروزه جداسازی سیب‌ها بر اساس رنگ و اندازه در کشورهای مختلف به طور خودکار انجام می‌شود [۱]. اما تشخیص خرابی و درجه‌بندی آنها بر این اساس هم‌اکنون به کمک نیروی انسانی متخصص انجام می‌شود. برای تشخیص خرابی و درجه‌بندی سیب‌ها از روش‌های مختلفی همچون تصویربرداری تک‌طیفی (مادون قرمز) [۲] تا [۴]، رنگی [۱] و [۵] تا [۷]، چندطیفی [۸] و ابرطیفی [۹] استفاده شده است. روش تصویربرداری تک‌طیفی (مادون قرمز) برای تشخیص خرابی‌های درونی سیب مناسب است. روش‌های تصویربرداری چندطیفی و ابرطیفی بیشتر برای تشخیص خرابی‌های درونی و برخی از خرابی‌های خاص مناسب هستند. از طرفی پردازش تصاویر در چندین طیف زمان‌بر و پیاده‌سازی چنین سیستم‌هایی پیچیده و پرهزینه است. در این مقاله هدف تشخیص خرابی‌های سطحی سیب بوده و به همین دلیل روش تصویربرداری رنگی انتخاب شده است.

یکی از مشکلات مهم در تشخیص خرابی‌های سیب، تمیز آنها از دمگاه و کاسبرگ است. در حقیقت به دلیل گودی بخش‌های دم و کاسبرگ، میزان بازتابش نور از این دو قسمت کمتر از نواحی سالم بوده و به همین دلیل ممکن است با خرابی‌ها اشتباه شوند. در استاندارد اروپایی شرط لازم برای درجه‌بندی سیب‌ها داشتن دم است [۱۰]. در سیب‌های بدون دم امکان ورود ریز زنده‌های فاسدکننده از طریق دمگاه وجود دارد [۱۱]. در برخی موارد باید سیب‌های با دم‌های بلند، به دلیل آسیب‌رساندن به سیب‌های دیگر در فرآیند بسته‌بندی، شناسایی و جدا شوند [۶]. در ادامه، مروری بر پژوهش‌های پیشین در زمینه درجه‌بندی سیب‌ها و آشکارسازی دم به کمک روش تصویربرداری رنگی خواهیم داشت.

در [۱] و [۵] ابتدا نواحی سالم و ناسالم (دم، کاسبرگ و خرابی) به کمک طبقه‌بند کمینه فاصله ماهالانوبیس در فضای رنگی RGB از هم جدا شده و در ادامه از نواحی ناسالم ویژگی‌های مناسب استخراج می‌شود. برای جداسازی دم و کاسبرگ از خرابی‌ها، الگوریتم تطابق با کلیشه[3] استفاده شده است. ویژگی‌های استخراج‌شده از نواحی ناسالم، ویژگی‌های رنگی، بافتی، شکلی و ویژگی‌های مربوط به دمگاه و کاسبرگ (که از الگوریتم تطابق با کلیشه به دست می‌آیند) هستند. برای برچسب‌گذاری هر ناحیه ناسالم از روش خوشه‌یابی k میانگین استفاده شده است. برای درجه‌بندی از طبقه‌بند جداساز درجه ۲[4] استفاده شده است. در [۱] درجه‌بندی سیب‌های جوناگولد[5] به دو کلاس سالم و خراب و در [۵] درجه‌بندی سیب‌های زرد لبنانی به چهار کلاس عالی، درجه یک، درجه دو و وازده انجام شده است. در [۱] میزان و نوع خرابی در نظر گرفته نشده است. در [۵] نیز شناسایی نوع خرابی و درجه‌بندی بر این اساس چندان اهمیت نداشته است. جداسازی نواحی سالم و ناسالم در ابتدای پردازش، زمان پردازش را (با توجه به کاهش ناحیه مورد بررسی) کاهش می‌دهد. اما خطاهای الگوریتم جداسازی در درجه‌بندی نهایی بسیار مؤثر خواهد بود. اگرچه روش خوشه‌یابی k میانگین برچسب‌گذاری نواحی ناسالم را ساده‌تر می‌کند، اما (به دلیل عدم نظارت در این روش) ممکن است باعث ایجاد خطا در شناسایی نوع خرابی شود.

در [۶] با نمونه‌برداری پیکسلی از کلاس‌های خراب، سالم، دم و کاسبرگ، برای هر کلاس مدل گوسین در فضای رنگی RGB تشکیل و هر پیکسل از تصویر با طبقه‌بند بیز طبقه‌بندی می‌شود. سپس بر اساس میزان خرابی و با توجه به استاندارد اسپانیایی درجه‌بندی سیب‌های زرد لبنانی به سه کلاس درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ انجام می‌شود. در این

این مقاله در تاریخ ۱۹ دی ماه ۱۳۸۵ دریافت و در تاریخ ۲۹ تیر ماه ۱۳۸۶ بازنگری شد.

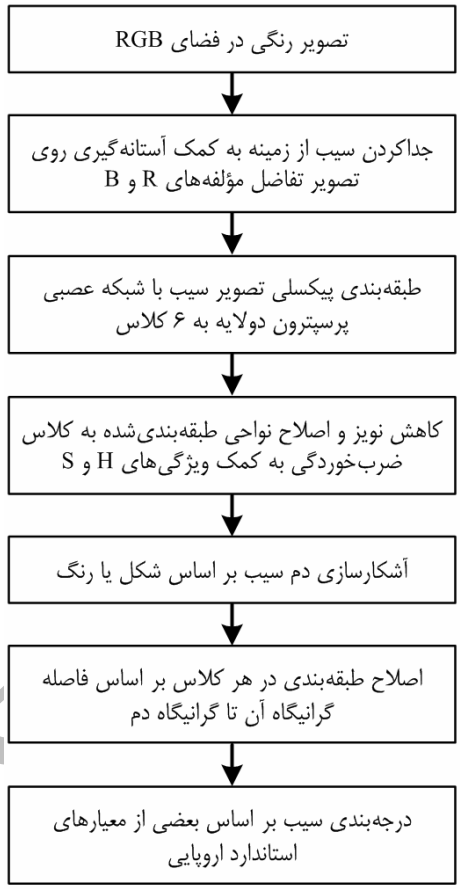
مهدی باژن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (email: mehdibazhan@yahoo.com).

احسان‌اله کبیر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (email: kabir@modares.ac.ir).

1. Golden Delicious
2. Red Delicious
3. Template Matching
4. Quadratic Discriminant
5. Jonagold

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: بلوک دیاگرام الگوریتم درجه‌بندی سیب‌ها.

تحقیق شناسایی نوع خرابی اهمیت نداشته است. ر [۷] برای هر پیکسل از تصویر در هر کلاس ویژگی‌های رنگی، بافتی و طیفی استخراج شده و روش‌های مختلف استفاده از پنجره (هم‌پوشان و غیر هم‌پوشان) برای استخراج ویژگی بررسی شده است. کلاس‌های طبقه‌بندی، سالم، خراب، دم و کاسبرگ بوده و برای طبقه‌بندی پیکسلی تصویر سیب از شبکه عصبی پرسپترون استفاده شده است. در این تحقیق تنها طبقه‌بندی پیکسلی تصویر انجام شده و شناسایی نوع خرابی برای درجه‌بندی سیب اهمیت نداشته است. برخی از ویژگی‌های استخراج‌شده ممکن است برای شناسایی نوع خرابی مفید نباشد.

در این مقاله درجه‌بندی سیب‌های زرد لبنانی بر اساس بعضی از معیارهای استاندارد اروپایی [۱۰] انجام می‌شود. با توجه به تفکیک خرابی‌های زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه در استاندارد اروپایی، دو کلاس برای زنگ در نظر گرفته می‌شود. برای درجه‌بندی سیب به طبقه‌بندی پیکسلی تصویر به کلاس‌های دم، کاسبرگ، ضرب‌خوردگی، زنگ دمگاه، زنگ خارج از دمگاه و سالم نیاز داریم. شناسایی نوع خرابی در سیب‌های زرد لبنانی، در نظر گرفتن دو کلاس برای خرابی زنگ، آشکارسازی دم برای تمیز آن از خرابی و درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس میزان هر یک از خرابی‌ها (مطابق استاندارد اروپایی)، کارهای جدیدی است که در این مقاله انجام شده است. در الگوریتم آشکارسازی دم، ناحیه دم در تصویر به عنوان خروجی الگوریتم مشخص می‌شود. برای پیاده‌سازی کلیه الگوریتم‌ها از نرم‌افزار Matlab ۷/۰۴ استفاده شده است. در بخش دوم، ساختار الگوریتم پیشنهادی برای درجه‌بندی سیب‌ها معرفی و شرح داده می‌شود. در بخش سوم نتایج حاصل از آزمایش الگوریتم خواهد آمد و نقاط ضعف و قوت آن ذکر می‌شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای بهبود الگوریتم ارائه می‌شود.

