

به کارگیری سامانه هوشمند برای تعیین ارزش ریالی دانه‌های برنج سفید بر اساس خواص ظاهری و درصد برنج شکم گچی

زهرا اسمعیلی^۱، بهرام حسین‌زاده سامانی^{۲*}، سجاد رستمی^۳ و حماد ذرعی‌فروش^۴

چکیده

درجه‌بندی و دسته‌بندی کیفی برنج یکی از عوامل مؤثر بر بازارپسندی و رضایت مشتری است. هدف از این پژوهش تدوین الگوریتم دقیقی برای تشخیص سه شاخص مهم کیفی دانه‌های برنج شامل درصد دانه‌های شکسته، درصد دانه‌های گچی و درجه سفیدی دانه‌های برنج بود. تعدادی نمونه‌ی برنج رقم علی‌کاظمی، از مؤسسه تحقیقات برنج کشور تهیه شد. پس از نظرسنجی از اشخاص خبره، از هر یک از ویژگی‌های مذکور سه سطح کمی (کم، متوسط و زیاد) تعریف شد. از هر ۲۷۰ نمونه برنج در شرایط یکسان تصویربرداری انجام شد. در تدوین مدل استنتاج فازی برای قیمت‌گذاری محصول از موتور استنتاج فازی نوع ممدانی بهره‌گیری شد و غیرفازی‌سازی با غیرفازی‌ساز مرکز ناحیه انجام شد. نتایج نشان داد که دقت الگوریتم پردازش تصویر در تشخیص درصد عددی دانه‌های شکسته، درصد عددی دانه‌های گچی و درجه سفیدی دانه‌های برنج به‌ترتیب و به طور متوسط برابر با ۹۵/۲ درصد، ۹۰/۷۴ درصد و ۹۸/۹۹ درصد بود. زمان کل مورد نیاز برای اجرای الگوریتم پردازش تصویر و فرآیند استنتاج فازی با سه ورودی تا تعیین قیمت محصول برابر ۲/۲۴ ثانیه بود. تصمیمات گرفته شده با مدل فازی در ۹۵/۲ درصد از موارد با نظر اعلام شده از سوی کارشناس خبره همخوانی داشت. این سامانه به خوبی می‌تواند جایگزین روش‌های سنتی مورد استفاده در بازار خرید و فروش و کارخانه‌های فرآوری محصول برنج شده و در زمان کمتر و با دقت بیشتر خصوصیات کلیدی دانه‌های برنج را ارزیابی کند.

واژه‌های کلیدی: برنج، پردازش تصویر، درجه سفیدی، دانه شکسته، شکم گچی، منطق فازی.

ارجاع: اسمعیلی ز. حسین‌زاده سامانی ب. رستمی س. و ذرعی‌فروش ح. ۱۳۹۵. به کارگیری سامانه هوشمند برای تعیین ارزش ریالی دانه‌های برنج سفید بر اساس خواص ظاهری و درصد برنج شکم گچی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۵(۲): ۴۷-۵۷

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۴- استادیار گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه گیلان.

* نویسنده مسئول: b.hosseinzadehsamani@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۷

مقدمه

برنج از مهم‌ترین اقلام غذایی جهان است که در بین غلات، پس از گندم در سطح بسیار وسیعی از زمین‌های زراعی کشورهای مختلف جهان کشت می‌شود (Kaur & Singh, 2013). از جنبه‌های مهم تمایز گیاه برنج نسبت به سایر غلات، اهمیت کیفی-اقتصادی و به عبارت بهتر بازاری پسندی این محصول است (Siebenmorgen et al., 1998). مصرف گسترده برنج در کشورهای مختلف سبب توجه به مراحل مختلف فرآوری آن شده است و برای بهینه‌سازی و استانداردسازی این فرآیند، استانداردهای مختلفی تدوین شده است. درجه‌بندی و دسته‌بندی کیفی برنج یکی از عوامل مؤثر بر بازاری پسندی و رضایت مشتری است. غالباً در دنیا برای افزایش کیفیت ارائه محصول برنج، درجه‌بندی آن مانند حذف دانه‌های آسیب‌دیده، دانه‌های گچی، نارس، سرسوخته و غیره با استفاده از روش‌های مکانیکی و خودکار انجام می‌شود (Mousavirad et al., 2012). بیشتر کشاورزان و مصرف‌کنندگان به خصوصیات ظاهری ارقام برنج مانند: ابعاد دانه، شفافیت و گچی بودن آن توجه دارند. ظاهر پسندی دانه به مات بودن و وسعت گچی آندوسپرم (درون دانه) بستگی دارد (Tashiro & Vardlaw, 1991). بر پایه مات بودن آندوسپرم، دانه برنج به واکسی یا به طور کامل مات با مقدار آمیلوپکتین زیاد و آمیلوز کم، و غیر واکسی یا دانه‌های شفاف با مقدار آمیلوز کم، و غیر واکسی یا دانه‌های شفاف با مقدار آمیلوز بالا و انواع مختلف گچی طبقه‌بندی می‌شود (Tashiro & Vardlaw, 1991). گچی شدن دانه برنج به دلیل به هم خوردن نظم ذرات نشاسته با فضاهای هوا ایجاد می‌شود و به طور معمول راندمان تبدیل پایی را نتیجه می‌دهد. درجه گچی شدن در ارقام مختلف متفاوت است (Tashiro & Vardlaw, 1991).