۲- الگوریتم پیشنهادی برای درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس استاندارد اروپایی

در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا پیکسل‌های تصویر سیب بر اساس ویژگی‌های رنگی R، G و B توسط شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه میانی به ۶ کلاس دم، کاسبرگ، ضرب‌خوردگی، زنگ دمگاه، زنگ خارج از دمگاه و سالم طبقه‌بندی می‌شوند. بعضی از پیکسل‌های سالم لبه تصویر سیب ممکن است به کلاس ضرب‌خوردگی طبقه‌بندی شوند. برای اصلاح نواحی لبه سیب، از ویژگی‌های H و S در فضای رنگی HSI استفاده می‌شود. در ادامه، آشکارسازی دم و اصلاح نواحی در بعضی از کلاس‌ها بر اساس فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه دم انجام می‌شود. در انتها، درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس بعضی از معیارهای استاندارد اروپایی انجام می‌شود. شکل ۱ بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی درجه‌بندی سیب‌ها را نشان می‌دهد. در ادامه جزئیات مربوط به هر بلوک شرح داده می‌شود.

۲-۱ جداکردن سیب از زمینه تصویر

هدف از جداکردن سیب از زمینه تصویر، کاهش محاسبات و عدم پردازش کل تصویر سیب است. ساده‌ترین روش برای انجام این کار، استفاده از روش آستانه‌گیری روی تصویر خاکستری و یا رنگی است. پس از بررسی‌های انجام‌شده، آستانه‌گیری را روی تصویر حاصل از تفاضل مؤلفه‌های R و B از تصویر رنگی RGB انجام دادیم. این روش در [۱۲] استفاده شده است. مقدار آستانه به طور تجربی ۱۲ انتخاب شده است.

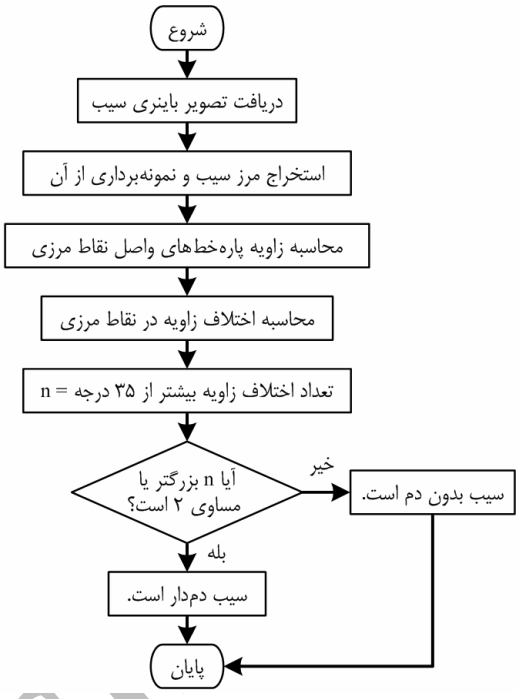
۲-۲ طبقه‌بندی پیکسلی تصویر سیب با شبکه عصبی

پس از جداکردن سیب از زمینه تصویر، هر پیکسل از تصویر سیب با سه ویژگی نرمالیزه R، G و B به شبکه عصبی پرسپترون (با یک لایه میانی) با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا داده می‌شود. تعداد ورودی‌های شبکه عصبی ۳ (ویژگی‌های نرمالیزه RGB) و خروجی‌های آن ۶ (کلاس‌های طبقه‌بندی) است. تعداد نرون‌ها در لایه میانی پس از بررسی‌های انجام‌شده برابر با ۱۵ انتخاب شده است. برای نرمالیزه‌کردن هر ویژگی، مقدار آن از میانگین ویژگی کم و بر انحراف معیار ویژگی تقسیم می‌شود. برای هر نمونه ورودی، شبکه ۶ مقدار (هر یک برای یک کلاس) به عنوان خروجی تولید می‌کند. نمونه ورودی متعلق به کلاسی است که خروجی شبکه برای آن بیشتر باشد. خروجی این بلوک یک تصویر با مقادیر ۱ تا ۶ است، که به ترتیب متعلق به کلاس‌های دم، کاسبرگ، ضرب‌خوردگی، زنگ دمگاه، زنگ خارج از دمگاه و سالم است.

۲-۳ کاهش نویز و اصلاح نواحی طبقه‌بندی شده به کلاس ضرب‌خوردگی

پس از طبقه‌بندی پیکسلی، نواحی تک‌پیکسلی و یا با مساحت‌های کوچک در هر کلاس به نزدیک‌ترین همسایگانشان تبدیل می‌شوند. به عنوان مثال اگر درون ناحیه طبقه‌بندی شده به کلاس ۲ ناحیه‌ای کوچکی به کلاس ۱ طبقه‌بندی شود، به کمک روش فوق به کلاس ۲ تبدیل می‌شود. در الگوریتم تصحیح از دستور 'bwareaopen' برای محاسبه سطح هر ناحیه استفاده می‌شود. برای جزئیات بیشتر در مورد نحوه اصلاح طبقه‌بندی به [۱۳] مراجعه شود. در پاره‌ای موارد، پیکسل‌های نواحی سالم در لبه سیب به کلاس ضرب‌خوردگی طبقه‌بندی می‌شوند. برای رفع این مشکل از ویژگی‌های H و S در فضای رنگی HSI استفاده می‌شود. برای این کار، ابتدا ویژگی‌های H و S روی ناحیه طبقه‌بندی شده به کلاس

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲: روندنمای آشکارسازی دم سیب بر اساس شکل آن.

ضرب‌خوردگی محاسبه می‌شود. سپس روش آستانه‌گیری خودکار اتسو[1] [۱۴] روی هر ویژگی اعمال می‌شود. نتیجه آستانه‌گیری برای هر ویژگی یک تصویر باینری با مقدار یک برای ناحیه ضرب‌خورده و صفر برای ناحیه سالم است. با OR کردن این دو تصویر باینری و اعمال نتیجه آن روی ناحیه طبقه‌بندی شده به کلاس ضرب‌خورده اولیه می‌توان ناحیه ضرب‌خورده را به دو کلاس سالم و ضرب‌خورده تقسیم کرد.

۲-٤ آشکارسازی دم سیب

روش استفاده‌شده در این بلوک مبتنی بر ترکیب دو الگوریتم آشکارسازی دم بر اساس شکل و آشکارسازی دم بر اساس رنگ است. این بلوک ابتدا الگوریتم آشکارسازی بر اساس شکل را برای آشکارسازی دم خارج از بدنه سیب، استفاده می‌کند. در صورت عدم آشکارسازی، الگوریتم آشکارسازی بر اساس رنگ برای پیداکردن دم به کار گرفته می‌شود. علت ترکیب دو الگوریتم، افزایش دقت آشکارسازی است. در هر یک از دو الگوریتم فوق، در صورت آشکارسازی دم، تصویر باینری که در آن ناحیه دم مشخص شده به عنوان خروجی تولید می‌شود. در ادامه به معرفی الگوریتم‌های آشکارسازی دم خواهیم پرداخت.

۲-٤-۱ آشکارسازی دم سیب بر اساس شکل آن

هدف الگوریتم ارائه‌شده در این بخش، آشکارسازی دم در حالتی است که در تصویر بخشی از دم خارج از بدنه سیب قرار دارد. الگوریتم ارائه‌شده در این بخش مبتنی بر استخراج مرز سیب و یافتن محل تغییرات شدید زاویه پاره‌خط واصل نقاط مرزی نسبت به خط افق است. در حقیقت، در نزدیکی دم تغییرات این زاویه بیشتر از سایر قسمت‌های مرز سیب بوده و بر این اساس می‌توان به وجود دم و حتی موقعیت آن در تصویر پی برد. شکل ۲ روندنمای آشکارسازی دم سیب بر اساس شکل را نشان می‌دهد. تصویر ورودی به این الگوریتم، یک تصویر باینری با مقدار یک برای ناحیه سیب و صفر برای زمینه است. در ادامه ساختار الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی دم بر اساس شکل شرح داده می‌شود.