از سال‌های پایانی دهه هفتاد میلادی کنترل کیفیت محصولات کشاورزی به تدریج اهمیت خود را بیشتر از قبل نشان داد. تعیین شاخص‌های کیفی، امروزه یکی از موضوع‌های جدید و مورد علاقه مهندسان صنایع غذایی و بیوسستم است؛ زیرا دانستن میزان کیفیت مواد غذایی می‌تواند اطلاعات بیشتری درباره شرایط نگهداری و نظارت آن به ما بدهد (Guzman & Peralta, 2008). در حال حاضر بسیاری از سامانه جدایش و درجه‌بندی محصولات کشاورزی از سوی انسان و بر اساس قضاوت‌های انسانی

است و درجه‌بندی دستی در بسیاری از موارد سبب اشتباه در درجه‌بندی محصول می‌شود (Gonzales & Woods, 1977). در صورت عدم تمرکز عامل انسانی حتی در یک مدت زمان کوتاه، امکان عدم تشخیص بخشی از محصولات آسیب دیده وجود دارد. کنترل کیفیت محصولات در سامانه‌ی مبتنی بر بینایی رایانه‌ای، می‌تواند تضمین کند که از کل بازه زمانی برای بررسی محصولات استفاده شود (Bato et al., 1999). اهمیت مقوله پردازش تصاویر در کنترل کیفیت بدین جهت است که تعیین کیفیت مواد غذایی به این روش، به صورت راحت‌تر و کم هزینه‌تر ممکن است (Timmermans, 1995). اساس تعیین کیفیت مواد غذایی در سامانه پردازش تصویر خواص ظاهری مانند رنگ و ویژگی‌های ریخت شناسی است. این سامانه دارای هزینه پایین و پاسخ‌گویی سریع و دقیق است. (Pour reza et al., 2012). بنابراین سامانه‌های جدایش خودکار مانند سامانه ماشین بینایی به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های سنتی با هدف جدایش بسیاری از محصولات اثبات شده‌اند.

در پژوهشی در سازمان مرکزی ابزارهای علمی هندوستان، دانه‌های برنج با پردازش تصویر درجه‌بندی شدند. در این پژوهش از یک اسکنر برای تصویربرداری استفاده شد. نتایج پژوهش انجام شده در این مرکز نشان داد که سرعت و دقت درجه‌بندی برنج نسبت به روش‌های دستی افزایش یافته است (Maheshwari, 2012). در پژوهشی، از طریق شناسایی برخی نقاط محیطی دانه برنج، پارامترهای شکلی برنج را شناسایی کردند. در این پژوهش، با استفاده از شبکه عصبی، ۸ ویژگی کلیدی برای توصیف شکل دانه بیان شد تا برخی پارامترهای فیزیکی دانه را محاسبه کنند (Gao et al., 2008). در بررسی‌ای به شناسایی ارقام برنج با استفاده از ویژگی‌های بافت تصویر به کمک پردازش تصویر پرداختند. برای تشخیص ارقام برنج، پنج رقم برنج ایرانی به نام‌های فجر، شیرودی، ندا، طارم، محلی و خزر تهیه شدند. سپس شناسایی ارقام با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار انجام شد. پس از ارزیابی شبکه‌های یک لایه با استفاده از ویژگی‌های بافتی، بیشترین دقت طبقه‌بندی برای ارقام شلتوک، برنج قهوه‌ای و سفید به ترتیب ۹۲/۲٪، ۹۷/۸٪ و ۹۸/۹٪ به دست آمد (Yonemaru & Morita, 2012). اولاخ و بانگا یک الگوریتم پردازش تصویر را در محیط نرم‌افزار متلب برای

ویژگی شامل درجه سفیدی (DOM^1)، درصد دانه‌های شکسته (PBK^2) و درصد دانه‌های گچی (PCK^3) مدنظر بود. برای تهیه نمونه‌ها ابتدا ۵ کیلوگرم برنج قهوه‌ای رقم علی‌کاظمی تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه سفیدکن آزمایشگاهی (SATAKE, Model JNMS15, Japan) به برنج سفید تبدیل شدند. برای دستیابی به درجات سفیدی مورد نظر، مدت زمان سفید کردن نمونه‌ها با سفیدکن آزمایشگاهی تغییر داده شد. سپس درجه سفیدی نمونه‌ها به وسیله دستگاه سفیدسنج دیجیتال (KM, Model C-100, Japan) مورد استفاده در مؤسسه تحقیقات برنج کشور اندازه‌گیری شد. پس از تهیه نمونه‌ها با درجات سفیدی مختلف، نمونه‌های مربوط به هر یک از درجات سفیدی به ۳ بخش تقسیم شدند تا ۳ سطح دانه شکسته مختلف برای هریک از سطوح درجه سفیدی ایجاد شود. بدین منظور ابتدا دانه‌های خرد موجود در نمونه‌های سفید شده، با استفاده از یک الک دوار آزمایشگاهی (SATAKE, Model TRG 5A, Japan) با اندازه شیار ۳ میلی‌متر به طور کامل از دانه‌های سالم جداسازی شدند و سپس با توجه به گستره دانه‌خرد به دست آمده از نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته از کیفیت تولید برنج در کارخانجات شالی‌کوبی شمال کشور، سه وضعیت مختلف از نظر درصد دانه‌خرد در هر یک از سطوح درجه‌سفیدی ایجاد شد. همچنین به دلیل وجود دانه‌های گچی در رقم علی‌کاظمی و تأثیر مستقیم این دانه‌ها بر کاهش کیفیت آن، این رقم در این پژوهش استفاده شد. از هر یک از ویژگی‌های نام برده، سه سطح (کم، متوسط و زیاد) تهیه شد و با ترکیب این سطوح، ۲۷ نمونه با ده تکرار مشخص شد. گستره مقادیر هر یک از سه شاخص و قیمت محصول (دارای پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) با در نظر گرفتن ترکیب این سه شاخص در جدول ۱ ارائه شده است. این مقدار با توجه به نظرسنجی به دست آمده از پنج کارشناس مجرب در کارخانجات مختلف شالی‌کوبی در استان گیلان مشخص شد. تغییرات شاخص PCK ، PBK ، DOM و قیمت محصول به ترتیب از کم به زیاد به طور تقریبی در محدوده ۷۶-۴۴، ۵۶-۵، ۱۰-۰ درصد و ۷۵۰۰۰-۵۵۰۰۰ ریال بود.