1. Otsu

• استخراج مرز سیب و محاسبه زاویه پاره‌خط‌های واصل نقاط مرزی

تصویر ورودی به الگوریتم یک تصویر باینری بوده و به راحتی می‌توان مرز سیب را استخراج کرد. برای تعریف شیب در هر نقطه از مرز، باید از مرز به دست آمده نمونه‌برداری کرد. برای این کار از یک نقطه مرزی شروع کرده و به فاصله مساوی از مرز نمونه‌برداری می‌شود. به طور تجربی نمونه‌برداری از مرز با فاصله ۵ نقطه انتخاب شده است. برای محاسبه زاویه پاره‌خط‌های واصل نقاط مرزی می‌توان از (۱) استفاده کرد

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) \qquad (1)$$

که در آن (x_1, y_1) مختصات نقطه ابتدا و (x_2, y_2) مختصات نقطه بعدی در مرز نمونه‌برداری شده و θ زاویه بین پاره‌خط واصل دو نقطه و خط افق است. پس از محاسبه زاویه در هر نقطه، اختلاف زاویه در هر نقطه نسبت به نقطه بعدی محاسبه می‌شود. هدف از این محاسبه پیداکردن محل تغییرات شدید زاویه است.

• تصمیم‌گیری در مورد وجود دم

شکل ۳ استخراج مرز سیب، نمونه‌برداری از آن و نمودار اختلاف زاویه در نقاط مرزی را در یک سیب دم‌دار نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳، می‌توان دریافت که در نقاط عادی مرز، اختلاف زاویه کم بوده و تنها در نزدیکی دم اختلاف زاویه افزایش می‌یابد. در عبور از نقاط مرز دم ممکن است که چندین بار این اختلاف شدید رخ دهد. اما به طور منطقی در سیبی که دارای دم است (به طوری که دم خارج بدنه سیب باشد) حداقل دو بار این اختلاف شدید زاویه رخ خواهد داد (یکی در ابتدا و دیگری در انتهای بخش دم). این دو اختلاف زاویه باید تا حدی نزدیک به هم باشند. از این شرط می‌توان برای حذف‌کردن نویزهای سوزنی در مرز استفاده کرد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، اختلاف زاویه بزرگ‌تر و مساوی ۳۵ درجه به عنوان مبنای کار انتخاب شده است.

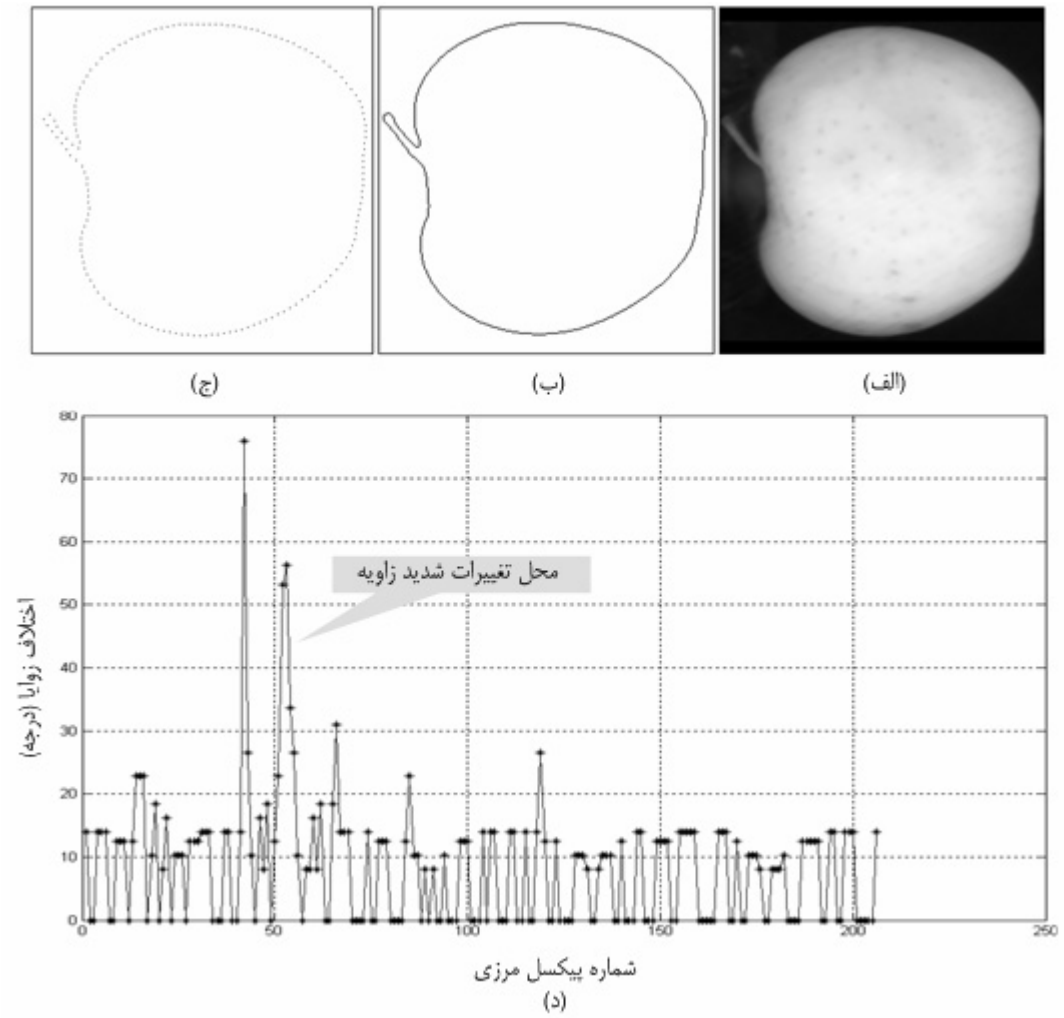
تعداد اختلاف زاویه بزرگ‌تر از ۳۵ درجه محاسبه می‌شود. حداکثر فاصله مکانی بین اختلاف زاویه شدید نقاط مرزی، ۲۵ نقطه انتخاب شده است. در صورتی که تعداد اختلاف زوایای بزرگ‌تر از ۳۵، ۲ یا بیشتر از ۲ باشد، سیب دارای دم و در غیر این صورت فاقد دم است. برای پیداکردن محل دم در تصویر، می‌توان از نقاط ابتدایی و انتهایی که دارای اختلاف زاویه بزرگ‌تر از ۳۵ هستند، استفاده کرد. با در دست داشتن مختصات کل پیکسل‌های مرز می‌توان مختصات پیکسل‌های شامل محدوده دم را به روش فوق پیدا کرد. در ادامه، تصویری که دارای مقدار یک برای پیکسل‌های مرز دم و صفر برای سایر نواحی است، تولید می‌شود. برای به دست آوردن کل ناحیه دم در تصویر می‌توان از عملگرهای مورفولوژی گسترش[2] و سایش[3] استفاده کرد.

۲-٤-۲ آشکارسازی دم سیب بر اساس رنگ آن

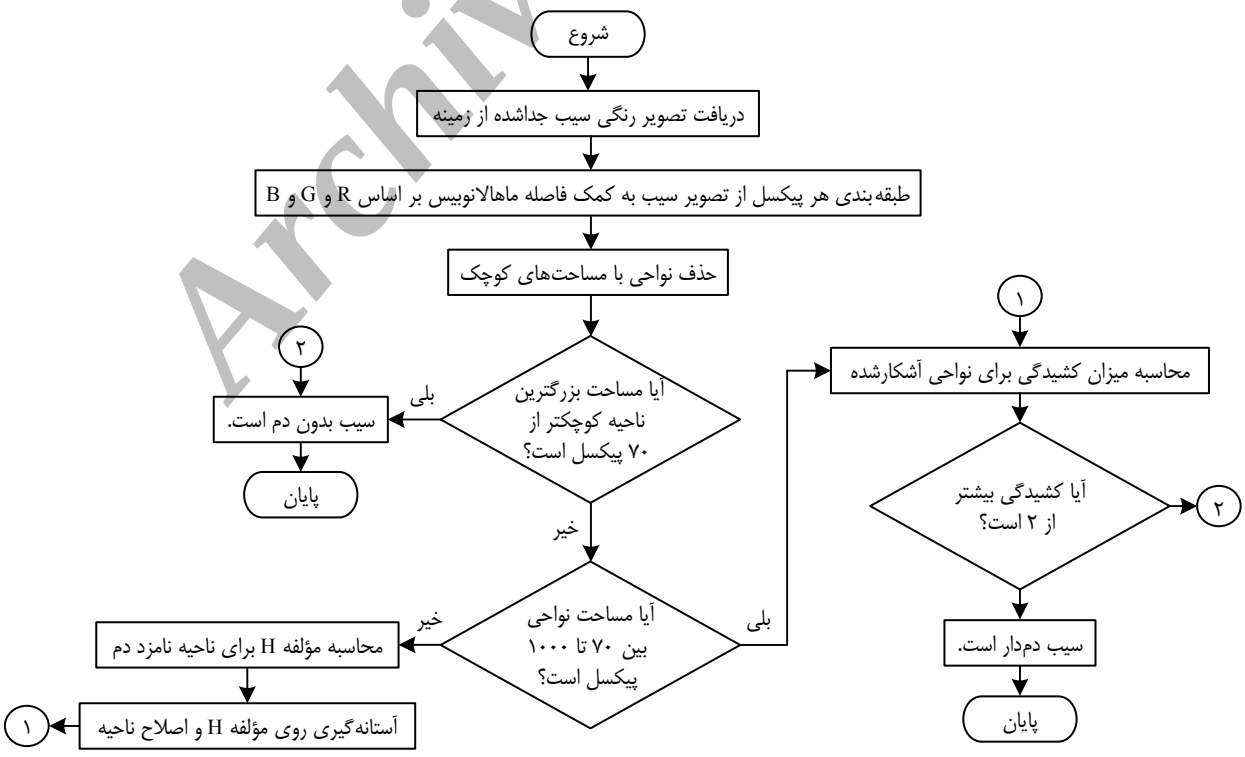
هدف الگوریتم ارائه‌شده در این بخش، آشکارسازی دم در حالتی است که در تصویر، دم داخل بدنه سیب قرار دارد. شکل ۴ روندنمای آشکارسازی دم سیب بر اساس رنگ را نشان می‌دهد. تصویر ورودی به این الگوریتم، تصویر رنگی سیب جداشده از زمینه است. در ادامه ساختار الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی دم بر اساس رنگ شرح داده می‌شود.

2. Dilation
3. Erosion

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳: (الف) تصویر خاکستری، (ب) مرز سیب، (ج) نمونه‌برداری با فاصله ۵ نقطه و (د) نمودار اختلاف زوایا در نقاط مرزی.



شکل ۴: روندنمای آشکارسازی دم سیب بر اساس رنگ.

Archive
www.SID.ir

• **طبقه‌بندی هر پیکسل از تصویر سیب به کمک فاصله ماهالانوبیس**

در این قسمت برای هر پیکسل از تصویر سیب، فاصله ماهالانوبیس[1] در فضای رنگی RGB محاسبه می‌شود. فاصله ماهالانوبیس را می‌توان از (۲) محاسبه کرد [۱۵]

$$\Delta^2 = (\bar{x}-\bar{m})' \bar{\Sigma}^{-1}(\bar{x}-\bar{m})$$
$$\bar{x} = \begin{bmatrix} r_p \\ g_p \\ b_p \end{bmatrix} \ , \ \bar{m} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_p \\ \tilde{g}_p \\ \tilde{b}_p \end{bmatrix} \ , \ \bar{\Sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{rr} & \sigma_{rg} & \sigma_{rb} \\ \sigma_{gr} & \sigma_{gg} & \sigma_{gb} \\ \sigma_{br} & \sigma_{bg} & \sigma_{bb} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

که در آن x بردار مؤلفه‌های رنگی RGB هر پیکسل از تصویر، m بردار میانگین و Σ کوواریانس مؤلفه‌های رنگی است. در صورتی که این فاصله از یک آستانه معینی کمتر باشد، آن پیکسل به عنوان پیکسل دم معرفی می‌شود. به طور تجربی مقدار آستانه ۴٫۵ انتخاب می‌شود. تصویر خروجی یک تصویر باینری با مقدار یک برای پیکسل‌های دم و صفر برای سایر پیکسل‌ها است.

• **حذف نواحی با مساحت‌های کوچک**

پس از طبقه‌بندی تصویر سیب به دو کلاس دم و غیر دم، بعضی از نواحی غیر دم به عنوان دم طبقه‌بندی می‌شوند. با محاسبه مساحت هر ناحیه می‌توان نواحی با مساحت‌های بیشتر از یک آستانه را انتخاب و سایر نواحی را حذف کرد. مقدار آستانه برابر با ۷۰ پیکسل انتخاب شده است. مقدار آستانه به طور تجربی محاسبه شده است.

• **محاسبه میزان کشیدگی و تصمیم‌گیری در مورد وجود دم**

در صورتی که مساحت ناحیه آشکارشده به عنوان دم، کوچک‌تر از ۷۰ پیکسل باشد، الگوریتم به پایان رسیده و سیب بدون دم شناخته می‌شود. برای نواحی با مساحت بین ۷۰ تا ۱۰۰۰ پیکسل، میزان کشیدگی محاسبه می‌شود. سپس ناحیه با بیشترین کشیدگی به عنوان دم معرفی خواهد شد. اگر مساحت ناحیه آشکارشده بیشتر از ۱۰۰۰ پیکسل باشد، باید به مرحله استخراج ویژگی H روی ناحیه نامزد دم فرستاده شود. میزان کشیدگی را به صورت حاصل تقسیم کشیدگی طولی به کشیدگی عرضی تعریف می‌کنیم. در حقیقت میزان کشیدگی‌های طولی و عرضی به ترتیب قطر بزرگ و کوچک بیضی دربرگیرنده ناحیه مورد بررسی است. برای محاسبه قطر بزرگ و کوچک بیضی در برگیرنده از دستور 'regionprops' استفاده می‌کنیم. در صورتی که میزان کشیدگی ناحیه مورد نظر بزرگ‌تر یا مساوی ۲ باشد، الگوریتم به پایان رسیده و سیب دم‌دار و در غیر این صورت بدون دم معرفی می‌شود. علاوه بر آشکارسازی دم، الگوریتم قادر است یک تصویر باینری تولید کند که در آن ناحیه دم مشخص شده است. مقادیر آستانه به طور تجربی و با بررسی تصاویر مختلف انتخاب شده‌اند.

• **محاسبه مؤلفه H برای ناحیه نامزد دم و آستانه‌گیری روی آن**

در صورتی که ناحیه آشکارشده دارای مساحتی بیشتر از ۱۰۰۰ پیکسل باشد، باید ویژگی H از فضای رنگی HSI روی ناحیه مورد نظر محاسبه شود. برای آستانه‌گیری روی مؤلفه H از روش اتسو استفاده می‌شود. پس از آستانه‌گیری تصویر باینری به دست می‌آید. تصویر باینری حاصل ممکن است دارای نواحی غیر دم نیز باشد. به همین دلیل نواحی کوچک‌تر از ۳۰ پیکسل حذف می‌شود. مقدار آستانه به طور تجربی و با بررسی تصاویر مختلف انتخاب شده است. تصویر به دست آمده از این مرحله، ورودی مرحله محاسبه میزان کشیدگی است. با توجه به این که ممکن است، تعداد نواحی آشکارشده در مرحله بعدی (محاسبه میزان کشیدگی) بیشتر از یک باشد، در مرحله محاسبه میزان کشیدگی دم، ناحیه با بیشترین کشیدگی به عنوان دم معرفی می‌شود.

۲-۵ اصلاح طبقه‌بندی بر اساس فاصله

عملیات انجام‌شده در این بخش را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. در صورت آشکارسازی دم، عملیات مربوط به دسته اول برای اصلاح طبقه‌بندی انجام شده و در غیر این صورت دسته دوم اجرا خواهد شد. در هر یک از مراحل فوق، نواحی مربوط به کلاس کاسبرگ، زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه بررسی و اصلاح می‌شوند. نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس‌های سالم و ضرب‌خوردگی بدون تغییر باقی می‌مانند.