تعیین شاخص HRY برنج قهوه‌ای انجام دادند. در این روش، چنین فرض شد که دانه‌های شکسته در مقایسه با دانه‌های سالم تعداد پیکسل کمتری را به خود اختصاص می‌دهند. بر همین اساس، یک مقدار آستانه برای تعداد پیکسل‌های مربوط به دانه‌های سالم به دست آمد و دانه‌هایی که تعداد پیکسل مربوط به ناحیه‌ی آن‌ها از مقدار آستانه کمتر بود، از تصویر حذف شدند. در انتها، شاخص HRY با تقسیم تعداد دانه‌های باقیمانده در تصویر دوم بر تعداد کل دانه‌ها در تصویر اول و ضرب عدد به دست آمده در ۱۰۰ به صورت نسبت پیکسلی محاسبه شد (Aulakh & Banga, 2012). پژوهش مشابهی برای تخمین شاخص HRY انجام شد.

مشکل روش‌های موجود و استفاده از خبره در خط تولید در این است که به دلیل زمان زیاد کار و خستگی نیروی کار، تصمیمات فرد خبره یکنواخت نخواهد بود و همچنین از فردی به فرد دیگر طبقه‌بندی و قیمت‌گذاری متفاوت است. در نتیجه کمبود سامانه‌ای که عیب‌های بالا را برطرف کند بسیار ضروری است (Ajay et al., 2013). با توجه به بررسی منابع می‌توان بیان کرد که روش‌های ماشین‌بینایی و هوش مصنوعی به طور موفقیت‌آمیزی در اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی دانه‌های برنج در فرآیندهای مختلفی به کار برده شده‌اند و تاکنون در ارتباط با به کارگیری روش‌های منطق فازی که به ساختار تصمیم‌گیری‌های غیرقطعی انسان بسیار نزدیک است، برای قیمت‌گذاری محصول برنج، بررسی‌های زیادی در سطح ایران و جهان انجام نشده است. به همین دلیل، هدف از این پژوهش تدوین الگوریتم دقیقی برای تشخیص سه شاخص مهم کیفی دانه‌های برنج شامل درصد دانه‌های شکسته، درصد دانه‌های گچی و درجه سفیدی دانه‌های برنج بود. این سه شاخص به‌طور عمده بر کیفیت برنج و قیمت محصول اثرگذار هستند. در این پژوهش، از این ویژگی برای قیمت‌گذاری محصول در قالب یک سامانه استنتاج فازی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های برنج رقم علی‌کاظمی، از مؤسسه تحقیقات برنج کشور در استان گیلان تهیه شد. در این نمونه‌ها سه

1- Degree of Milling
2- Percentage of Broken Kernels
3- Percentage of Chalky Kernels

جدول ۱- گستره اندازه‌گیری شده برای شاخص‌های DOM, PBK, PCK و قیمت محصول از سوی اشخاص خیره		
متغیر (%)	درجه	گستره
درجه سفیدی (DOM) (%)	کم (L)	۴۴/۲-۵۵/۳
	متوسط (M)	۵۲/۴-۶۲/۷
	زیاد (H)	۵۸/۱-۷۵/۵
دانه‌های شکسته (PBK) (%)	کم (L)	۵/۴-۲۰/۶
	متوسط (M)	۱۸/۵-۳۲/۳
	زیاد (H)	۲۷/۷-۵۵/۱
دانه‌های گچی (PCK) (%)	کم (L)	۰-۲/۵
	متوسط (M)	۱/۵-۵/۵
	زیاد (H)	۴/۵-۱۰
قیمت محصول (ریال)	خیلی کم (VL)	۵۴۰۰۰-۶۰۵۰۰
	کم (L)	۵۸۰۰۰-۶۴۵۰۰
	متوسط (M)	۶۳۵۰۰-۶۹۰۰۰
	زیاد (H)	۶۷۵۰۰-۷۳۰۰۰
	خیلی زیاد (VH)	۷۱۵۰۰-۷۵۰۰۰

تصویربرداری

پس از تهیه نمونه‌ها، از هر یک از ۲۷۰ نمونه محصول برنج در شرایط یکسان نورپردازی شد و سپس عمل تصویربرداری از نمونه‌ها انجام شد. با توجه به بررسی مطالعات انجام شده، برای تصویر برداری از نمونه‌های برنج می‌توان از دو روش تصویربرداری با دوربین در اتاق نور و تصویر برداری توسط اسکنر استفاده کرد. با توجه به هدف این پژوهش، تصویربرداری با دوربین در اتاق نور دارای دسترسی بیشتر نسبت به اسکنر و قابل نصب روی دستگاه در صورت نیاز به داده‌برداری برخط بوده انتخاب شد.

برای تهیه تصاویر دانه‌های برنج، یک دوربین کنون مدل Canon powerShot SX520 HS ساخت کشور ژاپن، با وضوح تصویر ۱۶ مگاپیکسل به کار برده شد. در مرحله تصویر برداری، از یک محفظه‌ی مکعبی شکل استفاده شد که داخل آن به طور کامل سیاه رنگ بود و درب آن در هنگام تصویربرداری بسته می‌شد تا از انعکاس نور در داخل آن و ایجاد سایه جلوگیری شود. همچنین دو لامپ فلورسنت میله‌ای شکل با توان ۱۸ وات، بهره نوری ۳۸ لومن بر وات، ضریب وضوح رنگ Color Rendering Index ۶۷ در دو طرف جعبه و در مجاورت سقف جعبه نصب شد. در قسمت وسط سقف نیز سوراخی وجود داشت که عدسی دوربین در روی آن قرار می‌گرفت و به این

ترتیب تصویربرداری بدون هر گونه تداخل نوری از خارج انجام شد. ارتفاع قرارگیری دوربین در این محفظه ۲۰ cm بود.