۲-۵-۱ اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس زنگ دمگاه

ابتدا نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس دم به زنگ دمگاه تبدیل می‌شود. هدف این کار اصلاح نواحی زنگ دمگاهی است که به اشتباه به عنوان دم معرفی شده‌اند. ناحیه دم توسط الگوریتم آشکارسازی دم در پایان اصلاح طبقه‌بندی به تصویر نهایی اعمال می‌شود. نواحی زنگ دمگاهی که فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه دم بیشتر از ۱۵۰ پیکسل باشد، به زنگ خارج از دمگاه تبدیل شده و در غیر این صورت تغییر نمی‌کنند. در صورت عدم آشکارسازی دم، بزرگترین ناحیه طبقه‌بندی‌شده به کلاس زنگ دمگاه پیدا می‌شود. اگر این ناحیه دارای مساحتی کمتر از ۳۰۰ پیکسل باشد، کل نواحی زنگ دمگاه به زنگ خارج از دمگاه تبدیل می‌شوند. در غیر این صورت، بزرگترین ناحیه به عنوان زنگ دمگاه و سایر نواحی به زنگ خارج از دمگاه تبدیل می‌شوند. مقادیر آستانه ذکرشده در بالا و در بخش بعد از بررسی تصاویر موجود در پایگاه داده به دست آمده و کاملاً تجربی است. در حالت کلی باید مقادیر آستانه با توجه به سطح سیب انتخاب شوند.

۲-۵-۲ اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس زنگ خارج از دمگاه

در صورت آشکارسازی دم، نواحی زنگ خارج از دمگاهی که فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه دم کمتر از ۱۰۰ پیکسل باشد، به زنگ دمگاه تبدیل شده و در غیر این صورت بدون تغییر باقی می‌مانند. در صورت عدم آشکارسازی دم، اصلاح طبقه‌بندی مشروط به وجود زنگ دمگاه است. در صورت وجود زنگ دمگاه، نواحی زنگ خارج از دمگاهی که فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه زنگ دمگاه کمتر از ۱۰۰ پیکسل باشد، به عنوان زنگ دمگاه معرفی شده و سایر نواحی بدون تغییر باقی می‌مانند. در صورت عدم وجود زنگ دمگاه، نواحی زنگ خارج از دمگاه بدون تغییر باقی می‌مانند.

۲-۵-۳ اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس کاسبرگ

در صورت آشکارسازی دم، نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس کاسبرگ که فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه دم کمتر از ۱۰۰ پیکسل باشد، به زنگ دمگاه تبدیل می‌شوند. برای سایر نواحی میزان کشیدگی محاسبه می‌شود. نحوه محاسبه میزان کشیدگی در ۲-۴-۲ آمده است. اگر مساحت بزرگ‌ترین ناحیه کمتر از ۱۰۰ پیکسل باشد، تمام نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس کاسبرگ به عنوان ضرب‌خورده معرفی می‌شوند. علت تبدیل، شباهت رنگی بین این دو کلاس است. اگر مساحت بزرگ‌ترین ناحیه بیش از ۱۰۰ پیکسل و کمترین کشیدگی کوچک‌تر از ۱٫۷ پیکسل باشد، ناحیه با کمترین کشیدگی به عنوان کاسبرگ و سایر نواحی به عنوان ضرب‌خورده معرفی می‌شوند. در صورت عدم برقراری شرط فوق، تمام نواحی به عنوان ضرب‌خورده معرفی می‌شوند.

1. Mahalanobis

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱: ماتریس سردرگمی طبقه‌بندی به ۶ کلاس به کمک شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه میانی (مقادیر موجود در جدول، میانگین ۵ بار آزمایش).

کلاس / ورودی	دم	کاسبرگ	ضرب‌خوردگی	زنگ دمگاه	زنگ خارج از دمگاه	سالم	نرخ بازشناسی درست
دم	۳۹۷۸٫۴	۳۶۰	۴۶	۴۶۱٫۲	۱۵۳٫۸	۰٫۶	٪۷۹٫۵۷
کاسبرگ	۶۶۹٫۴	۳۷۷۰	۲۷٫۶	۲۵۳٫۶	۲۷۹٫۴	۰	٪۷۵٫۴۰
ضرب‌خوردگی	۱۲٫۶	۳۶٫۲	۴۳۳۰٫۴	۱۰۲٫۴	۴۸۱٫۴	۳۷	٪۸۶٫۶۱
زنگ دمگاه	۷۶۵٫۲	۳۵۱٫۶	۴۷٫۴	۲۷۸۰	۱۰۵۵٫۸	۰	٪۵۵٫۶
زنگ خارج از دمگاه	۱۸۷	۱۰۹٫۲	۳۲۸٫۸	۹۹۲٫۲	۳۳۸۱	۱٫۸	٪۶۷٫۶۲
سالم	۰	۰٫۲	۱۱۵٫۲	۰٫۲	۰	۴۸۸۴٫۴	٪۹۷٫۶۹

در صورت عدم آشکارسازی دم، مساحت و میزان کشیدگی نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس کاسبرگ محاسبه می‌شود. اگر مساحت بزرگترین ناحیه کمتر از ۱۰۰ پیکسل باشد، کل نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس کاسبرگ به عنوان ضرب‌خورده معرفی می‌شوند. در غیر این صورت بر اساس میزان کشیدگی، کاسبرگ شناسایی شده و سایر نواحی به کلاس ضرب‌خوردگی تبدیل می‌شوند.

۲-۶ درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس بعضی از معیارهای استاندارد اروپایی

در استاندارد اروپایی سیب‌ها بر اساس نوع و میزان خرابی به چهار کلاس عالی[1]، درجه یک، درجه دو و وازده درجه‌بندی می‌شوند. در کلاس عالی، سیب‌ها کاملاً سالم بوده و فاقد هرگونه خرابی هستند. بقیه کلاس‌ها بر اساس نوع و میزان خرابی مشخص می‌شوند. معیارهای معرفی‌شده در این استاندارد، بر اساس مساحت و درازای نواحی خراب در سیب است. با توجه به تغییر ابعاد سیب‌ها، معیار درصد خرابی با (۳) تعریف می‌شود [۲]

$$\text{درصد خرابی} = \frac{\text{مساحت ناحیه خراب در تصویر}}{\text{مساحت سیب در تصویر}} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

حداقل قطر سیب‌های زرد لبنانی در استاندارد اروپایی برای کلاس‌های عالی، درجه یک و درجه دو به ترتیب ۷۰ و ۶۵ میلی‌متر است. بنابراین با فرض دایره‌ای‌بودن سطح سیب در هر تصویر معیار درجه‌بندی سیب‌ها به هر کلاس به صورت زیر تعریف می‌شود:

- **کلاس عالی**

در این کلاس سیب‌ها فاقد ضرب‌خوردگی و زنگ هستند. خرابی زنگ دمگاه در صورتی که از دمگاه خارج نشود، مجاز است.

- **کلاس درجه یک**

در این کلاس مساحت ناحیه ضرب‌خوردگی نباید از ۱ سانتیمتر مربع بیشتر باشد. بنابراین حداکثر درصد خرابی ضرب‌خوردگی در کلاس درجه یک به صورت زیر قابل محاسبه است

$$\text{حداکثر درصد خرابی ضرب‌خوردگی} = \frac{۱\,\text{cm}^۲}{\pi(۶۵\,\text{mm}/۲)^۲} \times ۱۰۰ = ۳٫۰۱٪$$

میزان خرابی زنگ خارج از دمگاه نباید از ۵٪ بیشتر باشد. خرابی زنگ دمگاه می‌تواند اندکی از دمگاه خارج شود. با توجه به اینکه حداکثر میزان این خرابی در استاندارد به صورت مقدار عددی مشخص نشده، به طور تجربی و بر اساس پایگاه داده تصویری مقدار ۳٪ انتخاب شده است.

- **کلاس درجه دو**

در این کلاس مساحت ناحیه ضرب‌خوردگی نباید از ۲٫۵ سانتیمتر مربع بیشتر باشد. بر این اساس حداکثر درصد خرابی معادل با ۷٫۵۳ است. میزان خرابی زنگ خارج از دمگاه نباید از ۳۳٪ بیشتر باشد. خرابی زنگ دمگاه می‌تواند تا حدی از دمگاه خارج شود. همانند کلاس درجه یک، به طور تجربی مقدار ۷٪ انتخاب شده است.

- **کلاس وازده**

در صورتی که هر یک از شرایط ذکرشده در بالا برقرار نباشد، سیب در کلاس وازده قرار خواهد گرفت.