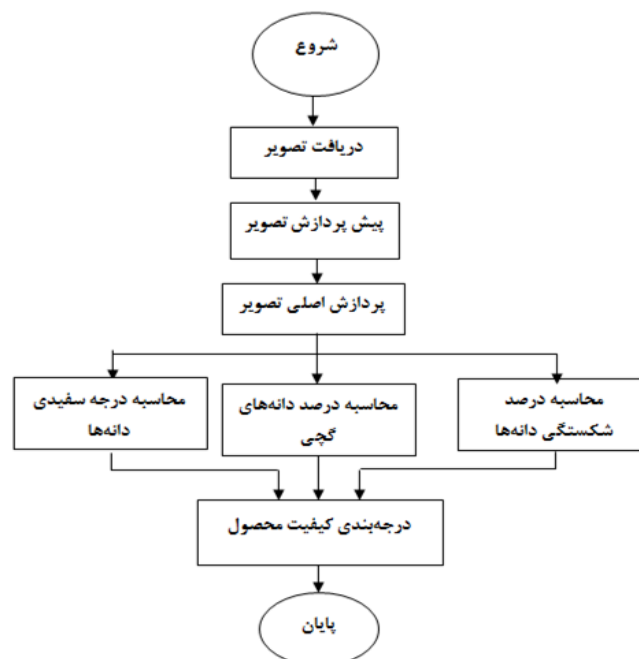
پردازش تصویر دانه‌ها

با توجه به خصوصیات کیفی مورد بررسی در این پژوهش، ویژگی‌های مهمی که در تصاویر گرفته شده باید مورد پردازش و اندازه‌گیری قرار بگیرند، تعداد کل دانه‌ها، تعداد دانه‌های شکسته، تعداد دانه‌های گچی و درجه سفیدی دانه‌ها بود. در ادامه روند مراحل انجام کار برای آشنایی با روال کار به صورت الگوار ارائه شده است (شکل ۱).

برای تعیین تعداد کل دانه‌های موجود در تصویر، ابتدا با استفاده از دستور bwlabel در الگوریتم پردازش تصویر، تعداد کل دانه‌های موجود در هر تصویر به دست آمد. سپس، برای تعیین درصد دانه‌های شکسته، ابتدا برای هر دانه تفکیک و شناسایی شده در هر تصویر، مشخصات ریخت‌شناسی و ابعادی دانه‌ها از جمله طول محور اصلی، طول محور فرعی و مساحت با استفاده از اطلاعات پیکسلی مربوط به هر دانه اندازه‌گیری شد (Curtois et al., 2010). سپس، با توجه به استانداردهای ارائه شده (Iranian National Standard, no127) که طول دانه شکسته را کمتر از سه‌چهارم طول دانه سالم عنوان

موجود در هر تصویر محاسبه شد و نسبت دانه‌های شکسته به کل دانه‌ها به صورت درصد عددی تعیین شد.

کرده‌اند و تعریف این شاخص استاندارد برای الگوریتم پردازش تصویر مورد نظر، تعداد دانه‌های شکسته و سالم



شکل ۱- مراحل اصلی پیشروی برنامه برای طبقه‌بندی برنج با استفاده از پردازش تصویر

برای ارزیابی الگوریتم پردازش تصویر در تشخیص درجه سفیدی دانه‌ها و درصد دانه‌های گچی، در آزمایش‌های جداگانه، نمونه‌های ۱۰۰ عددی از دانه‌های برنج که درجه سفیدی و درصد دانه‌های گچی برنج در آن‌ها از قبل مشخص شده بود، به صورت دستی و بدون تماس با یکدیگر در محفظه تصویربرداری قرار داده شدند. سپس با مقایسه نتایج به دست آمده از روش پردازش تصویر با روش دستی دقت الگوریتم پردازش تصویر در تشخیص این دو شاخص با استفاده از روابط زیر تعیین شد (Payman et al., 2014).

$$A_{dm} = \left(1 - \left(\frac{|D_{wm} - D_{ip}|}{D_{wm}} \right) \right) \times 100 \quad (1)$$

$$A_{ck} = \left(1 - \left(\frac{|C_m - C_{ip}|}{C_m} \right) \right) \times 100 \quad (2)$$

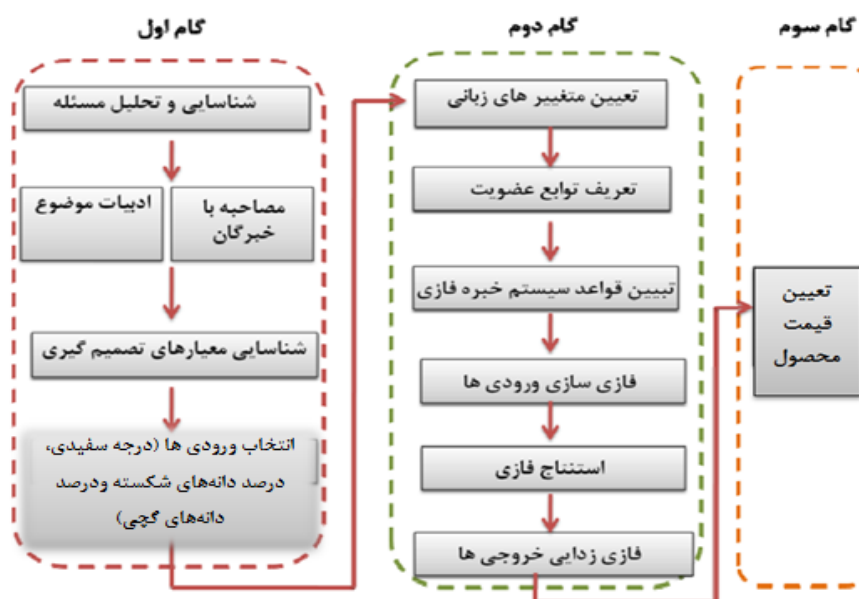
که در آن A_{dm} دقت الگوریتم پردازش تصویر در تعیین DOM (%) است و D_{ip} و D_{wm} به ترتیب میزان سفیدی به دست آمده با سفیدسنج دیجیتال و الگوریتم پردازش تصویر، A_{ck} دقت الگوریتم پردازش تصویر در تعیین PCK (%) است، C_{ip} و C_m به ترتیب مقدار PCK به دست آمده با اندازه‌گیری دستی و الگوریتم‌های پردازش تصویر است.

برای تشخیص درجه سفیدی دانه‌ها باید تصویر مورد نظر ابتدا به مقیاس خاکستری تبدیل شده و سپس ماتریس به وجود آمده برابر میزان روشنایی یا intensity به کار رود. برای به دست آوردن میزان روشنایی با حلقه for دستوری نوشته شد که در آن هر پیکسلی که غیر از پیکسل دانه‌های برنج در تصویر بود را صفر و در غیر این صورت همان پیکسل را در ماتریس قرار می‌داد. بدین ترتیب ماتریسی به وجود آمد که فقط پیکسل‌های مربوط به دانه‌های برنج را شامل می‌شد و با میانگین‌گیری از این اعداد میزان روشنایی برنج به دست آمد. برای تشخیص دانه‌های گچی با استفاده از دستور for برنامه‌ای نوشته شد که در آن دانه‌هایی که میزان روشنایی آن‌ها کمتر از ۱۷۷ بود را برابر صفر قرار داد. این مقدار با روش آزمون و خطا و پیش پردازش اولیه تصاویر به دست آمد. به طوری که دانه‌های سالم و گچی هر دو باهم مقایسه شدند و آستانه تفاوت به دست آمد. به این ترتیب دانه‌هایی که در تصویر باقی می‌ماند، همان دانه‌های گچی بودند. در این حالت، نویزهای موجود در تصویر با استفاده از دستور `bwareaopen` حذف شدند. سپس به کمک دستور `bwlabel`، تعداد دانه‌های گچی شمرده شدند.

تدوین مدل فازی

در این پژوهش، از سامانه استنتاج فازی به عنوان فرایندی سیستماتیک برای تبدیل پایگاه دانش به یک نگاهت غیرخطی استفاده شد. دلیل این امر، توانایی روش‌های مبتنی بر منطق فازی در شبیه‌سازی رفتار انسان در تصمیم‌گیری‌های غیرقطعی در بحث تشخیص و تعیین کیفیت محصولات غذایی بود (Alavi, 2012). متغیرهای

ورودی سامانه فازی طراحی شده در این پژوهش، درجه سفیدی (DOM)، درصد دانه‌های شکسته برنج (PBK) و درصد دانه‌های گچی (PCK) بود که به صورت اعداد حقیقی از یک الگوریتم پردازش تصویر به دست آمد. نمای کلی از مراحل ساخت یک سامانه خبره فازی در (شکل ۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- نمای کلی از مراحل ساخت یک سامانه خبره فازی

فازی است. مزیت اصلی این موتور استنتاج در سادگی محاسباتش است. همچنین ساده‌ترین تابع عضویت، تابع عضویت مثلثی است. یک تابع عضویت مثلثی با داشتن سه نقطه از محدوده تغییرات برای یک متغیر تعریف می‌شود. غیرفازی‌سازی آخرین عمل از مجموعه عملیات برای اجرای یک فرآیند استنتاج را در یک سامانه فازی تشکیل می‌دهد که در این پژوهش با غیرفازی‌ساز مرکز ناحیه، حاصل عملیات غیرفازی شد و به صورت عدد حقیقی که نماینده قیمت دانه‌های برنج مورد آزمون است، نمایش داده شد. پس از ایجاد مجموعه‌های فازی و تعیین قوانین فازی، قیمت‌گذاری دانه‌های برنج که از طریق کارشناسان خبره انجام شده بود با مقادیری که با استفاده از مدل مبتنی بر منطق فازی تهیه شده بود مقایسه شد.

در این پژوهش برای قیمت‌گذاری محصول از سه پارامتر درجه‌سفیدی، درصد دانه شکسته و درصد دانه گچی در قسمت مقدمه قواعد فازی، استفاده شد (جدول ۲). برای ارزیابی مدل تدوین شده، نتایج به دست آمده از الگوریتم پردازش تصویر برای ۲۷۰ نمونه برنج برای قیمت‌گذاری به سامانه فازی طراحی شده در این پژوهش داده شد و نتایج به دست آمده از منطق فازی با نتایج حاصل از قیمت‌گذاری محصول با شخص خبره مقایسه شد.

قوانین فازی نیز براساس نظر کارشناسان خبره تعریف شدند. این قوانین برای برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی متغیرها به کار گرفته شدند. در تدوین سامانه استنتاج فازی از روش ممدانی و تابع عضویت مثلثی (trimf) استفاده شد. موتور استنتاج ممدانی مهم‌ترین موتور استنتاج مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل

جدول ۲- قوانین فازی استفاده شده برای ایجاد ارتباط بین متغیرها برای سه ورودی و یک خروجی

اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول خیلی زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول خیلی زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته کم است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول خیلی زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته متوسط است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول خیلی زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی کم است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی متوسط است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی کم است) آنگاه (قیمت محصول زیاد است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی متوسط است) آنگاه (قیمت محصول متوسط است).
اگر (دانه‌های شکسته زیاد است) و (درجه سفیدی زیاد است) و (دانه گچی زیاد است) آنگاه (قیمت محصول کم است).