۳- آزمایش الگوریتم و بررسی نتایج

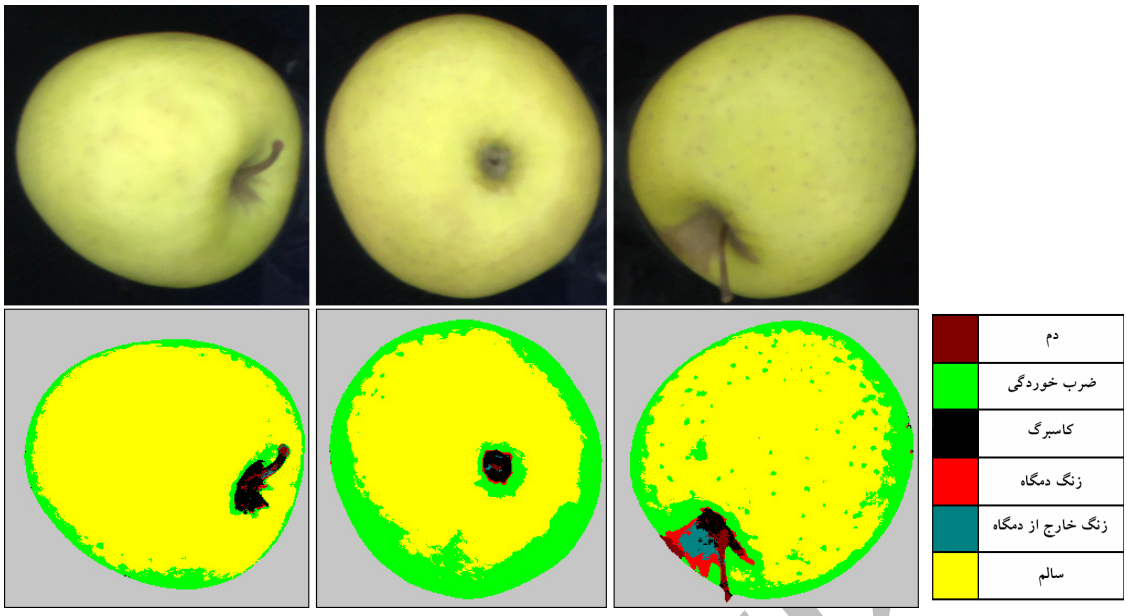
۳-۱ نتایج طبقه‌بندی پیکسلی به ۶ کلاس با شبکه عصبی

برای پیاده‌سازی و آزمایش الگوریتم از یک پایگاه داده ۳۰۰ تصویری استفاده شده است. در این پایگاه داده از هر سیب یک تصویر با ابعاد ۷۶۸×۵۷۶ و درجه تفکیک ۳٫۵ پیکسل بر میلیمتر وجود دارد. تصاویر سیب همگی از بالا در حالتی که محور دوربین عمود بر صفحه زمینه است، گرفته شده و فاصله دوربین از سیب در تمام تصاویر یکسان است. این پایگاه داده از طریق ارتباط با یک محقق اسپانیایی[2] تهیه شده است [۶]. قبل از طبقه‌بندی پیکسلی باید شبکه عصبی آموزش داده شود. برای این کار نیمی از تصاویر پایگاه داده به طور تصادفی به مجموعه آموزش و نیم دیگر به مجموعه آزمایش اختصاص داده شد. از تصاویر مجموعه آموزشی برای هر کلاس پنجره‌هایی با ابعاد بزرگ نمونه‌برداری شد. سپس از بین پنجره‌های نمونه‌برداری‌شده برای هر کلاس به طور تصادفی ۱۰۰۰۰ پیکسل نمونه‌برداری شد. ۵۰۰۰ نمونه به طور تصادفی برای مجموعه آموزش و ۵۰۰۰ نمونه دیگر برای مجموعه آزمایش در نظر گرفته شد. بنابراین با توجه به ۶ کلاس طبقه‌بندی، تعداد نمونه‌های مجموعه آموزشی و آزمایشی با هم برابر بوده و معادل ۳۰۰۰۰ نمونه پیکسلی است.

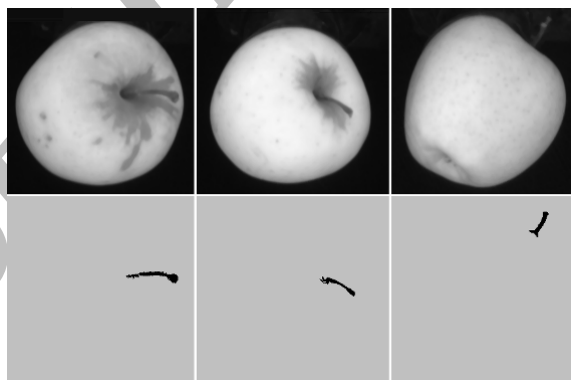
هر نمونه پیکسلی از مجموعه آموزشی با ۳ ویژگی نرمالیزه R، G و B به شبکه عصبی پرسپترون (با یک لایه میانی) با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا داده می‌شود. شبکه عصبی با ۱۵ نرون در لایه میانی، آموزش داده شد. جدول ۱ ماتریس سردرگمی آزمایش طبقه‌بندی به ۶ کلاس را به همراه نرخ بازشناسی درست در هر کلاس نشان می‌دهد. از آنجایی که وزن‌های اولیه شبکه به طور تصادفی مقداردهی می‌شود،

1. Extra
2. Blasco

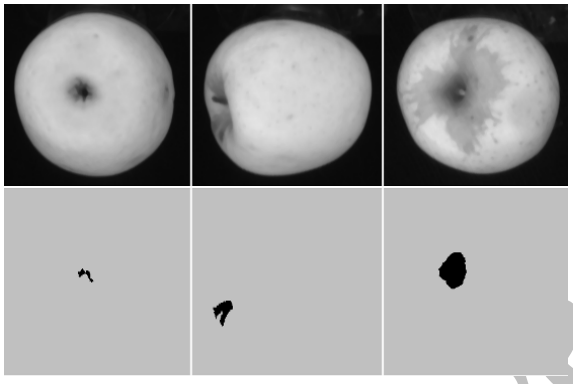
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵: سه نمونه از طبقه‌بندی تصاویر سیب به کمک شبکه عصبی پرسپترون.



شکل ۶: سه نمونه از آشکارسازی صحیح دم سیب.



شکل ۷: سه نمونه از عدم آشکارسازی دم سیب. در ستون میانی، سیب دم‌دار است ولی آشکار نشده است.

جدول ۲: نتایج آزمایش الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی دم روی مجموعه ۲۰۰ تصویری.

		کلاس تصمیم	
		با دم	بدون دم
کلاس ورودی	با دم	۸۷	۱۳
	بدون دم	۱۰	۹۰

شبکه عصبی را ۵ بار آموزش داده و آزمایش کردیم. بنابراین مقادیر موجود در جدول ۱ میانگین ۵ بار آزمایش است. دقت طبقه‌بندی کلی ۷۷٪ است.

کلاس سالم دارای بیشترین دقت طبقه‌بندی و کلاس زنگ دمگاه دارای کمترین دقت طبقه‌بندی است. نمونه‌های کلاس دم با کلاس زنگ دمگاه اشتباه می‌شوند. در کلاس کاسبرگ، نمونه‌ها با کلاس دم و در کلاس ضرب‌خوردگی، نمونه‌ها بیشتر با کلاس زنگ دمگاه اشتباه می‌شوند. در کلاس زنگ دمگاه، نمونه‌ها با کلاس دم و در کلاس زنگ خارج از دمگاه با کلاس زنگ دمگاه اشتباه می‌شوند. نمونه‌های کلاس سالم تا حدودی به درستی شناسایی شده و تنها با کلاس ضرب‌خوردگی اشتباه می شوند. برای بررسی عملکرد طبقه‌بندی بدین روش، چند تصویر را به طور تصادفی انتخاب کرده و برای طبقه‌بندی به شبکه عصبی دادیم. شکل ۵، سه نمونه از طبقه‌بندی تصاویر سیب بر اساس ویژگی‌های RGB را نشان می‌دهد.

۳-۲ نتایج آزمایش آشکارسازی دم

برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی دم، ۲۰۰ تصویر سیب (۱۰۰ تصویر از سیب‌های با دم و ۱۰۰ تصویر از سیب‌های بدون دم) به طور تصادفی از پایگاه داده تصویری انتخاب می‌کنیم. جدول ۲ نتایج آزمایش الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی دم روی مجموعه آزمایش ۲۰۰ تصویری را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ می‌توان دریافت که نرخ بازشناسی درست برای کلاس‌های با دم و بدون دم به ترتیب ۸۷٪ و ۹۰٪ بوده و دقت طبقه‌بندی کلی برابر با ۸۸/۵٪ است. خطاهای حاصل از آزمایش الگوریتم آشکارسازی دم در زیر آمده است:

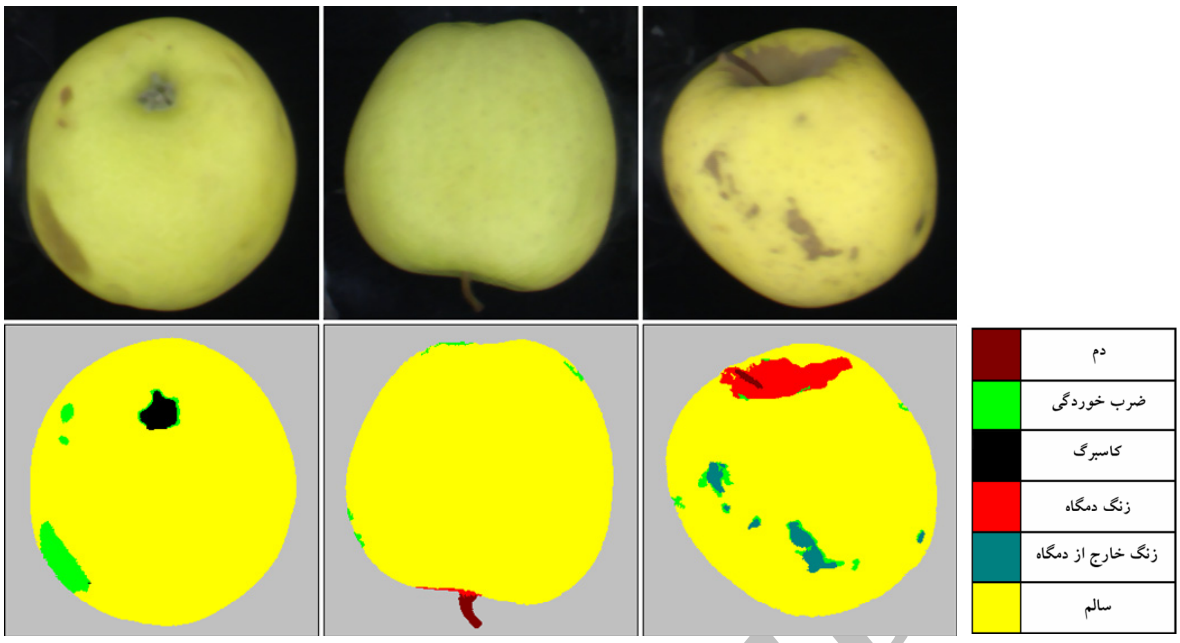
- سیب‌های با دم کوتاه و خمیده به درستی شناسایی نمی‌شوند.
- خرابی زنگ به جای دم معرفی می‌شود.
- کاسبرگ در تصاویر فاقد دم، به جای دم معرفی می‌شود.

شکل ۶، سه نمونه از آشکارسازی صحیح دم سیب توسط الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی دم را نشان می‌دهد. در شکل ۷، سه نمونه از خطاهای حاصل از آزمایش الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی دم آمده است.

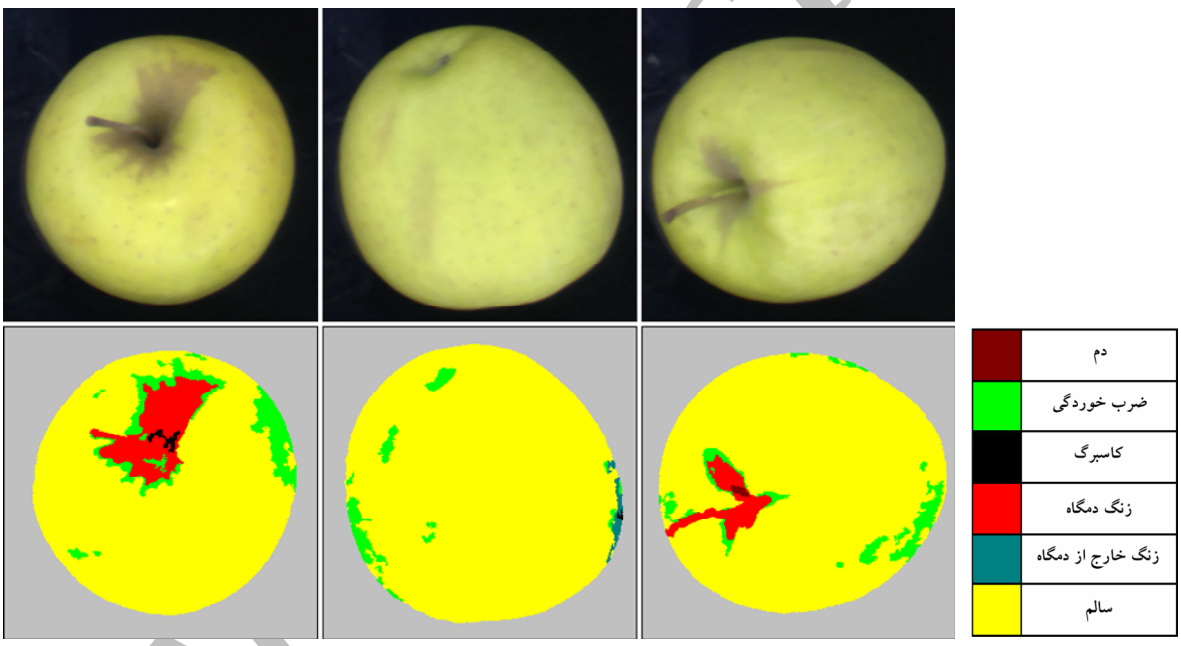
۳-۳ نتایج آزمایش درجه‌بندی سیب‌ها

با توجه به محدودبودن پایگاه داده تصویری و نداشتن تعداد کافی از نمونه‌های کلاس عالی، تنها سه کلاس درجه یک، درجه دو و وازده برای

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸: سه نمونه از طبقه‌بندی پیکسلی تصویر سیب که توسط الگوریتم پیشنهادی به درستی درجه‌بندی شده است.



شکل ۹: سه نمونه از طبقه‌بندی پیکسلی اشتباه که منجر به درجه‌بندی نادرست می‌شود.

جدول ۳: ماتریس سردرگمی درجه‌بندی به سه کلاس بر اساس میزان خرابی‌های ضرب‌خوردگی و زنگ در استاندارد اروپایی.

کلاس / ورودی	درجه یک	درجه دو	وازده
درجه یک	۳۵	۵	۰
درجه دو	۷	۲۹	۴
وازده	۱	۵	۳۴

درجه‌بندی انتخاب شده است. برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی درجه‌بندی سیب‌ها، ۱۲۰ تصویر (۴۰ تصویر برای هر کلاس) انتخاب شده است. قراردادن تصویر در هر کلاس به کمک یک عامل انسانی و بر اساس مشخصات ظاهری تصویر انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش الگوریتم درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس مقایسه با نظر عامل انسانی است. جدول ۳ نتایج درجه‌بندی سیب‌ها به سه کلاس بر اساس میزان خرابی‌های ضرب‌خوردگی و زنگ در استاندارد اروپایی را به صورت ماتریس سردرگمی نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۳، نرخ بازشناسی درست برای کلاس درجه یک، درجه دو و وازده به ترتیب ۸۷/۵٪، ۷۲/۵٪ و ۸۵٪ است. دقت طبقه‌بندی کلی برابر با ۸۱/۶۶٪ خواهد بود. شکل ۸، سه نمونه از طبقه‌بندی پیکسلی تصویر سیب را نشان می‌دهد که توسط الگوریتم درجه‌بندی سیب‌ها به درستی انجام شده است. شکل ۹ سه نمونه از طبقه‌بندی پیکسلی اشتباه را نشان می‌دهد که منجر به درجه‌بندی نادرست شده است. خطاهای درجه‌بندی سیب‌ها ناشی از عوامل زیر هستند:

- عدم شناسایی کاسبرگ به دلیل کشیدگی زیاد و معرفی آن به عنوان ضرب‌خوردگی.
- عدم شناسایی صحیح ناحیه ضرب‌خوردگی و معرفی ناحیه سالم به عنوان ضرب‌خورده.
- اشتباه‌شدن زنگ دمگاه با زنگ خارج از دمگاه در تصاویر فاقد دم.

www.SID.ir

نتایج درجه‌بندی سیب‌ها به کمک الگوریتم ارائه‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که دقت طبقه‌بندی نسبت به [۵] بهبود یافته است. در [۵] درجه‌بندی سیب‌های زرد لبنانی به ۴ کلاس بر اساس استاندارد اروپایی انجام شده و دقت طبقه‌بندی کلی در آن ۷۸٪ است. پایگاه داده تصویری در [۵] شامل ۵۲۸ تصویر سیب است، که سهم نمونه‌های کلاس عالی، درجه یک، درجه دو و وازده در این پایگاه به ترتیب ۶۹٪، ۱۲٪، ۶٪ و ۱۳٪ است. در [۵] که از روش تطابق با کلیشه برای تمیز دمگاه و کاسبرگ از خرابی استفاده شده، نتایج آشکارسازی دم ذکر نشده است.