نتایج و بحث

بررسی الگوریتم پردازش تصویر

نتایج حاصل از ارزیابی دقت الگوریتم پردازش تصویر در محاسبه شاخص‌های کیفی دانه‌های برنج در جدول ۳ قابل ملاحظه است. برای محاسبه طول دانه برنج، در ابتدا طول برنج رقم هاشمی بر حسب میلی‌متر با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد و سپس طول همان دانه‌ها در محیط نرم‌افزار متلب بر حسب پیکسل محاسبه شد. سپس اعداد

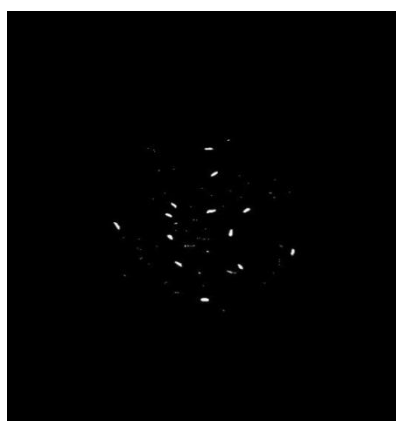
به دست آمده در نرم‌افزار CurveExpert وارد شد و معادله متناظر با آن به دست آمد. با توجه به معادله حاصل، طول به دست آمده بر حسب میلی‌متر به مقدار پیکسل متناظر با آن تبدیل شد. میانگین طول دانه کامل برنج رقم هاشمی برابر با ۷/۴۷ میلی‌متر بود که سه‌چهارم این مقدار برابر بود با ۵/۶ میلی‌متر که همان طول دانه شکسته محسوب می‌شود.

جدول ۳- دقت الگوریتم پردازش تصویر در محاسبه شاخص‌های کیفی برنج سفید

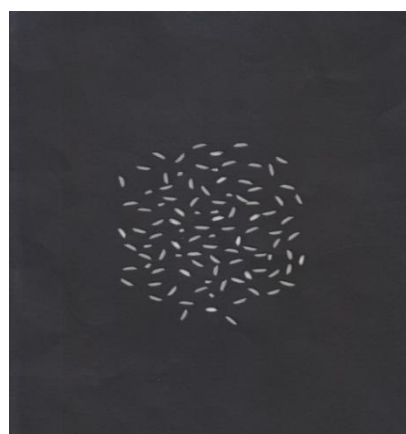
شاخص	درصد عددی دانه‌های شکسته			درصد عددی دانه‌های گچی			درجه سفیدی دانه‌ها		
	روش	پردازش	دقت	روش	پردازش	دقت	پردازش	دقت	الگوریتم
۱	۱۸	۱۸	٪۱۰۰	۹	۱۰	٪۸۹	۱۵۱/۳	۱۵۱/۹	٪۹۹/۶
۲	۱۷	۱۷	٪۱۰۰	۱۰	۱۱	٪۹۰	۱۵۲/۱	۱۵۴/۵	٪۹۸/۵
۳	۴	۵	٪۷۵	۸	۷	٪۸۷/۵	۱۵۷/۸	۱۵۶/۴	٪۹۹/۱
۴	۸	۸	٪۱۰۰	۱۴	۱۵	٪۹۲/۹	۱۵۵/۶	۱۵۵/۲	٪۹۹/۷
۵	۱۲	۱۲	٪۱۰۰	۱	۱	٪۱۰۰	۱۶۰/۲	۱۶۰/۳	٪۹۹/۹
۶	۱۱	۱۱	٪۱۰۰	۱۲	۱۴	٪۸۴	۱۵۶/۱	۱۵۸/۴	٪۹۸/۸
۷	۰	۰	٪۱۰۰	۳	۳	٪۱۰۰	۱۶۱/۵	۱۶۰/۳	٪۹۹/۲
۸	۱۱	۱۲	٪۹۱	۵	۶	٪۸۰	۱۶۲/۷	۱۵۹/۵	٪۹۸/۱
۹	۳	۳	٪۱۰۰	۶	۷	٪۸۴	۱۶۵/۹	۱۶۱/۶	٪۹۷/۵
۱۰	۷	۸	٪۸۶	۱۳	۱۳	٪۱۰۰	۱۶۲/۱	۱۶۲/۸	٪۹۹/۵

در شکل ۳ به ترتیب نمونه‌ای از تصویر اولیه دانه‌های برنج که دارای نمونه‌های گچی است، تصویر دانه‌های گچی قبل از اجرای دستور bwareaopen و تصویر بعد از اجرای دستور bwareaopen با نرم‌افزار متلب نشان داده شده

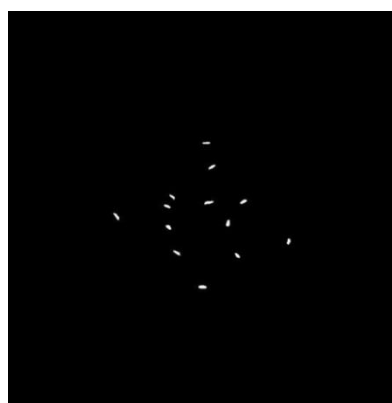
است. همان‌طور که در تصویر نمونه (شکل ۳- پ) مشاهده می‌شود، تعداد دانه‌های گچی ۱۳ عدد و تعداد کل دانه‌های برنج ۱۰۰ عدد بود. درصد دانه‌های گچی برنج در تصویر بالا ۱۳ درصد به دست آمد.



(ب)



(الف)



(پ)

شکل ۳ الف- تصویر خام (اولیه) دانه‌های برنج ب- تصویر دانه‌های برنج گچی قبل از اجرای دستور bwareaopen پ- تصویر دانه‌های برنج گچی بعد از اجرای دستور bwareaopen

در شکل ۱ میزان درجه سفیدی دانه‌ها قبل از حذف دانه‌های گچی ۱۵۹/۳۴ به دست آمد. پس از حذف دانه‌های گچی، درجه سفیدی دانه‌های باقیمانده محاسبه شد که برابر ۱۴۱/۶۲ بود. به این ترتیب تأثیر دانه‌های گچی در افزایش میزان سفیدی دانه‌های برنج در تصویر، برابر ۱۷/۷۲ درصد بوده است.

بررسی سامانه استنتاج فازی

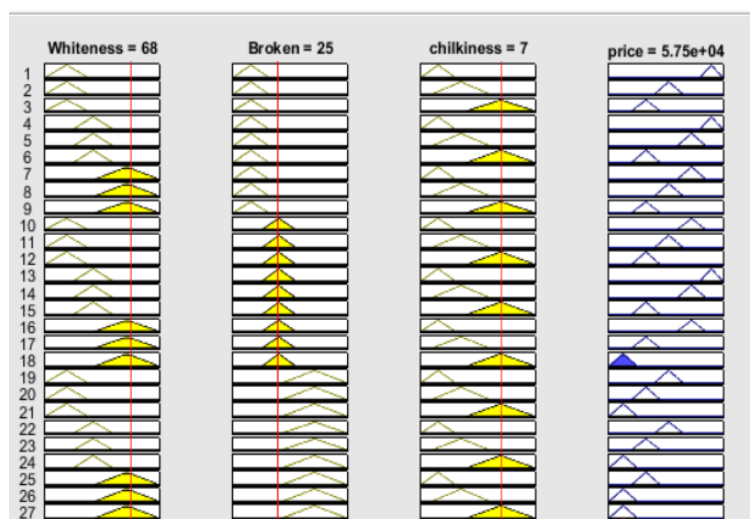
سامانه استنتاج فازی دارای سه ورودی (درجه سفیدی، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های گچی) و یک خروجی (قیمت محصول) بود. گستره هر یک از عوامل ذکر شده با توجه به نظر کارشناسان خبره که به صورت پرسش‌نامه تهیه شده بود، مشخص شد (جدول ۱). شکل ۴ ارزیابی قوانین فازی در مدل فازی تهیه شده در محیط نرم‌افزار متلب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با در نظر گرفتن این ورودی‌ها به ترتیب در گستره‌های زیاد (High)، متوسط (Medium) و کم (Low)، خروجی مدل (قیمت محصول) در گستره‌ی خیلی کم (Very-Low) قرار گرفت. این نتیجه بر اساس تعاریف اولیه قوانین فازی است.

مشخص است که با افزایش دانه‌های گچی و دانه‌های شکسته کیفیت برنج کاهش یافته، در نتیجه قیمت محصول کم شده است. همچنین در مورد میزان سفیدی برنج، تا حدی افزایش آن مطلوب بوده و سبب افزایش کیفیت برنج می‌شود ولی اگر میزان سفیدی برنج از حدی بیشتر شود، کیفیت محصول کاهش یافته و به دنبال آن، قیمت محصول نیز کاهش می‌یابد.

در ارزیابی عملکرد مدل فازی که دارای سه ورودی درجه سفیدی، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های گچی است، هماهنگی تصمیم اعلام شده با واحد استنتاج فازی در خصوص قیمت محصول با نظر کارشناس خبره در نظر گرفته شد. در نهایت با محاسبه تعداد موارد، گرفتن تصمیم درست به تعداد کل آزمایش‌ها، دقت عمل سامانه کنترل مشخص شد. نتایج حاصل از ارزیابی‌های انجام شده روی مدل فازی تدوین شده در قالب یک ماتریس آسیمگی در جدول ۴ ارائه شده است.

ارزیابی‌های انجام شده نشان داد که دقت الگوریتم پردازش تصویر در تشخیص درصد عددی دانه‌های شکسته، درصد عددی دانه‌های گچی و درجه سفیدی دانه‌های برنج به ترتیب و به طور متوسط برابر با ۹۵/۲ درصد، ۹۰/۷۴ درصد و ۹۸/۹۹ درصد بود. این ویژگی‌ها پس از استخراج از تصاویر به عنوان ورودی‌های سیستم استنتاج فازی استفاده شد که روی قیمت محصول تأثیرگذار بود. در پژوهشی مشابه، کاربرد پردازش تصویر در اندازه‌گیری و کلاس‌بندی گچی بودن دانه‌های برنج بررسی شد که دو روش بر اساس درجه و موقعیت گچی بودن در دانه‌ها برای استخراج اطلاعات مورد نظر از تصاویر مقیاس باینری استفاده شد. در روش اول، که تحت عنوان روش منحنی گچی بودن معرفی شد، با توجه به این‌که بخش‌های گچی در زاویه‌های مختلفی ظاهر می‌شدند، احتمال وجود رابطه‌ای بین زاویه و درجه گچی بودن ارزیابی شد. برای دستیابی به این هدف، یک خط عمودی تحت عنوان خط پویس از مرکز ثقل دانه به نقطه شروع تصویر رسم شد. سپس تصویر دانه در جهت ساعت‌گرد و در فاصله‌های زاویه‌ای مشخص پیرامون مرکز ثقل چرخش داده شد و در طول این چرخش، مقدار میانگین سطح خاکستری روی خط پویس محاسبه شد. نتیجه‌ی این فرآیند، یک سری منحنی بود. در روش دوم، که روش بخش‌بندی نامیده شد، تصویر دانه به ۱۸ بخش تقسیم شد و مقدار میانگین سطح خاکستری پیکسل‌ها در هر بخش محاسبه شد. مقدار ۱۸ سطح خاکستری به عنوان شاخصی برای گچی بودن دانه برنج استفاده شد. روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی هر دانه به یکی از درجه‌های گچی بودن به کار برده شد. نتایج نشان داد که دقت کلی طبقه‌بندی روش منحنی گچی بودن و روش بخش‌بندی به ترتیب برابر با ۸۵/۴ و ۹۰/۲ درصد بود. همچنین گزارش شد که هیچ‌یک از این دو روش در طبقه‌بندی درجه‌های گچی نزدیک به هم دقت خوبی نداشتند (Yoshioka et al., 2007).

میزان درجه سفیدی دانه‌های برنجی که در آن دانه‌های گچی وجود دارد را به درستی نمی‌توان مشخص کرد. زیرا دانه‌های شکم گچی سبب می‌شوند میزان درجه سفیدی کل افزایش یابد. به همین منظور برای محاسبه این شاخص، ابتدا دانه‌های گچی از تصویر حذف شدند. سپس میزان درجه سفیدی دانه‌های برنج باقی‌مانده مشخص شد.