نتایج در [۶] به صورت قابلیت تکرارپذیری[1] سیستم درجه‌بندی بیان شده و امکان مقایسه وجود ندارد. در حقیقت برای آزمایش سیستم از ۱۲۴۷ سیب (از هر سیب ۴ تصویر) استفاده شده است. در [۶] از استاندارد اسپانیایی برای درجه‌بندی سیب‌های زرد لبنانی استفاده شده که نسبت به استاندارد اروپایی محدودیت کمتری دارد. در [۶] برای بررسی عملکرد آشکارسازی دم، ۱۰۰ سیب (۱۳ سیب بدون دم و ۸۷ سیب با دم) به سیستم معرفی شده است. نرخ بازشناسی درست سیب‌های با دم و بدون دم به ترتیب ۹۷/۷٪ و ۷۶/۹٪ است. در [۶] با در دست داشتن ۴ تصویر از هر سیب در مورد وجود دم تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین در صورت استفاده از ۴ تصویر به جای ۱ تصویر، دقت طبقه‌بندی به دست آمده در این مقاله افزایش خواهد یافت. از طرفی تعداد نمونه‌های با دم و بدون دم در [۶] با هم برابر نبوده و این امر در دقت آشکارسازی مؤثر است.

در کار ما از لحاظ طبقه‌بندی پیکسلی نیز نتایج بهتری نسبت به نتایج موجود در [۷] حاصل شده است. در [۷] با بکارگیری ویژگی‌های رنگی، بافتی و طیفی، طبقه‌بندی پیکسلی تصویر سیب به سه کلاس سالم، خراب و دم–کاسبرگ انجام شده است. دقت طبقه‌بندی کلی ۸۹/۹٪ روی پایگاه داده ۶ تصویری به دست آمده است. نتایج در [۷] مربوط به طبقه‌بندی پیکسلی بوده و در آن دم و کاسبرگ در یک کلاس قرار گرفته‌اند. با توجه به یکسان‌نبودن شرایط آزمایش در این مقاله و پژوهش‌های پیشین، داوری مشکل است. در کار ما کلاس زنگ به دو بخش زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه تقسیم شده و این نکته در پژوهش‌های پیشین مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس شناسایی نوع خرابی انجام شده است. نتایج بدست آمده در طبقه‌بندی پیکسلی و درجه‌بندی سیب‌ها نیز مناسب است.

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله درجه‌بندی سیب‌ها بر اساس دو نوع خرابی ضرب‌خوردگی و زنگ انجام شده است. برای درجه‌بندی از بعضی از معیارهای استاندارد اروپایی استفاده شده است. خرابی زنگ را می‌توان با توجه به استاندارد به دو کلاس زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه تقسیم کرد. در الگوریتم پیشنهادی درجه‌بندی سیب‌ها، ابتدا تصاویر سیب به ۶ کلاس سالم، دم، کاسبرگ، زنگ دمگاه، زنگ خارج از دمگاه و ضرب‌خوردگی به صورت پیکسلی طبقه‌بندی می‌شوند. سپس نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس ضرب‌خوردگی اصلاح و کاهش نویز انجام می‌شود. بعضی از نواحی را می‌توان به کمک فاصله گرانیگاهشان تا گرانیگاه دم آشکارشده اصلاح کرد. با توجه به اینکه حداکثر میزان خرابی در استاندارد اروپایی به صورت مساحت و درازای ناحیه خراب است، معیار درصد خرابی تعریف و بر اساس آن درجه‌بندی سیب‌ها انجام شده است.

نتایج درجه‌بندی نشان می‌دهد که دقت طبقه‌بندی کلی ۸۱/۶۶٪ است.

1. Repeatability

به دلیل تصاویر و شرایط آزمایش غیر یکسان، داوری ساده نیست. البته هدف اصلی در این مقاله شناسایی نوع خرابی بوده که تا حدودی تحقق یافته است. از طرفی خرابی زنگ به دو کلاس زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه تقسیم شده، در حالی که در پژوهش‌های پیشین به آن توجه نشده است. با توجه به اهمیت آشکارسازی دم در استاندارد اروپایی، در این مقاله روش جدیدی برای پیداکردن دم ارائه شده است. نتایج روی پایگاه داده محدود به دست آمده و الگوریتم باید روی پایگاه داده وسیع‌تر آزمایش شود. برای اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس ضرب‌خوردگی، ویژگی‌های مناسب‌تر و روش‌های آستانه‌گیری بهتر باید بررسی شود. برای بهبود طبقه‌بندی پیکسلی می‌توان از ویژگی‌های مناسب‌تر و طبقه‌بندهای بهتر استفاده کرد.

مراجع

[1] V. Leemans and M. Destain, "A real-time grading method of apples based on features extracted from defects," *J. of Food Engineering*, vol. 61, no. 1, pp. 83-89, Jan. 2004.

[2] D. Unay and B. Gosselin, "A quality grading approach for Jonagold apples," in *Proc. of the IEEE Benelux Signal Processing Symp.*, pp. 93-96, Hilvarenbeek, the Netherlands, 15-16 Apr. 2004.

[3] D. Unay and B. Gosselin, "A study on quality grading of Jonagold apples," in *Proc. of the IEEE Int. Symp. on Signal Processing and Information Technology*, pp. 271-273, 14-17 Dec. 2003.

[4] D. Unay and B. Gosselin, Artificial Neural Network-Based Segmentation and Apple Grading by Machine Vision, 2004, http://www.tcts.fpms.ac.be.

[5] V. Leemans, H. Magein, and M. F. Destain, "On-line fruit grading according to their external quality using machine vision," *Biosystems Engineering*, vol. 83, no. 4, pp. 397-404, Dec. 2002.

[6] J. Blasco, N. Aleixos, and E. Molto, "Machine vision system for automatic quality grading of fruit," *Biosystems Engineering*, vol. 85, no. 4, pp. 415-423, Aug. 2003.

[7] D. Unay and B. Gosselin, "Apple defect detection and Quality Classification with MLP-neural networks," in *Proc. of the 13th Workshop on Circuits: Systems and Signal Processing*, pp. 501-506, Veldhoven, Netherlands, 2002.

[8] O. Kleynen, V. Leemans, and M. F. Destain, "Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples," *J. of Food Engineering*, vol. 69, no. 1, pp. 41-49, Jul. 2005.

[9] P. M. Mehl, Y. R. Chen, M. S. Kim, and D. E. Chan, "Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations," *J. of Food Engineering*, vol. 61, no. 1, pp. 67-81, Jan. 2004.

[10] UNECE STANDARD FFV - 50 concerning the marketing and commercial quality control of Apples, http://www.unece.org/trade/agr/standard/fresh/fresh_e.htm.

[۱۱] ح. میرنظامی ضیابری و ح. جهاندیده کوهی، *غذا (اصول و روش‌های نگهداری مواد غذایی)*، تندرستی و بیماری، نشر علوم کشاورزی، ۱۳۸۰.

[12] G. Feng and C. Qixin, "Study on color image processing based intelligent fruit sorting system," in *Proc. of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 6, pp. 4802-4805, 15-19 Jun. 2004.

[۱۳] م. باژن، *درجه‌بندی کیفی سیب بر اساس خرابی‌های سطحی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.

[14] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. on Systems: Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.

[15] V. Leemans, H. Magein, and M. F. Destain, "Defect segmentation on Golden delicious apples by using colour machine vision," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 20, no. 2, pp. 117-130, Jul. 1998.

مهدی باژن کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در مهندسی برق والکترونیک به ترتیب از دانشگاه گیلان و دانشگاه تربیت مدرس در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۵ دریافت کرد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او پردازش تصویر و بینایی ماشین است.

Archive of SID

www.SID.ir

احسان‌اله کبیر کارشناسی ارشد پیوسته خود را در مهندسی برق و الکترونیک از دانشکده فنی دانشگاه تهران و دکترای خود را در مهندسی سیستم‌های الکترونیک از دانشگاه اسکس در انگلستان، به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۶۹ دریافت کرد. او اکنون استاد بخش مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او عبارتند از: بازشناسی الگو به ویژه بازشناسی متون چاپی و دست‌نویس و بینایی ماشین.

Archive of SID

www.SID.ir