شکل ۴- ارزیابی مدل فازی در محیط نرم‌افزار متلب

جدول ۴- ماتریس آسیمیگی مدل درجه‌بندی فازی

مدل فازی							
قیمت محصول	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	مجموع	دقت (%)
خیلی کم	۴۷	۳	۰	۰	۰	۵۰	۹۴
کم	۰	۴۹	۱	۰	۰	۵۰	۹۸
متوسط	۰	۱	۴۶	۳	۰	۵۰	۹۲
زیاد	۰	۰	۰	۴۸	۲	۵۰	۹۶
خیلی زیاد	۰	۰	۱	۱	۴۸	۵۰	۹۶
مجموع	۴۷	۵۳	۴۸	۵۲	۵۰	۲۵۰	۹۵/۲

عددی دانه‌های گچی به طور متوسط برابر با ۹۰/۷۴ درصد به دست آمد. زمان لازم برای اجرای الگوریتم تشخیص درصد دانه‌های گچی به طور متوسط برابر با ۱/۱۴ ثانیه بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که زمان کل مورد نیاز برای اجرای الگوریتم پردازش تصویر و فرآیند استنتاج فازی با سه ورودی تا تعیین قیمت محصول برابر با ۲/۲۴ ثانیه بوده است. تصمیمات گرفته شده به وسیله مدل فازی با سه ورودی ۹۵/۲ درصد از موارد با نظر اعلام شده از سوی کارشناس خبره همخوانی داشت.

منابع

1. Ajay, G. Suneel, M. Kumar, K. K. and Prasad, P. S. 2013. Quality Evaluation of Rice Grains Using Morphological Methods. International Journal of Soft Computing and Engineering, 2(2): 35-37.
2. Alavi, N. 2012. Date grading using rule-based fuzzy inference system. International Journal of Agricultural Technology, 8(1): 1243-1254.

همان‌گونه که دیده می‌شود، تصمیمات گرفته شده با مدل فازی در ۹۵/۲ درصد از موارد با نظر اعلام شده از سوی کارشناس خبره همخوانی داشت. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که زمان کل مورد نیاز برای اجرای الگوریتم پردازش تصویر و فرآیند استنتاج فازی با سه ورودی تا تعیین قیمت محصول در سامانه کنترل برابر با ۲/۲۴ ثانیه بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده نشان داد که بهترین روش برای حذف نویزهای تصویر، استفاده از دستور bwareaopen بود. بهترین روش برای تشخیص درجه سفیدی دانه‌های برنج، تعیین intensity دانه‌های برنج بود. بدین ترتیب ماتریسی به وجود آمد که فقط پیکسل‌های مربوط به دانه‌های برنج را شامل می‌شد که با میانگین‌گیری از این اعداد میزان روشنایی برنج به دست آمد. دقت الگوریتم پردازش تصویر در تشخیص درصد

16. Tashiro, T. and Wardlaw, I. 1991. The effect of high temperature on kernel dimensions and the type and occurrence of kernel damage in rice. *Crop and Pasture Science*, 42(2):485-496.
17. Timmermans, A. 1995. Computer vision system for on-line sorting of pot plants based on learning techniques. II International Symposium on Sensors in Horticulture, 421(1):91-98.
18. Yonemaru, J. I. and Morita, S. 2012. Image analysis of grain shape to evaluate the effects of high temperatures on grain filling of rice. *Field Crops Research*, 137(1): 268-271.
19. Yoshioka, Y. Iwata, H. Tabata, M. Ninomiya, S. and Ohsawa, R. 2007. Chalkiness in rice: potential for evaluation with image analysis. *Crop science*, 47(1): 2113-2120.
3. Aulakh, J. S. and Banga, V. 2012. Percentage Purity of Rice Sample by Image Processing. *International Conference on Trends in Electrical, Electronics and Power Engineering*. pp. 15-16. Singapore.
4. Bato, P. M. Nagata, M. Cao, Q. Shrestha, B. P. and Nakashima, R. 1999. Strawberry Sorting using Machine Vision. ASAE. Paper No. 9931162-993162.9.
5. Courtois, F. Faessel, M. and Bonazzi, C. 2010. Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques. *Food Control*, 21(1):567-572.
6. Gao, H. Wang, Y. and Ge, P. 2008. Rice Shape Parameter Detection Based On Image Processing. *IFIP International Federation for Information Processing*. Volume 258.
7. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. 2002. *Digital image processing*. second edition. Tom Robbins. New Jersey.
8. Guzman, J. D. and Peralta, E. K. 2008. Classification of philippine rice grains using machine vision and artificial neural networks. *World conference on agricultural information and IT*. pp. 41-48 .Tokyo, Japan.
9. ISIRI. 1380. Rice specifications and test methods. National standards, No. – 127.
10. Kaur, H. and Singh, B. 2013. Classification and Grading Rice Using Multi-Class SVM. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(1): 1-5.
11. Maheshwari, C. V. Jain, K. R. and Modi, C. K. 2012. Non-destructive quality analysis of Indian Basmati *Oryza sativa* SSP indica (Rice) using image processing, In: *International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 10-14 May. Rajkot, India, 189-193.
12. Mousavirad, S. J. Akhlaghian Tab, F. and Mollazade, K. 2012. Classification of rice varieties using optimal color and texture features and BP neural networks. presented at the The 7th Iranian Conferences on Machine Vision and Image Processing.
13. Payman, S. Bagheri, I. Zareiforoush, H. 2014. Milling characteristics of rice grains as affected by paddy mixture ratio and moisture content. *Int J Biosci*, 4(1):87-97.
14. Pour reza, A. Pour reza, H. R. Abbaspour-Fard, M. H. and Sadrnia, H. 2012. Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83(2):102-108.
15. Siebenmorgen, T. Saleh, M. and Bautista, R. 2009. Milled rice fissure formation kinetics. *Transactions of the ASAE*, 52(2): 893-900.